

ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ОМУЗГОРИИ ТОҶИКИСТОН  
БА НОМИ САДРИДДИН АЙНӢ

*Бо ҳуқуқи дастнавис*



ТДУ: 546.123.7+541.015.32.6

ТКБ: 24.1+24.5

Ж - 88

**ЖУМАЕВ МАЪРУФЖОН ТАҒОЙМУРОТОВИЧ**

**ПОЛИТЕРМАИ КОМПЛЕКСИ ФАЗАГӢ ВА ҲАЛШАВАНДАГИИ  
СИСТЕМАИ ОБӢ-НАМАКИИ СУЛФАТҲО, КАРБОНАТҲО,  
ГИДРОКАРБОНАТҲОИ НАТРИЙ ВА КАЛСИЙ**

**Диссертатсия**

барои дарёфти дараҷаи илмии доктори илмҳои химия  
аз рӯи ихтисосҳои 1.4.2. Химияи ғайриорганикӣ ва 1.4.5. Химияи физикӣ

**Мушовирони илмӣ:**

Арбоби илм ва техникаи

Тоҷикистон, доктори илмҳои химия,

профессор Солиев Л.;

доктори илмҳои химия,

профессор Раҳимова М.

Душанбе, 2026

## МУНДАРИЧА

	Мундарича.....	2
	Номгӯи ихтисораҳо ва аломатҳои шартӣ.....	5
	Муқаддима.....	6
<b>БОБИ 1</b>	<b>АСОСҲОИ НАЗАРИЯВИИ УСУЛҲОИ ТАҲҚИҚИ СИСТЕМАҲОИ БИСЁРКОМПОНЕНТАИ МУОВИЗАИ НАМАКӢ (ШАРҲИ АДАБИЁТ).....</b>	<b>16</b>
	1.1. Усули матритсавӣ тасвир намудани системаҳои бисёркомпонентаи намакӣ.....	16
	1.2. Усулҳои триангулятсияи диаграммаҳои системаҳои бисёркомпонентаи муовизаи намакӣ.....	25
	1.3. Усули конверсионии таҳқиқи системаҳои бисёркомпонентаи муовизаи намакӣ .....	29
	1.4. Муайянкунии комплексҳои фазагии системаҳои химиявӣ бо усули транслятсия.....	32
	1.5. Омӯзиши политермаи комплекси фазагии системаҳои химиявӣ .....	40
	1.6. Ҳолати омӯзиши политермии системаи панҷкомпонентаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ .....	43
<b>БОБИ 2</b>	<b>ПОЛИТЕРМАИ КОМПЛЕКСИ ФАЗАГИИ СИСТЕМАИ <math>\text{Na}^+</math>, <math>\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}</math>, <math>\text{CO}_3^{2-}</math>, <math>\text{HCO}_3^-</math> - <math>\text{H}_2\text{O}</math> ДАР САТҲИ ТАРКИБИ ЧОРКОМПОНЕНТА.....</b>	<b>53</b>
	2.1. Омӯзиши политермаи комплекси фазагии системаи химиявии обӣ-намакӣ .....	53
	2.2. Политермаи системаи чоркомпонентаи $5\text{Na}^+$ - $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{CO}_3^{2-}$ - $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ дар фосилаи ҳароратҳои $0 \div 100$ °С, ки иони умумии $\text{Na}^+$ дорад .....	56
	2.3. Политермаи системаи чоркомпонентаи $3\text{Ca}^{2+}$ - $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{CO}_3^{2-}$ - $2\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ дар фосилаи ҳароратҳои $0 \div 100$ °С, ки иони умумии $\text{Ca}^{2+}$ дорад .....	73
	2.4. Политермаи системаи чоркомпонентаи муовизаи обӣ-намакии сулфатҳо, карбонатҳои, натрий ва калсий дар фосилаи $0 \div 100$ °С .....	76
	2.5. Политермаи системаи чоркомпонентаи обӣ-намакии муовизаи сулфатҳо, гидрокарбонатҳои натрий ва	

	калсий дар фосилаи $0 \div 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .....	95
2.6.	Полигермаи системаи чоркомпонентаи обӣ-намакии муовизаи карбонатҳо, гидрокарбонатҳои натрий ва калсий дар фосилаи ҳароратҳои $0 \div 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .....	111
<b>БОБИ 3</b>	<b>ПОЛИТЕРМАИ СОҲТОРИ КОМПЛЕКСИ ФАЗАГИИ СИСТЕМАИ <math>\text{Na}^+</math>, <math>\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}</math>, <math>\text{CO}_3^{2-}</math>, <math>\text{HCO}_3^-</math> -<math>\text{H}_2\text{O}</math> ДАР САТҲИ ТАРКИБИ ПАНҶКОМПОНЕНТА</b> .....	130
3.1.	Соҳтори диаграммаи фазагии системаи панҷкомпонентаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ дар $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .....	130
3.2.	Диаграммаи фазагии сатҳи таркиби панҷкомпонентаи системаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .....	143
3.3.	Системаи панҷкомпонентаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ дар $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ва соҳтори диаграммаи фазагии он.....	149
3.4.	Сатҳи таркиби панҷкомпонентагии системаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ дар $75 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ва соҳтори диаграммаи фазагии он .....	156
3.5.	Соҳтори диаграммаи фазагии системаи бисёркомпонентаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .....	165
<b>БОБИ 4</b>	<b>ПОЛИТЕРМАИ ҲАЛШАВАНДАГИИ СИСТЕМАИ <math>\text{Na}^+</math>, <math>\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}</math>, <math>\text{CO}_3^{2-}</math>, <math>\text{HCO}_3^-</math> - <math>\text{H}_2\text{O}</math> ДАР САТҲИ ЧОРКОМПОНЕНТАГИИ ТАРКИБ</b> .....	173
4.1.	Ҳалшавандагии компонентҳо дар системаҳои химиявии обӣ .....	173
4.2.	Муайянкунии ҳалшавандагии системаи $5\text{Na}^+$ - $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{CO}_3^{2-}$ - $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ дар фосилаи $0 \div 75 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .....	180
4.3.	Омӯзиши ҳалшавандагии системаи $3\text{Ca}^{2+}$ - $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{CO}_3^{2-}$ - $2\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ дар фосилаи $0 \div 75 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .....	197
4.4.	Дар фосилаи ҳарорати $0 \div 75 \text{ }^{\circ}\text{C}$ таҳқиқи ҳалшавандагии системаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ - $\text{H}_2\text{O}$ .....	203
4.5.	Ҳалшавандагии системаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ .....	225
4.6.	Таҳқиқи ҳалшавандагӣ дар системаи муовизаи $\text{Na}^+$ ,	

	Ca <sup>2+</sup>    CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -H <sub>2</sub> O .....	234
<b>БОБИ 5</b>	<b>ПАРАМЕТРҲОИ КОНСЕНТРАТСИОНИИ ФАЗАҲОИ САХТИ МУВОЗИНАТӢ ДАР СИСТЕМАИ Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>    SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - H<sub>2</sub>O АСОСИ КОРКАРДИ ПАРТОВҲОИ МОЕЪИ САНОАТИИ ИСТЕҲСОЛИ АЛЮМИНИЙ .....</b>	<b>245</b>
5.1.	Мувозинати нонвариантӣ дар системаи бисёркомпонентаи Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>    SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - H <sub>2</sub> O	245
5.2.	Мувозинати моновариантӣ дар системаи бисёркомпонентаи Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>    SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - H <sub>2</sub> O	253
5.3.	Мувозинати дивариантӣ дар системаи бисёркомпонентаи Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>    SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - H <sub>2</sub> O	260
5.4.	Диаграммаи комплекси фазагӣ асоси технологии коркарди ашёи хоми маҳаллӣ ва партовҳои саноатӣ.....	270
5.5.	Ҳалшавандагии системаи муовизаи панҷкомпонентаи Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>    SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - H <sub>2</sub> O дар ҳарорати 0 °C..	274
5.6.	Тарзҳои ҳосилкунии фазаҳои алоҳида аз таркиби партовҳои моеъи истеҳсоли алюминий .....	288
	<b>Хулосаҳои умумӣ .....</b>	<b>300</b>
	<b>Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳои таҳқиқот .....</b>	<b>303</b>
	<b>Рӯйхати адабиёт .....</b>	<b>304</b>
	<b>Интишорот аз рӯи мавзуи диссертатсия .....</b>	<b>340</b>
	<b>Замимаҳо .....</b>	<b>356</b>

## Номгӯи ихтисораҳо ва аломатҳои шартӣ

1. Mb - мирабилит  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ;
2. CaH - гидрокарбонати калсий  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ;
3. Gb - глауберит  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ ;
4. Gr - гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;
5. Nk – нахколит  $\text{NaHCO}_3$ ;
6. Tr – трона  $\text{NaHCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;
7. Gl – гейлюссит  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ;
8. Cc – калсит  $\text{CaCO}_3$ ;
9. Na·10 – декагидрати карбонати натрий  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ;
10. Na·1 – моногидрати карбонати натрий  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;
11. Te - тенардит  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ;
12. Pr – пирсонит  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;
13. Br – беркеит –  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$ ;
14. 5C·Na·3 –  $5\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ;
15. 3Na·C –  $3\text{NaHCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$ ;
16. СБК – системаҳои бисёркомпонента;
17. СП – системаи панҷкомпонента;
18. СЧ – системаи чоркомпонента;
19. E – нуқтаи нонварианти;
20. ТДТ – таҳлили диференсиалии термикӣ;
21. ТПС – триангулятсияи политопҳои система;
22. МФ – мувозинатҳои фазагӣ;
23. КФ – комплекси фазагӣ;
24. АТФХ – асосҳои таҳлили физико-химиявӣ.

## Муқаддима

**Мубрамии мавзуи таҳқиқот.** Дастовардҳои асосҳои таҳлили физико-химиявӣ дар соҳаҳои химияи ғайриорганикӣ ва химияи физикӣ, хусусан омӯзиши системаҳои металлӣ, оксидӣ ва намакӣ дар маҷмӯъ хуб эътироф шудаанд. Бо вучуди ин, аксари корҳо ба системаҳое тааллуқ доранд, ки на бештар аз чор компонентро дар бар мегиранд. Ин бисёртар ба мушкилоти ифодаҳои геометрии усулҳои тасвир, сохтани диаграммаҳои комплексҳои фазагӣ (ДКФ) ва муайян кардани фазаҳои саҳти мувозинатӣ дар системаҳои бисёркомпонента (СБК) алоқаманд мебошад.

Аҳамияти асосҳои таҳлили физико-химиявии СБК дар робита бо мушкилоти коркарди ашёи хоми табиӣ ва техникаии полиминералӣ беш аз пеш меафзояд. Мушкилоти муҳимтарини таҳлили физико-химиявӣ ин бунёди шароити оптималии коркарди ашёи хоми табиӣ ва партовҳои истеҳсолӣ, аз ҷумла партовҳои моеъи пайвастиҳои химиявӣ мебошад. Равандҳои коркарди гидрометаллургӣ ва галургии чунин ашёи хом бо қонуниятҳои мувозинатҳои фазагӣ (МФ) муайян карда мешаванд, ки барои системаи панҷкомпонентаи обӣ-намакии аз сульфатҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳои натрийю калсий иборат буда ва аксар зерсистемаҳои он хосанд.

Яке аз объектҳои таҳқиқотии асосии саноатӣ дар ҳудуди Ҷумҳурии Тоҷикистон заводи «Алюминийи Тоҷик» аст. Партовҳои он майдонҳои фойданокро бекор ва муҳити зистро вайрон мекунанд. Ҳол он ки дар таркиби партовҳои мазкур мавҷудияти моддаҳои зарурӣ, ба монанди: фторидҳо, сульфатҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳои натрий, калий, калсий ва алюминий мушоҳида шуда, дониستاني қонуниятҳои комплекси фазагӣ имконияти коркарди дубораи онҳоро ба вучуд оварда метавонад.

Бинобар ин, муайянкунии политермаи комплекси фазагӣ дар системаи бисёркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар фосилаи ҳароратҳои  $0 \div 100$  °C илочи шароитҳои оптималии аз нав коркарди партовҳои моеъи саноатиро, ки таркибан сульфатҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳои натрий ва калсий доранд, ба амал меорад.

**Дараҷаи коркарди илмии проблемаи мавриди омӯзиш.** Асосҳои таҳлили физико-химиявӣ (АТФХ), хусусан таҳлил ва таҳқиқи системаҳои химиявӣ аз ҷониби як қатор олимони ба роҳ монда шудааст, ки аз ҷумлаи онҳо: Н.С. Курнаков; В.Н. Лодочников; В.П. Радишев; В.Я. Аносов; Д.С. Коржинский; Ф.М. Перелман; В.А. Жариков; В.И. Михеева; Я.Г. Горошенко; А.С. Трунин; Л.С. Солиев ва дигарон мебошанд.

Олимони номбурда таҳқиқотҳои илмиашонро асосан дар системаҳои химиявии металлӣ, оксидӣ, намакӣ вобаста ба ҳарорати гудозиш амалӣ намудаанд. Омӯзиши изотермаи мувозинатҳои фазагӣ ва ҳалшавандагӣ дар системаҳои химиявии обӣ-намакӣ аз ҷониби Я.Г. Горошенко, Л.С. Солиев, И.К. Минков, Р.М. Чих, Б.И. Лушенко, Я.А. Дран, Г.С. Гулевич, И.Д. Караванский, С.И. Пришляк, А.Б. Мазуркевич ба роҳ монда шудааст. Онҳо дар ин самт муайянсозии мувозинатҳои фазагӣ ва ҳалшавандагӣ дар системаи бисёркомпонентаи обӣ-намакии  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Ca} \parallel \text{SO}_4$ ,  $\text{Cl-H}_2\text{O}$  («системаи баҳрӣ») барои фосилаи ҳароратҳои  $0-100\text{ }^\circ\text{C}$  дар сатҳи панҷкомпонентагӣ ва ҳудуди майдонҳои кристаллизатсияҳои алоҳидаи он дар сатҳи шашкомпонентагӣ иҷро намуда, диаграммаҳои фазагии системаи мазкур ва ҳалшавандагии зерсистемаҳои онро ташкилкунандаро сохта, фрагментатсия (сигментатсия) - и фазаҳои алоҳидаро ба анҷом расонидаанд. Аммо, дар зимни таҳлили адабиёт маълум гардид, ки политермаи системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  аз ҷониби муҳаққиқон умуман омӯхта нашуда, диаграммаи комплекси фазагӣ, ҳолатӣ ва политермиашон сохта нашудаанд. Ҳалшавандагии баъзе субсистемаҳои СБК - ро ташкилдиханда қисман омӯхта шуда бошанд ҳам, вале диаграммаи ҳалшавандагиашон сохта нашудааст.

**Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоиҳаҳо), мавзуҳои илмӣ.** Таҳқиқоти диссертатсионии мазкур имконияти ҳалли вазифаҳои ҳадафи чоруми стратегии миллиро оиди рушди саноати химиявӣ, пажухиш ва коркарди ашёи хоми маҳаллӣ ва партовҳои саноатӣ зоҳир менамояд. Дар доираи иҷрои барномаи болозикр иҷрои диссертатсия вобаста ба мавзуҳои илмӣ-таҳқиқотии фармоиши зерин гузаронида шуданд: «Муайянсозии

мувозинатҳои фазагӣ дар системаи бисёркомпонентаи сулфатҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳо, фторидҳои натрий ва калсий» (солҳои 2014-2019, рақами қайди давлатӣ 0114ТJ00343); «Ҳалшавандагӣ ва кристаллизатсияи намакҳо дар системаи бисёркомпонентаи аз сулфатҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳо, фторидҳои натрий, калий ва калсий ташкилёфта» (солҳои 2019-2023, рақами қайди давлатӣ 0119ТJ00957) ва «Изотермаи фазаҳосилшавӣ ва ҳалшавандагии намакҳо дар системаи бисёркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  ||  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{F}^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  барои 273 ва 298 К».

### ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

**Мақсади таҳқиқот** ин мукамалкунии усули пешгӯии политермаи комплекси фазагӣ дар системаи бисёркомпонентаи обӣ-намакии иборат аз катионҳои натрий, калсий, анионҳои сулфат, карбонат, гидрокарбонат, сохтани диаграммаҳои комплекси фазагӣ, омӯзиши ҳалшавандагӣ дар нуқтаҳои нонварианти ва истифодаи маълумоти бадастомада барои ҳалли масъалаҳои амалии технологӣ мебошад.

#### **Вазифаи таҳқиқот:**

- такмили усулҳои муайянкунии политермии комплекси фазагӣ дар эксперименталӣ омӯзиши системаҳои бисёркомпонентаи обӣ-намакӣ;
- такмили усулҳои сохтани диаграммаҳои политермии комплекси фазагӣ ва ҳалшавандагии СБК;
- таҳқиқи мушаххаси комплексҳои фазагӣ дар системаҳои бисёркомпонентаи обӣ-намакии сулфатҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳои натрий ва калсий;
- истифодаи маълумоти бадастомада оиди комплексҳои фазагӣ дар системаи бисёркомпонентаи обӣ-намакии таҳқиқшуда дар омӯзиши роҳҳои кристаллизатсияи маҳлулҳои технологӣ ва таҳияи шароитҳои оптималии коркарди галургии маъданҳои полиминералӣ ва коркарди ашёи хоми техникӣ партовҳои моеъи истехсоли алюминий;
- аз рӯйи натиҷаҳои муайянкунии эксперименталии ҳалшавандагӣ, сохтани диаграммаҳои ҳолатӣ (диаграммаҳои ҳалшавандагӣ)-и

зерсистемаҳо ва системаи панҷкомпонентаи обӣ-намакӣ (катиони метали ишқории натрийю метали ишқорзаминии калсий бо анионҳои мувофиқи номбурда) ва зерсистемаҳои бавучудорандаи системаи панҷкомпонента;

- ҳудуди майдонҳои алоҳида фрагментатсияи диаграммаҳои сохташуда вобаста ба кристаллизатсияи фазаҳои ҳолиси дивариантии системаҳои чоркомпонента ва кристаллизатсияи хатҳои моновариантии якҷояи ду фазаи системаи панҷкомпонента;

- таҳияи схемаҳои принципалии технологияи тарзҳои ҷудокунии фазаҳои саҳти алоҳида дар асоси диаграммаҳои комплекси фазавӣ ва ҳолатии (ҳалшавандагии) зерсистемаҳои системаи бисёркомпонентаи химиявии таҳқиқшаванда.

**Объекти таҳқиқот.** Системаи бисёркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ , субсистемаҳои компонентнокишон чори  $\text{Na}^+ \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  ва системаҳои секомпонентаи:  $\text{Na}^+ \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+ \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  мебошанд.

**Мавзуи (предмет) таҳқиқот.** Политермаи комплекси фазагӣ ва ҳалшавандагии системаи обӣ-намакии сулфатҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳои натрий ва калсий мебошад.

**Навгонии илмӣ таҳқиқот:**

- усули пешгӯии политермии комплексҳои фазагӣ дар СБК такмил дода шудааст, ки он ба интиқоли элементҳои сохтори системаҳои иборат аз  $n$  компонента ба ҳудуди системаи умумии иборат аз  $(n + 1)$  компонента асос ёфтааст;

- усули сохтани диаграммаҳои комплексҳои фазагии СБК чунин такмил дода шудааст, ки дар он ҳамаи комплексҳои фазагии имконпазир дар шаклҳои геометрӣ ва ҷойгиршавии якҷояи онҳо инъикоси ҳудро меёбанд;

- бо усули такмилдодашудаи назариявӣ, моделонии графикаи пешгӯйии политермаи комплекси фазагии системаҳои бисёркомпонента ҳамаи мувозинатҳои фазагии имконпазир дар 25 изотермаи системаҳои чоркомпонента ва 5 изотермаи системаҳои панҷкомпонентаи сулфатҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳои натрий ва калсий ба таври назариявӣ муайян карда шуда, диаграммаҳои изотермаҳои пурраи комплекси фазагии системаҳои таҳқиқшуда сохта шудаанд;

- хусусиятҳои сохтори диаграммаҳои системаҳои бисёркомпонентаи обӣ-намакӣ муайян карда шудаанд, ки шароити тадқиқи амалии фазаҳосилшавиро дар онҳо тавсиф мекунанд;

- роҳҳои кристаллизатсия дар системаи иборат аз анионҳои сулфатҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳо ва катионҳои натрийю калсий дар ҳудуди ба маҳлули таркиби технологӣ наздик омӯхта шуда, қонуниятҳои кристаллизатсия ва ҳалшавандагии афзалияти намакҳои натрий-калсий муайян карда шудаанд;

- фрагментатсияи диаграммаҳои сохташуда аз рӯйи ҳудудҳои кристаллизатсияи фазаҳои алоҳида (барои системаҳои чоркомпонента) ва кристаллизатсияи якҷояи ду фаза (барои системаи панҷкомпонента) пурра муайян карда шудаанд;

- схемаҳои принципалии технологии тарзҳои ҷудокунии фазаҳои саҳти алоҳида дар асоси диаграммаҳои комплекси фазаӣ ва ҳолатии (ҳалшавандагии) зерсистемаҳои системаи бисёркомпонентаи химиявии таҳқиқшаванда таҳия карда шуда, тарзҳои мушаххаси ҷудокунии фазаҳои алоҳида аз партовҳои моеъи саноатӣ пешниҳод карда шудаанд.

#### **Нуктаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда:**

- таҳқиқи усули такмилдодашудаи пешгӯйии политермии комплексҳои фазагӣ дар СБК, ки он ба интиқоли элементҳои сохтори системаҳои иборат аз  $n$  компонента ба ҳудуди системаи умумии иборат аз  $(n + 1)$  компонента аз ҳисоби концентратсия дар изотерма ва аз ҳисоби параметрҳои система барои политерма асос ёфтааст;

- пешниҳоди усули нави муайянкунӣ ва сохтани диаграммаҳои комплексҳои фазагии СБК, ки дар он ҳамаи мувозинатҳои фазагии имконпазир дар шаклҳои геометрӣ ва ҷойгиршавии якҷояи онҳо инъикоси худро меёбанд;

- омӯзиши ҳамаи политермаҳои мувозинатҳои фазагии имконпазир дар 25 изотермаи системаҳои чоркомпонента ва 5 изотермаи системаҳои панҷкомпонентаи сулфатҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳои натрий, калсий таҳқиқи пурраи комплекси фазагии системаҳои болозикр ва муайянкунии хусусиятҳои сохтори диаграммаҳои системаҳои бисёркомпонентаи обӣ-намакие, ки шароити тадбиқи амалии фазаҳосилшавиро дар онҳо тавсиф мекунанд;

- таҳқиқи роҳҳои кристаллизатсия дар системаи иборат аз сулфатҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳои натрий ва калсий дар ҳудудҳои ба таркиби маҳлули технологӣ наздик ва муайянсозии қонуниятҳои кристаллизатсия ва ҳалшавандагии афзалияти намакҳои натрий-калсий;

- фрагментатсияи пурраи диаграммаҳои сохташуда аз рӯйи ҳудудҳои кристаллизатсияи майдонҳои дивариантии фазаҳои алоҳида дар сатҳи чоркомпонентаи таркиб ва кристаллизатсияи якҷояи хатҳои моновариантии ду фаза дар сатҳи таркиби панҷкомпонентаи системаи омӯхташаванда;

- коркард ва пешниҳоди тарзҳои нави ҷудокунии фазаҳои алоҳида бо таҳияи схемаи нави принципалии технологӣ дар асоси диаграммаҳои комплекси фазагӣ ва ҳалшавандагии зерсистемаҳои системаи бисёркомпонентаи химиявии таҳқиқшаванда аз партовҳои моеъи саноатӣ.

#### **Аҳамияти назариявӣ ва илмию амалии таҳқиқот:**

- усули коркардшуда пешгӯии комплексҳои фазагӣ дар СБК имкон медиҳад, ки раванди омӯзиши таҷрибавии объектҳои мураккаби табиӣ ва технологӣ ба таври назаррас пурзӯр карда шавад;

- усулҳои коркардшудаи сохтани диаграммаҳои комплексҳои фазагӣ имкон медиҳанд, ки сохтори муфассали СБК нишон дода шавад ва роҳҳои

имконпазири кристаллизатсия дар ҳама сатҳҳои вариантнокӣ пешгӯӣ карда шаванд (дар асоси қоидаи фазаҳои Гиббс);

- қонуниятҳои муқарраршудаи кристаллизатсия ва ҳалшавии намакҳои натрий-калсий имкон медиҳад, ки ин равандро ҳангоми ҳалли масъалаҳои ба даст овардани фазаҳои саҳти алоҳидаи мақсаднок аз системаҳои бисёркомпонентаи обӣ-намакӣ идора карда шаванд;

- маводди таҳқиқотҳои анҷомёфта метавонанд дар курсҳои махсус оид ба таҳлили физико-химиявӣ ва мувозинатҳои гетерогенӣ дар институтҳои илмӣ-таҳқиқотӣ, мактабҳои олии истифода шаванд.

Муқаррароти пешниҳодшуда оид ба таҳқиқотҳои анҷомёфта як самти нави илмӣ умедбахшро дар асосҳои таҳлили физико-химиявӣ ташкил медиҳад, ки он пешгӯии фазаҳосилшавиро дар СБК, ки ба интиқоли шаклҳои геометрии сохтори системаҳои чузбӣ ба ҳудуди системаи умумӣ ва сохтани диаграммаҳои комплексҳои фазагӣ ва ҳалшавандагӣ дар ҳамворӣ асос мегузорад. Ин имкон медиҳад, ки равандро омӯзиши таҷрибавии объектҳои мураккаби табиӣ ва техникӣ қавӣ шуда ва дар асоси диаграммаҳои технологияҳои нави коркарди ашёи хоми полиминералӣ бунёд гарданд.

**Дараҷаи эътимоднокии натиҷаҳо.** Эътимоднок будани натиҷаҳои илмӣ ба даст омадаро усулҳои ҳозиразамони таҳлили физико-химиявӣ, апробатсияи онҳо дар форум, симпозиум, конференсияҳои сатҳҳои Байналхалқию Ҷумҳуриявӣ ва нашри мавод дар маҷаллаҳои илмӣ таҳассусӣ тавсиянамудаи КОА ҚТ ва дигар журналҳои илмӣ профили тасдиқ ва асоснок менамоянд.

**Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ.** Соҳаи таҳқиқ ба шиносномаҳои ихтисосҳои химияи ғайриорганикӣ ва химияи физикӣ аз рӯйи бандҳои зерин мувофиқат мекунад.

**1.4.2. Химияи ғайриорганикӣ.** Банди 1. Муайянкунии характери боҳамалоқамандии байни таркиб, сохт ва хосияти пайвастҳои ғайриорганикӣ (боби II). Банди 2. Коркарди усулҳои омӯзиши пайвастҳои ғайриорганикӣ (боби III). Банди 3. Тарзи ҳосилкунӣ ва омӯзиши структура

ва хосияти мавод дар асоси пайвастагиҳои ғайриорганикӣ (боби V). Банди 4. Омӯзиши табдилоти химиявӣ ва структуравӣ-фазагии пайвастиҳои ғайриорганикӣ дар зери таъсири муҳталиф (боби IV).

**1.4.5. Химияи физикӣ.** Банди 3. Назарияи маҳлуло, таъсири мутақобилаи байнимолекулавӣ ва байнизарравӣ (бобҳои II-V). Банди 5. Таҳқиқи қонуниятҳои равандҳои тағйирёбии структура ва таркиби системаҳои химиявӣ дар шароити майдони беруна, ҳароратҳо ва фишорҳо, таъсири якҷояи физикӣ ва физико-химиявӣ (боби III). Банди 6. Асосҳои физико-химиявии равандҳои технологияи химиявӣ (боби V).

**Саҳми шахсии доктараби дараҷаи илмӣ дар таҳқиқот** ин тартиб додани ҳадафҳои таҳқиқот, ҷамъоварӣ, коркард, таҳлил ва интишороти илмӣ, муайянкунии усулҳои, ки тавассути онҳо масъалаҳои гузошташуда роҳи ҳалли худро меёбанд, васли таҷҳизотҳои таҷрибавӣ, гузаронидани таҷрибаҳо дар ҳамаи марҳилаҳои омӯзиш, коркарди хулоса, маълумоти таҷрибавӣ ва ҳисобҳои он мебошанд.

**Тасвиб ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия.** Натиҷаҳои асосӣ ва муҳимтарини иҷрои таҳқиқоти диссертатсионии мазкур дар: конференсияҳои ҳарсолаи илмӣ-назариявии ҳайати профессорон ва омӯзгорони ДДОТ ба номи С. Айнӣ (Душанбе, 2010-2025); конференсияи Байналхалқии 60-солагии Академияи илмҳои Тоҷикистон (Душанбе, 2011); конференсияи Ҷумҳуриявии «Комплексообразование в растворах» (Душанбе, 2012); VI конференсияи Байналхалқии «Современные проблемы физической химии» (Донецк, 2013); конференсияи Байналхалқии «Экологобезопасные и ресурсосберегающие технологии и материалы» (Улан-Уде, 2014); VII конференсияи илмӣ-амалии «European Science and Technology» (Мюнхен, Германия, 2014); конференсияи илмӣи Байналхалқии «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий» (Душанбе-Тамбов, 2014); конференсияи Байналхалқии «Экологобезопасные и ресурсосберегающие технологии и материалы» (Улан-Уде, 2015); III конференсияи Байналхалқии «Global Science and Innovation» (Chicago, USA, 2014); VI конференсияи илмӣ-амалии

«Современные тенденции развития науки и технологии» (Белгород, 2015); конференсия илмӣ-амалии «Научные исследования и разработки в эпоху глобализации» (Киров, 2016); II конференсияи умумироҷиягии олимони ҷавон бо иштироки Байналхалқии «Достижения химии в агропромышленном комплексе» (Уфа, 2016); XI хониши Курнаковии таҳлили физико-химиявӣ ҳамчун XX съезди Менделеевӣ аз химияи умумӣ ва тадқиқӣ (Воронеж, 2016); конференсияи Байналхалқии «Термический анализ и калориметрии» (Санкт-Петербург, 2016); «II Байкальском материаловедческом форуме» (Улан-Уде, 2017); «III Байкальском материаловедческом форуме» (Улан-Уде, 2018); «XXI Менделеевском съезде по общей и прикладной химии» (Санкт-Петербург, 2019); конференсияи илмӣ Байналхалқии «Вопросы физической и координационной химии» (Душанбе, 2019); XV хонишҳои Нуъмонови «Современное состояние химической науки и использование её достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан» (Душанбе, 2019); конференсияи Байналхалқии илмӣ-амалии «Фундаментальные и прикладные исследования в науке и образовании» (Стерлитамак, 2020); конференсияи илмӣ-амалии Ҷумҳуриявии «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа» (Душанбе, 2021); Симпозиуми умумироҷиягии олимони ҷавон бо иштироки Байналхалқӣ «Физико-химические методы в междисциплинарных экологических исследованиях» (Москва, 2021); конференсияи Байналхалқӣ «Современные проблемы металлургической промышленности» (Душанбе, 2021); «IV-Байкальском материаловедческом форуме» (Улан-Уде, 2022); конференсияи илмӣ-амалии Ҷумҳуриявии «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа» (Душанбе, 2023); симпозиуми умумироҷиягӣ ва олимони ҷавони «Физико-химические методы в междисциплинарных исследованиях» (Севастополь, 2023); конференсияи илмӣ-амалии Байналхалқии «Развитие новых направлений в химии и химической технологии» (Душанбе, 2023); конференсияи Байналхалқии «Химическая наука и образование, проблемы и перспективы развития» (Махачкала, 2024); конференсияи илмӣ-амалии «Нақши химия ва саноати химиявӣ дар

саноатикунонии Тоҷикистон» (Душанбе, 2024); IV конференсияи Байналхалқии «Вопросы физической и координационной химии» (Душанбе, 2024); «XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии» (Сириус, 2024); XIX хонишҳои Нуъмоновӣ (Душанбе, 2024); конференсияи илмӣ-амалии Ҷумҳуриявӣ «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа» (Душанбе, 2025); «IX Булатовские чтения» (Красноярск, 2025); конференсияи Байналхалқии «Комплексные соединения и аспекты их применения» (Душанбе, 2025); конференсияи Байналхалқии илмӣ-амалии «Актуальные проблемы современной химии, решения и перспективы развития» (Денов, 2025); «V- Байкальском материаловедческом форуме» (Улан-Уде, 2025); конференсияи Байналхалқии «Пайвастиҳои комплекси ва ҷанбаҳои истифодабарии онҳо» (Душанбе, 2025) ва XX хонишҳои Нуъмоновӣ (Душанбе, 2025) муҳокима гардида, аз апрабатсия гузаштаанд.

**Интишорот аз рӯи мавзӯи диссертатсия.** Дар асоси кори диссертатсионӣ 118 маводди илмӣ нашр шудааст, аз ин теъдод: 3 монография, 3 нахустпатент, 73 мақола дар маҷаллаҳои тавсиянамудаи тақризшавандаи Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, Федератсияи Россия ва дигар маҷаллаҳои пойгоҳи байналхалқӣ, 39 фишурдаи мақолаҳо дар маводди форум, симпозиум ва конференсияҳои Байналхалқӣ ва Ҷумҳуриявӣ. Тахти роҳбарии доктараби дараҷаи илмӣ 2 нафар олимони ҷавон аз рӯи ихтисоси 6D060601 - Химияи гайриорганикӣ диссертатсияи доктори фалсафа (PhD) дифоъ намуда, сазовори дараҷаи илмӣ гардидаанд.

**Соҳтор ва ҳаҷми диссертатсия.** Диссертатсия аз муқаддима, 5 боб, 364 саҳифаи чопи компютерӣ, 123 расм, 91 ҷадвал, хулосаҳои умумӣ, тавсия ва замимаҳо иборат аст.

# БОБИ 1. АСОСҶОИ НАЗАРИЯВИИ УСУЛҶОИ ТАҲҚИҚИ СИСТЕМАҶОИ БИСЁРКОМПОНЕНТИИ МУОВИЗАИ НАМАКӢ (ШАРҶИ АДАБИЁТ)

## 1.1. Усули матритсавӣ тасвир намудани системаҳои бисёркомпонентаи намакӣ

Усулҳои геометрии тасвири системаҳои бисёркомпонентаи намакӣ то ба имрӯз ба ҳадди кофӣ таҳия ва дар таҳқиқи таҷрибавӣ амалӣ карда шудаанд [1-11]. Маълум аст, ки таркиби системаи дучанда бо порчаи хати рост, системаи секомпонента - бо шаклҳо дар ҳамворӣ - секунҷа ё квадрат (системаи сечандаи муовиза), системаи чоркомпонента - бо шакли сеченакаи фазоӣ - тетраэдр ё призмаи секунҷага (системаи чоркомпонентаи муовиза иборат аз шаш қисмҳои таркибӣ) тасвир карда мешавад.

Ҳангоми афзоиши шумораи компонентҳои система аз чор зиёдтар, истифодаи шаклҳои геометрии фазои реалӣ имконнопазир гардида, барои он аз шаклҳои бисёрченака истифода мебаранд. Дар ин ҳолат шаклҳои фазоӣ (политопҳо)-ро бо истифода аз тарҳрезии пайдарпайи онҳо ба ҳамвории нақшакашӣ истифода менамоянд.

Системаҳои химиявӣ одатан аз рӯи шумораи компонентҳо номгузорӣ мешаванд, ки он ҳамеша аз шумораи ионҳо ( $K^+ + A^-$ ) як адад камтар аст. Масалан, системаи  $A, B \parallel X, Y, Z$  - 6 - намак, 5 - ион, 4 - компонент - системаи чоркомпонента; системаҳои  $A, B \parallel X, Y, Z, T$  ё  $A, B, C, D \parallel X, Y$  - 8 - намак, 6 - ион, 5 - компонент - системаи панҷкомпонента ва ғайра мебошанд.

Андозаи политоп, ки диаграммаи таркибро маънидод мекунад, ба шумораи минуси як компонентҳо баробар аст. Муайянкунии компонентҳо дар сарчашмаҳои илмӣ тибқи усулҳои мувофиқи корҳои [12,13] тавсиф шудаанд. Барои системаҳое, ки шумораи тағйирёбандаҳои мустақили онҳо аз чор зиёд аст, муаллифони гуногун шумораи зиёди усулҳои тасвирро пешниҳод кардаанд. Аксарияти онҳо вариантҳои усули асосии координатаҳои барисентрӣ мебошанд, ки бо координатаҳои декартӣ

алоқаманданд (таркиб дар координатаҳои барисентрӣ ва хосият дар координатаҳои декартӣ ифода ёфтааст). Дар ин ҳолат, дар диаграмма мувозинатҳои ғайривариантӣ бояд бо нуқта (андоза 0), мувозинатҳои дивариантӣ - бо қачхат (андоза 2), тривариантӣ - бо сатҳ (андоза 3) ва ғайра тасвир карда шаванд. Диаграммаи ҳолатии системаи бисёркомпонента новобаста аз усулҳои таҳқиқ, бояд таносубҳои асосии зеринро дуруст инъикос намояд, дар акси ҳол компонентнокӣ номуайян боқи мемонад.

Рушди минбаъдаи роҳҳо ва усулҳои ратсионалӣ таҳқиқи СБК-и муовизаи обӣ-намакие, ки назариявӣ диаграммаҳои системаҳоро асоснок мекунад, тасвирашонро дар ҳамворӣ ба миён меоваранд ва онҳо метавонанд дар таҳқиқи экспрес-усулҳо, калкуляторҳои ҳисоббарор, компютер замина бошанд. Истифодаи усулҳои номбурда кори таҳқиқотчиёнро ба маротиб осон мегардонанд.

Усулҳои мувофиқ барои таҳқиқотчиён ва қобили истифода барои компютерҳо дар тасвири диаграммаҳои таркибии системаҳои муовизаи бисёркомпонента, чадвал-матритсаҳо мебошанд, ки дар онҳо муносибатҳои термодинамикӣ ва химиявӣ ҷойгир карда шудаанд. Ҳамзамон, чунин чадвал-матритсаҳо, тавре ки таҷрибаи таҳқиқот нишон медиҳад, воситаи кори муҳаққоқони экспериментатор буда, имкон медиҳанд, ки масъалаҳои асосии пешгӯии таъсири мутақобилаи химиявӣ дар системаҳои бисёркомпонента дуруст ва зуд муайян карда шаванд. Чадвали индексҳои қуллаҳо усули тасвири диаграммаҳои таркибии системаҳои муовиза мебошанд, ки ба қайди ададҳои диагоналҳои устувор, ки ба ҳар як қуллаи политоп (политоп дар шакли матритсавӣ) таъяс мекунад, асос ёфтааст [14]. Дар ҳатти уфуқӣ (сатр) ионҳои як аломат ва дар ҳатти амудӣ – ионҳои аломати дигар навишта мешаванд. Ҳамин тариқ, ҳучрачае, ки дар буриши сатр ва сутун ҷойгир аст, ба як намак мувофиқат мекунад. Оғози қаторҳо ва сутунҳо аз 0 ба рост ва поён бо тартиби афзоиши индексҳо ҷойгир мебошанд. Масалан, ба системаи сечандаи муовизаи мутақобилаи  $A, B \parallel X, Y$ , ки шакли таркиби он дар ҳамворӣ бо

квадрат тасвир шудааст (рас. 1, а.), ба ишораи индексҳои қуллаҳои I мувофиқат мекунад.

	X	Y
A	0	1
B	1	0

I

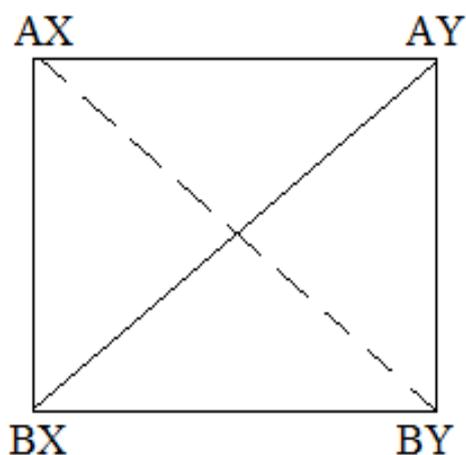
	X	Y	Z
A	0	1	2
B	2	1	0

II

Диагонали устувори AY-BX дар ҷадвали индексҳои қуллаҳо бо ду воҳид ифода карда мешавад, ки дар ҳучраҳои мувофиқ ба намакҳои AY ва BX ҷойгиранд. Системаи муовизаи чоркомпонентаи A, B || X, Y, Z, ки аз ҷиҳати геометрӣ дар намуди политопи шашкуллаи призмаи навъи I тасвир шудааст (рас. 1.1, б), метавонад бо ишораи индексҳои қуллаҳои II нишон дода шавад. Индекси 2, ки дар ҳучраҳои мувофиқ ба намакҳои AZ ва BX ҷойгир аст, маънои онро дорад, ки ба ин қуллаҳо ду диагонали устувор таъя мекунад (рас. 1.1, б). Индекси 1 нишон медиҳад, ки ба қуллаҳои AY ва BY як диагонали устувор рост меояд.

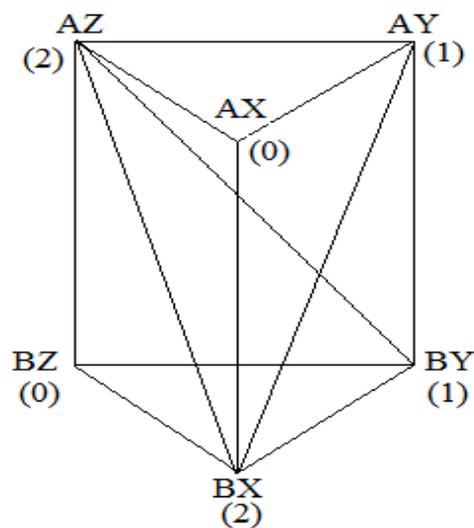
Индекси 0 шаҳодат медиҳад, ки намакҳои AX ва BZ ноустуворанд (чунин қуллаҳоро «озод» ё «сифрӣ» меноманд). Ҳамин тариқ, индексҳо метавонанд арзишҳои сифр ва ададҳои бутуни мусбат бошанд. Ҷамъи ададҳои ҳар як сатр ва ҳар як сутунҳо миқдори доимӣ - инвариант (бевариант) барои диаграммаҳои андозаи якхела мебошад. Агар дар рӯяҳои чоркунҷа диагоналҳои ноустувор гузаронида шаванд, онҳо ба диагоналҳои мувозинатӣ баръакс мебошанд, пас онҳо дар маҷмӯъ ҷадвали индексҳои қуллаҳои баръаксро барои тақсимои ғайримувозинатӣ ба вучуд меоранд. Арзиши максималии индексҳо дар он низ ба шумораи рӯяҳои чоркунҷае, ки ба қулла пайвастанд, баробар аст.

Азбаски ҳамаи қуллаҳои политоп баробарарзишанд, ҷамъи диагоналҳои устувор ва ғайримувозинатӣ барои ҳар як қулла бояд миқдори доимӣ ва ба шумораи квадратҳое, ки ба қулла пайвастанд, баробар бошад, яъне ба арзиши максималии индекс дар ифода мувофиқат кунад.



а)

Расми 1.1. а) - Хосиятҳои квадрати системаи сечандаи муовизаи А, В || X, Y



б)

Расми 1.1. б) - Призмаи таркибии системаи чоркомпонентаи А, В || X, Y, Z

Индексҳои қуллаҳо аз рӯи хосиятҳои термодинамикӣ дар системаҳои муовиза зич алоқаманданд. Хамин тавр, бузургии максималии индексҳо ба шумораи диагоналҳои мустақил ( $L$ ) ё бузургии чаҳоркаратаи «пуррагии таъсири мутақобила» ( $4R$ ) баробар аст ва метавонад аз рӯи муодилаи Радишев [4] муайян карда шавад.

$$L = 4R = (A-1)(K-1),$$

дар инҷо:  $A$  - адади анионҳо;  $K$  - адади катионҳои системаҳои муовиза.

Чадвали индексҳои қуллаҳо ба политопи бисёрченака, ки ҳамчун диаграммаи таркибии системаи бисёркомпонентаи муовиза мебошад, ба таври якхела мувофиқат мекунад ва ҳамаи зерсистемаҳо, ки онро ташкил медиҳанд, инъикос менамояд. Хамин тарик, ҳар як ҳуҷраи чадвал (ҳар як индекс) ба қуллаи муайяни политоп, намаки муайян мувофиқат мекунад, шумораи умумии ҳуҷраҳои як сутун ё сатр ба системаи дучандаи навъи А || X, Y ҷавобгӯй буда, шумораи онҳоро аз чадвал ба осонӣ муайян кардан мумкин аст. Квадрати системаҳои сегонаи мутақобила бо омезиши чор ҳуҷраи чадвал, ки дар паҳлӯи ҳам ё бо сатрҳо, ё сутунҳо ҷудо шудаанд, муайян карда мешаванд. Дар ин ҳолат, ба ду индекси калонтарин аз рӯи чамъ, ки дар тӯли диагонал ҷойгиранд, ҷуфти намакҳои устувортар

мувофиқат мекунанд. Дар чадвали индексҳо сатрҳо ва сутунҳо симплексҳо мебошанд, яъне секунҷаҳо, тетраэдрҳо, пентатопҳо ва дигар элементҳои геометрии система, ки дар онҳо таркибҳои диагоналі мавҷуд нестанд. Дар омезиши хучраҳои сатрҳо ва сутунҳои гуногуни чадвал шаклҳои мураккабтари геометрӣ, ки ба таркиби берунаи системаи омӯхташаванда дохил мешаванд, инъикос меёбанд. Масалан, ду сутун ё ду сатр ба призмаҳои навъи I мувофиқат мекунанд, муттаҳидшавии се сутун ва сатр (ба шарте, ки шумораи хучраҳо дар сутунҳо ва сатрҳо 3 бошад) – ба призмаҳои навъи II ва ғайра. Аз ин рӯ, чадвали индексҳои қуллаҳо ҳамаи унсурҳои маҳдудияти берунии политодро инъикос мекунад, ки ҳамчун диаграммаи таркиби системаи бисёркомпонентаи муовиза хизмат мерасонад. Реаксияҳои мубодилаи самтнок дар системаи муовиза аз рӯйи мавқеи диагоналҳои устувори рӯяҳои квадратиҳои системаҳои сегонаи мутақобила муайян карда мешаванд. Бинобар ин, ҳар қадар диагоналҳои бештар ба як қулла таъя кунанд, ҳамон қадар индекси қулла калонтар ва устувории намаке, ки қулла ба он мувофиқат мекунад, баландтар мегардад. Ва баръакс, ҳар қадар индекс хурдтар бошад, ҳамон қадар намаки мувофиқ ноустувор аст. Аз ин рӯ, намаки аз ҳама реаксияҳосилкунанда дар ин система он намаке ҳисобида мешавад, ки индексиаш ба сифр баробар аст. Маҳз маънои физикии индексҳои қуллаҳо дар ҳамин асос меёбад.

**Матритсаҳои инсидентӣ (ҳамсоягӣ).** Дар чадвалҳои индексҳои қуллаҳо, робитаҳои байни қуллаҳои политоп ба таври возеҳ ифода наёфтаанд. Аз ин рӯ, барои он усулҳои таҳқиқи системаҳои бисёркомпонента, ки дар онҳо ошкор кардани ин робита зарур аст, чадвалҳои индексҳои қуллаҳо чандон мувофиқ нестанд. Барои чунин ҳолатҳо матритсаи инсидентӣ [15, 16] мувофиқтар аст. Дар қаторҳои амудӣ ва уфуқии матритсаи ҳамсоягӣ намакҳо ё ҳама гуна пайвастаҳое, ки дар системаи мавриди назар мавҷуданд, навишта мешаванд. Индекси 1 дар буриши сатр ва сутун бо чуфти намакҳо гузошта мешавад, ки бо ҳамдигар тавассути хатти умумӣ пайвастанд. Масалан, барои системаи сечандаи

муовизаи А, В || X, Y бо диагонали устувори AX - BY матритсаи инсидентӣ I шакли зеринро дорад.

	AX	AY	BX	BY
AX	1	1	1	1
AY	1	1	0	1
BX	1	0	1	1
BY	1	1	1	1

I

Ҳар як қулла бо худ ва бо қуллаи дигаре, ки иони умумӣ дорад (ин ду қулла системаи дукомпонентаро ташкил медиҳанд), ҳамсоя ҳисобида мешавад. Қуллаҳое, ки бо диагонали устувор пайвастанд, онҳо низ ҳамсоя мебошанд. Элементҳое, ки ба сифр баробаранд, ба ҷуфти қуллаҳои дар ҳамсоягӣ набуда, мувофиқат мекунанд. Матритсаи ҳамсоягӣ метавонад барои системаҳо бо ҳама гуна шумораи пайвастаҳо ва компонентҳо тартиб дода шавад. Масалан, системаи сечандаи муовизаи Li, K || SO<sub>4</sub>, WO<sub>4</sub> [17], ки дар он ду пайвастагӣ ба вуҷуд меояд: D<sub>1</sub> таркиби Li<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>·K<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> ва D<sub>2</sub> таркиби Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, метавонад бо матритсаи ҳамсоягии II тасвир гарданд.

	Li <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Li <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
Li <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	1	1	1	0	1	1
Li <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	1	0	1	0	1
K <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	1	0	1	1	1	0
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1	1	1	0	1
D <sub>1</sub>	1	0	1	0	1	1
D <sub>2</sub>	1	1	0	1	1	1

II

Матритсаҳои ҳамсоягӣ бо назарияи графҳо зич алоқаманданд ва махсусан барои триангулятсияи диаграммаҳои таркибии системаҳои бисёркомпонентаи муовиза бо пайвастҳои комплексӣ хубт истифода мешаванд.

**Матритсаҳои чуфти намакҳои муовиза.** Барои аксари таҳқиқотхое, ки барои муайян кардани таъсирҳои термохимиявӣ дар системаҳои бисёркомпонента алоқаманданд, аҳамияти матритсаҳои инсидентӣ хеле баланданд. Зеро онҳо хучраҳоеро дар бар мегиранд, ки ба системаҳои дучанда мувофиқат мекунанд, реаксияҳои мубодиларо бошад инъикос намекунанд. Шакли кӯтоҳшудаи матритсаҳои инсидентӣ барои системаҳои дучандае, ки қисман хорич карда шудаанд, ин матритсаҳои чуфтҳои муовизаи намакҳо мебошанд, ки аз ҷониби муаллифони [18, 19] таҳия шудаанд. Онҳо аз рӯи намуди матритсаҳои элементарӣ сохта шудаанд. Яъне, чунин матритсаҳо танҳо индексҳои 0 ва 1-ро дар бар мегиранд. Индекси 0 дар ин ҳолат мавҷуд набудани чуфти устувор ё таъсири мутақобилаи химиявиро ифода мекунад, индекси 1 - бошад, ифода мекунад, ки дар система чуфти устувори намакҳо мавҷуд аст. Ҳамин тариқ, барои системаи сечандаи муовизаи  $A, B \parallel X, Y$ , ки дар он реаксияи  $AX + BY = AY + BX$  ба амал меояд, матритсаи чуфтҳои мутақобилаи намакҳо шакли зеринро дорад (I).

	BX	BY
AX	0	0
AY	1	0

I

	BX	BY	BZ
AX	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$
AY	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$
AZ	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$

II

Матритсаи чуфтҳои мутақобилаи намакҳои системаи чоркомпонентаи муовизаи  $A, B \parallel X, Y, Z$  дар намуди умумӣ шакли II-ро ташкил медиҳад, ки дар он индексҳои  $a_{ij}$  метавонанд қимати 0 ё 1-ро қабул кунанд. Дар системаҳои муовизаи чоркомпонентае, ки дар онҳо комплексҳосилшавӣ мавҷуд нест, се реаксияи мубодила ба амал меояд.

Масалан, барои системаи  $A, B \parallel X, Y, Z$ :  $AX + BY = AY + BX$ ;

$AX + CY = AY + CX$ ;  $BX + CY = BY + CX$ .

Мувофиқи ин, шумораи индексҳои 1, ки чуфтҳои устувори намакҳоро инъикос мекунанд, дар муқоиса бо системаи сечандаи муовиза то се адад

зиёд мешавад. Чойгиршавии индекси 1 дар матритсаи чуфтҳои мутақобилаи намакҳо бо шартҳои зерин муайян карда мешавад:

1. Индекси 1 наметавонад ба чуфти намакҳо бо катионҳои якхела (навъи 3||2) ё анионҳои якхела (навъи 2||3) тааллуқ дошта бошад, яъне  $a_{11}=0$ ,  $a_{22}=0$ ,  $a_{33}=0$ .

2. Индекси 1 метавонад танҳо ба яке аз ду чуфти намакҳо бо чуфтҳои якхелаи анионҳо (навъи 2||3) ё катионҳо (навъи 3||2) тааллуқ дошта бошад, яъне агар  $a_{12}=1$  бошад, пас  $a_{22}=0$  ва ғайра.

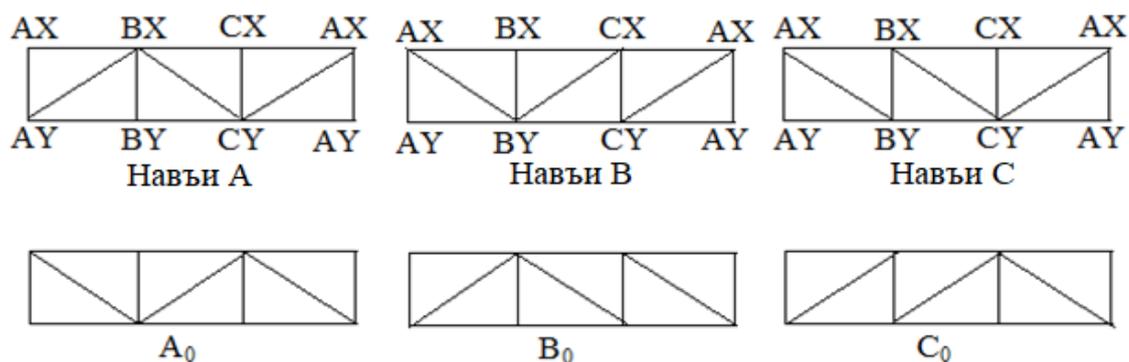
3. Дар яке аз сатрҳо ва дар яке аз сутунҳо индекси 1 бояд ду маротиба такрор шавад, ин далели он аст, ки танҳо дутои аз се реаксияи муовиза дар системаи чоркомпонента мустақил буда, сеюмаш аз дутои дигар бармеояд.

Бо назардошти ин талаботҳо, шаш намуди матритсаҳои чуфтҳои мутақобилаи намакҳои системаҳои чоркомпонентаи муовиза барои ҳар ду катори 2||3 ва 3||2 ба даст оварда мешаванд (ҷадв. 1.1). Дар ҷадвали 1.1 инчунин робитаи байни матритсаҳои системаҳои сечанда ва чоркомпонентаи муовиза нишон дода шудааст.

Мувофиқи шумораи реаксияҳои муовиза, ки дар системаҳои бисёркомпонента ба амал меоянд, дар матритсаи чуфтҳои мутақобилаи намакҳои системаи панҷкомпонентии  $A, B, C, D \parallel X, Y$  дар 16 хучра 6 адад воҳид чойгир мешавад, дар матритсаи чуфтҳои мутақобилаи намакҳои системаи шашгонаи мутақобила аз 10 намак – 10 адад воҳид дар 25 хучра ва ғайра.

Матритсаҳое, ки бо ҳарфҳои якхела ишора шудаанд, ба ҳамдигар мутақобиланд: онҳо ҳангоми иваз кардани катионҳо (навъи 2||3) ё анионҳо (навъи 3||2) аз якдигар ба вучуд меоянд. Матритсаҳои элементарии системаҳои қаторҳои 3||3, 3||4 ва ғайра метавонанд ҳамчун маҷмӯи шумораи муайяни матритсаҳои чуфтҳои мутақобилаи намакҳои системаҳои чоркомпонентаи муовиза ё дар шакли як матритсаи сеченака пешниҳод карда шаванд. Масалан, барои системаи панҷкомпонентаи муовиза аз 9 намак  $A, B, C \parallel X, Y, Z$  матритсаи сеченака шакли дар расми 3 нишондодашударо дорад. Ҳар як хучра дар матритса ба системаи сечандаи





Расми 1.3. – Комплексои стабилӣ системаи чоркомпонентаи муовиза

## 1.2. Усулҳои триангулятсияи диаграммаҳои системаҳои бисёркомпонентаи муовизаи намакӣ

Триангулятсия (таксимкунӣ)-и политопи  $n$ -ченака, ки диаграммаи таркибро тасвир мекунад, қадами аввал дар омӯзиши назариявии системаҳои бисёркомпонента мебошад. Бо роҳи триангулятсия элементҳои ситораи сингулярӣ ва ситораи номувозинатӣ, инчунин элементҳои табдилёбӣ, ки реаксияҳои мубодиларо инъикос мекунанд, муайян карда мешаванд. Дар натиҷаи таксимкунии шакли бисёрченака симплексҳо ҳосил мешаванд, ки дорои хосиятҳои зерини муайян мебошанд: таркиб, ҳарорати гузариш ва таъсири мутақобилаи химиявӣ, ки вобаста ба вазифаҳои технологӣ минбаъд бо усулҳои гуногуни таҳлили физико-химиявӣ ба таҳқиқоти таҷрибавӣ дучор мегарданд ва геометрияи шаклҳои комплексҳо ва шаклҳои соддатарин-симплексҳо фарқ мекунад. Масалан, квадрат шакли-комплекс аст, ки онро ба ду секунҷа-шакли симплекс таксим кардан мумкин аст (рас. 1.1, а). Ба таври анологӣ призмаи сеқуллага ба ду шакли диагонал ҷудо шуда, се симплекс ва тетраэдрро ташкил мекунад ва ғ. (рас. 1.1, б). Шаклҳои геометрӣ барои тасвири комплекси диаграммаи системаи муовиза лозим мебошад. Таксимкунии комплексҳо ба симплексҳо бо элементҳои секунҷаи устувор мувофиқи самти реаксияи мубодила анҷом дода мешавад, ки он дар навбати худ, аз як қатор омилҳо: муносибатҳои энергетикӣ, кристаллохимиявӣ ва геометрӣ, инъикоси ассотсиатсия ва диссотсиатсияи молекулаҳо, комплексҳосилкунӣ ва дигар хосиятҳо вобаста аст. Масъалаи муҳим дар таҳқиқи системаҳои

бисёркомпонентаи муовиза, тақсимкунии геометрии диаграммаҳои таркиб мебошад, ки бо политопҳои  $n$ -ченака тасвир карда мешаванд. Бори аввал масъалаи тақсимкунӣ аз ҷониби Курнаков [1] баррасӣ шуда буд, ки дар боби «Топологияи диаграммаи мувозинати фазагии системаи химиявӣ» робитаи байни таркиби фазавӣ ва асоси координатии диаграммаҳои таркиб – хосиятро муқаррар кард ва тақсимкунии системаҳои оддии чоркомпонентаро нишон дод. Ақидаҳои Н.С. Курнаков сипас дар корҳои Радишев [3], ки усулҳои геометрии тақсимкуниро пешниҳод карда буд, инкишоф дода шуданд. Истифодаи матритсаҳо барои тақсимкунии диаграммаҳои таркибии системаҳои бисёркомпонентаи муовиза қадами минбаъда дар роҳи ҷустуҷӯи усулҳои ратсионалии таҳқиқи онҳо гардид.

**Тақсимкунии призмаҳои навъи I - диаграммаҳои таркибии системаҳои муовизаи диагоналии навъи  $2||n$ .** Системаҳои муовиза бе комплексҳосилкунӣ кам вомерҳанд. Комплексҳосилкунӣ яке аз омилҳои мебошад, ки ба самти реаксияи муовиза дар ҳалшавии намакҳо таъсир мерасонад. Ҳамзамон, диаграммаи таркибӣ ва тақсими он, ки имкон медиҳад шумораи ҳуҷраҳои устуворро муайян намуда, аз ин рӯ, шумораи нуқтаҳои тағйирнаёбандаро муқаррар кунад, мураккаб мегардад. Зеро ҳуҷраҳои устувор интиқолдиҳандаи эвтектикаҳо мебошанд. Ҳангоми омӯзиши системаҳои муовизаи аз 1 то 5 ва зиёда аз он компонентҳо иборатбуда тақсимкунӣ аҳамияти махсус касб мекунад. Чунки, намуд ва хусусияти элементҳои геометрии диаграмма ҳамчун аломатҳои гардишпазирӣ ё реаксияи мубодилаи барнагарданда ва тағйирёбии мувозинат хизмат карда, моҳияти равандҳои химиявии дар системаҳои бисёркомпонента баамалояндаро ошкор менамояд. Тақсимкунӣ омӯзиши системаҳои бисёркомпонентаро ба таври назаррас осон мекунад. Диаграммаи таркибии политопи  $(n-1)$  - ченака барои системаи муовизаи иборат аз  $n$  - компонентҳо ба ҳуҷраҳои устувор тақсим мешавад, ки интиқолдиҳандаи нуқтаҳои эвтектикӣ ва муайянкунандаи намакҳои мебошанд, ки дар мувозинатҳои эвтектикӣ ба сифати фазаҳои саҳт

иштирок мекунад. Аз ҷониби В.И. Посипайко таҳқиқоти таҷрибавӣ ва назариявӣ як қатор системаҳои муовиза бо пайвастагиҳои дучанда, аз ҷумла системаҳои сечандаи муовиза:  $Li, K \parallel SO_4, BO_2$ ;  $Li, K \parallel WO_4, BO_2$ , системаи чоркомпонентаи муовизаи  $Li, K \parallel Cl, SO_4, WO_4$  [21] ва системаи панҷкомпонентаи мубодилаи аз 8 намак иборатбуда  $Li, K \parallel Cl, SO_4, WO_4, BO_2$  [22] гузаронида шудааст. Ин имкон дод, ки масъалаи тақсимбандии шаклҳои бисёрченака, ки барои тасвири диаграммаи таркибии системаҳои бисёркомпонентаи муовиза заруранд, на танҳо дар ҳолати соддатарин, балки дар сурати мавҷудияти пайвастаҳои дучанда байни компонентҳо [7] баррасӣ шавад. Дар ин ҳолат, системаҳои муовизаи навъи диагоналӣ мавриди таҳқиқ қарор мегиранд.

**Усули триангулятсияи диаграммаҳои таркибӣ дар асоси назарияи графҳо.** Дар шакли умумӣ масъалаи триангулятсияи диаграммаҳои таркибии системаҳои бисёркомпонента бо пайвастаҳои комплексӣ аз ҷониби олимон [23] бо истифода аз матритсаҳои инциденсия ва назарияи графҳо ҳал карда шудааст. Лоихаи махсуси политопи барҷастаи  $n$ -ченака - диаграммаҳои таркибии системаи  $(n+1)$  - компонентаро дида мебароем. Схема бояд ҳамаи диагоналҳо ва буришҳоро дар бар гирад, ки шартҳои худудии мавҷудияти комплекси симплитсиалии политопи додашуда (полиэдра)-ро муайян мекунад. Ин маълумотҳоро қаблан бо ёрии маълумотнома ё ба таври таҷрибавӣ ба даст овардан лозим аст. Баъдан, бо доштани комплекси симплитсиалии тайёр, симплексҳоро муайян мекунем, ки аз он иборат аст. Барои ин, проексияи полиэдри  $n$ -ченакаро бо диагоналҳо ва буришҳо граф  $L(X, U)$ , яъне маҷмӯи қуллаҳо ва маҷмӯи канорҳо, ки дар байни онҳо воқеӣ муайян шудааст [24], мешуморем. Азбаски ҳар як симплекси  $n$ -ченакаи тақсимкунӣ  $n+1$  қулла дорад, ки дутогӣ бо канорҳо пайваस्त мешаванд, ба ҳар яки онҳо  $L(X, U)$  зерграфи пурраи дорой  $n+1$  қулла мувофиқат мекунад. Гузориши масъала, дар шароити додашудаи сарҳадии мавҷудияти комплекси симплитсиалӣ (барои полиэдри  $n$ -ченакаи додашуда буришҳо дар фазои  $n$ -ченака ва дар ҳамаи фазоҳо ченаки камтар маълуманд), зерграфҳои пурраи дорой  $n + 1$  қулла

максималӣ мебошанд. Алгоритмҳои муайян кардани зерграфҳои пурраи максималии графҳои  $L(X, U)$  дар қори [24] оварда шудаанд. Барои ёфтани онҳо, мо ҳосили суммаҳоро тартиб медиҳем. Ҳар як сумма ҷуфти қуллаҳои ғайриҳамсоия гуногуни графҳои  $L(X, U)$  мебошад. Мувофиқи назарияи графҳо ин ҳосилҳоро метавон ба таври зерин навишт:

$$\bar{P}_L = \bar{P}_L(x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod (x_i + x_j) \{ \bar{ij} | i \neq j \& \neg j(x_i, x_j) \}, \quad (1)$$

Дар ин ҷо:  $\bar{ij}$  - ҷуфти бетартиби индексҳо;  $\&$  - аломати мантиқии зарб «И»;  $\neg$  - аломати мантиқии амалиёт «НЕ»;  $j$  - таснифи омехташавӣ.

Барои графҳои  $L(X, U)$ , ки ба диаграммаи таркибии системаи муовизаи панҷкомпонентаи  $A, B \parallel X, Y, Z, T$  бо ду пайваस्ताгии комплексӣ  $D_1$  ва  $D_2$  изоморфӣ аст, ҳосил намуди зеринро дорад:

$$\bar{P}_L = (x_1 + x_2)(x_2 + x_6)(x_2 + x_7)(x_2 + x_{10})(x_3 + x_6)(x_3 + x_7)(x_4 + x_5)(x_4 + x_6)(x_4 + x_7)(x_4 + x_9)(x_4 + x_{10}) \times (x_5 + x_{10})(x_7 + x_{10}). \quad (2)$$

Барои қуллаҳои  $x_1, x_6, x_8, x_9$  дар графҳои  $L$  қуллаҳои ҳамсоия, ки индекси қалонтар доранд, мавҷуд нестанд, аз ин сабаб онҳо ба маҳсул дохил намешаванд. Тибқи қонуни фурӯбарӣ [38] дорем:

$$(x_1 + x_2)(x_1 + x_3) \dots (x_1 + x_p) = x_1 + x_2 x_3 \dots x_p, \quad (3)$$

Дар ин асос муттаносибии 2-ро мумкин аст, дар шакли зерин навишт:

$$\bar{P}_L = x_2 x_3 x_4 x_5 x_7 + x_2 x_4 x_5 x_6 x_7 + x_4 x_5 x_6 x_7 x_{10} + x_5 x_6 x_7 x_9 x_{10} + x_2 x_3 x_4 x_5 x_9 + x_2 x_5 x_4 x_9 x_{10} \quad (4)$$

Барои ҳар як ифодаи ҷамъшаванда қуллаҳоеро, ки ба он дохил намешаванд, менависем ва муайян мекунем, ки зерграфҳои пурраи максималии  $L(X, U)$  аз зермаҷмӯаҳои қуллаҳои зерин ба амал меоянд:

$$\{x_1 x_6 x_8 x_9 x_{10}\}, \{x_1 x_3 x_8 x_9 x_{10}\}, \{x_1 x_2 x_3 x_8 x_9\} \\ \{x_1 x_2 x_3 x_4 x_8\}, \{x_1 x_6 x_7 x_8 x_{10}\}, \{x_1 x_5 x_6 x_7 x_8\}.$$

Ҳамин тариқ, графҳои  $L$  шаш зерграфҳои пурраи максималӣ дорад, ки ҳар кадоми онҳо дорои панҷ қулла мебошад. Ба ҳар як қуллаи граф намакҳои муайяни системаи муовизаи таҳқиқшаванда мувофиқат мекунанд. Дар асоси назарияи графҳо методология таҳия ва қоидаҳои умумӣ бароварда шудаанд, ки онҳо имкон медиҳанд, бе истифодаи мафҳумҳои мураккаби геометрии бисёрченака, триангулятсияи диаграммаҳои таркибии

системаҳои муовизаро бо қариб ҳар гуна миқдори компонентҳо ва пайвастаҳо анҷом диҳанд. Ин усулро барои химик-таҷрибаомӯзгор равандҳои технологиро дастрас мегардонад ва масъалаи асосии таҳқиқи системаҳои муовизаи 4, 5, 6, 7 компонент бо пайвастаҳои комплексӣ - масъалаи триангулятсияи диаграммаҳои таркибии онҳоро ҳал менамояд.

### **1.3. Усули конверсионии таҳқиқи системаҳои бисёркомпонентаи муовизаи намакӣ**

Барои таҳлили амиқтар ва ҳамаҷонибаи системаҳои муовизаи намакӣ омӯзиши танҳо усули ситораҳои сингулярӣ ва номувозинатӣ кофӣ нест. Моҳияти равандҳои химиявии мубодила дар системаҳои муовизаро он шаклҳои геометрии диаграммаҳои ҳолат инъикос мекунанд, ки ҳам ба комплексҳои стабилӣ ва ҳам ба комплексҳои метастабилӣ тааллуқ доранд. Чунин шаклҳои геометрии умумӣ барои ситораҳои сингулярӣ ва номувозинатӣ шаклҳои конверсия номида мешаванд.

Равандҳои конверсионӣ алоқамандии химиявиро дар системаҳои муовизаи иборат аз  $n$  – компонентҳо ба таври васеъ фаро мегиранд, ки аз ҷумлаи онҳо реаксияҳои мубодила бо таъсири мутақобила, комплексҳосилшавӣ, ба қабатҳо ҷудошавӣ, пайдоиши маҳлулҳои саҳт ва ғайраҳо мебошанд. Маълумоти ибтидоиро дар бораи шаклҳои конверсия В.П. Радишев додааст, ки истилоҳи «нуқтаи конверсияи пурра»-ро барои конверсияи сечанда ва «хатҳои конверсионӣ»-ро барои системаҳои муовизаи чоркомпонента амалӣ кардааст. Ҷ шаклҳои конверсияи секунҷаҳои меҳварии системаҳои муовизаи панҷкомпонентаи аз 9 намак иборатбударо баррасӣ намуда, қисмҳои алоҳидаи фигураҳои конверсияи шаклҳои буриши системаҳои аз 8 ва 9 намак иборатбударо муайян кардааст [3].

Дар таҳқиқотҳои минбаъда рушди шаклҳои конверсия аз ду самт сурат гирифтааст. Санҷиши таҷрибавии конверсияи шаклҳои асосии 9 ва 12 намаки онҳо [10, 25-27] ва тадбиқи амалии ифодаҳои конверсияи

шаклҳои буриши системаҳои аз 8, 9, 10, 12 ва ғайра намакҳо иборатбуда мебошад [28].

Таҳқиқотҳои таҷрибавӣ нишон доданд, ки маълумоти пурратарро оид ба системаҳои бисёркомпонентаи намакӣ фигураҳои конверсияи шаклҳои буриш медиханд, ки сохтори геометрии онҳо бо хосиятҳои термодинамикӣ ва дараҷаҳои диагоналҳои устувор зич алоқаманд аст.

**Моҳияти усул.** Таҳқиқи системаи муовиза бо усули конверсионӣ аз муайян кардани фигураи конверсияи шаклҳои буриши ситораҳои сингулярии система оғоз мешавад. Ҳар як фигураи конверсия аз ҷиҳати геометрӣ маҷмӯи нуктаҳо, хатҳо, майдонҳо ва ҳаҷмҳоеро ифода мекунад, ки барои ситораҳои сингулярӣ ва номувозинатии система умумӣ мебошанд. Тасвири фигураҳои конверсия дар ҳамворӣ граф [24] мебошад. Миқдори шаклҳои геометрии фигураҳои конверсия аз мураккабии система вобаста аст. Дар ин ҳолат, фигураи конверсияи системаи мураккабтар ҳамаи фигураҳои конверсияи системаҳои дараҷаи пасттарро, ки ба системаи таҳқиқшаванда дохил мешаванд, дар бар мегирад. Сохтори геометрии фигураҳои конверсия (ҷадв. 1.1) ба принсипи мувофиқаи Н.С. Курнаков [1, 29] итлоат мекунад, ки онро метавон ҳамчун аз диаграммаҳои конверсияи системаҳои бо шумораи камтари компонентҳо, ки ба таркиби он дохил мешаванд, баррасӣ кард. Дар ин ҳолат тасвири муайяни геометрӣ ба алоқамандии химиявӣ дар системаҳои ченаки муайян мувофиқат мекунад. Масалан, фигураи конверсияи системаи панҷкомпонентаи муовизаро, ки иборат аз 8 намак мебошад, шаклҳои конверсияи системаҳои секомпонентаи муовизаро дар бар мегирад (ҷадв. 1.1).

**Ҷадвали 1.1. – Сохтори геометрии шаклҳои конверсии системаҳои  $2||n$**

Система		Адади шаклҳои геометрӣ					
Қатор	Адади намак	Нукта	Хат	Секунҷа	Чоркунҷа	Призма	Тетраэдр
2  2	4	1	-	-	-	-	-
2  3	6	3	2	-	-	-	-
2  4	8	6	8	2	1	-	-
2  5	10	10	20	10	5	2	2

Дар асоси принципи мувофиқат ёфтани фигураҳои конверсияи шаклҳои буриш метавонад бо роҳҳои геометрӣ, термохимиявӣ, матритсавӣ, алгоритмӣ ва таҳияи барномаҳо амалӣ карда шаванд. Пас аз ёфтани фигураи конверсия, таҳлили назариявии он гузаронида мешавад, ки онҳо: пешгӯии реаксияҳои мубодила; табиати фазаҳо бо хосиятҳои химиявиашон дар диаграммаҳои ҳолати шаклҳои конверсионӣ бо муайян кардани ҳаҷми кристаллизатсия мустақиман дар диаграммаи ҳолати системаи омӯхташаванда; бо интихоби қисмҳои алоҳидаи диаграммаи ҳолати система барои омӯзиши таҷрибавӣ (мувофиқи вазифаҳои технологии ҳалшаванда) мебошанд.

**Усули геометрӣ.** Методикаи муайянкунии геометрии фигураҳои конверсияи шаклҳои буриши системаҳои бисёркомпонентаи муовизаи намакӣ дар намуди зерин ифода меёбад.

1. Ситораҳои сингулярӣ ва номувозинатии системаи омӯхташаванда муайян шуда, шаклҳои буриши онҳо пайдо карда мешаванд.

2. Буришҳои чуфт-чуфти шаклҳои буриши ба ҳамдигар мувофиқ гузаронида шуда, шаклҳои конверсия, ки ҳангоми чунин буриш ба вуҷуд меоянд, муайян мешаванд.

3. Шаклҳои конверсияи ёфташуда ба фигураи конверсия пайваст мешаванд.

**Усули термохимиявӣ.** Азбаски фигураи конверсияи системаи мураккаби бисёркомпонента ҳамаи шаклҳои геометрии системаҳои дараҷаи пастро дар бар мегирад, онро метавон аз рӯи шаклҳои конверсияи системаҳои таркибдиҳандаш ба даст овард. Роҳи муайянкунии фигураҳои мураккаби конверсия аз хатҳои конверсионии системаҳои чоркомпонентаи муовизаи иборат аз 6 намак, ки хеле содда муайян карда мешаванд, махсусан гуворо аст. Методика дар он аст, ки хатҳои конверсионии системаҳои муовизаи чоркомпонента, ки ба системаи мавриди баррасӣ тааллуқдошта, пайдо карда мешаванд ва сипас ин хатҳо мувофиқи таносубҳои термохимиявӣ дар система пайваст мегарданд. Усули термохимиявии муайянкунии фигураҳои конверсиоро дар мисоли системаи

муовизаи панҷкомпонентаи иборат аз 9 намак дида мебароем. Масалан, системаи Na, K, Ba || F, MoO<sub>4</sub>, WO<sub>4</sub> [30] ба намуди термохимиявӣ тааллуқ дорад.

Фигураи конверсияи тетраэдрҳои буриши системаҳои муовизаи панҷкомпонентаи қатори 3 || 3 намуди термохимиявӣ В А бо нӯҳқуллагӣ, ки аз ҳашт секунҷаи дар ҳамвориҳои гуногуни фазои сеченака ҷойгиршуда иборат аст, тасвир мешавад [1]. Қисми асосии ин фигураро хатҳои ташкил медиҳанд, ки ба фигураҳои конверсияи системаҳои муовизаи чоркомпонентаи аз 6 намак иборатбуда мувофиқанд. Ин хатҳо нӯҳ қуллаи фигураро мепайванданд (хатҳои 1-3-5, 5-7-2, 6-8-2, 1-6-4, 4-9-7 ва 3-9-8). Хатҳои 5-9, 6-9, 5-6 ва 7-8 хосанд, ки алоқамандии намакҳоро дар системаи мутақобилаи панҷкомпонентаи аз 9 намак иборатбуда тавсиф мекунанд. Хатҳои 8-9, 6-9 ва 5-6 секунҷаи асосии устувори системаро бурида мегузаранд, хати 7-8 секунҷаи асосии номувозинатиро бурида мегузаранд.

Натиҷаҳои фазаҳосилшавӣ ва ҳалшавандагиро дар дигар системаҳои химиявӣ намакӣ, металлӣ, оксидӣ ва обӣ-намакиро, ки анион ва катионҳои гуногун доранд, дар қорҳои [31-39] мушоҳида кардан мумкин аст.

#### **1.4. Муайянкунии комплексҳои фазагии системаҳои химиявӣ бо усули транслятсия**

Усулҳои классикии сохтани диаграммаҳои комплексҳои фазавӣ (гудохташавӣ, элекргузaronӣ, барқгузаронӣ, кашиши сатҳӣ ва ҳалшавӣ), чунон ки нишон дода шуд, барои СБК кам мувофиқанд. Усули транслятсия аз усулҳои болозикр барои сохтани диаграммаҳои мувозинатҳои фазавӣ СБК [40-42], ки дар зербобҳои аввала муҳокима шудаанд, мувофиқтар аст. Аслан, он ба ҳама намудҳои системаҳои бо адади компонентнокии 4 ва бештар аз он доранд, татбиқшаванда мебошад. Маълумотҳои ибтидоӣ барои сохтани диаграммаҳои мувозинатҳои фазавӣ системаҳо бо адади компонентҳои  $n+1$  системаҳои ҷузъӣ (зерсистемаҳо) бо адади компонентҳои  $n$  мебошанд, ки ба таркиби системаи умумии аз  $n+1$

компонентҳо иборатбуда дохил мешаванд. Амалан, ҳамчун маълумоти ибтидоӣ барои сохтани диаграммаҳои мувозинатҳои фазавии СБК метавонанд диаграммаҳои мувозинатҳои фазавии системаҳои 3-компонента ва 4-компонента хизмат кунанд. Усулҳои сохтани диаграммаҳои мувозинатҳои фазавии системаҳои се-чоркомпонента хуб таҳия шудаанд. Барои бисёре аз системаҳои воқеии се ва чоркомпонента диаграммаҳои мувозинатҳои фазавӣ пештар бо усулҳои гудохташавӣ ва ҳалшавӣ сохта шудаанд. Гузаронидани таҳқиқотҳои иловагии таҷрибавӣ ё васеъ кардани усули транслятсия ба системаҳои ҷузъӣ ифода мекунанд, ки то ҳол маълумотҳои пурра оид ба он мавҷуд нестанд. Омили маҳдудкунандаи татбиқи усули транслятсия пайдоиши фазаҳои саҳт дар системаи умумӣ дар асоси пайвастаҳои химиявӣ мебошад, ки  $(n+1)$  компонент доранд. Пайдоиши чунин пайвастаҳо усули дарёфти нуқтаҳои нонвариантиро [43] мураккаб мегардонад, зеро дар асоси онҳо метавонанд фазаҳои саҳти нав, ки дар системаҳои ҷузъӣ номаълуманд, кристалл шаванд. Пайвастаҳои аз се ва чор компонент иборатбуда дар СБК-ҳои анъанавӣ, ки бо усулҳои АТФХ омӯхта мешаванд, маълуманд. Аммо, пайвастаҳои таркиби чоркомпонентагӣ кам вомерхӯранд, пайвастаҳои таркиби панҷкомпонента боз ҳам камтар ва пайвастаҳои таркиби мураккабтар қариб дида намешавад [44]. Татбиқи усули транслятсия ба сохтани диаграммаҳои мувозинатҳои фазавӣ дар асл ба муайян кардани нуқтаҳои нонварианти дар системаи аз  $(n+1)$  компонент иборатбуда аз рӯйи нуқтаҳои нонварианти дар зерсистемаҳои ҷузъии аз  $n$  компонент иборатбуда оварда мерасонад. Нуқтаҳои нонварианти дар системаи  $(n+1)$  бо усули пайвастшавии нуқтаҳои нонварианти дар системаҳои ҷузъӣ пайдо карда мешаванд [45]. Нуқтаҳои нонвариантии системаҳои хусусии гуногунтаркиб пайваст карда мешаванд. Ба пайдоиши нуқтаи нонварианти дар системаи аз  $(n+1)$  компонент иборатбуда комбинатсияи нуқтаҳои нонвариантии системаҳои ҷузъии гуногунном, маҷмӯи фазаҳои саҳти мувозинатӣ, ки ба қоидаи фазаҳо мувофиқанд, ҷавобгӯ аст. Ҳар як нуқтаи

нонвариантии системаи ҷузъӣ метавонад як ё якчанд маротиба дар пайвастагӣ бо нуқтаҳои нонвариантии дигар системаҳои ҷузъӣ иштирок намояд. Ин ба транслятсияи он дар шакли хатҳои моноварианти дар як ё якчанд самт ба ҳудуди таркиби умумии система мувофиқат мекунад. Аз таҷрибаи мо дар сохтани диаграммаҳои мувозинатҳои фазаӣ бо усули транслятсия бармеояд, ки охирин нуқтаи нонвариантии транслятсия шаванда дар аксар вақт яктарафа мебошад. Яъне, нуқтаи нонварианти, дар ин ҳолат, ба минтақаи таркиби умумӣ дар як самт транслятсия мешавад. Аммо, ҳолатҳои транслятсияи бисёрсамта низ вучуд доранд. Сабабҳои транслятсияи бисёрсамта ҳанӯз пурра муайян нашудаанд, онҳо ба тақсимшавии системаи умумии ибтидоӣ ба системаҳои дуҷумдараҷа алоқаманданд. Роҳҳои пайвастшавӣҳо аксар вақт шумораи нуқтаҳои нонвариантиро барои системаи умумӣ бештар аз он, ки воқеан амалӣ мешавад, медиҳад. Нуқтаҳои нонвариантии «барзиёд» бояд дар таҳлили минбаъдаи диаграммаи мувозинатҳои фазагӣ муайян ва рад карда шаванд. Пайвастшавии нуқтаҳои нонвариантии системаҳои ҷузъии гуногунном нуқтаҳои мавҷударо дар системаи умумӣ муайян мекунад. Ин намуди транслятсия - транслятсияи «бисёрсамта» ё «хаматарафа» номида мешавад. Истилоҳи «транслятсияи бисёрсамта» дар робита бо он ворид карда шудааст, ки хатҳои моноварианти аз системаҳои ҷузъии гуногунном баромада аз нуқтаҳои нонвариантии пайвастшаванда системаро «аз дохил» дар ҳудуди таркиби он мегузаранд [40]. Ғайр аз транслятсияи бисёрсамта, транслятсияи яктарафа низ воқеан, вақте ки хатҳои моноварианти, ки аз нуқтаҳои нонвариантии системаҳои ҷузъӣ бармеоянд, дар самти таркиби умумӣ то нуқтаи нонварианти дар минтақаи таркиби умумӣ мегузаранд [41]. Транслятсияи яктарафа хоси нуқтаҳои нонвариантии системаҳои ҷузъӣ мебошад, ки барои пайвастшавӣ бо нуқтаҳои нонвариантии дигар системаҳо шарик надоранд. Дар ҳудуди таркиби умумӣ, инчунин нуқтаҳои мобайнӣ дучор меоянд, ки бо хатҳои моновариантии сатҳи умумӣ пайвастанд ва танҳо дар минтақаи таркиби умумӣ мегузаранд. Чунки, ба

худуди таркиби яке аз системаҳои ҷузъӣ роҳ надоранд. Нуқтаҳои мобайнӣ ҳангоми таҳлили сохтори диаграммаи мувозинати фазавӣ, ки дар асоси транслятсияи додашудаи бисёрсамта ва яктарафа сохта шудааст, пайдо карда мешаванд. Онҳо дар муайян кардани сарҳадҳои майдонҳои мувозинатҳои дивариантии системаи умумӣ иштирок мекунанд. Диаграммаи ҳолати системаи умумӣ дар натиҷаи паҳншавии тасвирҳои геометрии системаҳои ҷузъӣ ва буриши онҳо дар худуди таркиби умумӣ мувофиқи қонуниятҳои геометрӣ ба вуҷуд меоянд. Хусусияти паҳншавии унсурҳои диаграмма дар минтақаи таркиби умумӣ аз хосияти системаи додашуда муайян карда мешавад. Азбаски системаҳои физико-химиявӣ бисёранд, дар байни онҳо ҳамеша чунин системаҳо пайдо мешаванд, ки яке аз намудҳои имконпазири буриши элементҳои транслятсияро амалӣ мегардонанд. Он бо қонуниятҳои геометрӣ, принципҳои умумии таҳлили физико-химиявӣ ва қоидаи фазаҳо муайян карда мешавад. Ба ҳар як система бо сабаби принципи мувофиқат, як тартиби транслятсия ва буриши тасвирҳои геометрии диаграммаҳо дар системаҳои ҷузъӣ мувофиқат мекунад.

Буриши ду унсури транслятсия тасвири геометрӣ (нуқта, хат, майдон) медиҳад. Мувофиқи қонунҳои геометрӣ, буриши ду унсури транслятсия бо як андозаи фазой як тасвири геометрӣ бо андозаи фазоии як воҳид камтарро медиҳад: буриши майдон - хат, буриши хат - нуқта ва ғайра.

Меъёри дурустии сохтани диаграммаҳои ҳолат пӯшида будани ҳамаи элементҳои диаграммаи системаҳои ҷузъӣ дар минтақаи таркиби умумӣ ва мувофиқати сохтори диаграмма ба принципҳои асосии таҳлили физико-химиявӣ ва қоидаи фазаҳо мебошад. Диаграммаҳои дуруст сохташудаи системаҳои физико-химиявӣ бо усули транслятсия раванди ҳамаи табилоти фазавиро инъикос мекунанд.

Усули транслятсия аз ҷониби мутахассисон яке аз усулҳои универсалитарини таҳқиқи СБК [40-42] эътироф шудааст, ки ҳангоми таҳқиқи системаи шашкомпонентаи  $\text{Na, K, Mg, Ca} \parallel \text{SO}_4, \text{Cl} - \text{H}_2\text{O}$  ва

системаҳои панҷкомпонентаи таркибдихандаи он [41-43, 46-51], инчунин системаҳои панҷкомпонентаи: Na, K || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O [52 - 56]; Na, K || CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O [57-61]; Na, K || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O [62-66]; Na, K || SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O [67-71]; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-NaHCO<sub>3</sub>-NaF-H<sub>2</sub>O [72,73] таркибдихандаи системаҳои шашкомпонентаи Na, K || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O ва системаҳои панҷкомпонентаи: Na, Ca || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O [74-78]; Na, Ca || SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O [79-82]; Na, Ca || CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O [83, 84] таркиби системаи шашкомпонентаи Na, Ca || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O тасдиқи васеи худро ёфт.

Сохтани диаграммаҳои мувозинатҳои фазавии СБК бо усули транслятсия марҳилаҳои асосии зеринро дар бар мегирад [40-42].

1. Бо роҳи якҷоя кардани нуқтаҳои нонвариантии системаҳои чузъии гуногунном, нуқтаҳои нонвариантии системаи умумӣ пайдо карда мешаванд. Ин роҳи ёфтани нуқтаҳои нонвариантии системаи умумӣ шартан «транслятсияи бисёрсамта» номида шудааст. Ҳамаи пайвастаҳои имконпазири нуқтаҳои нонвариантии системаҳои чузъии гуногунном (аз ҷиҳати графикӣ – буриши хатҳои транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии системаҳои чузъӣ) бояд ба даст овардани чунин маҷмӯи фазаҳои саҳт оварда расонанд, ки бо қоидаи фазаҳо мувофиқат мекунанд.

Ҳамин тариқ, танҳо он нуқтаҳои нонвариантии системаҳои чузъии гуногунном якҷоя карда мешаванд, ки аз рӯйи таркиби фазавӣ аз якдигар ба як воҳид фарқ мекунанд. Ин комбинатсияҳо вобаста ба компонентнокии система метавонанд аз ду, се ва ё шумораи бештари нуқтаҳои нонвариантии системаҳои чузъӣ иборат бошанд. Иштироки танҳо нуқтаҳои нонвариантии системаҳои чузъии гуногунном дар пайвастиҳо аз принципҳои мавҷудбуда сарчашма мегиранд. Усули транслятсия гузаришро аз системаи чузъӣ бо адади компонентҳои  $n$  ба системаи умумӣ бо адади компонентҳои  $(n+1)$  дар назар дорад. Чунин гузариш ҳангоми пайвастишавии нуқтаҳои нонвариантии на як системаи чузъӣ, балки на камтар аз ду система, ки бо як фаза фарқ мекунанд ва дар маҷмӯъ аз  $n$  қисмҳои таркибӣ (компонент) иборатанд, имконпазир аст.

2. Нуқтаҳои нонвариантии системаҳои ҷузъӣ, ки барои пайваستшавӣ аз дигар системаҳо шарик наёфтаанд, бо усули транслятсияи яктарафа ба системаи умумӣ интиқол карда мешаванд. Он усулҳои муқоисаи таркиби фазавии таҳшинҳоро дар бар мегирад, ки бо усули транслятсияи бисёрсамтаи нуқтаҳои нонвариантии системаи умумӣ ёфта шудаанд. Мундариҷаи  $(n-2)$  фазаҳои якхела бо нуқтаи нонвариантии транслятсияшавандаи системаи ҷузъӣ интиҳоб карда мешавад, ки дар ин ҷо  $n$  адади фазаҳои саҳти мувозинатии нуқтаи нонвариантии системаи умумӣ мебошад. Бо роҳи пайвастшавӣ нуқтаи нонвариантии пайдо карда мешавад, ки дорои ҳамаи фазаҳои саҳти мувозинатии нуқтаи транслятсияшавандаи системаи ҷузъӣ буда, ҳамаи компонентҳои системаи умумиро дар бар мегирад.

3. Бо роҳи муқоисаи таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантии системаи умумӣ, ки бо усулҳои транслятсияи бисёрсамта ва яктарафа ёфта шудаанд, хатҳои имконпазири моновариантии дар байни онҳо мувофиқи коиди фазаҳо пайдо карда мешаванд. Хатҳои моновариантии нуқтаҳои нонвариантиро, ки аз якдигар ба як фаза фарқ мекунанд, пайваст менамоянд.

4. Дар асоси таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантии, ки бо усулҳои транслятсияи бисёрсамта ва яктарафа ба даст омадаанд, инчунин таркиби фазавии хатҳои моновариантии, ки ин нуқтаҳоро мепайвандад, диаграммаи мувозинатҳои фазавии системаи умумии таҳқиқшаванда дар мадди аввал сохта мешавад.

5. Транслятсияшавии хатҳои моновариантии системаҳои ҷузъӣ дар ҳудуди таркиби умумӣ дар шакли майдонҳо тафтиш карда мешаванд. Ҳангоми зарурат нуқтаҳои иловагӣ (мобайнӣ)-и нонвариантии системаи умумӣ барои сарбаст намудани онҳо (муайян кардани сарҳадҳо) дар фосилаи таркиби умумӣ пайдо карда мешаванд. Нуқтаҳои нонвариантии мобайнӣ барои муайян кардани сарҳадҳои майдонҳои кристаллизатсионӣ бо роҳи якҷоя кардани фазаҳои саҳти нуқтаҳои қаблан ёфтшудаи системаи

умумӣ бо усулҳои транслятсияи бисёрсамта ва яктарафа, ки дорои фазаҳои саҳти майдонҳои сарҳад муайяншаванда мебошанд, пайдо карда мешаванд. Одатан, фазаҳои саҳти ин майдонҳо дар таркиби нуқтаҳои нонварианти, ки ҳангоми транслятсияи нуқтаҳои нонварианти системаҳои ҷузъӣ ба даст омадаанд, мавҷуданд, ки дар байни онҳо хати мувофиқ ҷойгир аст, дар шакли майдон ба ҳудуди таркиби умумӣ транслятсия мешавад.

6. Дар асоси таркиби фазавии нуқтаҳои нонварианти системаи умумӣ, ки бо усулҳои транслятсияи бисёрсамта ва яктарафа ёфта шудаанд, инчунин нуқтаҳои нонварианти мобайнӣ ва таркиби фазавии хатҳои моноварианти дар байни онҳо, диаграммаи мувозинатҳои фазавии системаи умумии таҳқиқшаванда дар варианти дуюм сохта мешавад.

7. Бо роҳи таҳлили диаграммаи мувозинатҳои фазавии системаи умумӣ, ки дар варианти дуюм сохта шудааст, нуқтаҳои нонварианти, ки дар сарбастии тасвирҳои геометрии системаҳои ҷузъӣ дар ҳудуди таркиби умумӣ иштирок намеkunанд, муайян ва рад карда мешаванд.

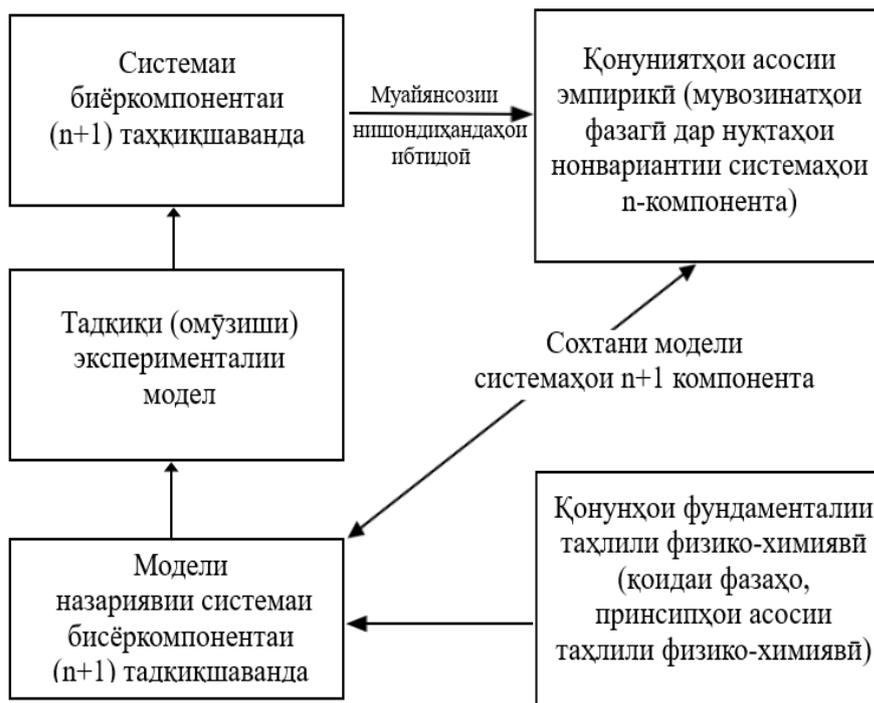
8. Зарурати транслятсияи нуқтаҳои нонварианти системаҳои ҷузъӣ ба ҳудудии таркиби умумӣ дар зиёда аз як самт тафтиш карда шуда, тағйироти зарурӣ ба сохтори диаграмма ворид мегарданд.

9. Набудани хатҳои моноварианти дар байни нуқтаҳои нонварианти системаи умумӣ, ки барои сарбастии тасвирҳои транслятсия дар диаграмма заруранд, тафтиш карда мешавад.

10. Мавҷудияти майдонҳои  $(n-2)$  сершавӣ ( $n$ - шумораи компонентҳои системаи умумӣ) дар диаграмма, ки дар ташаккули хатҳои моноварианти дар байни нуқтаҳои нонварианти ба диаграмма гузошташуда иштирок меkunанд, тафтиш мешавад. Дар сурати набудани майдонҳои зарурӣ, майдонҳои иловагии  $(n-2)$  сершавӣ, ки дар диаграмма заруранд, муайян мегарданд (назариявӣ ё аз рӯи маълумотҳои таҷрибавӣ).

11. Хатҳои моноварианти дар байни нуқтаҳои нонварианти, ки барои муайян кардани сарҳадҳои майдонҳои иловагии  $(n-2)$  сершавӣ заруранд, пайдо карда мешаванд.

Механизми моделонии диаграммаҳои комплекси фазагии СБК бо истифода аз усули транслятсия дар расми 1.4 тасниф карда шудааст.



Расми 1.4. – Тарҳи моделонидани сохтори мувозинатҳои фазагии системаҳои бисёркомпонента бо усули транслятсия

Роҳҳои соختани диаграммаҳои СБК дар зинаҳои алоҳида вобаста ба хосиятҳои топологиашон дар расми 1.5 оварда шудааст.



Расми 1.5. – Тарҳи соختани диаграммаи комплекси фазагии СБК бо истифода аз усули транслятсия ва марҳилаҳои мобайнии он

### 1.5. Омӯзиши политермаи комплекси фазагии системаҳои химиявӣ

Таҳлили дифференсиалии термикӣ (ТДТ) - усуле мебошад, ки он дар муқоисаи хосиятҳои гармӣ ва моддаҳои инертии объекти таҳқиқшаванда иҷро гардида, алоқамандии қисмҳои таркибии системаҳои химиявӣ меомӯзад. Дар усули мазкур тафовути ҳарорати моддаҳо зимни гармкунӣ ё хунук намудани намунаи статсионарӣ ба қайд гирифта мешавад. Тағйирёбии ҳарорати намуна аз гузаришҳои фазавӣ ё реаксияҳои химиявӣ, ки бо тағйирёбии энталпия, бахусус энталпияи ғудохташавӣ [85] алоқаманданд, вобаста аст. Ба инҳо гузаришҳои фазавӣ, ғудохташавӣ, тағйирёбии сохтори кристаллӣ, ҷӯшиш, сублиматсия, бухоршавӣ, реаксияҳои дегидратсия, диссоциатсия, таҷзия, оксидшавӣ-барқароршавӣ, вайроншавии панҷараи кристаллӣ, ҳалшавандагӣ ва ғайра дохил мешаванд [86]. Гузаришҳои фазавӣ бо фурӯбарӣ ё хоричшавии гармӣ ҳамроҳ мешаванд, бинобар ин, аз рӯи масоҳати қулла дар қачи ТДТ метавон эффекти гармиро ҳисоб кард.

Рушди термографияи миқдорӣ аз мушоҳидаи он оғоз ёфт, ки масоҳати қулла (peak area), ки дар натиҷаи дуршавии қачи термографияи дифференсиалӣ аз мавқеи сифр ба вуҷуд меояд, бо афзоиши миқдори муайяни модда зиёд мешавад [87].

Параметри бақайдгирифташаванда фарқияти ҳарорати намуна ва эталон мебошад. Усули дифференсиалӣ дорои ҳассосияти баланд буда, имкон медиҳад, ки намунаҳои хеле хурд, то чанд миллиграмм, таҳқиқ карда шаванд. Масоҳати қуллаи қачи ТДТ ба тағйирёбии энталпия ( $\pm\Delta H$ ) ва массаи намуна мутаносиб аст [88,89].

Бо усули ТДТ [88] як қатор олимони таҳқиқоти илмиашонро дар системаҳои химиявии обӣ-намакӣ ва моддаҳои органикӣ анҷом дода, натиҷаҳои назаррасро ноил гардидаанд.

Барои таҳияи дефолиантҳои баландсамара, нармкунанда, ки дорои хосиятҳои ғизоӣ, физиологӣ-фаъол ва зиддиҳашаротӣ мебошанд, дар системаи секомпонентаи обӣ бо иштироки як қатор моддаҳои

гайриорганикиву органикӣ бо усули визуалӣ-политермӣ дар доираи васеи харорат ва концентратсия омӯхта шудааст. Дар асоси маълумоти бадастомада, ҳудудҳои кристаллизатсияи система дар политерма муайян карда шуда, диаграммаҳои политермии ҳолатиашон сохта шуданд. Дар диаграммаи ҳалшавандагӣ изотермаҳо дар ҳар  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  нишон дода шудаанд. Сатҳи ликвидуси диаграммаи политермӣ ба панҷ қисм тақсим шудааст, ки ба майдонҳои кристаллизатсияи ях ва дигар фазаҳои мувозинатӣ мувофиқат мекунад [90-97].

Онҳо зимни таҳқиқ системаи секомпонентаи  $\text{Mg}(\text{ClO}_3)_2 \cdot 2\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH} \cdot \text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$  дар фосилаи ҳарорати аз  $-59,4$  то  $20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  бо усули визуалӣ-политермикӣ омӯхта, диаграммаи политермии ҳалшавандагиашонро сохтаанд ва ҳамзамон нӯҳ қитъаи дохилӣ муайян кардаанд. Муқаррар карда шудааст, ки дар диаграмма панҷ нуқта мавҷуд мебошад. Аниқ гардидааст, ки дар диаграмма майдони кристаллизатсияи фазаҳои ях,  $\text{Mg}(\text{ClO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Mg}(\text{ClO}_3)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Mg}(\text{ClO}_3)_2 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ ,  $2\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH} \cdot \text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $2\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH} \cdot \text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$  ва ду пайвастагии нав  $\text{HOC}(\text{CH}_2\text{COOMg})_2 \cdot \text{COOH} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HOC}(\text{CH}_2\text{COOH})_2 \cdot \text{COOMg} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  мавҷуд буда, диаграммаи сохташуда маҳдуд аст.

Усули мазкур имкон додааст, ки ҳалшавандагии системаи  $\text{Mg}(\text{ClO}_3)_2 \cdot \text{CH}_3\text{COOH} \cdot \text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH} \cdot \text{H}_2\text{O}$  дар фосилаи ҳароратҳои аз  $-50,4$  то  $78,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  омӯхта шавад. Диаграммаи политермикии ҳалшавандагӣ бо ёрии системаҳои дучанда ва даҳ қитъаи дохилӣ сохта шудааст. Дар диаграмма майдонҳои кристаллизатсияи ях,  $\text{Mg}(\text{ClO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Mg}(\text{ClO}_3)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Mg}(\text{ClO}_3)_2 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH} \cdot \text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}$  ва пайвастаи нав  $\text{Mg}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  муайян ва ҷудо карда шавад. Таркиби пайвастаи нав бо усулҳои муосир таҳлил ва мавҷудияти онҳо тасдиқ шуд [98].

Фазаҳосилшавӣ ва ҳалшавандагии системаи секомпонентаи  $\text{Mg}(\text{ClO}_3)_2 \cdot \text{N}(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  бо усули визуалӣ-политермикӣ дар фосилаи ҳарорати аз  $-56,0$  то  $31,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  омӯхта шуда, диаграммаи политермии ҳалшавандагии система бо ёрии далелҳои системаҳои дукомпонента ва шаш қитъаи дохилии компонентҳои ибтидоӣ тартиб дода шудааст. Дар

диаграмма майдонҳои кристаллизатсияи ях, пайвастаҳои обии хлорати магний, триэтаноламин ва пайвастаи нав  $MgOHClO_3 \cdot N(C_2H_4OH)_3 \cdot 2H_2O$  чудо карда шудаанд. Пайвастагии нави дар ин системаи намакӣ ҳосилшуда чудо шуда, бо усулҳои таҳлили химиявӣ ва физико-химиявӣ таҳлил гаштааст [99].

Ҳалшавандагии системаи иборат аз  $Mg(ClO_3)_2$  - [21 %  $ClCH_2CH_2PO(OH)_2 \cdot NH_3$  + 11 %  $ClCH_2CH_2PO(OH)_2 \cdot 2NH_3$  + 12 %  $NH_4H_2PO_4$  + 56 %  $H_2O$ ] -  $H_2O$  дар фосилаи ҳарорати аз  $-66,8$  то  $12,4^\circ C$  омӯхта шуд. Диаграммаи политермикии ҳалшавандагии ин система дар асоси системаҳои дучанда ва нӯҳ қитъаи дохилӣ сохта шудааст. Дар диаграмма майдонҳои кристаллизатсияи ях, кристаллогидратҳои хлорати магний,  $NH_4ClO_3 \cdot ClCH_2CH_2HPO_3NH_4$  ва [21 %  $ClCH_2CH_2PO(OH)_2 \cdot NH_3$  + 11 %  $ClCH_2CH_2PO(OH)_2 \cdot 2NH_3$  + 12 %  $NH_4H_2PO_4$  + 56 %  $H_2O$ ] чудо карда шудаанд. Пайвастаи нави дар система ҳосилшударо чудо намуда, бо усулҳои химиявӣ ва физико-химиявӣ таҳлил карда таркиби он муайян гардид:  $NH_4ClO_3 \cdot ClCH_2CH_2HPO_3NH_4$  [100].

Ҳалшавандагии қисмҳои таркибии системаи иборат аз хлорати магний – (37,1 % карбамид + 62,9 % нитрати гуанидин) – об бо усули визуалӣ-политермикӣ дар фосилаи ҳарорати аз  $-54,0$  то  $50^\circ C$  омӯхта шуд. Диаграммаи ҳалшавандагии система бо ёрии системаҳои дучанда ва ҳашт қитъаи дохилӣ сохта шудааст. Дар диаграммаи политермии ҳалшавандагии ин система фазаҳо бо ёрии чор нуқтаи сечанда муттаҳид мешаванд. Дар диаграмма майдонҳои кристаллизатсияи ях, кристаллогидратҳои шаш, дувоздаҳ ва шонздаҳ обии хлорати магний, нитрати гуанидин ва пайвастаи нави дар система ҳосилшуда – хлорати магний тетракарбамид дигидрат маҳдуд карда шудаанд [101].

Мувозинатҳои фазагӣ ва ҳалшавандагии системаи секомпонентаи  $CH_3COOH - NH_2C_2H_4OH_2 - H_2O$  бо усули визуалӣ-политермикӣ дар фосилаи ҳарорати аз  $-72,1$  то  $0^\circ C$  омӯхта шуда, диаграммаи политермикии ҳалшавандагӣ сохта шудааст. Дар диаграмма майдонҳои кристаллизатсияи ях, кислотаи сирко, моноэтаноламини ду молекула об, як молекула об ва

беоб ва инчунин пайвастаи нави дар система ҳосилшуда – атсетати моноэтаноламмоний ҷудо карда шудаанд. Пайвастаи нави дар диаграмма ҳосилшуда – атсетати моноэтаноламмоний ҷудо карда шуда, мавҷудияти он бо усулҳои муосири таҳлили химиявӣ ва физико-химиявӣ таҳлил шудааст [102].

Инчунин, дар ҳарорати мазкур политермаи ҳалшавандагии системаҳои:  $\text{CH}_3\text{COOH} - \text{NH}(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_2 - \text{H}_2\text{O}$  [102];  $\text{CH}_3\text{COOH} - \text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$  [103];  $\text{CH}_3\text{COOH} - \text{CO}(\text{NH}_2)_2 - \text{H}_2\text{O}$  [104];  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{CO}(\text{NH}_2)_2 - \text{H}_2\text{O}$  [105];  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 - \text{HOOC} - \text{COOH} \cdot \text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH} - \text{H}_2\text{O}$  [106];  $\text{Ca}(\text{ClO}_3)_2 \cdot 2\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH} \cdot \text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 - \text{H}_2\text{O}$  [107] омӯхта шуда, диаграммаи политермаи ҳалшавандагӣ дар асоси маълумотҳои системаҳои бинарии моддаҳои ибтидоӣ сохта шудааст. Дар асоси диаграммаи политермаи ҳарорати кристаллизатсия, рН, зичӣ, ҳаспаки ва нишондиҳандаҳои шикастани нури рушноӣ дар системаҳо муайян карда шудааст.

Усули мазкур дар таҳқиқи ҳамагуна системаҳои химиявии новобаста аз навӣ моддаҳо қулай буда, имконияти омӯзиши то сатҳи секомпонентагии системаҳои химиявиро дорад. Бо афзудани сатҳи компонентнокӣ чор ва аз он зиёд бо ёрии ин усул муҳаққиқ наметавонад диаграммаи ҳолатӣ ва комплекси фазагиро созад ва хосиятҳои физико-химиявии қисмҳои таркибии онро муайян кунад.

### 1.6. Ҳолати омӯзиши политермаи системаи панҷкомпонентаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$

Системаи панҷкомпонентаи таҳқиқшавандаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  субсистемаҳои зеринро дар бар мегирад:  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $3\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ .

Системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ . Тибқи иттилооти сарчашмаҳои илмӣ [108, 111], системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  қисман бо усули ҳалшавӣ таҳқиқ шудааст, ки натиҷаҳои онҳо дар ҷадвали 1.2 оварда шудаанд.

**Ҷадвали 1.2. – Комплексои фазагӣ ва ҳалшавандагии намакҳои системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$**

Таркиби фазаҳои моеъ, мас. %				Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{NaHCO}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	
1	2	3	4	5
2.27	3.14	4.42	90.17	Mb + Nk
2.12	5.13	4.37	88.38	Mb + Nk + Na·10
2.29	5.32	2.30	90.09	Mb + Na·10
0.49	5.46	4.33	89.72	Nk + Mb

Аз маълумоти ҷадвали 1.2 бармеояд, ки барои системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $0\text{ }^\circ\text{C}$  танҳо як нуқтаи нонварианти бо фазаҳои саҳти мувозинатии Mb + Nk + Na·10 мавҷуд аст. Нуқтаҳои дигари таҳқиқшуда (озмоишҳои 1-4) ба ҳаҷҳои моновариантии системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  тааллуқ доранд. Чуноне ки муқоисаи маълумоти ҳалшавии компонентҳо дар ҳаҷҳои моноварианти ва нуқтаи нонварианти нишон медиҳад, миқдори онҳо дар маҳлули сершуда каме фарқ мекунад. Пайдоиши пайвасти нави таркиби чоркомпонентагӣ барои системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  дар изотермаи  $0\text{ }^\circ\text{C}$  мушоҳида нашудааст. Маълумот оид ба ҳалшавӣ ва мувозинатҳои фазагии сатҳи секомпонентаи таркиби системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  барои  $0\text{ }^\circ\text{C}$  дар қорҳои [108, 109] мавҷуд буда, ҷадвали 1.3 онҳоро муттаҳид менамояд.

**Ҷадвали 1.3. – Ҳалшавандагӣ ва мувозинатҳои фазагии системаҳои секомпонентаи  $4\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ ,  $3\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$ ,  $3\text{Na}^+\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $0\text{ }^\circ\text{C}$ , ки таркиби системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  – ро ташкил медиҳад**

Таркиби фазаи моеъ, масс. %				Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{NaHCO}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	
1	2	3	4	5
4.30	0	-	95.70	Mb
3.00	5.00	-	92.00	Mb
2.80	6.00	-	94.58	Mb + Na·10

<i>Идомаи ҷадвали 1.3.</i>				
1	2	3	4	5
0	6.50	-	93.50	Na·10
4.30	-	0	95.70	Mb
3.57	-	1.80	94.63	Mb
2.78	-	4.14	93.08	Mb
2.57	-	5.61	91.82	Mb + Nk
1.00	-	6.26	92.74	Nk
0	-	6.49	93.51	Nk
-	0	6.50	93.50	Nk
-	4.00	5.10	90.90	Nk
-	5.60	4.60	89.80	Nk + Na·10
-	5.90	1.40	92.70	Na·10
-	6.40	0		Na·10

Чунон ки аз маълумоти ҷадвали 1.3 бармеояд, ҳамаи системаҳои секомпонента, ки системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$ -ро ташкил медиҳанд, табиати эвтоникӣ доранд, барои онҳо пайдоиши пайваستاҳои нави таркибӣ хос нест. Дар асоси маълумотҳои таҷрибавӣ проексияи изотермаи ҳалшавии системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  дар сатҳи секомпонентагии таркиб барои  $0\text{ }^\circ\text{C}$  сохта шудааст.

Бояд иброз намуд, ки диаграммаи фазавии сарбастии система, ки дар он ҳамаи тасвирҳои геометрӣ (нуқтаҳо, хатҳо, майдонҳо) ва мавқеи мутақобилаи онҳо инъикос ёфта бошанд, сохта нашудааст. Маълумот оид ба ҳалшавӣ ва мувозинатҳои фазавии системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $25\text{ }^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента мавҷуд нест. Дар сатҳи таркиби секомпонента системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  бо усули ҳалшавӣ хеле хуб омӯхта шудааст [70, 71]. Маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба ҳалшавӣ ва мувозинатҳои фазавӣ дар системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  дар изотермаи  $25\text{ }^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби секомпонента дар ҷадвали 1.4 муттаҳид карда шудаанд.

Чадвали 1.4. –Ҳалшавандагӣ ва мувозинатҳои фазагӣ дар субсистемаҳои секомпонентаи  $3\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$ ,  $3\text{Na}^+\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$ ,  $4\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ , ки системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  –ро ташкил медиҳанд (изотерма 25 °C)

Таркиби фазаи моеъ, мас. %				Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{NaHCO}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	
1	2	3	4	5
21.90	-	0	78.10	Mb
20.80	-	3.77	75.43	Mb
20.68	-	4.16	24.16	Mb + Nk
20.59	-	4.15	75.26	Mb + Nk
11.14	-	6.03	82.83	Nk
9.87	-	5.75	84.38	Nk
0	-	9.39	90.61	Nk
-	0	9.60	90.40	Nk
-	7.29	5.91	86.80	Nk
-	13.70	4.20	82.10	Nk
-	14.95	4.00	81.05	Nk
-	17.48	3.95	78.57	Nk + Tr
-	19.48	2.88	76.57	Tr
-	21.30	2.18	76.52	Tr
-	22.69	1.52	75.79	Tr + Na·10
-	22.90	0	77.10	Na·10
21.80	0	-	78.20	Mb
19.60	5.00	-	75.40	Mb
17.80	10.0	-	72.20	Mb
16.70	15.00	-	63.80	Mb
16.40	18.30	-	65.30	Mb + Na·10
8.90	20.00	-	71.10	Na·10
0	22.90	-	77.10	Na·10

Муқоисаи маълумот оид ба ҳалшавӣ ва мувозинатҳои фазагӣ дар системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби секомпонента барои 0 °C (чадв. 1.3) ва 25 °C (чадв. 1.4) нишон медиҳад, ки бо болоравии ҳарорат ҳалшавии мирабилит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) аз 4-5 то 21-22 %,

декагидрати карбонати натрий ( $\text{Na}\cdot 10$ ) аз 6-7 то 22-23 % зиёд мешавад, аммо  $\text{NaHCO}_3$  – ниҳоят кам.

Таркиби фазаҳои саҳт дар системаҳои секомпонентаи  $4\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$  ва  $3\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  тағйир намеёбад ва хусусияти ин системаҳо, мисли  $0\text{ }^\circ\text{C}$  эвтоникӣ мебошад. Дар системаи  $3\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  бо баланд шудани ҳарорат то  $25\text{ }^\circ\text{C}$  фазаи нави трона ( $\text{NaHCO}_3\cdot\text{Na}_2\text{CO}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ҳосил мешавад, ки ин ба мураккаб шудани сохтори диаграммаи он дар муқоиса бо изотерми  $0\text{ }^\circ\text{C}$  оварда мерасонад.

Агар барои системаи  $3\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$  ду майдони кристаллизатсия ( $\text{Nk}$  ва  $\text{Na}\cdot 10$ ) ва як нуқтаи кристаллизатсияи муштарак ( $\text{Nk} + \text{Na}\cdot 10$ ) ҳос буд, пас дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  барои ин система аллақай се майдони кристаллизатсионӣ ( $\text{Nk}$ ,  $\text{Na}\cdot 10$  ва  $\text{Tr}$ ) ва ду нуқтаи кристаллизатсияи муштарак ду фаза ( $\text{Nk} + \text{Tr}$  ва  $\text{Na}\cdot 10 + \text{Tr}$ ) ҳос аст.

Барои изотермаи  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , инчунин диаграммаи фазавии сарбасти системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  сохта нашудааст.

Системаи чоркомпонентаи  $3\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-2\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  – дар адабиёт маълумот оид ба ҳалшавӣ ва ҳолати мувозинатҳои фазавӣ дар системаи чоркомпонентаи  $3\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-2\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  мавҷуд нест. Маълумот оид ба ҳолати омӯзиши системаҳои секомпонентаи  $2\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ ,  $2\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-2\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  ва  $2\text{Ca}^{2+}-\text{CO}_3^{2-}-2\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  низ хеле кам аст. Ҳалшавӣ дар системаи секомпонентаи  $2\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$  аз корҳои [108, 109] гирифта шуда, дар ҷадвали 1.5 муттаҳид гаштаанд.

Ҷадвали 1.5. – Политермаи ҳалшавандагӣ ва фазаҳосилшавии системаи  $3\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$  дар фосилаи ҳароратҳои  $0 - 100\text{ }^\circ\text{C}$

Таркиби фазаи моеъ, масс. %			Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$\text{CaSO}_4$	$\text{CaCO}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	
1	2	3	4
Ҳарорати $50\text{ }^\circ\text{C}$			
0	0.0054	99.9946	Сс
-	-	-	Gr + Сс
0.2100	0	99.7900	Gr

<i>Идомаи ҷадвали 1.5.</i>			
1	2	3	4
Ҳарорати 75 °С			
-	-	-	Cc
-	-	-	Gr + Cc
-	-	-	Gr
Ҳарорати 100 °С			
-	-	-	Cc
-	-	-	Gr + Cc
-	-	-	Gr

Чунон ки аз ҷадвали 1.5 бармеояд, ҳамаи системаҳои секомпонента системаи чоркомпонентаи  $3\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-2HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$ -ро ташкил медиҳанд, дар сатҳи таркиби секомпонента дар фосилаи ҳарорати  $0\div 100$  °С хусусияти эвтоникӣ доранд. Бо баланд шудани ҳарорат ҳалшавии гипс ( $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) меафзояд, аммо калсит ( $\text{CaCO}_3$ ) ва гидрокарбонати калсий  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  – на он қадар зиёд тағйир меёбад.

Системаи чоркомпонентаи  $3\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-2HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  умуман омӯхта нашуда, диаграммаи фазавии сарбасти он сохта нашудааст [110, 111]. Маълумот оид ба ҳалшавӣ ва мувозинатҳои фазавии системаи  $3\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-2HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  дар фосилаи ҳароратҳои  $0\div 100$  °С дар сатҳи таркиби чоркомпонента мавҷуд нест.

**Системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$**  – мувофиқи маълумоти мавҷудай адабиёт ин системаи чоркомпонента таҳқиқ нашудааст. Барои ҳудуди ҳароратҳои  $0\div 100$  °С, диаграммаи фазавии сарбасти системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ , ки дар он ҳамаи тасвирҳои геометрӣ (нуқтаҳо, хатҳо, майдонҳо) ва мавқеи мутақобилаи онҳо инъикос ёфта бошанд, мавҷуд нест.

**Системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ .** Дар адабиёт [110,111] маълумот оид ба ҳалшавӣ ва ҳолати мувозинатҳои фазавӣ дар системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  барои фосилаи ҳарорати  $0\text{-}100$ °С мавҷуд нест. Маълумоти мавҷудай адабиёт нишон медиҳад, ки системаҳои секомпонентаи зерин:  $2\text{Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-2SO}_4^{2-}$

$\text{H}_2\text{O}$ ;  $3\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  ва  $\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}-3\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$ , ки системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  -ро ташкил медиҳанд, дар фосилаи ҳарорати  $0\div 100$  °C қисман омӯхта шудаанд. Маълумоти адабиёт [108, 109] нишон медиҳад, ки се системаи секомпонентаи  $3\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-2\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  ва  $\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}-3\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$ , ки системаи чоркомпонентаро ташкил медиҳанд, дар ин изотермаҳо ба системаҳои эвтоникӣ тааллуқ доранд ва барои онҳо яктогӣ нуқтаи нонвариантӣ хос аст.

**Системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$**  – дар адабиёт маълумот оид ба ҳалшавӣ ва мувозинатҳои фазаӣ дар системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар фосилаи изотермаҳои  $0-100$  °C мавҷуд нест [110, 111]. Барои системаи чоркомпонентаи зикршуда диаграммаи фазавии сарбаст барои ҳароратҳои додашуда сохта нашудааст.

**Хулоса аз таҳлили адабиёт.** Усулҳои ҳозиразамони таҳқиқи мувозинатҳои фазагии системаҳои бисёркомпонента хеле гуногун мебошанд. Аз ҷумлаи онҳо ягонташонро ҳамчун усули универсалӣ ҷудо намудан ғайриимкон мебошад. Ҳар усули коркардшуда барои ҳалли ягон муаммои мушахас пешбинӣ шудааст ва бинобар ин як усул усули дигарро мукамал месозад. Чи тавре, ки дар зербобҳои қабли қайд карда шуд яке аз усулҳои маъмули тасвири системаҳои чоркомпонента истифодаи фигураҳои тетраэдрӣ ва барои тасвири системаҳои секомпонента – секунҷаҳои баробарпахлу мебошанд. Дар ин ҳолат қуллаҳои тетраэдр мавқеи компонентҳои алоҳида, тегаҳои системаҳои дукомпонента, рӯяҳои системаҳои секомпонента ва фазои дохили тетраэдр системаи чоркомпонентаро ифода мекунанд. Тасвири диаграммаҳои системаҳои муовизаи обӣ бо якҷанд усул амалӣ кунонида мешавад. Масалан, дар вақти истифодаи усули Левенгерс консентратсияи моддаҳо бо адади мол – эквивалентҳо, ки ба 100 мол (ё 1000,) об рост меояд ифода карда шуда, ба сифати тири координата 4 тегаи полуоктаэдр, ки дар як қулла якҷо мешаванд, қабул карда шудааст.

Тасвири системаҳои чоркомпонентаи муовиза бо усули Иенеке бо истифодабарии квадрати таркиби намакӣ асоснок кунонида шудааст, ки перпендикуляр ба он миқдори молҳои об дар 100 мол массаи намак ишора мешаванд. Яке аз усулҳои аввалин барои тасвири графיקии системаҳои панҷкомпонента аз тарафи Буке – Скоуте пешниҳод гаштааст. Мувофиқи ин усул консентратсияи ҳамаи компонентҳои система ҳамчун координатаи як нуқта дар фазои чорченака қабул карда шудааст, ки ин нуқта дар ҳамвории тетраэдр акс кунонида мешавад. Дар тасвири графיקии системаҳои бисёркомпонента қорҳои Радишев мавқеи махсусро ишғол мекунанд. Олими болозикр барои тасвири графיקии системаҳои бисёркомпонента (асосан муовиза) истифодабарии фигураҳои геометрии бисёрченакаро (политопҳоро) пешниҳод намудааст.

Чунин усул бо баъзе иловаҳо аз тарафи Перелман низ пешкаш шудааст, ки дар он барои ин мақсад фигураҳои бисёрченакаи «нодурӯст» истифода бурда мешаванд. Вант – Гофф барои тасвири графיקии системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Mg} // \text{SO}_4$ ,  $\text{Cl} - \text{H}_2\text{O}$ , ки ҳамчун «системаи баҳрӣ» маълум аст ва нисбат ба хлориди натрий ( $\text{NaCl}$ ) сершуда мебошад, усули шаклдодашудаи Левенгерсро истифода бурдааст. Дар ин варианти такмилдодашуда консентратсияи хлориди натрий дар диаграмма нишон дода намешавад. Ҳамзамон, мутобиқ ба реаксияҳои муовизаи дар система ҷой дошта, адади молҳои сулфати натрий ҳамчун тири баробарқимати ду вектора (сулфат ва хлориди магний) истифода бурда мешавад.

Усули матритсавӣ тасвир намудани системаҳои бисёркомпонентаи намакӣ тасвири диаграммаҳои таркибии системаҳои муовизаи бисёркомпонента чадвал-матритсаҳо буда, дар онҳо муносибатҳои термодинамикӣ ва химиявӣ ҷойгир карда шудаанд. Чунин чадвал матритсаҳо миқдори реаксияҳои муовизаи химиявиро вобаста ба қисмҳои таркиби муайян карда, алоқамандии байни компонентҳоро вобаста ба хосиятҳои топологӣ пурра шарҳ дода наметавонад.

Харви бо ҳамкоронаш дар асоси бузургии потенциали термодинамикӣ ассотсиатҳои фазагиро барои нуқтаҳои нонвариантии

системаи шашкомпонентаи  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Ca} // \text{SO}_4$ ,  $\text{Cl} - \text{H}_2\text{O}$  барои ҳарорати  $25^\circ\text{C}$  ҳисоб кардааст. Дар ин ҳолат устувории комбинатсияҳои ҳосилшудаи фазаҳои саҳт дар асоси бузургии энергияи Гиббс муайян карда шудааст. Самаранокии чунин ҳисобҳо аз дақиқии ҳисобҳои тағйирёбии энергияи Гиббс вобаста аст, ки ин саҳеҳӣ бо зиёдшавии компонентнокии система коста мешавад. Чи тавре, ки худи муаллифон қайд мекунанд натиҷаҳои боэътимодно танҳо барои системаҳои то чоркомпонента ба даст овардан мумкин. Бояд қайд кард, ки диаграммаҳои ҳолатии системаҳои бисёркомпонента бо кадом усуле, ки сохта нашавад, бо сабаби бисёр будани элементҳои геометриашон (нуқтаҳои нонварианти, хатҳои моноварианти, майдонҳои диварианти) барои ҳисобҳои графикӣ номувофиқ мебошанд.

Олимон бо усули триангулятсияи диаграммаҳои таркибӣ политопҳои барҷастаи диаграммаҳои таркибии системаи  $(n+1)$  – компонента муайян намуда бошанд ҳам, вале ин усул имкони мушаххас сохтани диаграммаҳоро намедиҳад. Усули мазкур бо истифода аз алгоритм моделҳои диаграммаҳои системаҳои химиявиро пешниҳод мекунаду ҳалос. Он мушаххас диаграммае, ки фарогири ҳамаи ҳосиятҳои физико-химиявӣ бошад, пешниҳод каарда наметавонад. Чуноне, ки қайд намудем усулҳои ананавии сохтани диаграммаҳои мувозинатҳои фазагӣ дар асоси ҳосиятҳои ченшавандашон барои таҳқиқи системаҳои бисёркомпонента номувофиқ мебошанд. Барои ин мақсад усули транслятсия бештар қобили қабул буда, он яке аз усулҳои универсалӣ мебошад. Ин усул барои ҳамагуна шаклҳои системаҳои химиявӣ, ки аз 3 ва зиёда компонентҳо ташкил ёфтаанд, тадбиқшаванда мебошад.

Аз ин лиҳоз мо низ дар таҳқиқи политермаи комплекси фазагӣ ва ҳалшавандагии системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} // \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ , зерсистемаҳои чор ва секомпонентаи онро ташкилдиханда, усули транслятсияро, ки аз ҷониби яке аз асосгузори асосҳои таҳлили физико-химиявӣ Лутфулло Солиев пешниҳод гардидааст, истифода намудем.

Маълумот оид ба ҳолати омӯзиши политермаи системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$ , 5 - системаҳои чор- ва 9-системаҳои секомпонентаи таркибдиҳандаи он дар ҷадвали 1.6 муттаҳид карда шудаанд.

Ҷадвали 1.6. – Ҳолати омӯзиши системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  ва зерсистемаҳои чор-секомпонентаи он

Системаҳо	К-тноқӣ	Изотерма, °С				
		0	25	50	75	100
$\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$	5	-	-	-	-	-
$5\text{Na}^+$ - $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{CO}_3^{2-}$ - $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$	4	-	-	-	-	-
$3\text{Ca}^{2+}$ - $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{CO}_3^{2-}$ - $2\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$	4	-	-	-	-	-
$\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ - $\text{H}_2\text{O}$	4	-	-	-	-	-
$\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$	4	-	-	-	-	-
$\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$	4	-	-	-	-	-
$2\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel 2\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{H}_2\text{O}$	3	-	-	-	-	-
$2\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ - $\text{H}_2\text{O}$	3	-	-	+	+	+
$4\text{Na}^+ \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ - $\text{H}_2\text{O}$	3	+	+	+	+	+
$2\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ - $\text{H}_2\text{O}$	3	+	+	+	+	+
$3\text{Na}^+ \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$	3	+	+	+	+	+
$3\text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$	3	+	+	+	+	+
$2\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $2\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$	3	-	-	-	-	-
$\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$	3	-	-	-	-	-
$\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel 3\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$	3	-	-	-	-	-

Ҷадвали 1.6 ифода менамояд, ки системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  аслан таҳқиқ нашудааст. Аз 5 - зерсистемаҳои чоркомпонента танҳо яктоаш  $5\text{Na}^+$  -  $\text{SO}_4^{2-}$  -  $\text{CO}_3^{2-}$  -  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи секомпонентагӣ таҳқиқ шуда бошад ҳам, аммо, диаграммаи ҳалшавӣ ё комплексҳои фазагии онҳо низ сохта нашудаанд. Системаҳои  $3\text{Ca}^{2+}$  -  $\text{SO}_4^{2-}$  -  $\text{CO}_3^{2-}$  -  $2\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  -  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  умуман омӯхта нагаштаанд, диаграммаҳои фазагӣ, ҳалшавандагӣ ва политермиашон сохта нашудаанд. Дигар системаҳо, ки зерсистемаҳои секомпонентаи онро ташкилдиҳандаанд, дар ҳароратҳои интиҳобшудаи таҳқиқоти илмӣ аслан таҳлил шудаги нестанд ва диаграммаҳои политермаи ҳалшавӣ, комплексҳои фазагиашон сохта нашудаанд.

## БОБИ 2. ПОЛИТЕРМАИ КОМПЛЕКСИ ФАЗАГИИ СИСТЕМАИ $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ || $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ ДАР САТҲИ ТАРКИБИ ЧОРКОМПОНЕНТА

### 2.1. Омӯзиши политермаи комплекси фазагии системаи химиявии обӣ-намакӣ

Дар корҳои қаблии усули транслятсия [112-116], дар шакли гузариши тасвирҳои геометрӣ дар диаграммаҳои ҳолат аз ҳудуди таркиби  $n$  – компонента ба фосолаи таркиби  $n+1$  компонентнокӣ истифода шудааст. Транслятсия инчунин, ба самти ҳама гуна параметрҳои нави ҳолат: ҳарорат, фишор, потенциали химиявӣ ва ғайра сурат мегирад. Дар ин маврид, диаграммаи ҳолат компонентнокии тағйирнопазир дорад.

Ҳангоми транслятсия ба самти компонентнокии навбатӣ, диаграммаҳои ҳолати системаҳои чӯзӣ аз  $n$  – компонентҳо (изотермаҳо ё политермаҳои системаҳо) ҳамчун маълумоти ибтидоӣ барои сохтани диаграммаи ҳолати системаи умумӣ аз  $n+1$  компонент иборатбуда муҳим мебошанд. Барои сохтани политермаи системаи аз  $n$  – компонент иборатбуда бо усули транслятсия, изотермаҳои ин система ҳамчун маълумоти ибтидоӣ хизмат мекунад. Диаграммаҳои ҳалшавӣ одатан асосан дар шакли буришҳои изотермӣ (изотермаҳои ҳалшавӣ) сохта мешаванд. Ин барои гузаронидани таҷриба басо қулай аст. Ҳангоми муайян кардани ҳалшавӣ, гузаронидани таҷриба дар ҳарорати доимӣ осонтар мебошад. Диаграммаҳои ғудохта бошад, бо истифода аз қачхатҳои гармкунӣ ва хунуккунӣ дар термограммаҳо дар шакли политермаҳо сохтан қулайтар аст. Дар қори мо, усули транслятсия дар ҳарду вариант истифода шудааст. Дар ибтидо бо истифодаи хосиятҳои ҳалшавандагии системаҳои чоркомпонента изотермаҳои ҳалшавии системаи панҷкомпонента сохта шудаанд, ки он транслятсия ба самти компоненти навро, баъдан транслятсия ба самти ҳарорат, яъне параметри нави вобаста ба изотермаҳои системаи панҷкомпонента политермаи он сохта шудааст. Бо дарназардошти политермаи ҳалшавии системаи панҷкомпонента,

политермаҳои ҳалшавии системаҳои таркибии чоркомпонента ва секомпонента (транслятсия ба шумораи компонентҳои 3 ва 4) бо усули «транслятсияи баръакс» ёфта шудаанд. Бартариии ин усул дар он аст, ки имкон медиҳад политермаи системаи панҷкомпонента ҷавран сохта шавад, бидуни политермаҳои зерсистемаҳои чоркомпонента ва секомпонента.

Муҳаққиқ бо истифода аз усули тавсифшуда метавонад политермаи дилхоҳи системаи бисёркомпонентаро ба даст орад, бидуни он ки ба сохтани шумораи зиёди политермаҳои ҳалшавӣ ва комплексҳои фазавии системаҳои ҷузъӣ машғул шавад. Барои тасвири сохтори политермаи комплекси фазавӣ ва ҳалшавандагии системаи панҷкомпонента усули ифодаи диаграммаи ҳалшавӣ ва комплекси фазавӣ аҳамияти калон дорад. Усулҳои анъанавии тасвир дар шакли элементҳои фазои сеченака ба системаҳои панҷкомпонента ноимкон мебошанд.

Муаррифии диаграммаи ҳалшавии системаи бисёркомпонента дар шакли комплексӣ ё фигураҳои бисёрченака [117, 118] бо визуалии пасти худ фарқ мекунад. Дар фазои сеченака диаграммаи ҳалшавии системаи панҷкомпонентаро метавон бо усули массентрӣ [119] тасвир кард. Ин усул барои сохтани диаграммаҳои ҳалшавӣ бо дилхоҳ дараҷаи компонентнокӣ қобили истифода аст. Нуқтаҳои фигуравӣ дар сатҳи таркиб бо усули массентрӣ бо  $n=2$  нуқтаи геометрӣ бо ёрии системаи координатаҳои барисентрӣ тасвир меёбанд. Усули мазкур мавқеи нуқтаҳои фигуравиро дар диаграмма муқаррар карда, диаграммаи сохташуда ҳамаи тафсилоти сохтори системаро ба таври кофӣ инъикос мекунад.

Диаграммаҳои ҳалшавандагӣ, ки бо усули массентрӣ сохта шудаанд, барои ҳисобҳои графоаналитикӣ мувофиқанд. Шабехи ҳамон диаграммаҳои ҳалшавандагӣ, ки бо усулҳои анъанавӣ бо истифода аз системаи координатҳои барисентрӣ тасвир шудаанд, мувофиқ мебошанд. Таҷрибаи таҳқиқи системаҳои бисёркомпонента, нишон медиҳад, ки онҳо бо зиёдшавии тасвирҳо фарқ мекунанд, ки дар диаграммаҳо инъикос меёбанд. Ҷойгир кардани ҳамаи элементҳои сохтори диаграммаҳои ҳолат

дар як ҳамворӣ сохтори диаграммаҳоро мураккаб ва истифодаи онҳоро ногувор месозад. Тасвири диаграммаҳои ҳолати системаҳои бисёркомпонентаро бо роҳи пешниҳоди он дар шакли фрагментҳо содда кардан мумкин аст. Фрагментҳоро бояд чунон сохт, ки бо ҳудудҳои кристаллизатсияи як ё якчанд фазаи сахт маҳдуданд [114].

Диаграммаи ҳолатро инчунин, метавон ба фрагментҳо тақсим кард, ки ба як ё якчанд сатҳи таркиб (компонентнокӣ)-и система мувофиқат кунанд. Масалан, дар як ҳамворӣ метавон сохтори системаро дар фосилаи таркиби секомпонента, чоркомпонента, панҷкомпонента ва ғайра тасвир кард. Маҷмӯи фрагментҳое, ки дар шакли онҳо диаграммаи ҳолати системаи бисёркомпонента пешниҳод шудааст, тасаввуроти пурраро дар бораи сохтори намуди он медиҳад. Диаграммаҳои ҳолати системаҳои бисёркомпонента аз сабабҳои пештар зикршуда амалан барои ҳисобҳои графоаналитикӣ истифода намешаванд.

Аз ин рӯ, дар онҳо одатан муқаррар кардани таркиби фазаи моеъ, ки бо нуқтаҳои нонварианти ва қачхатҳои моноварианти дар ҳолати мувозинат қарор дорад, талаб карда намешавад. Бинобар ин, зарурати дар диаграмма ҷойгир кардани нуқтаҳои нонварианти ва қачхатҳои моноварианти мутобиқи таркиби фазаи моеъи мувозинатии онҳо аз байн меравад. Илова бар ин, координатҳои тасвирҳои геометрӣ дар системаҳои бисёркомпонента аз сабаби зиёд будани тасвирҳо аксар вақт барои муҳаққиқ номаълум боқӣ мемонанд.

Ҳангоми таҳлили комплексҳои фазавӣ дар системаҳои бисёркомпонента, доштани фрагментҳои диаграммаҳо ки дар онҳо ҷойгиршавии мутақобилаи нуқтаҳои нонварианти ва қачхатҳои моноварианти нишон дода шудааст, ки онҳоро мепайвандад, кофӣ аст.

Дар таҳқиқоти мо, барои тасвири сохтори системаи панҷкомпонента фрагментҳои политермаи ҳалшавандагӣ дар сатҳҳои гуногуни таркиб истифода шудаанд, ки муносибатҳои схематикии байни нуқтаҳои нонвариантиро инъикос мекунанд. Дар диаграммаҳои схематикӣ нуқтаҳои

нонвариантӣ, қачхатҳои моновариантӣ ва  $i$  – сершавии маҳлулҳо бо фазаҳои саҳт инъикос меёбанд. Ин элементҳо тасаввуроти пурраро дар бораи сохтори комплекси фазаӣ медиҳанд. Барои содда кардани истифодаи диаграммаҳои схематикӣ комплекси фазаӣ, фрагментҳо дар сатҳҳои гуногуни таркиб истифода мешаванд, ки дар онҳо майдонҳои  $i$  – сершавии маҳлулҳо бо фазаҳои саҳт, ки бо вариантҳои гуногуни системаҳои химияӣ зоҳир мешаванд, ба таври схематикӣ бояд тасвир шуда бошанд.

## 2.2. Политермаи системаи чоркомпонентаи $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$ дар фосилаи ҳароратҳои $0 \div 100$ °C, ки иони умумии $\text{Na}^+$ дорад

Изотермаи системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0$  °C. Системаи чоркомпонента системаҳои секомпонентаи зеринро дар бар мегирад:  $3\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $3\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  ва  $4\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ . Мувофиқи сарчашмаҳои [108, 109], системаҳои секомпонентаи номбаршуда дар ҳарорати  $0$  °C хуб омӯхта шудаанд, ки онҳо бо фазаҳои саҳти мувозинатии зерин дар нуқтаҳои нонвариантишон тавсиф мешаванд. Дар ин ҷо ва минбаъд ҳарфи E бо индекси болоӣ, ки ба компонентнокии нуқта (компонентнокии система) ва индекси поёнӣ, ки ба рақами тартибии нуқтаи нонвариантиро ишора мекунад (ҷадв. 2.1), нишон дода шудаанд.

**Ҷадвали 2.1. – Нуқтаҳои сечандаи нонвариантии системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $0$  °C**

Система	Нуқтаи нонвариантӣ	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$3\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_1^3$	Mb+Nk
$3\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_2^3$	Na10+Nk
$4\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_3^3$	Mb+Na10

Мувофиқи маълумоти ҷадвали 2.1 дар расми 2.1 диаграммаи комплекси фазавии системаи чоркомпонентаи иони умумидори  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  дар  $0$  °C дар сатҳи таркиби секомпонента дар шакли

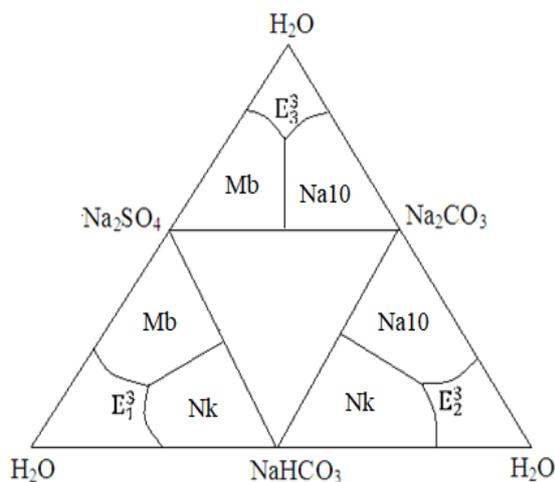
призмаи сетаарафаи кушодашуда оварда шудааст. Дар он ҳамаи майдонҳои дивариантӣ, қачхатҳои моновариантӣ ва нуқтаҳои нонвариантии имконпазир, ки хоси системаҳои секомпонентаи мувофиқ мебошанд, инъикос ёфтаанд.

Ҳангоми транслятсия дар сатҳи таркиби чоркомпонента, нуқтаҳои нонвариантӣ ба қачхатҳои моновариантӣ табдил меёбанд ва бо ҳамдигар дучор шуда (бо риояи қоидаи фазаҳои Гиббс) нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонентаро ба вуҷуд меоранд.

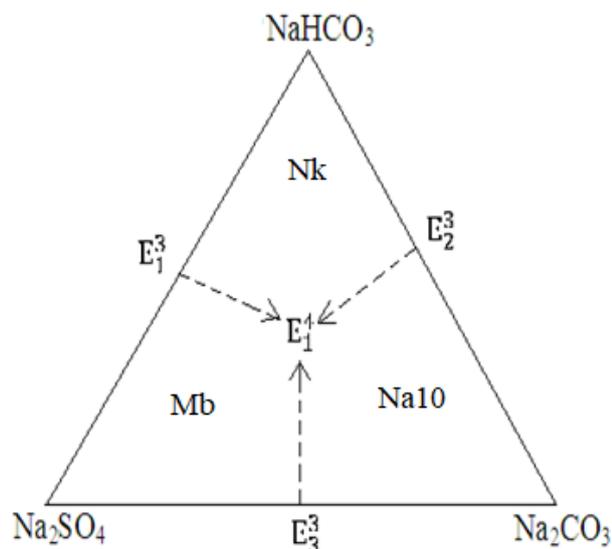
Аз нигоҳи риёзӣ инро метавон ҳамчун омезиши нуқтаҳои нонвариантии мувофиқ ифода кард. Таҳлили таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантии сечандаи дар боло овардашуда нишон медиҳад, ки омезиши зерини онҳо имконпазир аст:



Мувофиқи таҳқиқотҳои [108, 109], ин нуқтаи нонвариантӣ бо усули ҳалшавандагӣ ба таври таҷрибавӣ муайян карда шудааст, ки инро маълумоти аз ҷониби мо бо усули транслятсия бадастомада тасдиқ мекунад. Диаграммаи сарбасти комплексҳои фазавии системаи  $5Na^+ - SO_4^{2-} - CO_3^{2-} - HCO_3^- - H_2O$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента барои ҳарорати  $0^\circ C$ , ки бо усули транслятсия [121] сохта шудааст, дар расми 2.2 оварда шуда, инчунин дар таҳқиқоти [122] мавриди баррасӣ қарор гирифтааст.



Расми 2.1. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $5Na^+ - SO_4^{2-} - CO_3^{2-} - HCO_3^- - H_2O$  дар  $0^\circ C$



Расми 2.2. – Диаграммаи системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$

Тавре ки аз диаграмма дида мешавад, ҳамчун шакли геометрӣ секунҷаи баробартараф истифода шудааст, ки паҳлӯҳои он меҳварҳои координатии қисми намакии системаҳои секомпонентаро ташкил медиҳанд. Аз ин рӯ, дар паҳлӯҳои секунҷа мавқеи нуқтаҳои нонвариантии системаҳои секомпонентаи мувофиқ нишон дода шудаанд.

Транслятсияи онҳо ба сатҳи таркиби чоркомпонента дар шакли қачхатҳои моновариантӣ бо хатҳои пунктирӣ нишон дода шудааст. Ин қачхатҳои моновариантӣ дар сатҳи умумии компонентӣ мувофиқи усули транслятсия ва бо риояи қоидаи фазаҳо дучори ҳамдигар шуда, нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонентаро ба вучуд меоранд. Нуқтаи нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонента ( $E_1^4$ ), ки бо усули транслятсия муайян карда шудааст, тавассути транслятсияи «сетарафа» [112-116] ба вучуд омадаанд. Ғайр аз ин нуқтаи нонвариантӣ, инчунин барои системаи таҳқиқшаванда се майдони кристаллизатсияи фазаҳои саҳти инфиродӣ (Mb, Na10, Nk) хос мебошанд.

Система, инчунин бо се қачхати моновариантии аз ду фаза сер тавсиф мешавад, ки дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба сатҳи таркиби чоркомпонента ба вучуд омадаанд. Таркиби фазавии таҳшин дар онҳо ба таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантии мувофиқ дар сатҳи таркиби секомпонента якхела аст.

Усули транслятсия ба мо имкон медиҳад, ки диаграммаи сохташударо аз рӯи майдонҳои кристаллизатсияи фазаҳои алоҳида ба фрагментҳо [123, 124] ҷудо кунем.

Дар ҷадвали 2.2 номгӯй ва контурҳои майдонҳои дивариантии системаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$  оварда шудаанд.

Ҷадвали 2.2. – Контурҳои фрагменти майдонҳо дар системаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  барои  $0\text{ }^\circ\text{C}$

Фазаҳои мувозинатии майдонҳо	Контурҳои майдон дар диаграмма (Рас. 2.2)
Mb	
Na10	
Nk	

Изотермаи системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$ . Тибқи иттилооти [108, 109], системаҳои секомпонентаи  $3\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  ва  $4\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , мисли  $0\text{ }^\circ\text{C}$ , бо мавҷудияти як нуқтаи нонварианти тавсиф мешаванд. Ин шаҳодат медиҳад, ки байни компонентҳо барои ҳосилшавии моддаи нав ягон таъсири муттақобила имкон надорад. Дар системаи  $3\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  бо баланд шудани ҳарорат то  $25\text{ }^\circ\text{C}$  фазаи нав – кристаллогидрати намаки омехтаи карбонат ва гидрокарбонати натрий, ки бо номи трона (Tr) маълум аст, пайдо мешавад. Ҳолати мазкур боиси пайдоиши тасвирҳои геометрии иловагӣ дар системаи  $3\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  мегардад, бахусус, ба пайдоиши нуқтаи дуҷуми нонварианти.

Ҳамин тариқ, таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантии системаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби секомпонента чунин хоҳад буд (ҷадв. 2.3).

Ҷадвали 2.3. – Нуқтаҳои сатҳи сечандаи системаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$

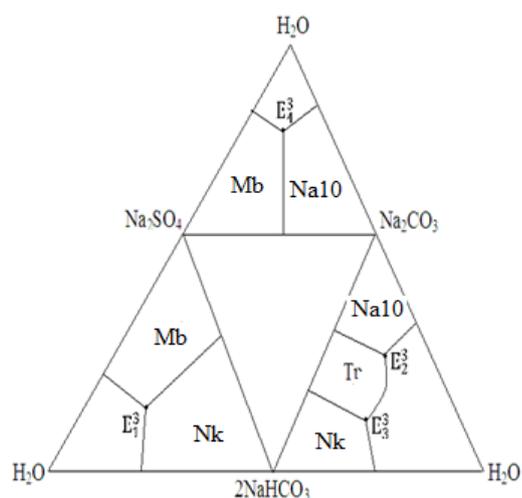
Система	Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$3\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$	$E_1^3$	Mb + Nk
$3\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$	$E_2^3$ $E_3^3$	Mb + Tr Tr + Na10
$4\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$	$E_4^3$	Na10 + Mb

Тавре ки мебинем, шумораи нуқтаҳои нонварианти дар системаи  $3\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар робита бо ташаккули фазаи нави мувозинатии трона (Tr) аз як ба ду афзуд. Аз рӯи маълумоти ҷадвали дар боло овардашуда, шакли кушодаи диаграммаи комплексҳои фазавии системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби секомпонента сохта шудааст (рас. 2.3).

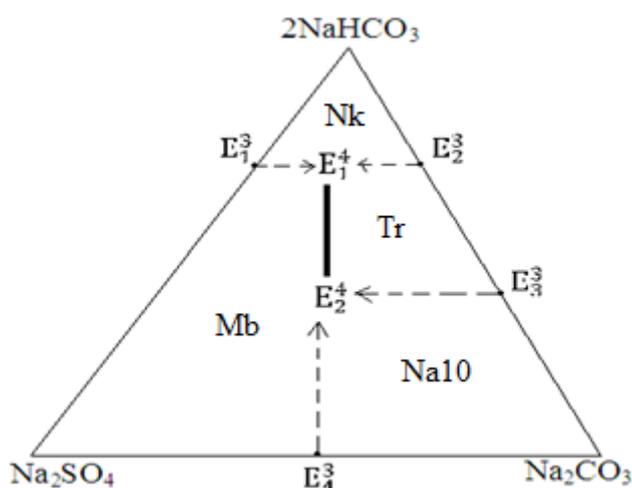
Таркиби фазавии таҳшинҳои нуқтаҳои нонварианти дар сатҳи таркиби секомпонентаи системаи таҳқиқшаванда нишон медиҳад, ки дар натиҷаи транслятсияи онҳо ба сатҳи таркиби чоркомпонента нуқтаҳои нонвариантии зерин ба вуҷуд меоянд:



Диаграммаи комплекси фазавии системаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента дар  $25^\circ\text{C}$ , ки бо усули транслятсия сохта шудааст, дар расмҳои 2.3 сатҳи секомпонентагӣ ва 2.4 таркиби чоркомпонентагӣ оварда шуда, инчунин дар кори [122] мавриди баррасӣ қарор гирифтааст.



Расми 2.3. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $5\text{Na}^+ \text{-SO}_4^{2-} \text{-CO}_3^{2-} \text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$



Расми 2.4. – Диаграммаи системаи  $5\text{Na}^+ \text{-SO}_4^{2-} \text{-CO}_3^{2-} \text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$

Дар диаграмма, ба ғайр аз нуктаҳои нонвариантии дар боло зикршуда, инчунин майдонҳои дивариантии фазаҳои саҳти Mb, Na10, Tr, Nk ва 5 қачхати моновариантӣ инъикос ёфтаанд, ки дар натиҷаи транслятсияи нуктаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба сатҳи таркиби чоркомпонента ба вуҷуд омадаанд.

Таркиби фазавии таҳшинҳо дар онҳо ба таркиби фазавии нуктаҳои нонвариантии мувофиқ дар сатҳи секомпонентагӣ идентивӣ аст. Қачхати моновариантӣ, ки дар байни нуктаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонента мегузарад, бо таркиби фазавии таҳшини зерин тавсиф мешавад:



Нуқтаҳои нонвариантие, ки муайян гардид ( $E_1^4$  ва  $E_2^4$ ), дар натиҷаи транслятсияи «дугарафа» [112-116] ба вуҷуд омадаанд. Афзоиши шумораи тасвирҳои геометрӣ дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  дар муқоиса бо  $0\text{ }^\circ\text{C}$  ба пайдоиши кристаллогидрати намаки омехтаи  $\text{Tr}$  ( $\text{NaHCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) вобаста аст, ки дар натиҷаи боҳамтаъсирии нахколит бо карбонати натрий ба вуҷуд омадааст ва он бо принципҳои асосии таҳлили физикӣ-химиявӣ [117] мувофиқат мекунад.

Тавре ки аз диаграммаи комплексҳои фазагӣ (рас. 2.4) дида мешавад, майдони кристаллизатсияи трона бо майдонҳои кристаллизатсияи се фазаи дигари мувозинатӣ, ки барои системаи таҳқиқшаванда дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  хосанд, ҳамсарҳад аст. Ин нишон медиҳад, ки майдони кристаллизатсияи  $\text{Tr}$  дар шароити додасуда қисми назарраси системаи таҳқиқшавандаро ишғол мекунад.

Ҳангоми фрагментатсия [125] диаграммаи системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар изотермаи  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , ки бо усули транслятсия сохта шудааст, контурҳои майдонҳои дивариантии зеринро нишон медиҳад (ҷадв. 2.4).

Сохтори системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар шароити зикршуда инчунин дар қори [123] баррасӣ шудааст.

**Ҷадвали 2.4.** – Контурҳои фрагменти майдонҳо дар системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  барои  $25\text{ }^\circ\text{C}$

Мувозинати дивариантии майдонҳо	Контурҳои майдонҳо дар диаграмма (рас. 2.4)
1	2
Mb	
Na10	

<i>Идомаи ҷадвали 2.4.</i>	
1	2
Nk	$  \begin{array}{ccc}  E_2^3 & \text{-----} & E_1^4 \\    & & \uparrow \\  \text{NaHCO}_3 & \text{-----} & E_1^3  \end{array}  $
Tr	$  \begin{array}{ccc}  E_2^3 & \text{-----} & E_1^4 \\    & &   \\  E_3^3 & \text{-----} & E_2^4  \end{array}  $

Изотермаи системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$ . Системаи чоркомпонентаи иони умумидори  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  аз зерсистемаҳои зерини секомпонента иборат мебошад:  $4\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $3\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  ва  $3\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ . Тибқи корҳои [108-109], ин системаҳои секомпонентаи  $3\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  ва  $4\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$  хуб омӯхта шудаанд. Онҳо бо фазаҳои саҳти мувозинатии зерин дар нуқтаҳои нонварианти тавсиф мешаванд (ҷадв. 2.5).

**Ҷадвали 2.5.** – Нуқтаҳои сатҳи сечандаи системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50^\circ\text{C}$

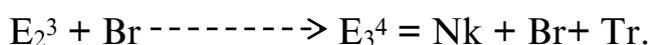
Система	Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$3\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_1^3$	Te+Nk
$3\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_2^3$ $E_3^3$	Nk+Tr Na1+Tr
$4\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_4^3$ $E_5^3$	Te+Br Br+Na·1

Мувофиқи маълумоти ҷадвал дар расми 2.5 диаграммаи мувозинатҳои фазавии системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби секомпонента дар шакли призмаи сетаарафаи кушода оварда шудааст.

Ҳангоми транслятсия ба сатҳи таркиби чоркомпонента, нуқтаҳои нонварианти ба хатҳои моноварианти мубаддал мегарданд (табдил

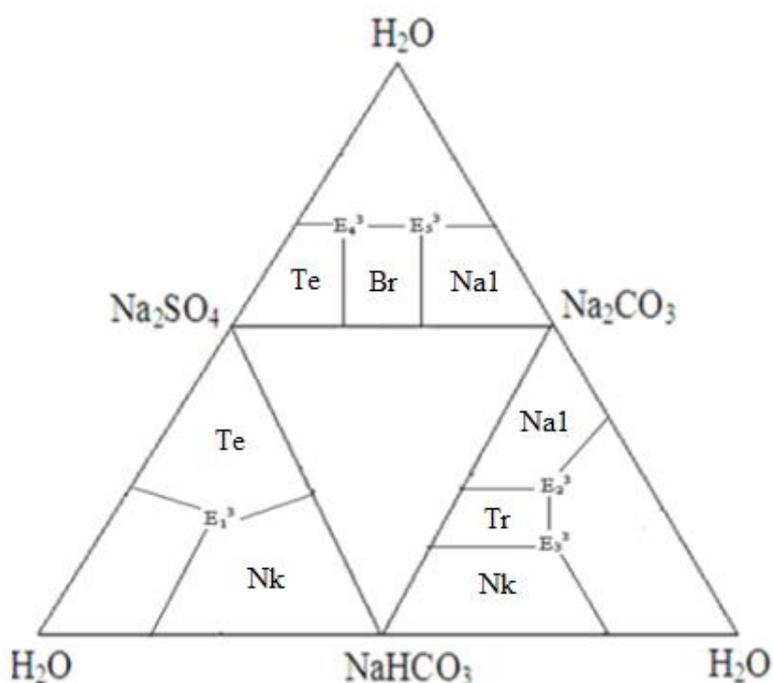
меёбанд) ва бо ҳамдигар вохурда (бо риояи қоидаи фазаҳои Гиббс), нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонентаро ба вучуд меоранд.

Инро аз ҷиҳати риёзӣ метавон ҳамчун омезиши нуқтаҳои нонвариантии мувофиқ ифода кард. Таҳлили таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантии сечандаи болозикр ифода мекунад, ки омезиши таври зерини онҳо имконпазир аст:

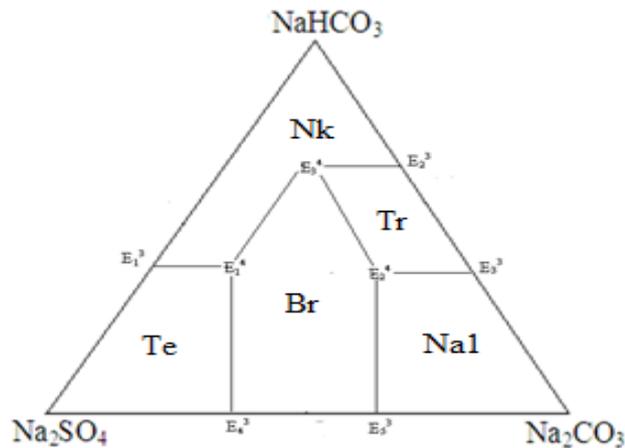


Мувофиқи корҳои [108, 109], ин нуқтаи нонварианти ба таври таҷрибавӣ бо усули ҳалшавандагӣ муайян шудааст, ки ин маълумоти аз ҷониби мо [121] бо усули транслятсия бадастомадаро тасдиқ мекунад.

Диаграммаи сарбастии мувозинати фазавии системаи  $5Na^+ - SO_4^{2-} - CO_3^{2-} - HCO_3^- - H_2O$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$ , ки бо усули транслятсия сохта шуда, дар расми 2.6 тасвир гаштааст ва инчунин, дар кори [121] баррасӣ гардидааст.



Расми 2.5. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $5Na^+ - SO_4^{2-} - CO_3^{2-} - HCO_3^- - H_2O$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$



Расми 2.6. – Диаграммаи системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$

Тавре ки аз расми 2.5 дида мешавад, дар ин ҳолат секунҷаи баробартараф ҳамчун шакли геометрӣ истифода шудааст. Тарафҳои он чаҳорҷӯбаи координатии қисми намакии системаҳои секомпонентаи таркибдиҳанда мебошанд. Бинобар ин, ба тарафҳои секунҷа мавқеи нуқтаҳои нонвариантии системаҳои секомпонентаи дахлдор ба таври схематикӣ пешкаш шудаанд. Транслятсияи онҳо ба сатҳи таркиби чоркомпонента, дар шакли хатҳои моновариантӣ, бо хатҳои пунктир нишон дода шудааст. Ин хатҳои моновариантӣ, мувофиқи талаботҳои усули транслятсия ва бо риояи қоидаи фазаҳо бо ҳамдигар дучор шуда, нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонентаро ба вуҷуд меоранд.

Нуқтаи нонвариантии сатҳи чоркомпонентагии  $E_1^4$ ,  $E_2^4$ , ки бо усули транслятсия муайян гаштааст, дар шакли транслятсияи «дутарафа» ва  $E_3^4$  бошад, зимни транслятсияи «яктарафа» ҳосил шудааст [112-116].

Илова бар ин барои системаи таҳқиқшаванда, инчунин бо панҷ майдони кристаллизатсияи фазаҳои саҳти инфиродӣ (Mb, Na·1, Nk, Br, Tr) хос аст. Система ҳамчунин бо се хатти моновариантӣ тавсиф мешавад, ки дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба сатҳи таркиби чоркомпонента ба вуҷуд омадаанд. Таркиби фазавии таҳшинҳо дар онҳо ба таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента якхела мебошад.

Барои гуворо гардидани майдонҳои дивариантии фазаҳои алоҳида диаграммаи мазкур [126] ба фазаҳои алоҳида фрагментатсия [127] кунонида шудааст (чадв. 2.6).

Чадвали 2.6. – Контуре фрагменти майдонҳо дар системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  барои  $50\text{ }^\circ\text{C}$

Фазаҳои саҳти мувозинатии майдонҳо	Контуре майдонҳо дар диаграмма (рас.2.6.)
Te	$\begin{array}{ccc} \text{Na}_2\text{SO}_4 & \text{-----} & \text{E}_1^3 \\   & & \vdots \\ \text{E}_4^3 & \text{-----} & \text{E}_1^4 \end{array}$
Na1	$\begin{array}{ccc} \text{E}_5^3 & \text{-----} & \text{Na}_2\text{CO}_3 \\ \vdots & &   \\ \text{E}_2^4 & \text{-----} & \text{E}_3^3 \end{array}$
Nk	$\begin{array}{ccc} \text{E}_1^3 & \text{-----} & \text{E}_1^4 & \text{-----} & \text{E}_3^4 \\   & & & & \vdots \\ \text{NaHCO}_3 & \text{-----} & & & \text{E}_2^3 \end{array}$
Tr	$\begin{array}{ccc} \text{E}_2^3 & \text{-----} & \text{E}_1^3 \\   & &   \\ \text{E}_3^3 & \text{-----} & \text{E}_2^4 \end{array}$
Br	$\begin{array}{ccc} \text{E}_4^3 & \text{-----} & \text{E}_1^4 & \text{-----} & \text{E}_3^4 \\   & & & &   \\ \text{E}_5^3 & \text{-----} & & & \text{E}_2^4 \end{array}$

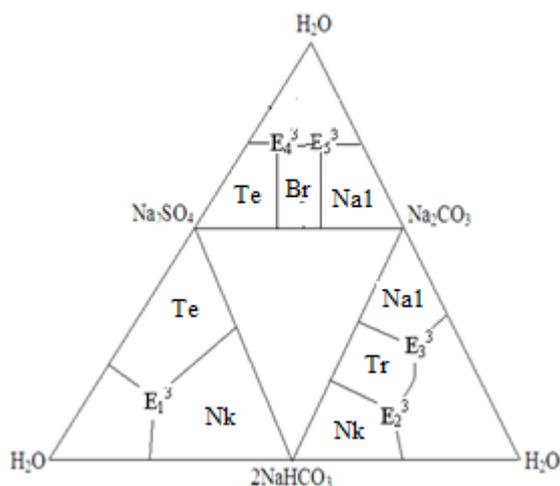
Изотермаи системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$ . Системаи чоркомпонента субсистемаҳои секомпонентаи зеринро дар бар мегирад:  $4\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ ,  $3\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  ва  $3\text{Na}^+\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$ . Мувофиқи корҳои [108, 109], системаҳои секомпонентаи  $3\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  ва  $4\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$ , мисли  $50\text{ }^\circ\text{C}$ , бо мавҷудияти як нуқтаи нонвариантии тавсиф мешаванд, ки ин гувоҳи набудани реаксия байни компонентҳо бо ташаккули фазаҳои нав мебошад.

Ҳамин тариқ, таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантии системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби секомпонента чунин буда метавонад (чадв. 2.7).

Ҷадвали 2.7. – Нуқтаҳои сатҳи сечандаи системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50^\circ\text{C}$

Система	Нуқтаи нонвариантӣ	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$3\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_1^3$	Te + Nk
$3\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_2^3$ $E_3^3$	Nk + Tr Tr + Na1
$4\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_4^3$ $E_5^3$	Te + Br Br + Na1

Тавре ки мебинем, шумораи нуқтаҳои нонвариантӣ нисбат ба ҳароратҳои  $0$  ва  $25^\circ\text{C}$  дар системаҳои  $3\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  ва  $4\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар робита бо ташаккули фазаи нави мувозинатӣ – Tr ва Br аз як ба ду афзоиш ёфт. Мувофиқи маълумоти ҷадвали зикршуда, диаграммаи мувозинати фазавии системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби секомпонента сохта шудааст (расми 2.7).

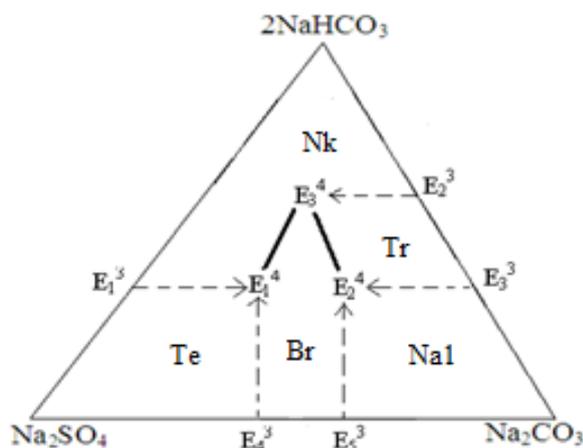


Расми 2.7. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$

Таркиби фазавии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантӣ дар сатҳи таркиби секомпонентаи системаи таҳқиқшаванда нишон медиҳад, ки дар натиҷаи транслятсияи онҳо ба сатҳи таркиби чоркомпонента, нуқтаҳои нонвариантӣ чоркомпонентаи зерин ба вуҷуд меоянд:



Диаграммаи мувозинати фазавии системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$ , ки бо усули транслятсия сохта шуда, дар расми 2.8 тасвир гашт, инчунин дар кори [128] баррасӣ гардидааст.



Расми 2.8. – Диаграммаи системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$

Дар диаграммаҳо илова бар нуқтаҳои нонвариантии дар боло зикршуда, инчунин майдонҳои дивариантии фазаҳои саҳти Te, Na1, Br, Tr, Nk ва 5 ҳатти моновариантии аз ду фазаи сер инъикос ёфтаанд, ки дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба сатҳи таркиби чоркомпонента ба вуҷуд омадаанд. Таркиби фазавии таҳшинҳо дар онҳо ба таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантии мувофиқ дар сатҳи таркиби секомпонента яхела мебошад.

Қаҷҳатти аз ду фазаи сери моновариантӣ, ки байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонента мегузарад, бо таркиби фазавии таҳшинҳои зерин тавсиф мешавад:



Нуқтаҳои нонвариантии аз ҷониби мо муайянкардашуда ( $E_1^4$  ва  $E_2^4$ ) дар натиҷаи транслятсияи «дугарафа» [112-116] ба вуҷуд омадаанд.

Шумораи шаклҳои геометрӣ дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$ , дар муқоиса бо  $50\text{ }^\circ\text{C}$ , баробар мебошанд, аммо ҳалшавандагии намакҳо дар об фарқ доранд. Фрагментатсияи диаграммаи системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ , ки бо усули транслятсия ва изотермаи  $75\text{ }^\circ\text{C}$  сохта шудааст [128-130], контурҳои

зерини майдонҳои дивариантии фазаҳои саhti мувозинатиho нишон медиҳад (ҷадв. 2.8).

Ҷадвали 2.8. – Контуре фрагменти майдонҳо дар системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  барои  $75\text{ }^\circ\text{C}$

Фазаҳои мувозинатии майдонҳо	Контуре майдон дар диаграмма (рас. 2.8)
Te	$\text{Na}_2\text{SO}_4$ ————— $\text{E}_1^3$   <span style="float: right;">↓</span> $\text{E}_4^3$ - - - - - $\text{E}_1^4$
Na1	$\text{E}_3^3$ ————— $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ↓ <span style="float: right;"> </span> $\text{E}_2^4$ ← - - - - - $\text{E}_5^3$
Nk	$\text{E}_2^3$ - - - - - $\text{E}_3^4$ ————— $\text{E}_1^4$   <span style="float: right;">↑</span> $\text{NaHCO}_3$ ————— $\text{E}_1^3$
Tr	$\text{E}_2^3$ - - - - - $\text{E}_3^4$   <span style="float: right;"> </span> $\text{E}_3^3$ - - - - - $\text{E}_2^4$
Br	$\text{E}_4^3$ - - - - - $\text{E}_1^4$ <span style="float: right;">/</span>   <span style="float: right;">\</span> $\text{E}_5^3$ - - - - - $\text{E}_2^4$ <span style="float: right;">\</span>

Изотермаи системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$ .  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  ҳамчун системаи чоркомпонента таркибан системаҳои секомпонентаи зерин:  $3\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$ ,  $3\text{Na}^+\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  ва  $4\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$  - ро дар бар мегирад. Вобаста ба корҳои [108, 109], системаҳои секомпонентаи  $3\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  ва  $4\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , дар муқоиса ба  $75\text{ }^\circ\text{C}$  ва  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , бо мавҷудияти як нуқтаи нонварианти тавсиф мешаванд. Ин нишон медиҳад, ки дар чунин ҳарорат ( $100\text{ }^\circ\text{C}$ ) байни фазаҳои Nk ва Tr барои ташаккули фазаи нави  $3\text{Na}\cdot\text{C}$  таъсири муттақобила вуҷуд дорад.

Дар системаи  $3\text{Na}^+\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  бо болоравии ҳарорат то  $100\text{ }^\circ\text{C}$  як фазаи нав – намаки омехтаи карбонат ва гидрокарбонати натрий, ки бо

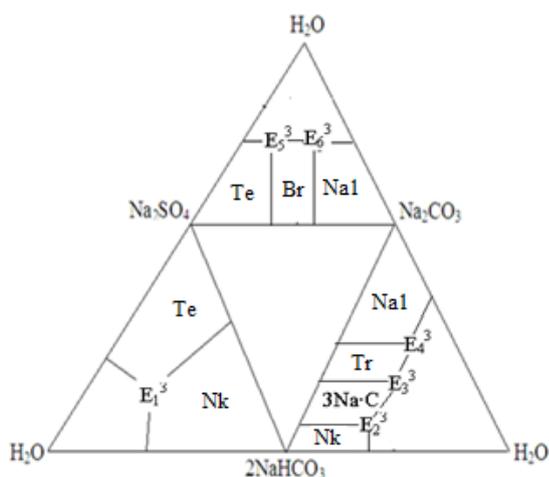
аломати шартии  $3\text{Na}\cdot\text{C}$  маълум аст, пайдо мешавад. Ин боиси пайдоиши шаклҳои геометрии иловагӣ дар системаи  $3\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  мегардад, бахусус ба вучуд омадани нуқтаи сеюми нонварианти.

Ҳамин тариқ, таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантии системаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби секомпонента чунин хоҳад буд (ҷадв. 2.9).

Ҷадвали 2.9. – Нуқтаҳои сатҳи сечандаи системаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  барои изотермаи  $100\text{ }^\circ\text{C}$

Система	Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$3\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$	$E_1^3$	Te + Nk
$3\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$	$E_2^3$	Nk + $3\text{Na}\cdot\text{C}$
	$E_3^3$	Tr + $3\text{Na}\cdot\text{C}$
	$E_4^3$	$3\text{Na}\cdot\text{C}$ + NaI
$4\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$	$E_5^3$	Te + Br
	$E_6^3$	Br + NaI

Тавре ки мебинем, шумораи нуқтаҳои нонварианти дар системаҳои  $3\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  ва  $4\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$  дар робита бо ташаккули фазаи нави мувозинатӣ –  $3\text{Na}\cdot\text{C}$  аз ду то се афзоиш ёфтааст. Мувофиқи маълумоти ҷадвали зикршуда диаграммаи комплекси фазавии системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби секомпонента сохта шуд (рас. 2.9).

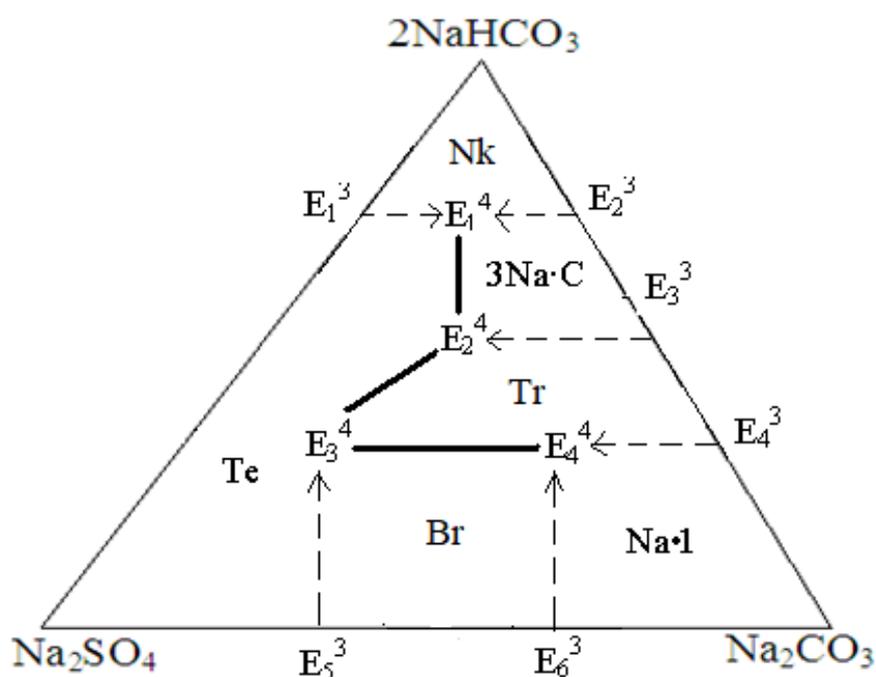


Расми 2.9. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$

Таркиби фазавии таҳшинҳои нуқтаҳои нонварианти дар сатҳи таркиби секомпонентаи системаи таҳқиқшаванда нишон медиҳад, ки дар натиҷаи транслятсияи онҳо ба сатҳи таркиби чоркомпонента, нуқтаҳои нонвариантии чоркомпонентаи зерин ба вуҷуд меоянд:



Диаграммаи мувозинати фазагии системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента дар  $100^\circ\text{C}$ , ки бо усули транслятсия сохта шудааст [131] дар расми 2.10 тасвир гаштааст.



Расми 2.10. – Диаграммаи системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $100^\circ\text{C}$

Дар диаграмма, илова бар нуқтаҳои нонвариантии дар боло зикршуда, инчунин майдонҳои дивариантии фазаҳои саҳти  $\text{Te}$ ,  $\text{Na1}$ ,  $\text{Br}$ ,  $\text{Tr}$ ,  $3\text{Na}\cdot\text{C}$ ,  $\text{Nk}$  ва 6 ҳатти моновариантии инъикос ёфтаанд, ки дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба сатҳи таркиби чоркомпонента ба вуҷуд омадаанд. Таркиби фазавии таҳшинҳо ба таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантии мувофиқ дар сатҳи таркиби секомпонента якхела мебошанд.

Качхатҳои моновариантие, ки байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонента мегузарад, бо таркиби фазавии таҳшинҳои зерин тавсиф мешаванд:



Нуқтаҳои нонвариантии бо усули транслятсия муайяншудаи ( $E_1^4$  ва  $E_4^4$ ) дар натиҷаи транслятсияи «дугарафа» [112-116] ба вуҷуд омадаанд. Афзоиши шумораи шаклҳои геометрӣ дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , дар муқоиса бо  $75\text{ }^\circ\text{C}$ , бо пайдоиши намакҳои омехтаи  $3\text{Na}\cdot\text{C}$  ( $3\text{NaHCO}_3\cdot\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) дар натиҷаи таъсири нахколит бо трона алоқаманд аст.

Тавре ки аз диаграммаи мувозинати фазагии сохташуда (рас. 2.10) дида мешавад, майдони кристаллизатсияи трона бо майдонҳои кристаллизатсияи чаҳор фазаи дигари мувозинатӣ, ки барои системаи таҳқиқшаванда дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$  хосанд, ҳамсарҳад аст. Ин шаҳодат медиҳад, ки майдони кристаллизатсияи Tr қисми назарраси системаи таҳқиқшавандаро дар шароити овардашуда ишғол мекунад.

Фрагментатсияи диаграммаи комплекси фазагии системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  ҳудуди кристаллизатсияи алоҳида [132, 133], бо усули транслятсия ва изотермаи  $100\text{ }^\circ\text{C}$  сохта шудааст, контурҳои зерини майдонҳои дивариантии фазаҳои саҳти мувозинатиро нишон медиҳад (ҷадв. 2.10).

Ҷадвали 2.10. – Контური фрагменти майдонҳо дар системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  барои  $100\text{ }^\circ\text{C}$

Фазаҳои саҳти мувозинатӣ	Контური майдон дар диаграмма (рас. 2.10)
1	2
Te	$\begin{array}{c} \text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ ————— } E_1^3 \text{ -- } \rightarrow E_1^4 \\   \qquad \qquad \qquad   \\ E_5^3 \text{ - - - - - } \rightarrow E_3^4 \text{ ————— } E_2^4 \\   \qquad \qquad \qquad   \\ E_6^3 \text{ ————— } \text{Na}_2\text{CO}_3 \\   \qquad \qquad \qquad   \\ E_4^4 \text{ ← - - - - - } E_4^3 \end{array}$
Na1	

<i>Идомаи ҷадвали 2.10.</i>	
1	2
Nk	
Tr	
Br	
3Na·C	

Таҳлили муқоисавии миқдори шаклҳои геометрии системаи таҳқиқшаванда дар ҳароратҳои 75 °C ва 100 °C [131] нишон медиҳад, ки теъдоди шаклҳои геометрӣ дар он чунин аст:

Шаклҳои геометрӣ	Изотерма, °C	
	75	100
Майдонҳои дивариантӣ	4	5
Хатҳои моновариантӣ	7	9
Нуқтаҳои нонвариантӣ	3	4

### 2.3. Политермаи системаи чоркомпонентаи $3\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-2HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$ дар фосилаи 0 ÷ 100 °C, ки иони умумии $\text{Ca}^{2+}$ дорад

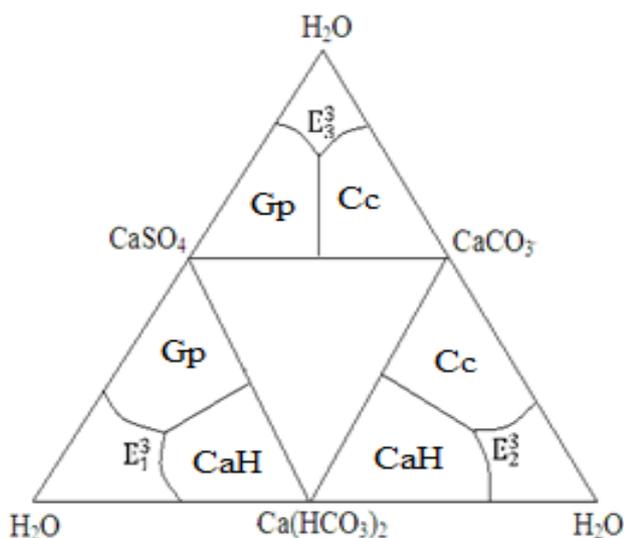
Ба мо маълум аст, ки системаҳои химиявӣ иони умумидор ва муовиза мешаванд. Системаи  $3\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-2HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  иони умумии калсий дошта дар таркибаш ба ғайр аз об пайвастиҳои зерини химиявии калсийдор ба мушоҳида мерасанд:  $\text{CaSO}_4$ ;  $\text{CaCO}_3$ ;  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Ҳамзамон системаҳои секомпонентаи  $2\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ ,  $2\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-2HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  ва  $2\text{Ca}^{2+}\text{-CO}_3^{2-}\text{-2HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  системаи чоркомпонентаи номбурдари ба вуҷуд меоранд.

Комплекси фазавӣ дар ин системаҳои секомпонента [108, 109] ва худи системаи чоркомпонента [110, 111] бо усули ҳалшавандагӣ умуман омӯхта нашудаанд ва барои онҳо нуқтаҳои нонвариантии зерин (ҷадв. 2.12), мисли системаҳои типии эвтектикии оддӣ имконпазиранд.

Ҷадвали 2.12. – Нуқтаҳои сатҳи сечандаи системаи  $3\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-2HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$

Система	Нуқтаи нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$2\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$	$E_1^3$	Gp + CaG
$\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-2HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$	$E_2^3$	Cc + CaG
$\text{Ca}^{2+}\text{-CO}_3^{2-}\text{-2HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$	$E_3^3$	Gp + Cc

Бо истифода аз ин маълумот, диаграммаи комплекси фазагии системаи  $3\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-2HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  дар фосилаи ҳароратҳои аз 0 то 100 °C дар сатҳи таркиби секомпонента дар шакли призмаи сетаарафаи кушодашуда сохта шудааст (рас. 2.11).



Расми 2.11. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  дар  $0\div 100$  °C

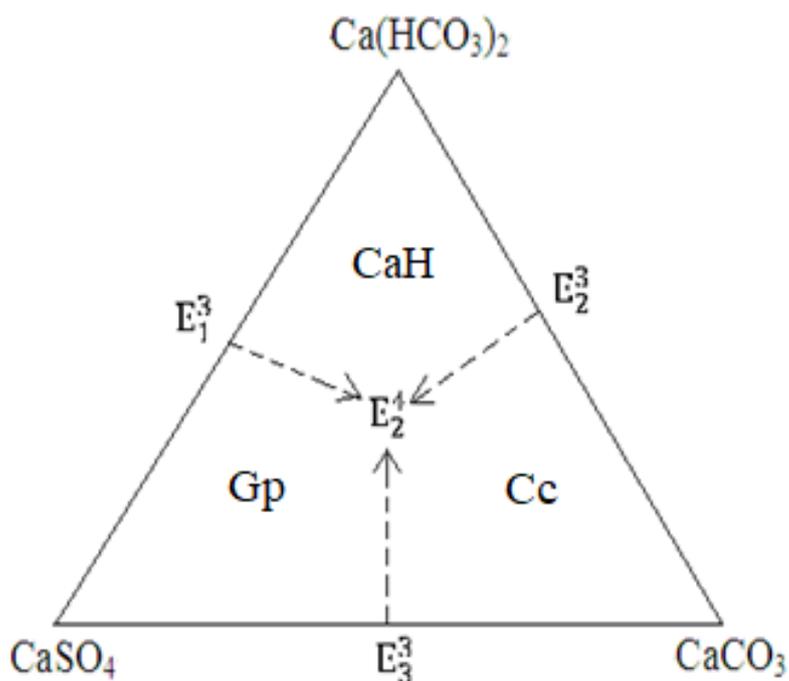
Хатҳои моноварианти, ки дар натиҷаи транслясияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба вучуд омадаанд, бо ҳамдигар бурида шуда, нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонентаро ташкил медиҳанд. Амалисозии ин раванд ба таври схематикӣ дар расми 2.12 нишон дода шудааст.

Транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба сатҳи таркиби чоркомпонента низ дар дохили секунҷа дар шакли хатти пунктир нишон дода шудааст. Дар сатҳи таркиби чоркомпонента, хатҳои моновариантӣ, ки дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба вуҷуд омадаанд, бо ҳамдигар бархурда (мувофиқи қонунҳои топология ва риояи қоидаи фазаҳо), нуқтаҳои нонвариантии мувофиқро дар сатҳи таркиби чоркомпонента ба вуҷуд меоранд. Аз нигоҳи математикӣ, инро чунин ифода кардан мумкин аст:

$$E_1^3 + E_2^3 + E_3^3 \dashrightarrow E_2^4 = \text{Gp} + \text{Cc} + \text{CaH}.$$

Нуқтаи нонвариантии сатҳи чоркомпонента, ки муайян шудааст, тавассути транслятсияи «сетарафа» ба вуҷуд меояд. Барои системаи зикршуда, инчунин мавҷудияти се хатти моновариантии аз ду фаза сер хос аст. Таркиби фазавии таҳшинҳо дар онҳо ба таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантии мувофиқ дар сатҳи таркиби секомпонента яхела мебошанд.

Дар диаграмма контурҳои майдонҳои кристаллизатсияи фазаҳои алоҳида (майдонҳои дивариантӣ) инъикос ёфтаанд, ки намуди зеринро доранд (ҷадв. 2.12).



Расми 2.12. – Диаграммаи системаи  $3\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-2HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$

Чадвали 2.12. – Контури фрагменти майдонҳо дар системаи  $3\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-2HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $0\div 100\text{ }^\circ\text{C}$

Фазаҳои мувозинатии майдонҳо	Контури майдон дар диаграмма (рас. 2.12)
Gp	
Cc	
CaH	

Сохтори диаграммаи комплекси фазавии системаи  $3\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-2HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  дар  $0\text{-}100\text{ }^\circ\text{C}$  аз ҷониби мо дар корҳои [134-138] низ баррасӣ шудааст.

#### 2.4. Политермаи системаи чоркомпонентаи муовизаи обӣ-намакии сулфатҳо, карбонатҳои натрий ва калсий дар фосилаи $0\div 100\text{ }^\circ\text{C}$

Изотермаи системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$ . Системаи чоркомпонентаи таркибаш дар боло овардашуда панҷ қисми таркибӣ дошта, системаҳои секомпонентаи зеринро дар бар мегирад:  $4\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-2SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-2CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$  ва  $2\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-2HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$ .

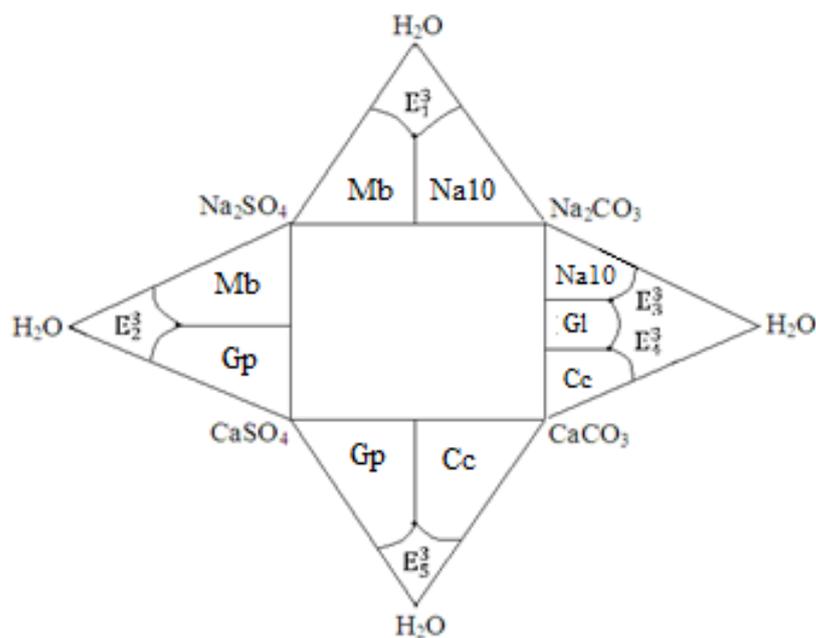
Мувофиқи адабиёти [108, 109], се системаи аввал ба таври таҷрибавӣ ҳуб омӯхта шудаанд ва барои онҳо нуқтаҳои нонвариантии зерин (чадв. 2.13) муайян карда шудаанд.

Сохтори системаи  $2\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-2HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  ҳамчун эвтектикии оддӣ бо як нуқтаи нонвариантии қабул шудааст.

Чадвали 2.13. – Фазаҳои сахти мувозинатии сатҳи сечандаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$

Система	Нуқтаҳои нонвариантӣ	Фазаҳои сахти мувозинатӣ
$4\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$	$E_1^3$	Mb + Na·10
$2\text{Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-2SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$	$E_2^3$	Mb + Gp
$2\text{Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-2CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$	$E_3^3$ $E_4^3$	Na·10 + Gl Cc + Gl
$2\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-2HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$	$E_5^3$	Gp + Cc

Дар расми 2.13 диаграммаи комплекси фазавии системаи чоркомпонентаи мавриди таҳқиқ қарор дошта дар сатҳи таркиби секомпонента дар  $0^\circ\text{C}$  дар шакли пирамидаи чортарафаи «кушодашуда» оварда шудааст. Диаграмма мувофиқи маълумоти чадвали 2.13 сохта шудааст. Тавре ки мебинем, дар ин сатҳи компонентнокӣ он бо панҷ нуқтаи нонвариантӣ тавсиф меёбад.



Расми 2.13. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$

Ҳангоми транслятсияи ин нуқтаҳо ба сатҳи таркиби чоркомпонента дар шакли хатҳои моновариантӣ ва бурида шудани онҳо дар фазо нуқтаҳои нонвариантӣ зерини сатҳи чоркомпонента бо фазаҳои сахти мувозинатӣ ба вуҷуд меоянд:



моновариантӣ ба таркиби фазавии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонента, ки транслятсия шудаанд, якхела мебошад. Ду хатти моновариантӣ байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонента мегузаранд, ки дар шакли хатҳои ғафси яклуфт нишон дода шудаанд. Таркиби фазавии таҳшинҳои зерин мебошанд:



Контурҳои майдонҳои дивариантии кристаллизатсияи фазаҳои саҳти алоҳидаи системаи  $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$  дар  $0^\circ C$  дар ҷадвали 2.14, ки зимни фрагментатсияи фазаҳо ҳудуди кристаллизатсияи алоҳида [139] ба даст меоянд, оварда шудаанд.

Ҷадвали 2.14. – Контурҳои фрагменти майдонҳо дар системаи  $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$  барои ҳарорати  $0^\circ C$

Фазаҳои саҳти мувозинатӣ	Контурҳои майдонҳо дар диаграмма (рас. 2.14)
Mb	$\begin{array}{ccc} Na_2SO_4 & \text{— } E_1^3 & \text{---} E_5^4 \\   & &   \\ E_2^3 & \text{-----} & E_7^4 \end{array}$
Gr	$\begin{array}{ccc} E_2^3 & \text{-----} & E_7^4 \text{ — } E_6^4 \\   & &   \\ CaSO_4 & \text{— } & E_5^3 \end{array}$
Na·10	$\begin{array}{ccc} E_1^3 & \text{— } & Na_2CO_3 \\   & &   \\ E_5^4 & \text{-----} & E_3^3 \end{array}$
Gl	$\begin{array}{ccc} E_5^4 & \text{-----} & E_3^3 \\   & &   \\ E_7^4 & \text{— } E_6^4 & \text{-----} E_4^3 \end{array}$
Cc	$\begin{array}{ccc} E_6^4 & \text{-----} & E_4^3 \\   & &   \\ E_5^3 & \text{— } & CaCO_3 \end{array}$

Тавре ки сохтори диаграмма (рас. 2.14) нишон медиҳад, майдони кристаллизатсияи гейлюссит (Gl) бо майдонҳои кристаллизатсияи ҳамаи дигар фазаҳои саҳти инфиродии мувозинатии система ҳамсарҳад аст. Ин

нишон медиҳад, ки чунин майдон дар  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ҳадди аксари ҳаҷми системаи таҳқиқшавандаро ишғол мекунад. Сохтори системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  инчунин дар кори [140] баррасӣ шудааст.

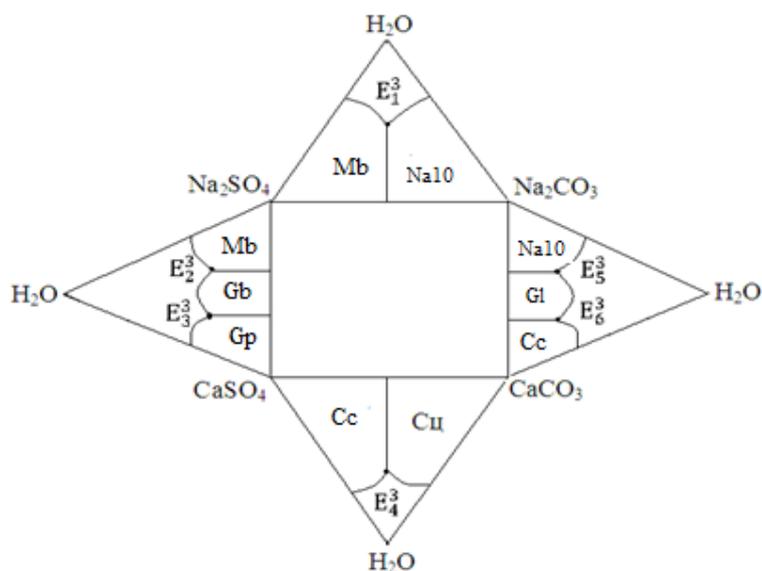
Изотермаи системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Тибқи маълумотномаи ҳалшавандагии намакҳо [108, 109], системаҳои секомпонентаи хоси ин система дар  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ба таври таҷрибавӣ ҳуб омӯхта шудаанд ва барои онҳо нуқтаҳои нонвариантии зерин (ҷадв. 2.15) хос мебошанд.

**Ҷадвали 2.15. – Фазаҳои саҳти сатҳи сечандаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$**

Система	Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$4\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_1^3$	$\text{Mb} + \text{Na} \cdot 10$
$2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_2^3$	$\text{Gb} + \text{Mb}$
	$E_3^3$	$\text{Gp} + \text{Gb}$
$2\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_4^3$	$\text{Cc} + \text{Gp}$
$2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_5^3$	$\text{Na} \cdot 10 + \text{Gl}$
	$E_6^3$	$\text{Gl} + \text{Cc}$

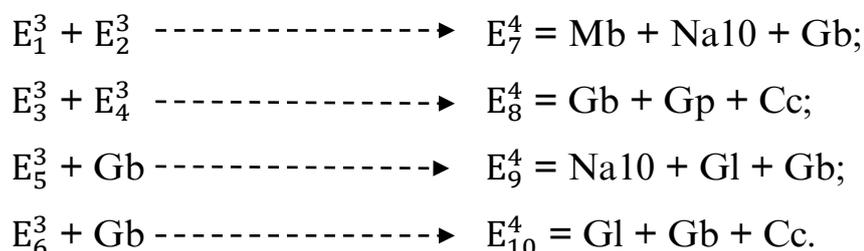
Муқоиса бо изотермаи  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -и системаи таҳқиқшаванда нишон медиҳад, ки шумораи нуқтаҳои нонварианти аз 5 то 6 афзоиш ёфтааст. Ин вобаста аст аз он, ки дар системаи секомпонентаи  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  баланд шудани ҳарорат ба ташаккули фазаи нави саҳти мувозинатии –  $\text{Gl}$  мусоидат мекунад.

Мувофиқи принципҳои асосии таҳлили физико-химиявӣ [117], ин боиси пайдоиши шаклҳои мувофиқи геометрӣ дар диаграмма мегардад. Майдони кристаллизатсияи он байни майдонҳои кристаллизатсияи  $\text{Mb}$  ва  $\text{Gp}$  ҷойгир аст. Дар натиҷаи пайдоиши фазаи нави саҳти мувозинатӣ дар системаи  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  нуқтаи нави нонварианти ба вуҷуд меояд, ки онро аз расми 2.15 мушиҳида кардан мумкин аст.



Расми 2.15. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$

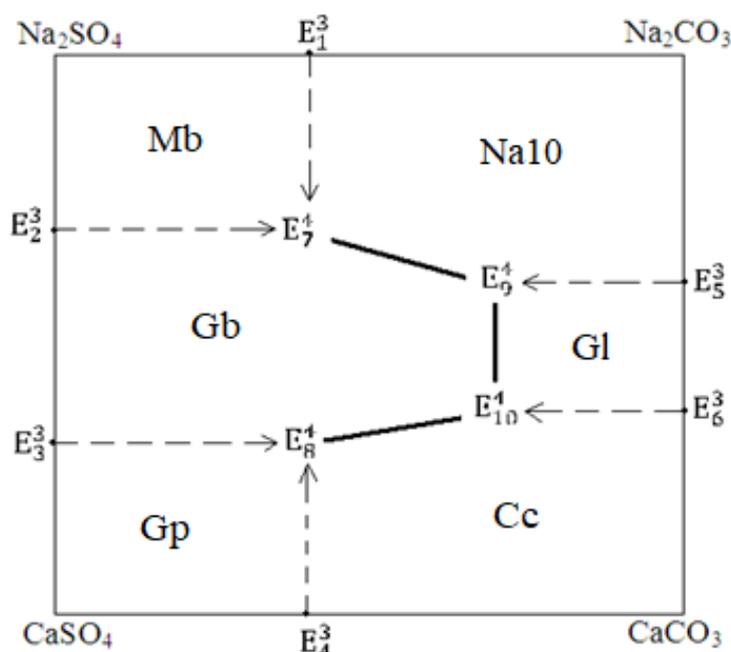
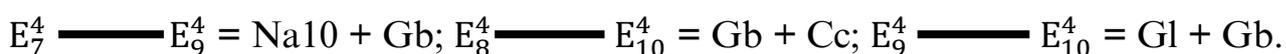
Ҳангоми транслятсияи ин нуқтаҳои нонвариантии сечанда ба сатҳи таркиби чоркомпонента дар шакли хатҳои моновариантии ва бурида шудани онҳо мувофиқи корҳои [112-116], нуқтаҳои нонвариантии зерини сатҳи чоркомпонента бо фазаҳои саҳти мувозинатӣ ба вуҷуд меоянд:



Тавре ки мебинем, аз 4 нуқтаи нонвариантии сатҳи чоркомпонента, дутои онҳо ( $E_7^4$  ва  $E_8^4$ ) дар натиҷаи транслятсияи «дугарафа» ва дутои дигар ( $E_9^4$  ва  $E_{10}^4$ ) дар натиҷаи транслятсияи «яктарафа» ба вуҷуд омадаанд.

Диаграммаи комплексҳои фазавии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , ки бо усули транслятсия дар расми 2.16 оварда шудааст. Дар ин диаграмма, мувофиқи принсипи мутобиқат, элементҳои сохтори диаграммаи системаи таҳқиқшаванда дар сатҳҳои таркиби чоркомпонента ва секомпонента якҷоя карда шудаанд. Илова бар нуқтаҳои нонвариантии аз се фаза сери дар боло зикршуда, он инчунин мавҷудияти 6 майдони дивариантии аз як фазаи серии фазаҳои

сахти инфиродӣ (Mb, Gb, Gp, Gl, Cc ва Na10) ва 9 хатти моновариантии ду фазаи серро инъикос мекунад. Хатҳои моновариантии пайдоиши духела доранд. Шаштои онҳо дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба сатҳи таркиби чоркомпонента ба вучуд омадаанд ва бо хатҳои пунктирӣ ишора шудаанд. Се қачхати моновариантии дигар барои маҳдуд кардани майдонҳо, байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонентагӣ ҳосил шудаанд, ки мувозинати фазагӣ дар онҳо чунин аст:



Расми – 2.16. – Диаграммаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$

Таҳлили сохтори диаграммаи сохташудаи комплекси фазагии системаи мавриди таҳқиқ дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  нишон медиҳад, ки майдони кристаллизатсияи глауберит (Gb) бо майдонҳои кристаллизатсияи ҳамаи дигар фазаҳои сахти инфиродии мувозинатии система ҳамсарҳад аст. Ин шаҳодати он мебошад, ки ин майдон қисми назарраси системаи таҳқиқшавандаро дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  ишғол мекунад.

Фрагментатсияи ҳудуди фазаҳои алоҳида ва контурҳои майдонҳои дивариантии кристаллизатсияи фазаҳои сахти алоҳидаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  [141, 142] дар ҷадвали 2.16 оварда шудаанд.

Чадвали 2.16. – Контури фрагменти майдонҳо дар системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  барои ҳарорати  $25\text{ }^\circ\text{C}$

Фазаҳои саҳти майдонҳо	Контури майдонҳо дар диаграмма (рас. 2.16)
Mb	$\begin{array}{ccc} \text{Na}_2\text{SO}_4 & \text{-----} & \text{E}_1^3 \\   & & \vdots \\ \text{E}_2^3 & \text{-----} & \text{E}_7^4 \\ & & \downarrow \end{array}$
Gb	$\begin{array}{ccc} \text{E}_2^3 & \text{-----} & \text{E}_7^4 & \text{-----} & \text{E}_9^4 \\   & & \text{-----} & &   \\ \text{E}_3^3 & \text{-----} & \text{E}_8^4 & \text{-----} & \text{E}_{10}^4 \end{array}$
Gp	$\begin{array}{ccc} \text{E}_3^3 & \text{-----} & \text{E}_8^4 \\   & & \uparrow \\ \text{CaSO}_4 & \text{-----} & \text{E}_4^3 \end{array}$
Na10	$\begin{array}{ccc} \text{E}_1^3 & \text{-----} & \text{Na}_2\text{CO}_3 \\ \vdots & &   \\ \text{E}_7^4 & \text{-----} & \text{E}_9^4 & \text{-----} & \text{E}_5^3 \end{array}$
G1	$\begin{array}{ccc} \text{E}_9^4 & \text{-----} & \text{E}_5^3 \\   & &   \\ \text{E}_{10}^4 & \text{-----} & \text{E}_6^3 \end{array}$
Cc	$\begin{array}{ccc} \text{E}_8^4 & \text{-----} & \text{E}_{10}^4 & \text{-----} & \text{E}_6^3 \\ \vdots & & & &   \\ \text{E}_4^3 & \text{-----} & \text{CaCO}_3 \end{array}$

Соҳтори диаграммаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  барои  $25\text{ }^\circ\text{C}$  дар кори [143] баррасӣ шудааст.

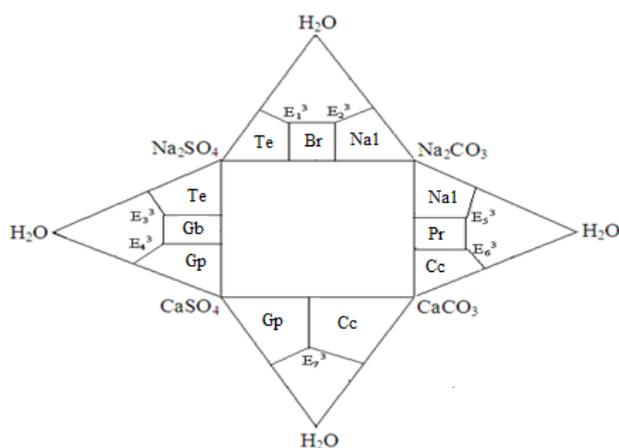
Изотермаи системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$ . Системаи чоркомпонентаи иборат аз катионҳои натрий, калсий ва анионҳои сулфат, карбонат субсистемаҳои секомпонентаи зеринро дар бар мегирад:  $4\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  ва  $2\text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ . Тибқи маълумоти адабиёт системаи чоркомпонентаи мазкур дар ҳарорати  $50\text{ }^\circ\text{C}$  умуман омӯхта нашудааст [110, 111], вале се системаи аввал [108, 109] ба таври таҷрибавӣ хуб омӯхта таҳқиқ ва барои онҳо нуқтаҳои нонвариантии зерин (чадв. 2.17) муайян гаштаанд.

Сохтори системаи  $2Ca^{2+}-CO_3^{2-}-SO_4^{2-}-H_2O$  ҳамчун эвтоникии оддӣ бо як нуқтаи нонварианти қабул шудааст.

Ҷадвал 2.17. – Нуқтаҳои нонварианти сечандаи субсистемаҳои системаи  $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-}-H_2O$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$

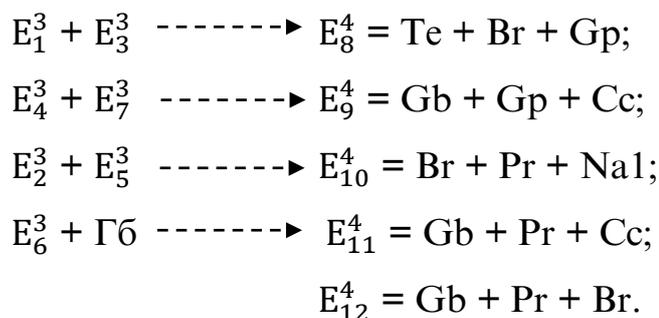
Система	Нуқтаҳои нонварианти	Ҷазаҳои саҳти мувозинати
$4Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-H_2O$	$E_1^3$ $E_2^3$	Te + Br Br + NaI
$4Na^+-Ca^{2+}-SO_4^{2-}-H_2O$	$E_3^3$ $E_4^3$	Te + Gb Gb + Gp
$2Na^+-Ca^{2+}-CO_3^{2-}-H_2O$	$E_5^3$ $E_6^3$	NaI + Pr Cc + Pr
$2Ca^{2+}-CO_3^{2-}-SO_4^{2-}-H_2O$	$E_7^3$	Gp + Cc

Дар расми 2.17 диаграммаи комплекси фазавии системаи чоркомпонентаи таҳқиқшаванда дар сатҳи таркиби секомпонента дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$  дар шакли пирамидаи чортарафаи кушодашуда оварда шудааст. Тавре ки мебинем, дар ин сатҳи компонентӣ он бо ҳафт нуқтаи нонварианти тавсиф меёбад.



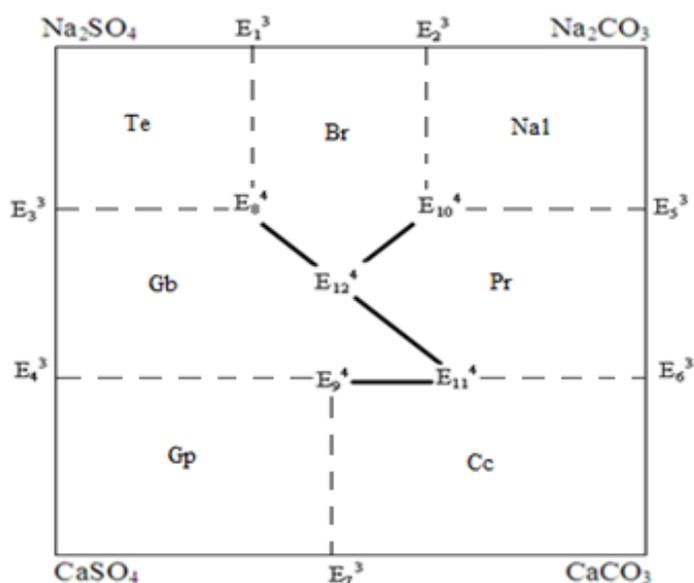
Расми 2.17. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-}-H_2O$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$

Ҳангоми транслятсияи нуқтаҳои ҷадвали 2.17 ба сатҳи таркиби чоркомпонента дар шакли хатҳои моноварианти ва дар сатҳи компонентнокии минбаъда вохурда нуқтаҳои нонварианти зерини сатҳи чоркомпонентаро бо ҷазаҳои саҳти мувозинати ба вуҷуд меорад:



Бо усули транслятсия аз панҷ нуқтаи нонвариантии ҳосилшуда се тои онҳо ( $E_8^4$ ,  $E_9^4$ ,  $E_{10}^4$ ) тавассути транслятсияи «дугарафа», нуқтаи нонвариантии  $E_{11}^4$  тавассути транслятсияи «яктарафа» ва дигаре  $E_{12}^4$  тавассути транслятсияи «мобайнӣ» ба вучуд омадаанд [112-116].

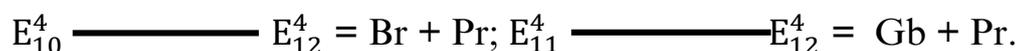
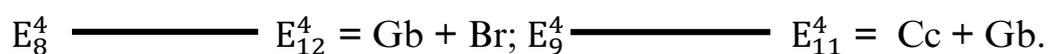
Диаграммаи комплекси фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $50^\circ\text{C}$ , ки бо усули транслятсия сохта шудааст, дар расми 2.18 тасвир гашт.



Расми 2.18. – Диаграммаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $50^\circ\text{C}$

Диаграмма дар асоси пирамидае, ки барои тасвири шаклҳои геометрии система дар сатҳи таркиби секомпонента (рас. 2.17) истифода шуда буд, проексия шудааст. Дар он, илова бар нуқтаҳои нонвариантии аз се фаза сери дар боло зикршуда, инчунин мавҷудияти 7 майдони дивариантии аз як фаза сери инфиродии Te, Gb, Gp, Na1, Pr Cc ва 11 хатти моновариантии аз ду фаза сер инъикос ёфтааст.

Хатҳои моновариантӣ пайдоиши табиати духелагӣ доранд. Ҳафттои онҳо дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба худуди таркиби чоркомпонента ба вуҷуд омадаанд ва бо хатҳои пунктирӣ ишора шудаанд. Таркиби фазавии таҳшинҳои ин хатҳои моновариантӣ ба таркиби фазавии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантии фосилаи таркиби секомпонента, ки аз онҳо транслятсия шудаанд, яхела мебошад. Чор хатти моновариантӣ байни нуқтаҳои нонвариантии минтақаи таркиби чоркомпонента мегузаранд, ки дар шакли хатҳои яклухти ғафс нишон дода шудаанд ва таркиби фазавии таҳшинҳои зеринро доранд:



Сохтори системаи  $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$  дар  $50\text{ }^\circ C$  инчунин дар корҳои [144, 145] баррасӣ гаштааст.

Фрагментҳои контурҳои майдонҳои дивариантии кристаллизатсияи фазаҳои сахти алоҳидаи системаи  $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$  дар  $50\text{ }^\circ C$  [146] дар диаграмма (рас. 2.18), дар ҷадвали 2.18 оварда шудаанд.

Ҷадвали 2.18. – Контური фрагменти майдонҳо дар системаи  $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$  барои ҳарорати  $50\text{ }^\circ C$

Фазаҳои сахти мувозинатӣ	Контური майдонҳо дар диаграмма (рас. 2.18)
1	2
Te	$\begin{array}{ccc} Na_2SO_4 & \text{—————} & E_1^3 \\   & & \vdots \\ E_2^3 & \text{-----} & E_8^4 \end{array}$
Gp	$\begin{array}{ccc} E_4^3 & \text{-----} & E_9^4 \\   & & \vdots \\ CaSO_4 & \text{—————} & E_7^3 \end{array}$
Na·1	$\begin{array}{ccc} E_2^3 & \text{—————} & Na_2CO_3 \\ \vdots & &   \\ E_{10}^4 & \text{-----} & E_5^3 \end{array}$

<i>Идомаи ҷадвали 2.18.</i>	
1	2
Pr	$\begin{array}{ccc} E_{10}^4 & \leftarrow \text{-----} & E_5^3 \\   & &   \\ E_{12}^4 & \text{-----} & E_{11}^4 \leftarrow \text{---} & E_6^3 \end{array}$
Gb	$\begin{array}{ccc} E_{12}^4 & \text{-----} & E_8^4 \leftarrow \text{---} & E_3^3 \\   & &   \\ E_{11}^4 & \text{-----} & E_9^4 \leftarrow \text{---} & E_4^3 \end{array}$
Br	$\begin{array}{ccc} E_8^4 & \leftarrow \text{-----} & E_1^3 \\   & &   \\ E_{12}^4 & \text{-----} & E_{10}^4 \leftarrow \text{---} & E_2^3 \end{array}$
Cc	$\begin{array}{ccc} E_9^4 & \text{-----} & E_{11}^4 \leftarrow \text{---} & E_6^3 \\   & &   \\ E_7^3 & \text{-----} & \text{CaCO}_3 \end{array}$

Тавре ки сохтори диаграмма (расми 2.18) нишон медиҳад, майдони кристаллизатсияи глауберит (Gb) бо майдонҳои кристаллизатсияи бисёре аз дигар фазаҳои саҳти инфиродии мувозинатии система ҳамсарҳад аст. Ин аз он шаҳодат медиҳад, ки дар 50 °C майдон қисми назарраси системаи таҳқиқшавандаро ишғол мекунад.

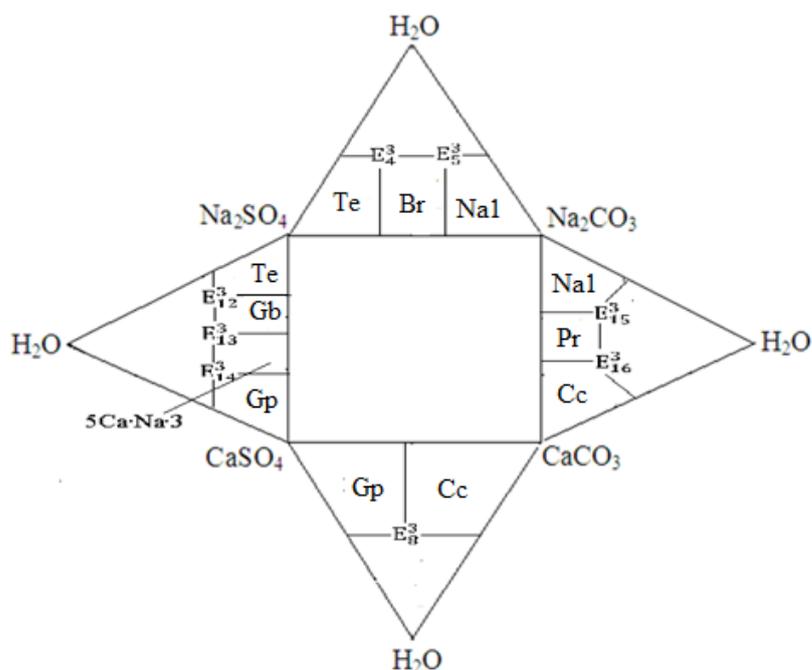
Изотермаи системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар 75 °C. Зерсистемаҳои  $4\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  ва  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  таркиби системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  -  $\text{H}_2\text{O}$  мебошанд. Мувофиқи корҳои [108-109], системаҳои секомпонента ба таври таҷрибавӣ қисман омӯхта шуда, барои онҳо нуқтаҳои нонвариантии зерин (ҷадв. 2.19) муайян гаштаанд.

**Ҷадвали 2.19. – Нуқтаҳои нонвариантии сечандаи субсистемаҳои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар 75 °C**

Система	Нуқтаҳои нонвариантий	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
1	2	3
$4\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_4^3$ $E_5^3$	Te + Br Br + Na1

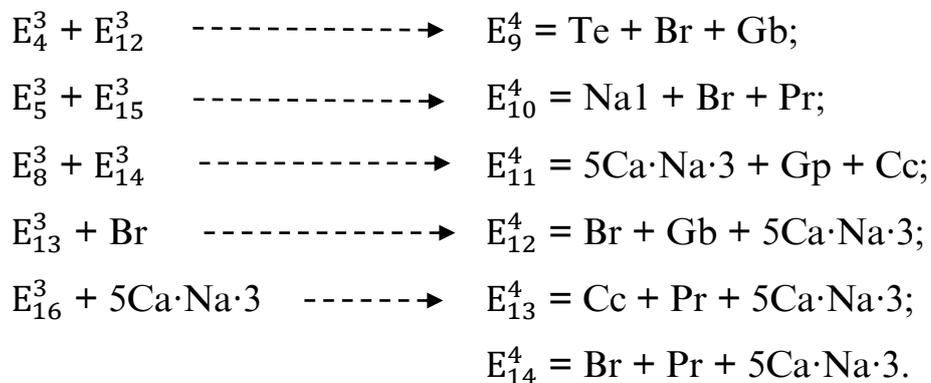
<i>Идомаи ҷадвали 2.19.</i>		
1	2	3
$2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_{12}^3$ $E_{13}^3$ $E_{14}^3$	Te + Gb Gb + 5Ca·Na·3 Gp+5Ca·Na·3
$2\text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_8^3$	Cc + Gp
$2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_{15}^3$ $E_{16}^3$	NaI + Pr Pr + Cc

Муқоиса бо изотермаи 50 °C-и системаи таҳқиқшаванда нишон медиҳад, ки шумораи нуқтаҳои нонварианти аз 5 то 6 афзоиш ёфтааст. Ин вобаста аст ба он, ки дар системаи секомпонентаи  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  баландшавии ҳарорат ба ташаккули фазаи нави саҳти мувозинатӣ –  $5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3$  мусоидат мекунад. Мувофиқи принципҳои асосии таҳлили физико-химиявӣ [1, 117] боиси пайдоиши шаклҳои мувофиқи геометрӣ дар диаграмма мегардад. Майдони кристаллизатсияи он байни майдонҳои кристаллизатсияи Gp ва Gb ҷойгир аст. Дар натиҷаи ташаккули ин фазаи нави саҳти мувозинатӣ дар системаи  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  нуқтаи нави нонварианти пайдо мешавад (рас. 2.19).



Расми 2.19. – Диаграммаи қушодаи сатҳи сечандаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар 75 °C

Ҳангоми транслятсияи нуқтаҳои мазкур ба сатҳи таркиби чоркомпонента дар шакли хатҳои моновариантии ва бурида шудани онҳо, мувофиқи корҳои [112-116], нуқтаҳои нонвариантии зерини сатҳи чоркомпонента бо фазаҳои саҳти мувозинати ба вуҷуд меоянд:

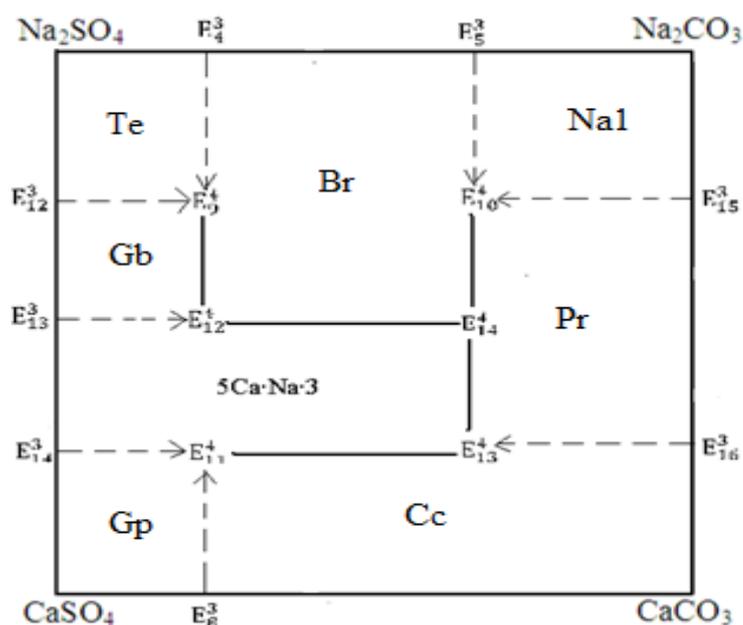
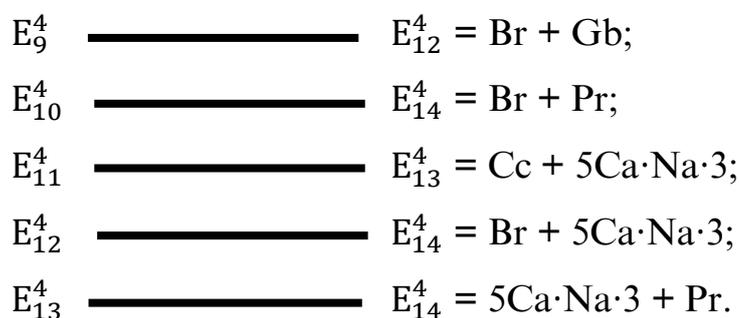


Тавре ки мебинем, аз 5 нуқтаи нонвариантии сатҳи чоркомпонента, се тои онҳо ( $E_9^4$ ,  $E_{10}^4$ ,  $E_{11}^4$ ) дар натиҷаи транслятсияи «дутарафа», ду тои онҳо ( $E_{12}^4$ ,  $E_{13}^4$ ) дар натиҷаи транслятсияи «яктарафа» ва яке ( $E_{14}^4$ ) дар натиҷаи транслятсияи «мобайни» ҳосил шудаанд [117].

Дар расми 2.20 диаграммаи комплекси фазагии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента дар  $75^\circ\text{C}$ , ки бо усули транслятсия сохта шудааст, тасвир гаштааст. Дар ин диаграмма, мувофиқи принсипи мувофиқат, унсурҳои сохтори диаграммаи системаи таҳқиқшаванда дар сатҳҳои таркиби чоркомпонента ва секомпонента якҷоя карда шудаанд. Илова бар нуқтаҳои нонвариантии аз се фаза сери дар боло зикршуда, он инчунин мавҷудияти 8 майдони дивариантии аз як фаза сери инфиродӣ ва 13 хатти моновариантии аз ду фаза серро нишон медиҳад.

Хатҳои моновариантии диаграмма пайдоиши духелагӣ доранд. Ҳашттои онҳо дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба сатҳи таркиби чоркомпонента ба вуҷуд омадаанд ва бо хатҳои пунктирӣ қайд мешаванд. Таркиби фазагии таҳшинҳои ин хатҳои моновариантии ба таркиби фазагии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонента, ки аз онҳо транслятсия шудаанд, якхела мебошад.

Панҷ хатти моновариантии дигар байни нуктаҳои нонвариантии худуди таркиби чоркомпонента мегузаранд, ки дар шакли хатҳои яклухти ғафс нишон дода шудаанд ва таркиби фазавии таҳшинҳои зеринро доранд:



Расми 2.20. – Диаграмма системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$

Контурҳои майдонҳои дивариантии кристаллизатсияи фазаҳои саҳти инфиродии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$  дар диаграммаҳо оварда шудаанд (ҷадв. 2.20).

Ҷадвали 2.20. – Контури фрагменти майдонҳо дар системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  барои ҳарорати  $75\text{ }^\circ\text{C}$

Фазаҳои саҳти мувозинатӣ	Контури майдон дар диаграмма (Рас.2.20.)
1	2
Te	$  \begin{array}{ccc}  \text{Na}_2\text{SO}_4 & \text{—————} & E_4^3 \\    & & \vdots \\  E_{12}^3 & \text{-----} & E_9^4  \end{array}  $

<i>Идомаи ҷадвали 2.20.</i>	
1	2
Br	$  \begin{array}{ccccc}  E_4^3 & \text{---} & E_9^4 & \text{---} & E_{12}^4 \\    & & & &   \\  E_5^3 & \text{---} & E_{10}^4 & \text{---} & E_{14}^4  \end{array}  $
Gp	$  \begin{array}{ccc}  E_{14}^3 & \text{---} & E_{11}^4 \\    & & \uparrow \\  CaSO_4 & \text{---} & E_8^3  \end{array}  $
Na1	$  \begin{array}{ccc}  E_5^3 & \text{---} & Na_2CO_3 \\  \downarrow & &   \\  E_{10}^4 & \leftarrow & E_{15}^3  \end{array}  $
Gb	$  \begin{array}{ccc}  E_9^4 & \leftarrow & E_{12}^3 \\    & &   \\  E_{12}^4 & \leftarrow & E_{13}^3  \end{array}  $
Cc	$  \begin{array}{ccc}  E_{11}^4 & \text{---} & E_3^4 \leftarrow E_1^3 \\  \uparrow & &   \\  E_8^3 & \text{---} & CaCO_3  \end{array}  $
Pr	$  \begin{array}{ccc}  E_{14}^4 & \text{---} & E_{10}^4 \leftarrow E_{15}^3 \\    & &   \\  E_{13}^4 & \leftarrow & E_{16}^3  \end{array}  $
5Ca·Na·3	$  \begin{array}{ccc}  E_{13}^3 & \text{---} & E_{12}^4 \text{---} E_{14}^4 \\    & &   \\  E_{14}^3 & \text{---} & E_{11}^4 \text{---} E_{13}^4  \end{array}  $

Сохтори системаи  $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$  дар  $75\text{ }^\circ C$ , инчунин дар корҳои [147, 148] баррасӣ шудааст.

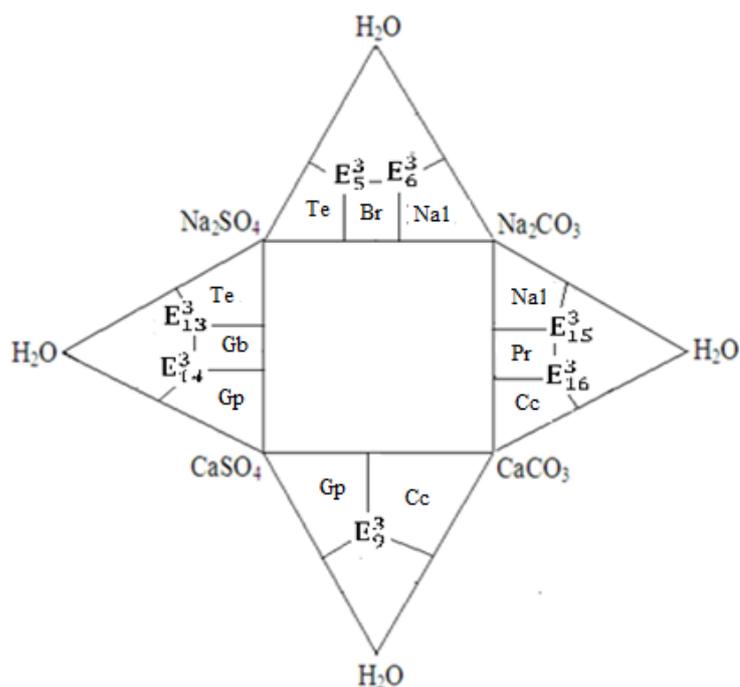
Изотермаи системаи чоркомпонентаи  $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$  дар  $100\text{ }^\circ C$ . Системаи чоркомпонента системаҳои секомпонентаи зеринро дар бар мегирад:  $4Na^+ - SO_4^{2-} - CO_3^{2-} - H_2O$ ;  $2Na^+ - Ca^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O$ ;  $2Ca^{2+} - CO_3^{2-} - SO_4^{2-} - H_2O$  ва  $2Na^+ - Ca^{2+} - CO_3^{2-} - H_2O$ .

Мувофиқи корҳои [108, 109] системаҳои секомпонента ба таври таҷрибавӣ қисман омӯхта шудаанд ва барои онҳо нуқтаҳои нонвариантии зерин (ҷадв. 2.21) муайян гардидаанд.

Ҷадвали 2.21. – Нуқтаҳои нонвариантии сечандаи субсистемаҳои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$

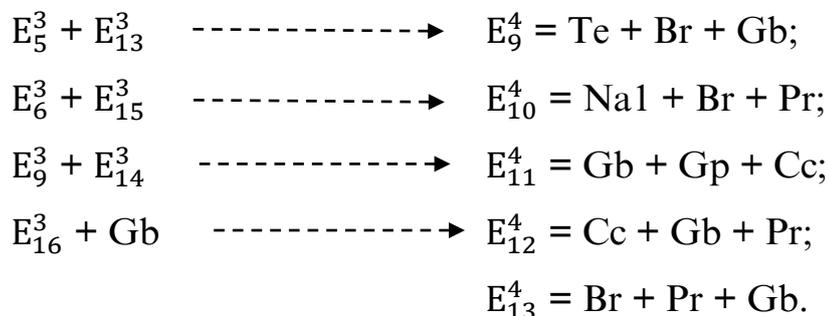
Система	Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$4\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_5^3$ $E_6^3$	Te + Br Br + Na1
$2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_{13}^3$ $E_{14}^3$	Te + Gb Gb + Gp
$2\text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_9^3$	Cc + Gp
$2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_{15}^3$ $E_{16}^3$	Na1 + Pr Pr + Cc

Муқоиса бо изотермаи  $75\text{ }^\circ\text{C}$ -и [148] системаи мавриди таҳқиқ қарордошта нишон медиҳад, ки миқдори нуқтаҳои нонварианти аз 8 то 7 кам шудааст. Ин вобаста ба он аст, ки дар системаи секомпонентаи  $2\text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  баланд шудани ҳарорат ба нестшавии фазаи саҳти мувозинатӣ –  $5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3$  мусоидат мекунад, ки тибқи принципҳои асосии таҳлили физико-химиявӣ [1, 117], боиси пайдоиши шаклҳои мувофиқи геометрии дар диаграмма мегардад (рас. 2.21).



Расми 2.21. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$

Ҳангоми интиқоли нуқтаҳо ба сатҳи таркиби чоркомпонента дар шакли хатҳои моновариантӣ ва буриши мутақобилаи онҳо, мувофиқи корҳои [112-116] нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонента бо фазаҳои саҳти мувозинатӣ пайдо мешаванд:

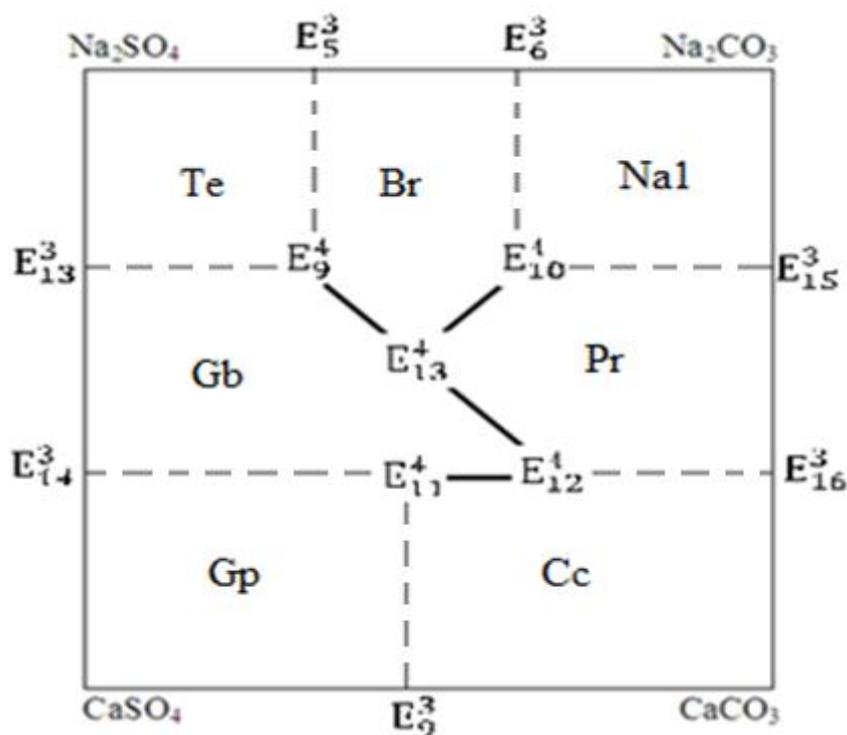
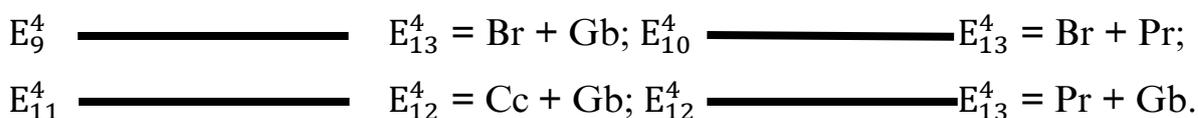


Тавре ки мебинем, аз 5 нуқтаи нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонента сетоаш ( $E_9^4$ ,  $E_{10}^4$  ва  $E_{11}^4$ ) дар натиҷаи транслятсияи «дугарафа», яктоаш ( $E_{12}^4$ ) дар натиҷаи транслятсияи «яктарафа» ва яктои охирон ( $E_{13}^4$ ) дар натиҷаи транслятсияи «мобайнӣ» ба вучуд омадаанд [112-116].

Дар расми 2.22 диаграммаи комплексҳои фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента дар  $100^\circ\text{C}$ , ки бо усули транслятсия сохта шуда, тасвир гаштааст. Дар он, мувофиқи принципи мутобиқат, элементҳои сохтори диаграммаи системаи таҳқиқшаванда дар сатҳҳои таркиби чоркомпонента ва секомпонента якҷоя карда шудаанд. Ғайр аз нуқтаҳои нонвариантии бо се фаза сери дар боло зикршуда, инчунин мавҷудияти 7 майдони дивариантии аз як фаза сер бо фазаҳои саҳти инфиродӣ (Te, Gb, Gr, Pr, Cc, Na1 ва Br) ва 11 қачхати моновариантии бо ду фаза сер нишон дода шудааст.

Хатҳои моновариантӣ ду навъи пайдоиш доранд. Ҳафттои онҳо дар натиҷаи интиқоли нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба сатҳи таркиби чоркомпонента ба вучуд омадаанд ва бо хатҳои пунктирӣ нишон дода шудаанд. Таркиби фазавии таҳшинҳои ин хатҳои моновариантӣ ба таркиби фазавии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента якхела аст, ки ин хатҳо аз онҳо инъикос ёфтаанд. Се қачхати моновариантӣ дар байни нуқтаҳои нонвариантии

худуди таркиби чоркомпонента мегузаранд, ки дар шакли хатҳои ғафси муттасил нишон дода шудаанд ва таркиби фазагии таҳшинҳои зеринро доранд:



Расми 2.22. – Диаграммаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$

Таҳлили сохтори диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаи таҳқиқшаванда дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$  нишон медиҳад, ки майдони кристаллизатсияи беркеит (Br) ва пирсонит (Pr) бо майдонҳои кристаллизатсияи чор аз ҳафт фазаи саҳти мувозинатии инфиродии система ҳамсарҳад мебошанд. Ин далел гувоҳӣ медиҳад, ки онҳо қисми назарраси системаи мавриди таҳқиқро дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$  ишғол мекунанд.

Барои гуворо гардидани ифодаҳои геометрӣ дар диаграмма онро мумкин аст, ки худуди майдонҳои алоҳида фрагментатсия намуд [149, 150]. Контури майдонҳои дивариантии фазаҳои саҳти индивидуалии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $100\text{ }^\circ\text{C}$  дар ҷадвали 2.22 оварда шудааст.

Ҷадвали 2.22. – Контури фрагменти майдонҳо дар системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  барои ҳарорати  $100\text{ }^\circ\text{C}$

Фазаҳои саҳти мувозинатии майдонҳо	Контури майдон дар диаграмма (рас. 2.22)
Te	$\begin{array}{ccc} \text{Na}_2\text{SO}_4 & \text{-----} & \text{E}_5^3 \\   & & \vdots \\ \text{E}_{13}^3 & \text{-----} & \text{E}_9^4 \end{array}$
Gp	$\begin{array}{ccc} \text{E}_{14}^3 & \text{-----} & \text{E}_{11}^4 \\   & & \vdots \\ \text{CaSO}_4 & \text{-----} & \text{E}_9^3 \end{array}$
NaI	$\begin{array}{ccc} \text{E}_6^3 & \text{-----} & \text{Na}_2\text{CO}_3 \\ \vdots & &   \\ \text{E}_{10}^4 & \text{-----} & \text{E}_{15}^3 \end{array}$
Pr	$\begin{array}{ccc} \text{E}_{10}^4 & \text{-----} & \text{E}_{15}^3 \\   & &   \\ \text{E}_{13}^4 & \text{-----} & \text{E}_{16}^3 \\ & \text{-----} &   \\ & & \text{E}_{12}^4 \end{array}$
Gb	$\begin{array}{ccc} \text{E}_{13}^4 & \text{-----} & \text{E}_9^4 & \text{-----} & \text{E}_{13}^3 \\   & & & &   \\ \text{E}_{12}^4 & \text{-----} & \text{E}_{11}^4 & \text{-----} & \text{E}_{14}^3 \end{array}$
Br	$\begin{array}{ccc} \text{E}_9^4 & \text{-----} & \text{E}_5^3 \\   & &   \\ \text{E}_{13}^4 & \text{-----} & \text{E}_{10}^4 & \text{-----} & \text{E}_6^3 \end{array}$
Cc	$\begin{array}{ccc} \text{E}_{11}^4 & \text{-----} & \text{E}_{12}^4 & \text{-----} & \text{E}_{16}^3 \\   & & & &   \\ \text{E}_9^3 & \text{-----} & & & \text{CaCO}_3 \end{array}$

Соҳтори системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $100\text{ }^\circ\text{C}$  дар кори [151] баррасӣ шудааст.

## 2.5. Политермаи системаи чоркомпонентаи обӣ-намакии муовизаи сулфатҳо, гидрокарбонатҳои натрий ва калсий дар фосилаи $0\div 100\text{ }^\circ\text{C}$

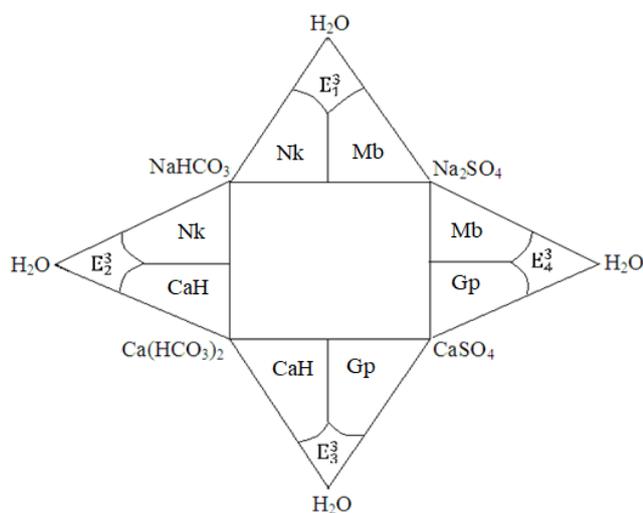
Изотермаи системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$ . Системаи физико-химиявии  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  зерсистемаҳои секомпонентаи зеринро дар бар мегирад:  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{SO}_4^{2-} -$

$\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $3\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ . Нуқтаҳои нонвариантии хоси онҳо бо фазаҳои саҳти мувозинати мувофиқ аз корҳои [108, 109] гирифта шуда, дар ҷадвали 2.23 оварда шудаанд.

**Ҷадвали 2.23.** – Нуқтаҳои нонвариантии сечандаи субсистемаҳои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$

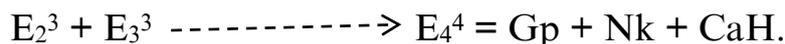
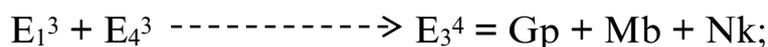
Система	Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинати
$3\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_1^3$	Mb + Nk
$\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_2^3$	Nk + CaH
$2\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_3^3$	Gp + CaH
$3\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_4^3$	Mb + Gp

Бо истифода аз маълумоти ҷадвали 2.23 диаграммаи комплекси фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$  барои сатҳи таркиби секомпонента дар шакли пирамидаи «кушода» (рас. 2.23) сохта шуд.

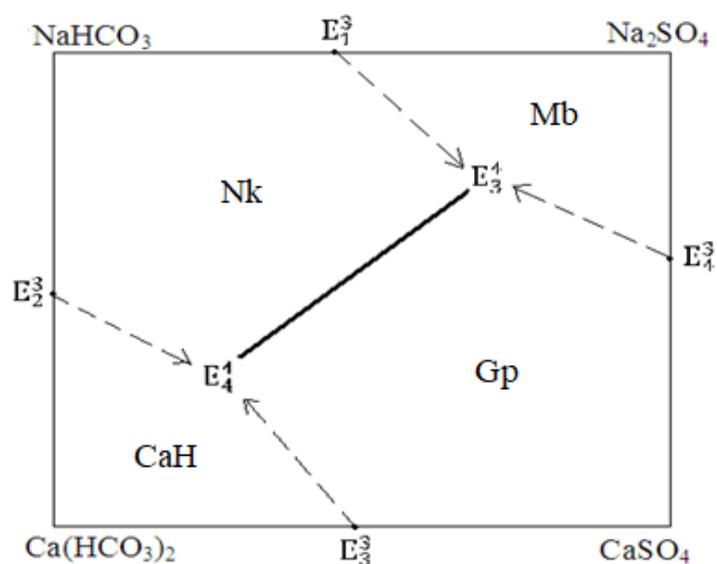


**Расми 2.23.** – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$

Барои пешгуи комплекси фазавӣ дар ин система дар сатҳи таркиби чоркомпонента, маълумоти ҷадвали 2.23 истифода шуд. Транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сечанда ба сатҳи таркиби чоркомпонента боиси ба вуҷуд омадани нуқтаҳои нонвариантии чоркомпонентаи зерин бо фазаҳои саҳти мувофиқ мегардад:



Дар расми 2.24 диаграммаи сарбастаи мувозинатҳои фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента оварда шудааст, ки он дар асоси маълумоти ҷадвали 2.23 сохта шудааст. Дар он ҳамаи шаклҳои геометрии имконпазир, ки барои ин система дар  $0^\circ\text{C}$  хосанд, инъикос ёфтаанд: 2 нуқтаи нонварианти, 4 майдони диварианти ва 5 хати қачи моноварианти, ки табиати гуногуни пайдоиш доранд [112-116].



Расми 2.24. – Диаграммаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$

Таркиби фазавии таҳшинҳои хатҳои моноварианти, ки дар натиҷаи интиқоли нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба вуҷуд омадаанд, ба таркиби фазавии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантии мувофиқе, ки аз онҳо интиқол ёфтаанд, якхела аст.

Таркиби фазавии фазаҳои саҳти мувозинатии қачхати моноварианти, ки дар байни нуқтаҳои чоргонаи нонварианти мегузарад, чунин аст:



Фазаҳои саҳти мувозинатӣ ва контурҳои майдонҳои дивариантии диаграммаи системаи таҳқиқшуда дар  $0^\circ\text{C}$  фрагментатсия гардида [153, 154] дар ҷадвали 2.24 оварда шудаанд.

Чадвали 2.24. – Контури фрагменти майдонҳо дар системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  барои ҳарорати  $0^\circ\text{C}$

Фазаҳои саҳти мувозинатӣ	Контури майдонҳо дар диаграмма (рас. 2.24)
Nk	$\begin{array}{ccc} \text{NaHCO}_3 & \text{-----} & \text{E}_2^3 \\   & & \vdots \\ \text{E}_1^3 & \text{-----} & \text{E}_3^4 \\ & \text{-----} & \downarrow \\ & & \text{E}_4^4 \end{array}$
CaH	$\begin{array}{ccc} \text{E}_2^3 & \text{-----} & \text{E}_4^4 \\   & & \vdots \\ \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 & \text{-----} & \text{E}_3^3 \\ & & \uparrow \\ & & \text{E}_4^4 \end{array}$
Mb	$\begin{array}{ccc} \text{E}_1^3 & \text{-----} & \text{Na}_2\text{SO}_4 \\ \vdots & &   \\ \text{E}_3^4 & \text{-----} & \text{E}_4^3 \end{array}$
Gp	$\begin{array}{ccc} \text{E}_4^4 & \text{-----} & \text{E}_3^4 \\ \uparrow & & \vdots \\ \text{E}_3^3 & \text{-----} & \text{CaSO}_4 \end{array}$

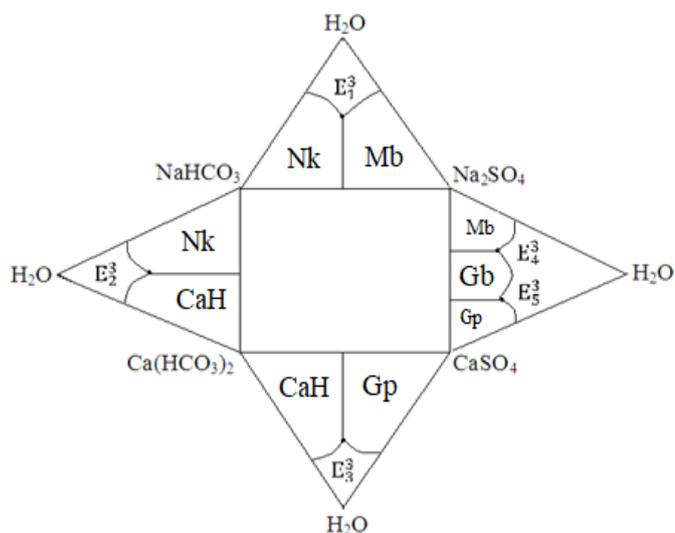
Натиҷаи илмӣ ноилшудаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$  дар қорҳои [155] баррасӣ шудааст.

Изотермаи ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$ . Нуқтаҳои нонвариантии хоси изотермаи системаи зикршуда бо фазаҳои саҳти мувофиқ аз қорҳои [108, 109] гирифта шуда, дар чадвали 2.25 чамъ оварда шудаанд.

Чадвали 2.25. – Нуқтаҳои нонвариантии сечандаи субсистемаҳои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$

Система	Нуқтаҳои нонвариантиӣ	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$3\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$\text{E}_1^3$	Nk + Mb
$\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$\text{E}_2^3$	CaH + Nk
$2\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$\text{E}_3^3$	Gp + CaH
$2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$\text{E}_4^4$	Mb + Gb
	$\text{E}_5^3$	Gb + Gp

Бо истифода аз маълумоти ҷадвали 2.25 диаграммаи комплекси фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби секомпонента дар шакли пирамидаи «кушодашуда» (расми 2.25) сохта шуд. Барои пешгӯии комплекси фазавӣ дар ин система дар сатҳи таркиби чоркомпонента, маълумотҳои ҷадвали 2.25 истифода шуданд.



Расми 2.25. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$

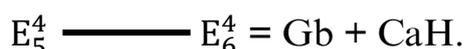
Дар ин ҳолат, транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сечанда, табдили онҳо ба хатҳои моновариантӣ ва буриши охирин бо ташаккули нуқтаҳои нонвариантии чоркомпонентаро метавон ба таври математикӣ чунин ифода кард:



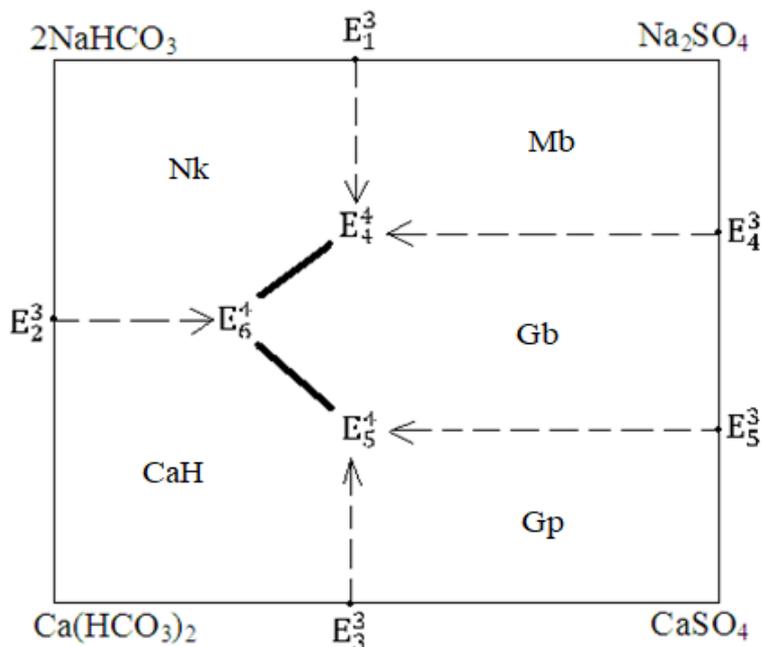
Ҳамин тариқ, аз 3 нуқтаи нонвариантӣ, ки барои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  хосанд, дутоаш ( $E_4^4$  ва  $E_5^4$ ) бо намуди транслятсияи «дугарафа» ба вуҷуд омадаанд ва як нуқтаи нонвариантӣ ( $E_6^4$ ) бо намуди транслятсияи «яктарафа».

Тавре ки аз расми 2.26 дида мешавад, ҳамаи майдонҳои сохтори диаграммаи системаи таҳқиқшаванда сарбаст буда, нишон медиҳанд, ки он мукамал мебошад. Сохтори ин система дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , инчунин дар қорҳои [155-157] муҳокима шудааст. Таркиби фазавии таҳшинҳои хатҳои

моновариантӣ, ки дар натиҷаи инъикоси нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба вуҷуд омадаанд, ба таркиби фазавии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантии мувофиқе, ки аз онҳо инъикос ёфтаанд, якхела аст. Таркиби фазавии фазаҳои саҳти мувозинатии ҳаҷҳои моновариантӣ, ки дар байни нуқтаҳои чоркомпонентаи нонвариантӣ мегузаранд, чунин аст:



Дар расми 2.26 диаграммаи сарбастии мувозинатҳои фазавии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента оварда шудааст, ки бо усули транслятсия тасвир гаштааст. Ин расм дар асоси призмае тасвир шудааст ва барои нишон додани диаграммаи мувозинатҳои фазавии системаи мавриди таҳқиқ дар сатҳи таркиби секомпонента (рас. 2.25) истифода шуда буд. Дар он ҳамаи шаклҳои геометрии имконпазир, ки барои системаи таҳқиқшаванда дар  $25^\circ\text{C}$  хосанд, инъикос ёфтаанд: 3 нуқтаи нонвариантӣ, 5 майдони дивариантӣ ва 7 ҳаҷи моновариантӣ, ки табиати гуногуни пайдоиш доранд [112-116].



Расми 2.26. – Диаграммаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$

Фазаҳои саҳти мувозинатӣ ва контурҳои фрагментҳои майдонҳои дивариантии системаи таҳқиқшаванда [153] дар ҷадвали 2.26 оварда шудаанд.

Чадвали 2.26. – Контури фрагменти майдонҳо дар системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  барои ҳарорати 25 °C

Фазаҳои саҳти мувозинатӣ	Контури майдонҳо дар диаграмма (рас. 2.26)
Nk	$\begin{array}{ccc} \text{NaHCO}_3 & \text{---} E_1^3 \text{---} & E_4^4 \\   & &   \\ E_2^3 & \text{---} & E_6^4 \end{array}$
CaH	$\begin{array}{ccc} E_2^3 & \text{---} & E_6^4 \text{---} E_5^4 \\   & &   \\ \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 & \text{---} & E_3^3 \end{array}$
Mb	$\begin{array}{ccc} E_1^3 & \text{---} & \text{Na}_2\text{SO}_4 \\   & &   \\ E_4^4 & \text{---} & E_4^3 \end{array}$
Gb	$\begin{array}{ccc} & E_4^4 & \text{---} E_4^3 \\ & / &   \\ E_6^4 & & E_5^3 \\ & \backslash &   \\ & E_5^4 & \text{---} E_5^3 \end{array}$
Gp	$\begin{array}{ccc} E_5^4 & \text{---} & E_5^3 \\   & &   \\ E_3^3 & \text{---} & \text{CaSO}_4 \end{array}$

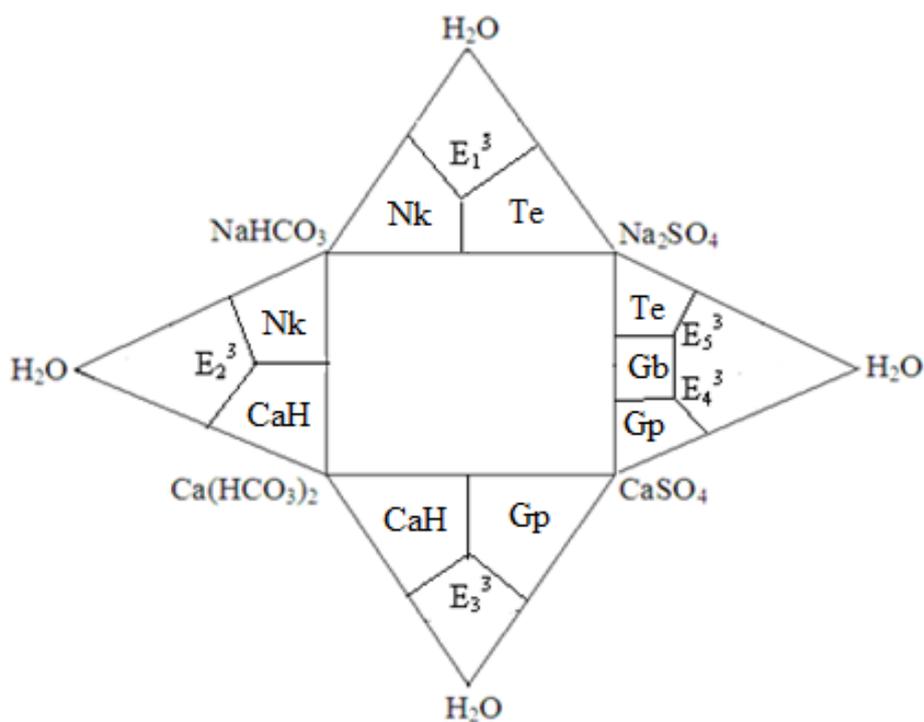
Таҳлили сохтори диаграммаи комплекси фазавии системаи мавриди таҳқиқ қарордошта нишон медиҳад, ки майдони кристаллизатсияи глауберит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ ) бо ҳамаи майдонҳои кристаллизатсияи дигар фазаҳои саҳти мувозинатӣ ҳамсарҳад аст. Ин ба паҳншавии васеи майдони кристаллизатсияи глауберит дар муқоиса бо майдонҳои кристаллизатсияи дигар фазаҳои саҳти мувозинатӣ дар шароити додашуда, вобаста ба ҳалшавандагии ками он, далолат мекунад.

Изотермаи системаҳои чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар 50 °C. Системаи чоркомпонентаи муовиза системаҳои секомпонентаи зеринро дар бар мегирад:  $3\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ . Нуқтаҳои нонвариантии хоси онҳо бо фазаҳои саҳти мувофиқ аз қорҳои [108, 109] гирифта, дар чадвали 2.27 оварда шудаанд.

Ҷадвали 2.27. – Нуқтаҳои нонвариантии сечандаи субсистемаҳои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$

Система	Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$3\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_1^3$	Te + Nk
$\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_2^3$	Nk + CaH
$2\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_3^3$	Gp + CaH
$2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_4^3$ $E_5^3$	Gb + Gp Gb + Te

Бо истифода аз ин маълумот, диаграммаи комплекси фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$  барои сатҳи таркиби секомпонента дар шакли призмаи «кушодашуда» (рас. 2.27) сохта шуд.

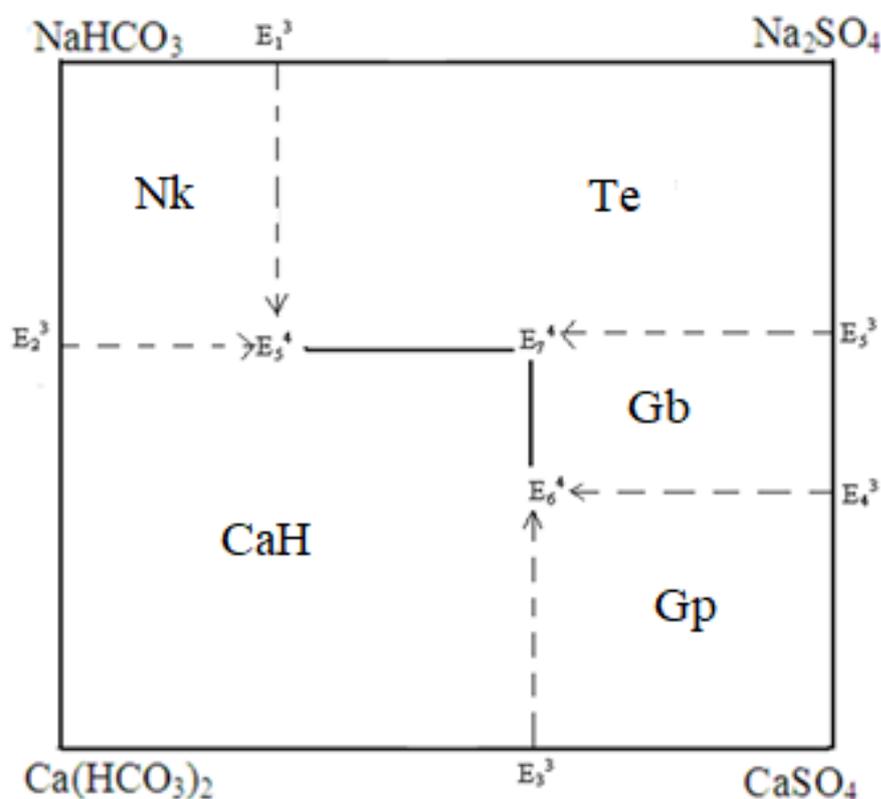


Расми 2.27. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$

Барои пешгӯии комплекси фазавӣ дар ин система, дар сатҳи таркиби секомпонента, маълумотҳои корҳои [108, 109] истифода шуданд. Система, инчунин дар корҳои [154,155] ва барои 0 ва  $25\text{ }^\circ\text{C}$  дар кори [156] баррасӣ шудааст. Дар расми 2.28 диаграммаи сарбасти комплекси фазавии системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$ , сатҳи

таркиби чоркомпонента оварда шудааст, ки дар асоси маълумоти адабиёт бо истифода аз усули транслятсия тасвир гардидааст. Он дар асоси пирамидаи чорқиррае тасвир шуда, барои нишон додани диаграммаи комплекси фазавии системаи мавриди таҳқиқ дар сатҳи таркиби секомпонента (рас. 2.27) истифода шуда буд.

Дар ин расм ҳамаи шаклҳои геометрии имконпазир инъикос ёфтаанд: 3 нуқтаи нонвариантӣ, 5 майдони дивариантӣ ва 7 қачхати моновариантӣ, ки табиати гуногуни пайдоиш доранд [112-116]. Нуқтаҳои нонвариантӣ ин система дар сатҳи таркиби чоркомпонента таркиби фазаҳои саҳти мувозинатии зеринро доранд:



Расми 2.28. – Диаграммаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$

Таркиби фазавии таҳшинҳои хатҳои моновариантӣ, ки дар натиҷаи интиқоли нуқтаҳои нонвариантӣ сатҳи таркиби секомпонента ба вуҷуд омадаанд, ба таркиби фазавии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантӣ мувофиқанд, бо онҳо якхелаанд, аз онҳо ҳосил шудаанд. Таркиби фазавии фазаҳои саҳти мувозинатии хатҳои моновариантӣ, ки дар байни нуқтаҳои чоркомпонентаи нонвариантӣ мегузаранд, чунин аст:



Контурҳои фрагменти дивариантии фазаҳои саҳти инфиродии кристаллшаванда [158] дар ҷадвали 2.28 оварда шудаанд.

Ҷадвали 2.28. – Контурҳои фрагменти майдонҳо дар системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  барои ҳарорати  $50^\circ\text{C}$

Фазаҳои саҳти майдонҳо	Контурҳои майдонҳо дар диаграмма (рас. 2.28.)
Nk	$\begin{array}{ccc} \text{NaHCO}_3 & \text{—————} & E_1^3 \\   & & \vdots \\ E_2^3 & \text{-----} & E_5^4 \end{array}$
CaH	$\begin{array}{ccc} E_2^3 & \text{-----} & E_5^4 & \text{—————} & E_7^4 \\   & & & &   \\ \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 & \text{—————} & E_3^3 & \text{-----} & E_6^4 \end{array}$
Te	$\begin{array}{ccc} E_1^3 & \text{—————} & \text{Na}_2\text{SO}_4 \\ \vdots & &   \\ E_5^4 & \text{—————} & E_7^4 & \text{-----} & E_5^3 \end{array}$
Gp	$\begin{array}{ccc} E_6^4 & \text{-----} & E_4^3 \\ \vdots & &   \\ E_3^3 & \text{—————} & \text{CaSO}_4 \end{array}$
Gb	$\begin{array}{ccc} E_7^4 & \text{—————} & E_6^4 \\ \vdots & & \vdots \\ E_5^3 & \text{—————} & E_4^3 \end{array}$

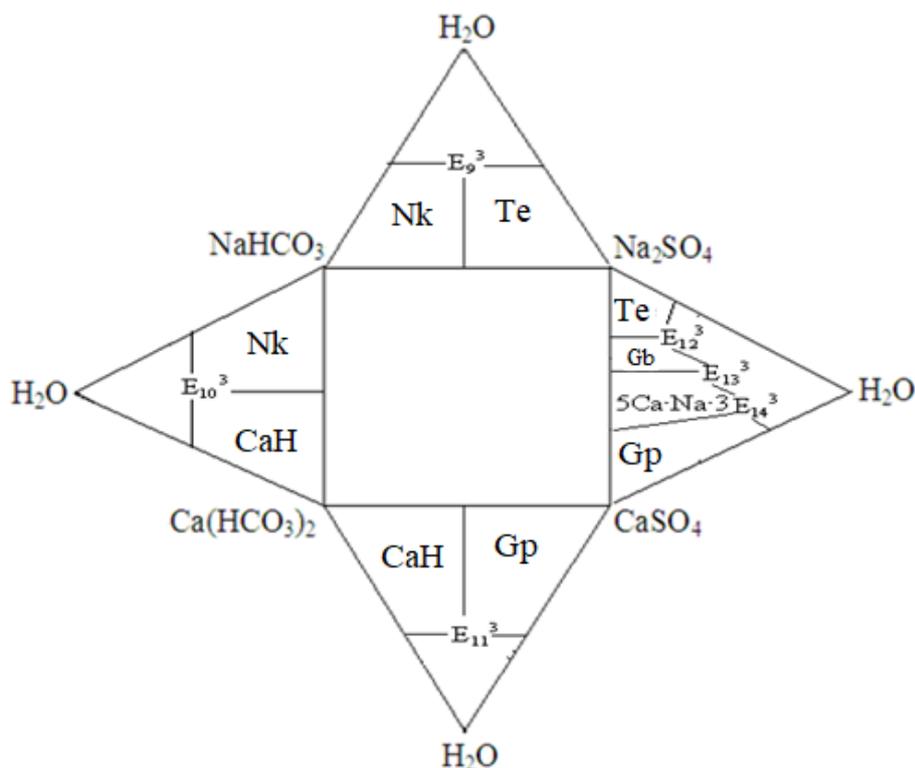
Изотермаи системаҳои чоркомпонентаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$ . Чоркомпонентагии системаи мазкурро миқдори ионҳои таркиб ифода мекунад ва он системаҳои секомпонентаи зеринро дар бар мегирад:  $3\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ .

Нуқтаҳои нонвариантии хоси онҳо бо фазаҳои саҳти мувофиқ аз корҳои [108, 109] гирифта шуда, дар ҷадвали 2.29 оварда шудаанд.

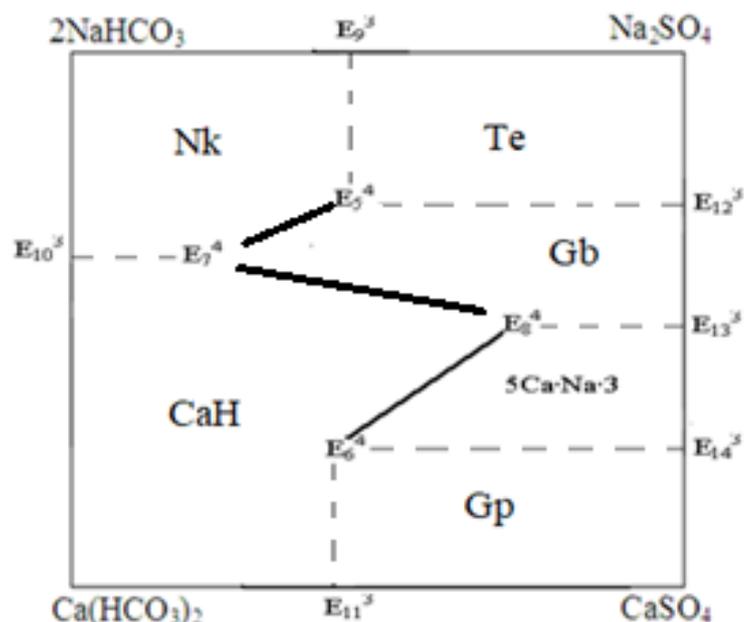
Ҷадвали 2.29. – Нуқтаҳои нонвариантии сечандаи субсистемаҳои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$

Система	Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$3\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_9^3$	Nk + Te
$\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_{10}^3$	CaH + Nk
$2\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_{11}^3$	Gp + CaH
$2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_{12}^3$ $E_{13}^3$ $E_{14}^3$	Te + Gp Gb + $5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3$ $5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3 + \text{Gp}$

Бо истифода аз ин маълумот, диаграммаи фазаҳои мувозинатии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби секомпонента дар шакли пирамидаи «кушода» (рас. 2.29) сохта шуд. Барои пешгӯии комплекси фазавӣ дар ин система дар сатҳи таркиби чоркомпонента, маълумотҳои корҳои [108, 109] истифода шуданд.



Расми 2.29. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$

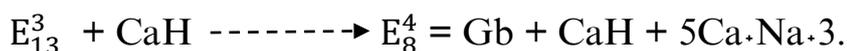
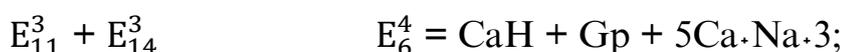


Расми 2.30. – Диаграммаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$

Дар расми 2.30 диаграммаи сарбасти мувозинатҳои фазавии системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента оварда шудааст, ки дар асоси маълумоти адабиёт ва бо истифода аз усули транслятсия сохта шудааст.

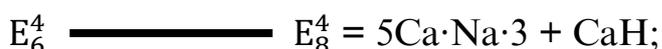
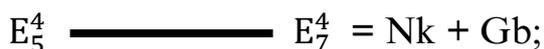
Он дар асоси пирамида тасвир шудааст, ки барои нишон додани диаграммаи фазаҳои мувозинатии системаи мавриди таҳқиқ дар сатҳи таркиби секомпонента (расми 2.29) истифода шуда буд. Дар он ҳамаи шаклҳои геометрии имконпазир инъикос ёфтаанд: 4 нуқтаи нонварианти, 6 майдони диварианти ва 9 қачхатти моноварианти, ки табиати гуногуни пайдоиш доранд [117].

Транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сечанда, табдили онҳо ба қачхатҳои моноварианти ва буриши охирин бо ташаккули нуқтаҳои нонвариантии чоркомпонентаро дар ин ҳолат метавон ба таври риёзӣ чунин ифода кард:



Ҳамин тариқ, аз 4 нуқтаи нонвариантӣ, ки барои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$  хосанд, дутоашон ( $E_5^4$  ва  $E_6^4$ ) бо намуди «дугарафа»-и транслятсия ба вуҷуд омадаанд ва ду нуқтаи нонвариантӣ ( $E_7^4$  ва  $E_8^4$ ) бо намуди «яктарафа»-и транслятсия ҳосил шудаанд.

Тавре ки аз диаграмма дида мешавад, ҳамаи майдонҳои сохтори диаграммаи системаи таҳқиқшаванда сарбаст буда, ин нишондиҳандаи асосии дурустии диаграммаи сохташуда мебошад. Таркиби фазавии қачхатҳои моновариантӣ, ки дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантӣ сатҳи таркиби секомпонента ба вуҷуд омадаанд, ба таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантӣ мувофиқе, ки аз онҳо транслятсия шудаанд, якхела аст. Таркиби фазавии фазаҳои саҳти мувозинатии хатҳои моновариантӣ, ки дар байни нуқтаҳои чоркомпонентаи нонвариантӣ мегузаранд, чунин аст:



Контурҳои майдонҳои дивариантӣ фазаҳои саҳти инфиродии кристаллшаванда дар ҷадвали 2.30 оварда шудаанд.

Ҷадвали 2.30. – Контური фрагменти майдонҳо дар системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  барои ҳарорати  $75^\circ\text{C}$

Фазаҳои саҳти мувозинатӣ	Контური майдон дар диаграмма (рас. 2.30.)
1	2
Nk	$\text{NaHCO}_3 \text{ — } E_9^3 \text{ --- } E_5^4$ $E_{10}^3 \text{ ----- } E_7^4$
CaH	$E_{10}^3 \text{ ---- } E_7^4 \text{ — } E_8^4$ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \text{ — } E_{11}^3$ $E_6^4$
Te	$E_9^3 \text{ — } \text{Na}_2\text{SO}_4$ $E_5^4 \text{ ----- } E_{12}^3$

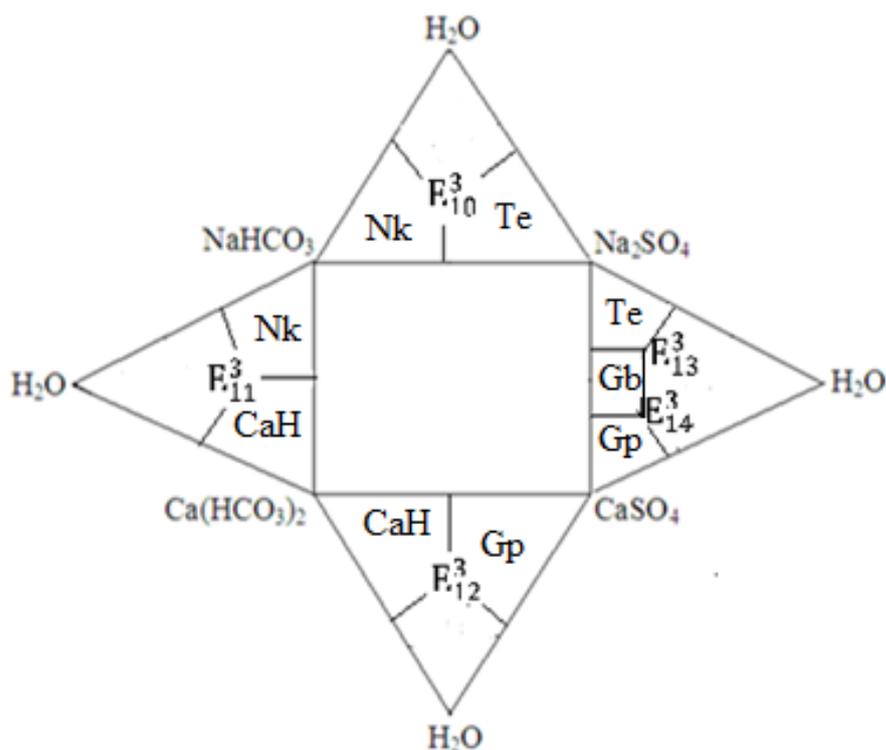
<i>Идомаи ҷадвали 2.30.</i>	
1	2
Gb	
Gp	
5Ca·Na·3	

Изотермаи системаҳои чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . Тибқи сарчашмаҳои илмӣ [110, 111] системаи чоркомпонентаи муовиза умуман омӯхта нашудааст. Ҳамзамон он системаҳои секомпонентаи зеринро дар бар мегирад:  $3\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ . Нуқтаҳои нонвариантии хоси онҳо бо фазаҳои саҳти мувофиқ аз корҳои [118, 119] гирифта шуда, дар ҷадвали 2.31 оварда шудаанд.

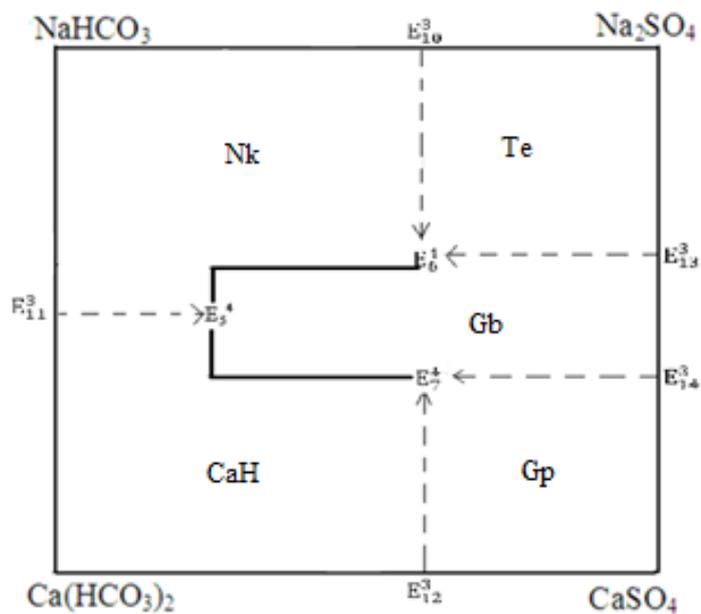
Ҷадвали 2.31. – Нуқтаҳои нонвариантии сечандаи субсистемаҳои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$

Система	Нуқтаҳои нонвариантий	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$3\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_{10}^3$	Nk + Te
$\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_{11}^3$	CaH + Nk
$2\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_{12}^3$	Gp + CaH
$2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_{13}^3$ $E_{14}^3$	Te + Gb Gb + Gp

Бо истифода аз ин маълумот, диаграммаи комплекси фазагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби секомпонента дар шакли пирамидаи «кушода» (рас. 2.31) сохта шуд.



Расми 2.31. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$

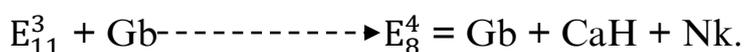


Расми 2.32. – Диаграммаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$

Дар ин расм диаграммаи фазавии сарбастии мувозинатҳои фазавии системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента оварда шудааст, ки дар асоси маълумотҳои адабиёт ва бо истифода аз усули транслятсия сохта шудааст [112-116]. Он дар асоси пирамидае тасвир шудааст, ки барои нишон додани диаграммаи

комплекси фазагии системаи мавриди таҳқиқ дар сатҳи таркиби секомпонента (рас. 2.31) истифода шуда буд. Дар он ҳамаи шаклҳои геометрии имконпазир, аз ҷумла 3 нуқтаи нонварианти, 5 майдони диварианти ва 7 қачхати моноварианти инъикос ёфтаанд, ки табиати гуногуни пайдоиш доранд.

Транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сечанда, табдили онҳо ба қачхатҳои моноварианти ва буриши охирин бо ташаккули нуқтаҳои нонвариантии чоргонаро дар ин ҳолат метавон ба таври риёзӣ чунин ифода кард:



Ҳамин тариқ, аз 3 нуқтаи нонварианти, ки барои системаи  $Na^+$ ,  $Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^- - H_2O$  дар  $100 \text{ }^\circ C$  хосанд, дуто ( $E_6^4$  ва  $E_7^4$ ) бо намуди «дугарафа» транслятсия ба вучуд омадаанд ва як нуқтаи нонварианти ( $E_8^4$ ) - бо намуди «яктарафа»-и транслятсия. Тавре ки аз диаграмма дида мешавад, ҳамаи ифодаҳои геометрии сохтори диаграммаи системаи таҳқиқшаванда сарбаст буда, ин нишондиҳандаи асосии дурустии диаграммаи сохташуда мебошад.

Сохтори ин система дар  $100 \text{ }^\circ C$ , инчунин дар қорҳои қаблии мо баррасӣ шудааст. Таркиби фазавии қачхатҳои моноварианти, ки дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба вучуд омадаанд, ба таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантии мувофиқе, ки аз онҳо транслятсия шудаанд, яхела аст.

Таркиби фазавии фазаҳои саҳти мувозинатии хатҳои моноварианти, ки дар байни нуқтаҳои чоргонаи нонварианти мегузаранд, чунин аст:



Контурҳои майдонҳои дивариантии фазаҳои саҳти инфиродии кристаллшаванда [159] дар ҷадвали 2.32 оварда шудаанд.

Чадвали 2.32. – Контури фрагменти майдонҳо дар системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  барои ҳарорати  $100\text{ }^\circ\text{C}$

Фазаҳои саҳти мувозинатии майдонҳо	Контури майдонҳо дар диаграмма (рас. 2.32)
Nk	$\begin{array}{ccc} \text{NaHCO}_3 & \text{-----} & \text{E}_{10}^3 \\   & & \vdots \\ \text{E}_{11}^3 & \text{-----} & \text{E}_8^4 \\ & & \downarrow \\ & & \text{E}_6^4 \end{array}$
CaH	$\begin{array}{ccc} \text{E}_{11}^3 & \text{-----} & \text{E}_8^4 \\   & & \text{-----} & \text{E}_7^4 \\ \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 & \text{-----} & \text{E}_{12}^3 \\ & & \uparrow \\ & & \text{E}_7^4 \end{array}$
Te	$\begin{array}{ccc} \text{E}_{10}^3 & \text{-----} & \text{Na}_2\text{SO}_4 \\ \vdots & &   \\ \text{E}_6^4 & \text{-----} & \text{E}_{13}^3 \end{array}$
Gp	$\begin{array}{ccc} \text{E}_7^4 & \text{-----} & \text{E}_{14}^3 \\ \uparrow & &   \\ \text{E}_{12}^3 & \text{-----} & \text{CaSO}_4 \end{array}$
Gb	$\begin{array}{ccc} \text{E}_8^4 & \text{-----} & \text{E}_6^4 \\   & & \uparrow \\ \text{E}_7^4 & \text{-----} & \text{E}_{13}^3 \end{array}$

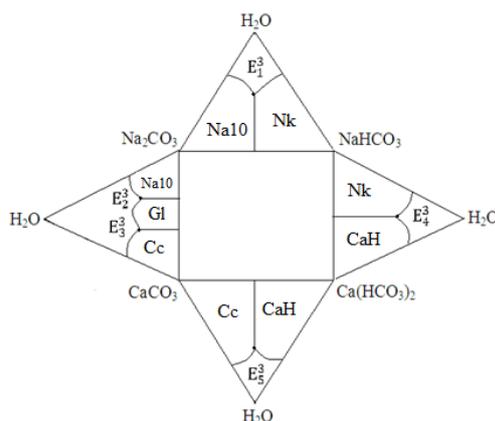
## 2.6. Политермаи системаи чоркомпонентаи обӣ-намакии муовизаи карбонатҳо ва гидрокарбонатҳои натрий ва калсий дар фосилаи ҳароратҳои $0\div 100\text{ }^\circ\text{C}$

Изотермаи системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ – $\text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$ . Системаҳои секомпонентаи зерин:  $3\text{Na}^+$ – $\text{CO}_3^{2-}$ – $\text{HCO}_3^-$ – $\text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Na}^+$ – $\text{Ca}^{2+}$ – $\text{CO}_3^{2-}$ – $\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+$ – $\text{Ca}^{2+}$ – $\text{HCO}_3^-$ – $\text{H}_2\text{O}$  ва  $\text{Ca}^{2+}$ – $\text{CO}_3^{2-}$ – $\text{HCO}_3^-$ – $\text{H}_2\text{O}$  таркиби чор самти пирамидаи диаграммаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ – $\text{H}_2\text{O}$  мебошанд. Тибқи маълумоти корҳои [108, 109], системаҳои якум ва дуҷум бо усули ҳалшавандагӣ таҷрибавӣ омӯхта шудаанд. Барои онҳо нуқтаҳои нонвариантии зерин бо фазаҳои саҳти мувозинатии хоси худ ёфта шудаанд (чадв. 2.33). Сохтори ду системаи охир ҳамчун эвтоникии оддӣ бо як нуқтаи нонвариантии қабул карда шудааст.

**Чадвали 2.33. – Нуқтаҳои нонвариантии сечандаи субсистемаҳои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ||  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  –  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$**

Система	Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$3\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_1^3$	$\text{Na} \cdot 10 + \text{Nk}$
$2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_2^3$ $E_3^3$	$\text{Na} \cdot 10 + \text{Gl}$ $\text{Gl} + \text{Cc}$
$\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_4^3$	$\text{Nk} + \text{CaH}$
$\text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_5^3$	$\text{CaH} + \text{Cc}$

Дар расми 2.33 диаграммаи комплексҳои фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ||  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби секомпонента дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$  оварда шудааст. Ин диаграмма дар шакли пирамидаи чоркирраи (кушодашуда) сохта шуда, ба маълумоти чадвали 2.33 асос ёфтааст. Дар ин сатҳи компонентӣ, он бо 5 нуқтаи нонварианти тавсиф мешавад.



**Расми 2.33. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ||  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  –  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$**

Ҳангоми транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сечанда ба сатҳи таркиби чоркомпонента, нуқтаҳои чорчанда нонвариантии зерин бо фазаҳои саҳти мувозинатӣ ба вуҷуд меоянд:

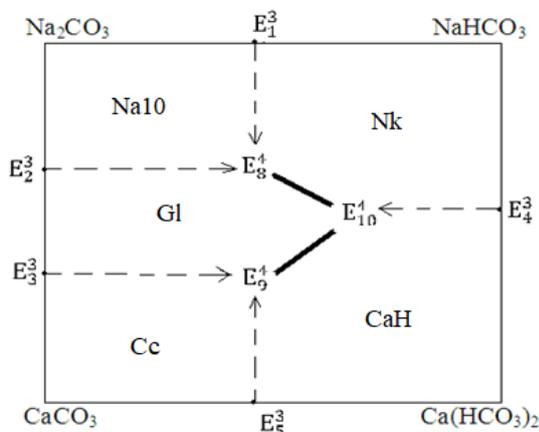
$$E_1^3 + E_2^3 \text{ -----} \rightarrow E_8^4 = \text{Na} \cdot 10 + \text{Nk} + \text{Gl};$$

$$E_3^3 + E_5^3 \text{ -----} \rightarrow E_9^4 = \text{Cc} + \text{Gl} + \text{CaH};$$

$$E_4^3 + \text{Gl} \text{ -----} \rightarrow E_{10}^4 = \text{Nk} + \text{CaH} + \text{Gl}.$$

Дар асоси ин маълумот, диаграммаи комплекси фазавии системаи таҳқиқшаванда дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$  (расми 2.34) сохта шудааст. Тавре ки дида

мешавад, аз 3 нуқтаи нонвариантӣ, ки бо усули транслятсия ошкор гардидаанд, дутои онҳо ( $E_8^4$  ва  $E_9^4$ ) бо транслятсияи «дугарафа» ва яктои он ( $E_{10}^4$ ) бо транслятсияи «яктарафа» ба вучуд омадаанд [112-116].

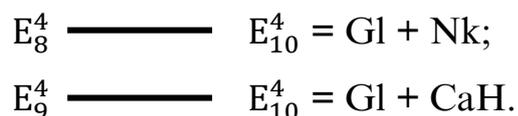


Расми 2.34. – Диаграммаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$

Дар расми 2.34 диаграммаи схематикӣ сарбастии мувозинатҳои фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента оварда шудааст. Диаграмма дар асоси пирамидае тасвир шудааст, ки барои нишон додани диаграммаи система дар сатҳи таркиби секомпонента (рас. 2.33) истифода шуда буд. Дар он, ба ғайр аз 3 нуқтаи нонвариантӣ, инчунин 5 майдони дивариантии аз як фаза сер ва 7 қачхатии моновариантии аз ду фаза сер инъикос ёфтаанд. Қачхатҳои моновариантӣ пайдоиши духела доранд. Панҷтои онҳо дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба сатҳи чоркомпонента ба вучуд омадаанд ва дар диаграмма (рас. 2.34) бо хатҳои пунктирӣ ишора шудаанд.

Таркиби фазавии таҳшинҳои ин қачхатҳои моновариантӣ ба таркиби фазавии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента, ки аз онҳо транслятсия шудаанд, яхела аст. Ду қачхати моновариантӣ дар байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонента мегузаранд ва дар диаграмма (рас. 2.34) дар шакли хатҳои ғафси яклухт тасвир шудаанд.

Ин қачхатҳои моновариантӣ таркиби фазавии таҳшинҳои зеринро доранд:



Контурҳои майдонҳои дивариантии кристаллизатсияи фазаҳои саҳти инфиродии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар ҷадвали 2.34 оварда шудаанд. Тавре ки аз диаграммаи комплекси фазагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  (рас. 2.34) дида мешавад, майдони кристаллизатсияи гейлюссит Gl бо ҳамаи дигар майдонҳои кристаллизатсияи фазаҳои саҳти мувозинатӣ ҳамсарҳад аст. Ин маънои онро дорад, ки майдони кристаллизатсияи Gl дар шароити додашуда қисми назарраси системаи таҳқиқшавандаро ишғол мекунад. Сохтори системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$  инчунин дар қорҳои [160-162] баррасӣ шудааст.

Ҷадвали 2.34. – Контური фрагменти майдонҳо дар системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  барои ҳарорати  $0^\circ\text{C}$

Фазаҳои саҳти мувозинатӣ	Контური майдонҳо дар диаграмма (рас. 2.34)
Na·10	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ ————— $E_1^3$   $E_2^3$ - - - - - $E_8^4$
Gl	$E_2^3$ - - - - - $E_8^4$ ——— $E_{10}^4$   $E_3^3$ - - - - - $E_9^4$
Cc	$E_3^3$ - - - - - $E_9^4$   $\text{CaCO}_3$ ————— $E_5^3$
Nk	$E_1^3$ ————— $\text{NaHCO}_3$   $E_8^4$ ——— $E_{10}^4$ ← - - - $E_4^3$
CaH	$E_9^4$ ——— $E_{10}^4$ ← - - - $E_4^3$   $E_5^3$ ————— $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$

Изотермаи системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$ . Аз системаҳои секомпонентае, ки системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ -ро дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  ташкил медиҳанд, мувофиқи корҳои [108, 109], ба ғайр аз системаҳои  $2\text{Ca}^{2+}-\text{CO}_3^{2-}-2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  ва  $\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}-3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ , ду системаи дигар бо усули ҳалшавандагӣ аз ҷиҳати таҷрибавӣ хуб омӯхта шудаанд. Барои онҳо нуқтаҳои нонвариантии мувофиқ бо фазаҳои саҳти мувозинатии хоси худ муайян карда шудаанд (ҷадв. 2.35). Сохтори боқимондаи системаҳои секомпонента ҳамчун эвтоникии оддӣ бо як нуқтаи нонвариантии қабул карда шудааст.

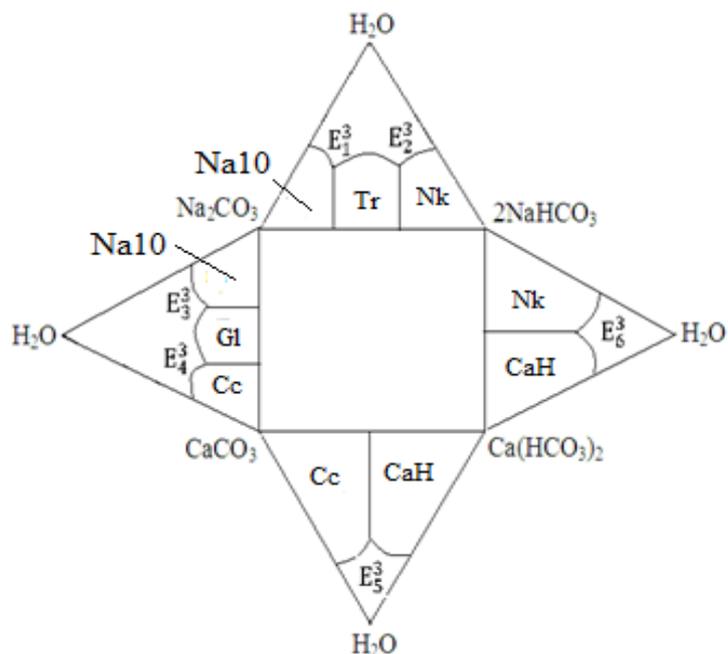
Ҷадвали 2.35. – Нуқтаҳои нонвариантии сечандаи субсистемаҳои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$

Система	Нуқтаҳои нонвариантии	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$3\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_1^3$ $E_2^3$	$\text{Na}\cdot 10 + \text{Tr}$ $\text{Tr} + \text{Nk}$
$2\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}-2\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$	$E_3^3$ $E_4^3$	$\text{Na}\cdot 10 + \text{Gl}$ $\text{Gl} + \text{Cc}$
$2\text{Ca}^{2+}-\text{CO}_3^{2-}-2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_5^3$	$\text{Cc} + \text{CaH}$
$2\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}-3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_6^3$	$\text{CaH} + \text{Nk}$

Тавре ки мебинем, дар муқоиса бо изотермаи  $0\text{ }^\circ\text{C}$  (ҷадв. 2.33), шумораи нуқтаҳои нонвариантии дар системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  (ҷадв. 35) якто зиёдтар аст. Ин ба он вобаста аст, ки дар системаи секомпонентаи  $3\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  баланд шудани ҳарорат аз  $0\text{ }^\circ\text{C}$  то  $25\text{ }^\circ\text{C}$  боиси пайдоиши фазаи саҳти мувозинатии нав – трона (Tr) мегардад.

Тибқи принципҳои асосии таҳлили физико-химиявӣ [1, 117], ин ҳолат бо пайдоиши шаклҳои иловагии геометрӣ дар диаграмма дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  дар системаи зикршуда ҳамроҳ мешавад. Майдони кристаллизатсияи трона дар байни майдонҳои кристаллизатсияи Na10 ва Nk ҷойгир аст. Дар расми 40 диаграммаи мувозинатҳои фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби секомпонента дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  оварда шудааст. Ин

диаграмма дар шакли пирамидаи чорқиррагӣ (кушодашуда) тасвир шудааст. Дар ин сатҳи компонентноқӣ, он бо 6 нуқтаи нонвариантӣ тавсиф меёбад.

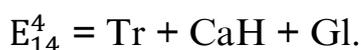


Расми 2.35. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$

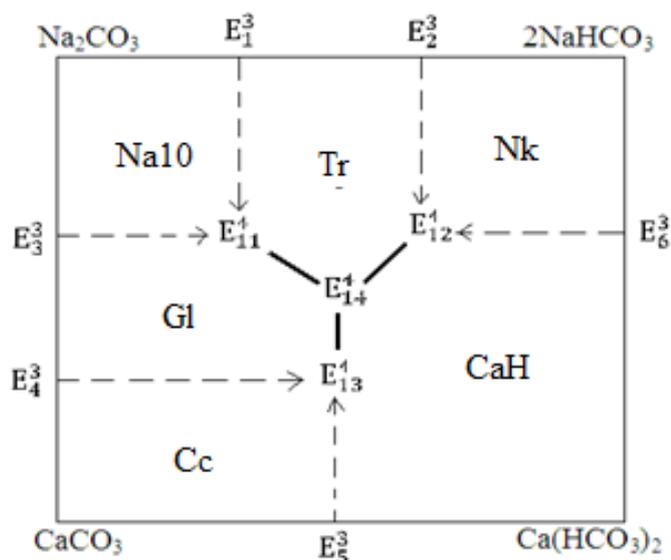
Транслятсияи «дугарафаи»-и нуқтаҳои нонвариантии сечандаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  ба сатҳи таркиби чоркомпонента боиси пайдоиши нуқтаҳои чоркомпонентаи нонвариантии зерин бо фазаҳои саҳти мувозинатӣ мегардад:



Барои сарбаст намудани майдонҳои дивариантии фазаҳои саҳти мувозинатии Tr, Gl ва CaH, бо усули транслятсияи «мобайнӣ» [112-116] нуқтаи нонвариантӣ бо фазаҳои саҳти мувозинатии зерин ёфта шуд:



Дар асоси далелҳои боло диаграммаи комплекси фазагии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента сохта шуда, дар расми 2.36 тасвир гаштааст.

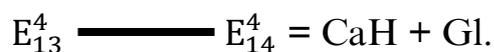
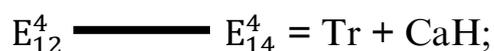


Расми 2.36. – Диаграммаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$

Дар он унсурҳои сохтори система дар сатҳҳои таркиби се- ва чоркомпонента якҷоя карда шудаанд. Дар диаграмма ба ғайр аз нуқтаҳои нонварианти, инчунин қачхатҳои моноварианти ва контурҳои майдонҳои диварианти инъикос ёфтаанд.

Аз 9 қачхати моноварианти, 6-тои онҳо дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба сатҳи чоркомпонента ба вуҷуд омадаанд ва дар диаграмма (рас. 2.36) бо хатҳои пунктирӣ ишора шудаанд.

Наҳколити таркиби фазавии таҳшинҳо ба таркиби фазавии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента, ки аз онҳо транслятсия шудаанд, якхела аст. Се қачхати моноварианти дар байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонента мегузаранд ва дар диаграмма (рас. 2.36) дар шакли хатҳои ғафси яклухт тасвир гаштаанд. Ин қачхатҳои моноварианти таркиби фазавии таҳшинҳои зеринро доранд:



Контурҳои майдонҳои дивариантии кристаллизатсияи фазаҳои саҳти инфиродии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар диаграмма, ҷадвали 2.36 оварда шудаанд.

Қадвали 2.36. – Контури фрагменти майдонҳо дар системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  барои ҳарорати  $25\text{ }^\circ\text{C}$

Фазаҳои саҳти майдонҳо	Контури майдонҳо дар диаграмма (рас. 2.36)
Na10	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ ————— $\text{E}_1^3$   $\text{E}_3^3$ ————— $\text{E}_{11}^4$
Gl	$\text{E}_3^3$ ————— $\text{E}_{11}^4$   $\text{E}_4^3$ ————— $\text{E}_{13}^4$ $\text{E}_{11}^4$ — $\text{E}_{14}^4$ $\text{E}_{13}^4$ — $\text{E}_{14}^4$
Cc	$\text{E}_4^3$ ————— $\text{E}_{13}^4$   $\text{CaCO}_3$ ————— $\text{E}_5^3$ $\text{E}_5^3$ — $\text{E}_{13}^4$
Tr	$\text{E}_2^3$ ————— $\text{E}_{12}^4$   $\text{E}_1^3$ ————— $\text{E}_{11}^4$ $\text{E}_{12}^4$ — $\text{E}_{14}^4$ $\text{E}_{11}^4$ — $\text{E}_{14}^4$
Nk	$\text{E}_2^3$ ————— $\text{NaHCO}_3$   $\text{E}_{12}^4$ ————— $\text{E}_6^3$
CaH	$\text{E}_{14}^4$ — $\text{E}_{12}^4$ — $\text{E}_6^3$   $\text{E}_{13}^4$ — $\text{E}_5^3$ — $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$

Тавре ки аз диаграммаи комплекси фазагии системаи омӯхташуда (рас. 2.36) маълум гашт, майдони кристаллизатсияи Gl ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) бо чорто аз панҷ майдони кристаллизатсияи дигар фазаҳои саҳти мувозинатӣ ҳамсарҳад аст. Ин маънои онро дорад, ки майдони кристаллизатсияи Gl дар шароити додашуда қисми назарраси системаи таҳқиқшавандаро ишғол мекунад. Сохтори системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , инчунин дар қорҳои [163-166] баррасӣ шудааст.

Изотермаи системаҳои чоркомпонентаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$ . Таркиби системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^-$

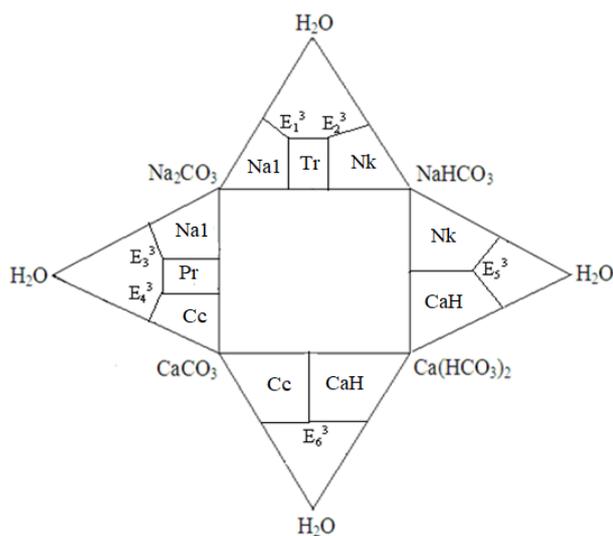
$\text{H}_2\text{O}$  аз зерсистемаҳои  $3\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  ва  $\text{Ca}^{2+} - 2\text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  иборат аст.

Мувофиқи корҳои [108, 109], системаҳои якум ва дуюм бо усули халшавандагӣ аз ҷиҳати таҷрибавӣ омӯхта шудаанд. Барои онҳо нуқтаҳои нонвариантии зерин бо фазаҳои саҳти мувозинатии хоси худ муайян гаштаанд (ҷадв. 2.37). Сохтори ду системаи охир ҳамчун эвтоникии оддӣ бо як нуқтаи нонвариантии қабул карда шудааст.

Ҷадвали 2.37. – Нуқтаҳои нонвариантии сечандаи субсистемаҳои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50^\circ\text{C}$

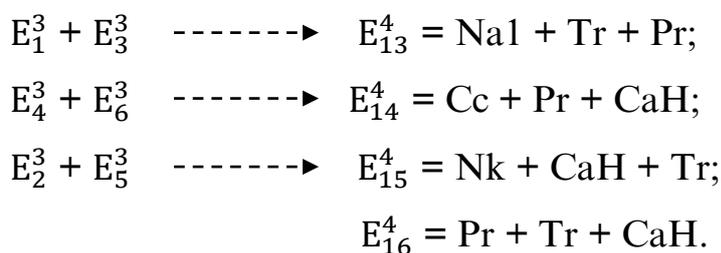
Система	Нуқтаҳои нонвариантии	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$3\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_1^3$ $E_2^3$	Na1 + Tr Tr + Nk
$2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_3^3$ $E_4^3$	Na1 + Pr Pr + Cc
$\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_5^3$	Nk + CaH
$2\text{Ca}^{2+} - 2\text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_6^3$	CaH + Cc

Дар расми 2.37 диаграммаи мувозинатҳои фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби секомпонента дар  $50^\circ\text{C}$  оварда шудааст. Ин диаграмма дар шакли пирамидаи чорқиррагӣ (кушодашуда) тасвир гаштааст. Дар ин сатҳи компонентнокӣ, он бо 5 нуқтаи нонвариантии тавсиф меёбад.

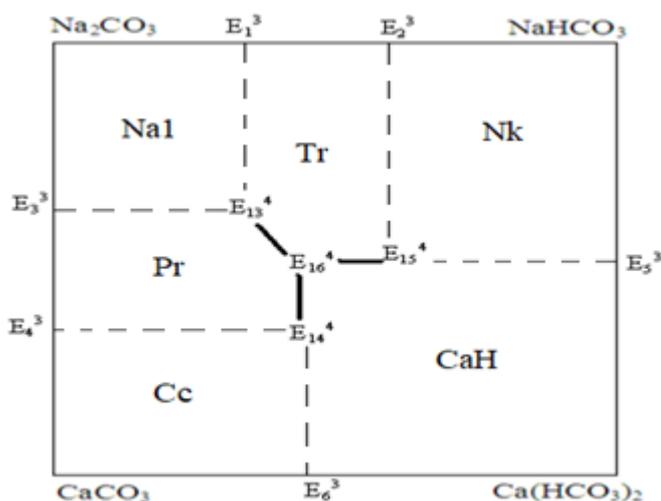


Расми 2.37. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50^\circ\text{C}$

Ҳангоми транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сечанда ба сатҳи таркиби чоргона, нуқтаҳои чоргонаи нонвариантии зерин бо фазаҳои саҳти мувозинатӣ ба вуҷуд меоянд:



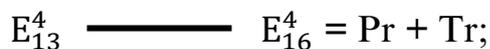
Тавре ки мебинем, аз 4 нуқтаи нонвариантии, ки бо усули транслятсия ошкор гардидаанд, 3-тои онҳо ( $E_{13}^4$ ,  $E_{14}^4$ ,  $E_{15}^4$ ) бо транслятсияи «дугарафа» ва яктои он ( $E_{16}^4$ ) бо транслятсияи «мобайнӣ» ба вуҷуд омадаанд [112].



Расми 2.38. – Диаграммаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$

Дар расми зикршудаи 2.38 диаграммаи сарбасти комплекси фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби чор оварда шудааст. Ин диаграмма дар асоси пирамидае тасвир гаштааст, ки барои нишон додани он дар сатҳи таркиби секомпонента (рас. 2.37) истифода шуда буд. Дар диаграмма, ба ғайр аз 4 нуқтаи нонвариантии, инчунин 6 майдони дивариантии ва 9 қачхатии моновариантии инъикос ёфтаанд. Қачхатҳои моновариантии пайдоиши духела доранд. Шаштои онҳо дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба сатҳи чоркомпонента ба вуҷуд омадаанд ва дар диаграмма (рас. 2.38) бо хатҳои пунктирӣ ишора шудаанд. Таркиби фазавии таҳшинҳои ин қачхатҳои моновариантии ба таркиби фазавии

тахшинҳои нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента, ки аз онҳо транслятсия шудаанд, якхела аст. Се қачхати моновариантӣ дар байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонента мегузаранд ва дар диаграмма (рас. 2.38) дар шакли хатҳои ғафси яклухт тасвир шудаанд. Ин қачхатҳои моновариантӣ таркиби фазавии таҳшинҳои зеринро доранд:



Контурҳои майдонҳои дивариантии кристаллизатсияи фазаҳои саҳти инфиродии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар ҷадвали 2.38 оварда шудаанд.

Ҷадвали 2.38. – Контури фрагменти майдонҳо дар системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  барои ҳарорати  $50^\circ\text{C}$

Фазаҳои саҳти мувозинатии майдонҳо	Контури майдонҳо дар диаграмма (рас. 2.38)
Na1	$\begin{array}{ccc} \text{Na}_2\text{CO}_3 & \text{—————} & E_1^3 \\   & & \vdots \\ E_3^3 & \text{-----} & E_{13}^4 \end{array}$
Pr	$\begin{array}{ccc} E_3^3 & \text{-----} & E_{13}^4 \text{ ————— } E_{16}^4 \\   & &   \\ E_4^3 & \text{-----} & E_{14}^4 \end{array}$
Cc	$\begin{array}{ccc} E_4^3 & \text{-----} & E_{14}^4 \\   & & \vdots \\ \text{CaCO}_3 & \text{—————} & E_6^3 \end{array}$
Nk	$\begin{array}{ccc} E_2^3 & \text{—————} & \text{NaHCO}_3 \\ \vdots & &   \\ E_{15}^4 & \text{-----} & E_5^3 \end{array}$
CaH	$\begin{array}{ccc} E_{16}^4 & \text{—————} & E_{15}^4 \text{ ----- } E_5^3 \\   & &   \\ E_{14}^4 & \text{-----} & E_6^3 \text{ — } \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \end{array}$

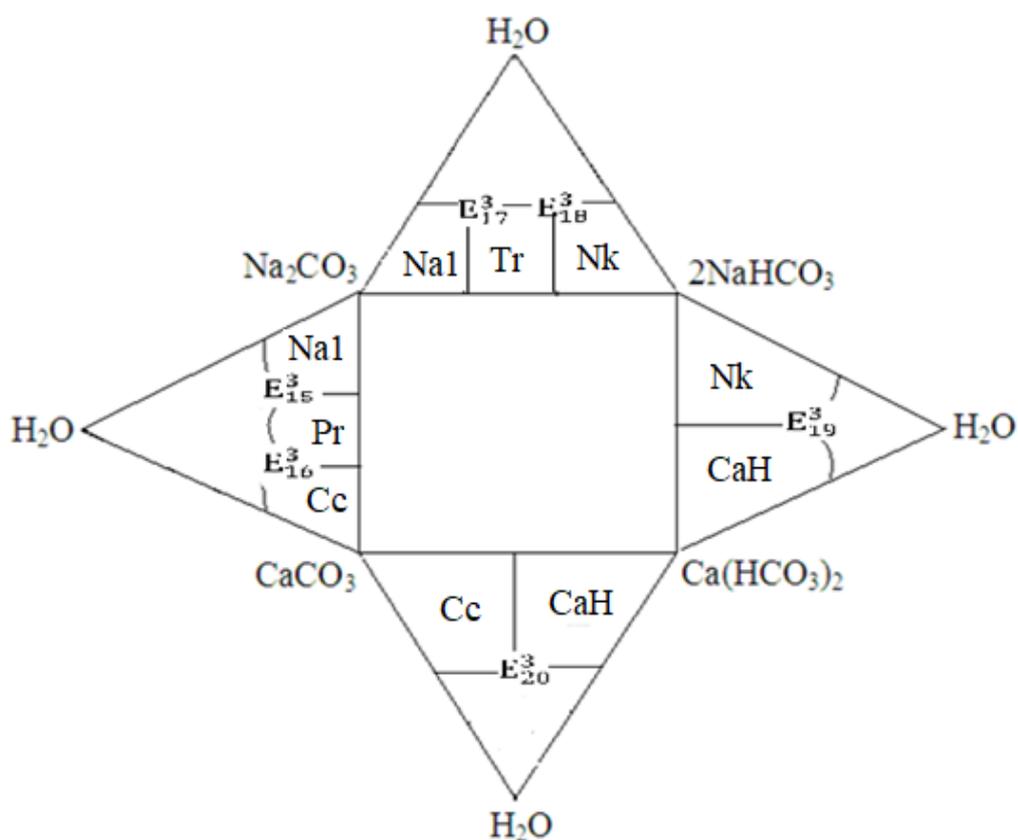
Муқоисаи сохтори диаграммаи мувозинатҳои фазагӣ барои изотермаҳои 0 ва 25 °С дар қорҳои [167, 169] ва ҳарорати 50 °С - [170, 171] баррасӣ гардидаанд.

**Изотермаи системаҳои чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар 75 °С.** Субсистемаҳои  $3\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  ва  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  таркиби системаи таҳқиқшавандаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ -ро ташкил медиҳанд. Тибқи маълумоти қорҳои [108, 109], ба ғайр аз системаҳои  $\text{Ca}^{2+} - 2\text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  ва  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ , онҳо бо усули ҳалшавандагӣ аз ҷиҳати таҷрибавӣ таҳлил шудаанд. Барои онҳо нуқтаҳои нонвариантии мувофиқ бо фазаҳои саҳти мувозинатии хоси худ муайян шудааст (ҷадв. 2.39). Сохтори боқимондаи системаҳои секомпонента ҳамчун эвтоникии оддӣ бо як нуқтаи нонвариантии қабул карда шудааст.

**Ҷадвали 2.39. – Нуқтаҳои нонвариантии сечандаи субсистемаҳои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар 75 °С**

Система	Нуқтаҳои нонвариантии	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$3\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_{17}^3$ $E_{18}^3$	$\text{NaI} + \text{Tr}$ $\text{Tr} + \text{Nk}$
$2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_{15}^3$ $E_{16}^3$	$\text{NaI} + \text{Pr}$ $\text{Pr} + \text{Cc}$
$2\text{Ca}^{2+} - 2\text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_{20}^3$	$\text{Cc} + \text{CaH}$
$\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_{19}^3$	$\text{CaH} + \text{Nk}$

Дар расми 2.39 диаграммаи комплекси фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби секомпонента дар 75 °С оварда шудааст. Ин диаграмма дар шакли призмаи чорқиррагии (кушодашуда) тасвир гаштааст. Дар ин сатҳи компонентӣ, он бо 6 нуқтаи нонвариантии тавсиф меёбад.

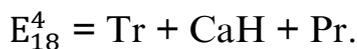


Расми 2.39. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$

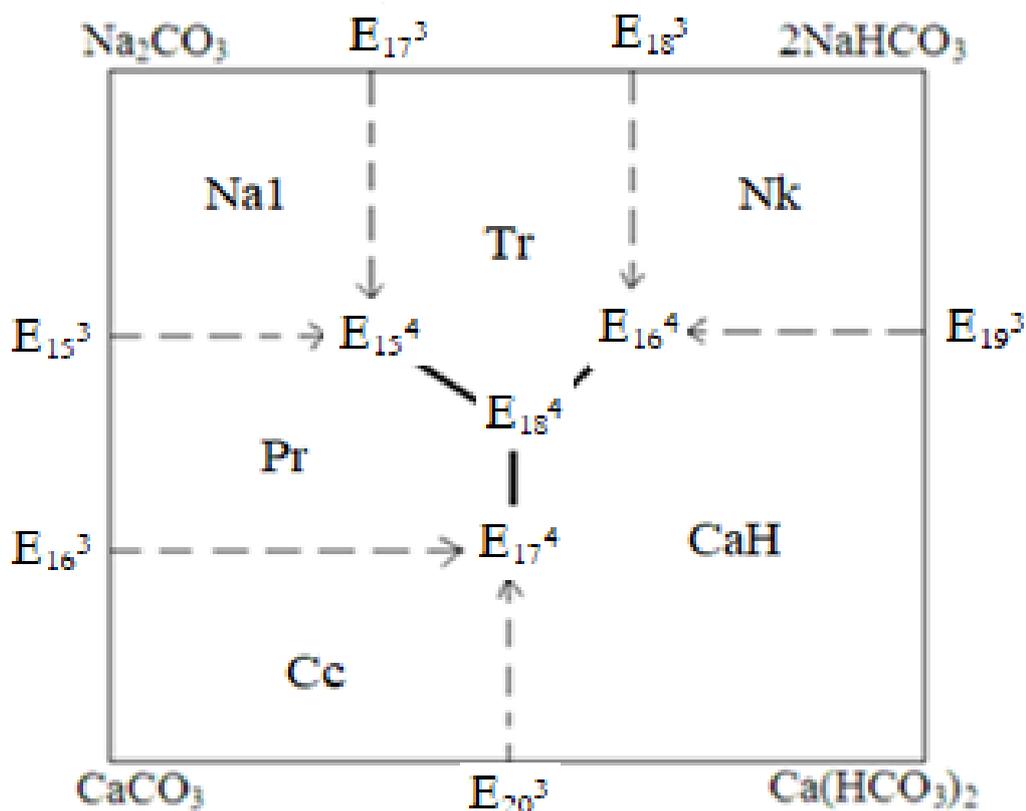
Транслятсияи «дугарафа»-и нуқтаҳои нонвариантии сечандаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  ба сатҳи таркиби чоркомпонента боиси пайдоиши нуқтаҳои чоркомпонентаи нонвариантии зерин бо фазаҳои саҳти мувозинатӣ мегардад:



Барои сарбастии майдонҳои дивариантии фазаҳои саҳти мувозинатии Tr, Pr ва CaH, бо усули транслятсияи «мобайнӣ» нуқтаи нонвариантии бо фазаҳои саҳти мувозинатии зерин ёфта шуд:

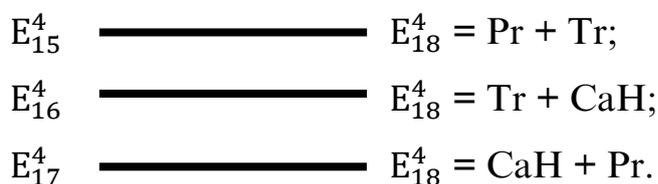


Диаграммаи комплекси фазавии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента дар расми 2.40 оварда шудааст.



Расми 2.40. – Диаграммаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$

Дар он унсурҳои сохтори система дар сатҳҳои таркиби се- ва чоркомпонента яқоя карда шудаанд. Дар диаграмма, ба ғайр аз ҷойгиршавии нуқтаҳои нонварианти, инчунин контурҳои майдонҳои диварианти ва қачхатҳои моноварианти инъикос ёфтаанд. Аз 9 қачхати моноварианти, 6-тои онҳо дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба сатҳи чоркомпонента ба вуҷуд омадаанд ва дар диаграмма (рас. 40) бо хатҳои пунктирӣ ишора гаштаанд. Таркиби фазавии таҳшинҳои ин қачхатҳо ба таркиби фазавии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента, ки аз онҳо транслятсия шудаанд, яқхела аст. Се қачхати моноварианти дар байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонента мегузаранд ва дар диаграмма (рас. 2.40) дар шакли хатҳои ғафси яқлухт тасвир шудаанд. Ин қачхатҳои моноварианти таркиби фазавии таҳшинҳои зеринро доранд:



Контурҳои майдонҳои дивариантии кристаллизатсияи фазаҳои саҳти инфиродии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  [172, 173] дар диаграмма (ҷадв. 2.40) тасвир шудаанд.

Ҷадвали 2.40. – Контурҳои фрагменти майдонҳо дар системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  барои ҳарорати  $75^\circ\text{C}$

Фазаҳои саҳти мувозинатӣ	Контурҳои майдонҳо дар диаграмма (рас. 2.40)
NaI	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ ————— $E_{17}^3$   $E_{15}^3$ ----- $E_{15}^4$
Pr	$E_{15}^3$ ----- $E_{15}^4$ \ /   / $E_{16}^3$ ----- $E_{17}^4$ / / $E_{18}^4$
Cc	$E_{16}^3$ ----- $E_{17}^4$   $\text{CaCO}_3$ ————— $E_{20}^3$
Tr	$E_{17}^3$ ----- $E_{15}^4$ \ /   / $E_{18}^3$ ----- $E_{16}^4$ / / $E_{18}^4$
Nk	$E_{18}^3$ ————— $\text{NaHCO}_3$   $E_{16}^4$ ←----- $E_{19}^3$
CaH	$E_{18}^4$ ————— $E_{16}^4$ ←----- $E_{19}^3$   $E_{17}^4$ ←----- $E_{20}^3$ — $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$

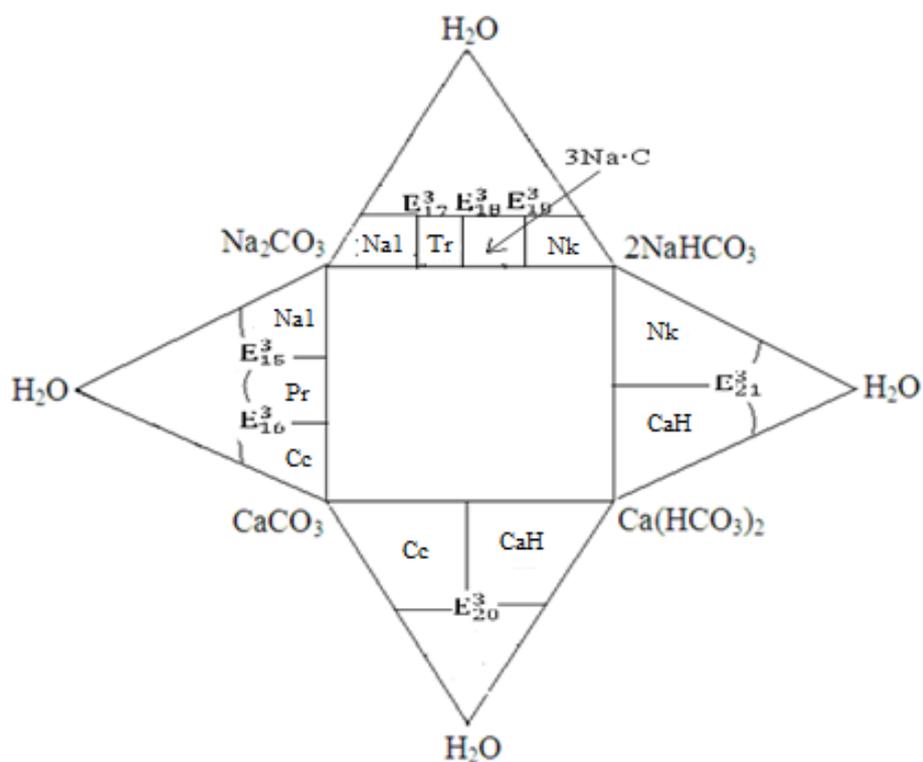
Тавре ки аз диаграммаи комплекси фазагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  (расми 2.40) дида мешавад, майдони кристаллизатсияи Pr ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) бо чорто аз панҷ майдони кристаллизатсияи дигар фазаҳои саҳти мувозинатӣ ҳамсарҳад аст. Ин маънои онро дорад, ки майдони кристаллизатсияи Pr дар шароити додашуда қисми назарраси системаи таҳқиқшавандаро ишғол мекунад. Сохтори системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$ , инчунин дар кори [174] баррасӣ шудааст.

Изотермаи системаҳои чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . Системаи чоркомпонента системаҳои секомпонентаи зеринро дар бар мегирад:  $3\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  ва  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ . Тибқи маълумоти корҳои [108, 109], ба ғайр аз системаҳои  $2\text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  ва  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ , онҳо бо усули ҳалшавандагӣ хуб омӯхта шудаанд. Барои онҳо нуқтаҳои нонвариантии мувофиқ бо фазаҳои саҳти мувозинати хоси худ муайян карда шудаанд (ҷадв. 2.41). Сохтори боқимондаи системаҳои секомпонента ҳамчун эвтоникии содда бо як нуқтаи нонварианти қабул гаштааст.

Ҷадвали 2.41. – Нуқтаҳои нонвариантии сечандаи субсистемаҳои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$

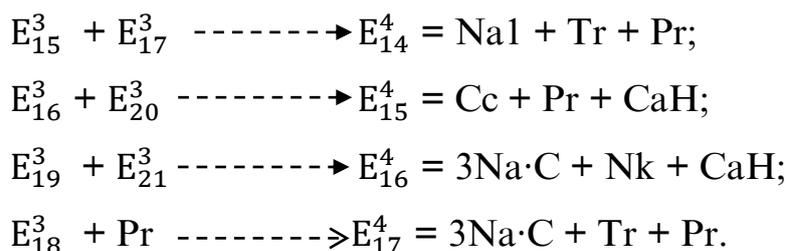
Система	Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинати
$3\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_{17}^3$ $E_{18}^3$ $E_{19}^3$	$\text{NaI} + \text{Tr}$ $\text{Tr} + 3\text{Na}\cdot\text{C}$ $3\text{Na}\cdot\text{C} + \text{Nk}$
$2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_{15}^3$ $E_{16}^3$	$\text{NaI} + \text{Pr}$ $\text{Pr} + \text{Cc}$
$2\text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_{20}^3$	$\text{Cc} + \text{CaH}$
$\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 3\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_{21}^3$	$\text{CaH} + \text{Nk}$

Дар расми 2.41 диаграммаи мувозинатҳои фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби секомпонента дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$  оварда шудааст. Ин диаграмма дар шакли призмаи чорқирраи (кушодашуда) тасвир гаштааст. Дар ин сатҳи компонентӣ он бо 7 нуқтаи нонварианти тавсиф меёбад.



Расми 2.41. – Диаграммаи кушодаи сатҳи сечандаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$

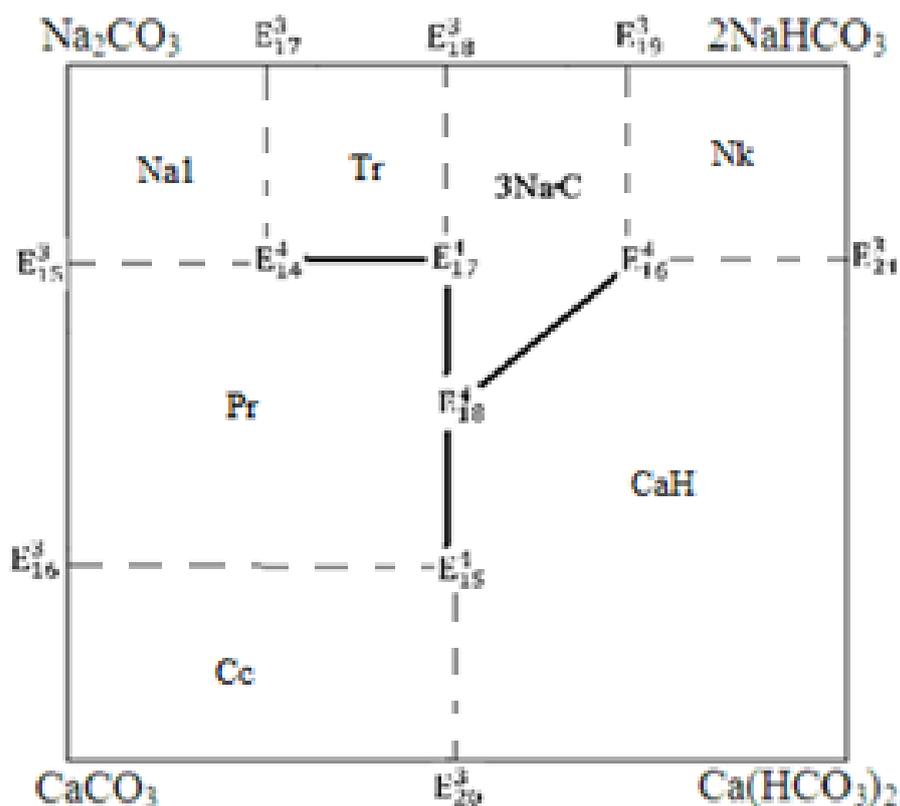
Транслятсияи «дугарафаи»-и нуқтаҳои нонвариантии сечандаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  ба сатҳи таркиби чоркомпонента боиси пайдоиши нуқтаҳои чоркомпонентаи нонвариантии зерин бо фазаҳои саҳти мувозинатӣ мегардад:



Барои сарбаст намудани майдонҳои дивариантӣ бо фазаҳои саҳти мувозинатии  $3\text{Na}\cdot\text{C}$ ,  $\text{Pr}$  ва  $\text{CaH}$ , бо усули транслятсияи «дугарафа» нуқтаи нонвариантӣ бо фазаҳои саҳти мувозинатии зерин ёфта шуд:



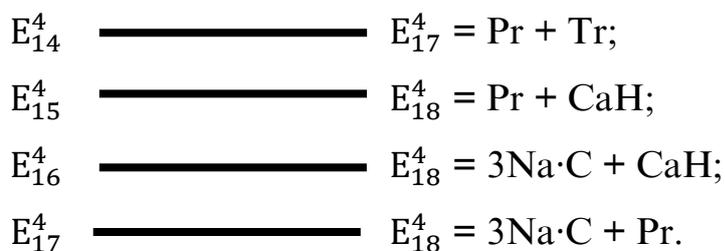
Диаграммаи схематикӣи комплекси фазавии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента дар расми 2.42 оварда шудааст.



Расми 2.42. – Диаграммаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$

Дар диаграмма ифодаҳои геометрии сохтори система дар сатҳҳои таркиби се- ва чоркомпонента якҷоя карда шудаанд. Дар диаграмма ба ғайр аз ҷойгиршавии нуқтаҳои нонварианти, инчунин контурҳои майдонҳои диварианти ва қачхатҳои моноварианти инъикос ёфтаанд. Аз 11 қачхати моноварианти 7-тои онҳо дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента ба сатҳи чоркомпонента ба вуҷуд омадаанд ва дар диаграмма (рас. 2.42) бо хатҳои пунктирӣ ишора шудаанд.

Таркиби фазавии таҳшинҳои ин қачхатҳо ба таркиби фазавии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента, ки аз онҳо транслятсия шудаанд, яхела аст. Чаҳор қачхати моноварианти дар байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонента мегузаранд ва дар диаграмма (расми 2.42) дар шакли хатҳои ғафси яклухт тасвир шудаанд. Ин қачхатҳои моноварианти таркиби фазавии таҳшинҳои зеринро доранд:



Контурҳои майдонҳои дивариантии кристаллизатсияи [176] фазаҳои саҳти инфиродии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар диаграмма (ҷадв. 2.42) тасвир шудаанд.

Ҷадвали 2.42. – Контурҳои фрагменти майдонҳо дар системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  барои ҳарорати 100 °C

Фазаҳои саҳти мувозинатӣ	Контурҳои майдонҳои кристаллизатсионӣ (рас. 2.42)
NaI	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ ————— $E_{17}^3$   $E_{15}^3$ - - - - - $E_{14}^4$   $E_{14}^4$
Pr	$E_{15}^3$ - - - - - $E_{14}^4$ ————— $E_{17}^4$   $E_{16}^3$ - - - - - $E_{15}^4$ ————— $E_{18}^4$   $E_{18}^4$
Cc	$E_{16}^3$ - - - - - $E_{15}^4$   $\text{CaCO}_3$ ————— $E_{20}^3$   $E_{20}^3$
3NaC	$E_{18}^3$ - - - - - $E_{17}^4$   $E_{19}^3$ - - - - - $E_{16}^4$   $E_{17}^4$ / $E_{16}^4$ ————— $E_{18}^4$
Nk	$E_{19}^3$ ————— $\text{NaHCO}_3$   $E_{16}^4$ ← - - - - - $E_{21}^3$   $E_{21}^3$
CaH	$E_{18}^4$ ————— $E_{16}^4$ ← - - - - - $E_{21}^3$   $E_{15}^4$ ← - - - - - $E_{20}^3$ ————— $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$   $E_{20}^3$
Tr	$E_{17}^3$ - - - - - $E_{14}^4$   $E_{18}^3$ - - - - - $E_{17}^4$   $E_{17}^4$

### БОБИ 3. ПОЛИТЕРМАИ СОХТОРИ КОМПЛЕКСИ ФАЗАГИИ СИСТЕМАИ $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ ДАР САТҲИ ТАРКИБИ ПАНҶКОМПОНЕНТА

#### 3.1. Сохтори диаграммаи фазагии системаи панҷкомпонентаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ дар $0^\circ\text{C}$

Вижагии асосии сохтани диаграммаҳои комплексҳои фазагии СБК бо усули транслятсия дар он аст, ки дар ин раванд хосиятҳои топологии ифодаҳои геометрии системаҳои оддӣ (чузъӣ) ва мураккаб (умумӣ) дар як диаграмма истифода мешаванд. Дар ин раванд диаграммаи комплекси фазавӣ сохта мешавад, ки қисми таркибӣ ва мустақили диаграммаи ҳолат мебошанд. Ин гуна муносибат имкон медиҳад, ки ҳамаи мувозинатҳои фазавии имконпазир дар шаклҳои геометрӣ ва ҷойгиршавии мутақобилаи онҳо бе зарурати муайян кардани координатҳои онҳо нишон дода шаванд, яъне, сохтани диаграммаҳои комплекси фазавии СБК.

Усули транслятсия пешбинӣ менамояд, ки ҳангоми ба вучуд омадани системаи мураккаби  $n + 1$  - компонента тавассути илова кардани компоненти навбатӣ ба системаи оддӣ аз  $n$  - компонента, андозагирии ифодаҳои сохтори система зиёд мешавад: нуқтаҳои нонвариантӣ ба қачхатҳои моновариантӣ, қачхатҳои моновариантӣ ба майдонҳои дивариантӣ, майдонҳои дивариантӣ ба ҳаҷм ва ғайра табдил меёбанд.

Шаклҳои геометрии мазкур дар сатҳи таркиби умумии системаи  $n + 1$  – компонента, ҳангоми вохурии байниҳамдигар, тасвирҳои геометрии системаи умумиро ҳосил мекунанд. Нуқтаҳои нонвариантӣ ҳангоми буриш қачхатҳои моновариантӣро ба вучуд меоранд. Қачхатҳои моновариантӣ майдонҳои дивариантро ва майдонҳои дивариантӣ ҳаҷм ва диаграммаи сарбасти комплекси фазавии системаи умумиро ташкил медиҳанд. Комплекси фазавӣ дар тасвирҳои геометрӣ ба таври зерин пешбинӣ мешаванд.

**Нуқтаҳои нонвариантӣ.** Азбаски мувофиқи қоидаи фазаҳои Гиббс, буриши тасвирҳои геометрӣ дар ҳолате имконпазир аст, ки онҳо аз якдигар

бо як фаза фарқ кунанд. Нуқтаҳои эҳтимолии нонвариантии системаи умумиро метавон ба таври риёзӣ бо усули пайвастшавӣ (сочетание) пайдо кард. Нуқтаҳои нонвариантии системаҳои ҷузъие, ки аз якдигар бо як фаза фарқ мекунанд, бо ҳам пайваст мешаванд. Ин усул ба таври шартӣ транслятсияи «дутарафа» номида мешавад.

Дар диаграммаи мувозинати фазагӣ ин тавассути буриши қатъҳои моновариантӣ, ки аз нуқтаҳои нонвариантии системаҳои ҷузъӣ (ду намуди гуногун) сарчашма мегиранд, амалӣ мегардад (рас. 3.1. а). Дар ин расм аломати секунҷа маънояш он, ки нуқтаҳои чоргонаи  $E_1^4$  ва  $E_2^4$  ба системаҳои гуногун тааллуқ доранд ва бо як нуқтаи сегонаи нонвариантӣ алоқаманданд. Он дар ҳудуди таркиби чоргона ба қатъи моновариантӣ мегузарад.

Дар транслятсияи дутарафа имкони пайдоиши гурӯҳи нуқтаҳои нонвариантӣ бо таркиби фазавӣ якхелаи таҳшинҳо вуҷуд дорад. Дар изотермаҳои комплекси фазавӣ онҳо ҳамчун як нуқтаи нонвариантӣ, ки аз буриши зиёда аз ду қатъи моновариантӣ ба вуҷуд омадаанд, инъикос меёбанд.

Транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии системаҳои ҷузъӣ ба фосилаи таркиби умумӣ зиёда аз як самт эҳтимол надорад, зеро ин метавонад дар сурате амалӣ шавад, ки системаи умумӣ (ибтидоӣ) ба системаҳои дуҷумдараҷа тақсим шавад.

Эҳтимолияти пайвастшавии нуқтаҳои нонвариантии як системаи ҷузъӣ низ кам аст. Ин боиси пайдоиши нуқтаи нонвариантии системаи умумӣ мегардад, ки дар он конгломерати фазаҳои саҳти мувозинатии таркиби системаи ҷузъиро хоҳад дошт. Дар принцип, мавҷудияти чунин конгломерати фазаҳои саҳт дар системаи умумӣ имконпазир аст, аммо дар таҷриба чунин нуқтаҳои нонвариантӣ кам дучор меоянд.

Нуқтаҳои нонвариантии системаҳои таркибии ҷузъӣ, ки дар дигар системаҳои ҷузъӣ шариконе барои пайвастшавӣ пайдо накардаанд, ба ҳудуди таркиби умумӣ аз рӯйи намуди «яктарафа» транслятсия мешаванд.

Дар диаграммаи комплекси фазавӣ чунин транслятсия тавассути буриши қачхати моновариантӣ, ки аз нуқтаи нонвариантӣ системаи ҷузъӣ оғоз меёбад, бо қачхати моновариантӣ, ки дар байни нуқтаҳои нонвариантӣ системаи умумӣ мегузарад (рас. 3.1. б, нуқтаи  $E_2^5$ ) амалӣ мегардад.

Имконияти пайдоиши нуқтаҳои нонвариантӣ системаи умумӣ тавассути буриши қачхатҳои моновариантӣ, ки танҳо дар байни нуқтаҳои нонвариантӣ системаи умумӣ мегузаранд, вучуд дорад (расми 3.1. в, нуқтаи  $E_4^5$ ). Ин гуна нуқтаҳои нонвариантӣ ба таври «мобайнӣ» муайяншуда номида мешаванд.

Нуқтаҳои нонвариантӣ системаи умумӣ, ки бо усули транслятсия муайян шудаанд, метавонанд аз меъёри зарурӣ барои сарбасти шаклҳои геометрӣ ва сохтани диаграммаи комплекси фазавӣ бештар бошанд. Дар ин ҳолат, нуқтаҳои нонвариантӣ муайян карда мешаванд, ки дар сарбастшавии ифодаҳои геометрӣ иштирок намеkunанд ва ҳамчун изофӣ рад карда мешаванд.

**Хатҳои моновариантӣ.** Қачхатҳои моновариантӣ СБК пайдоиши духелагӣ доранд. Ин маънои онро дорад, ки онҳо метавонанд аз ду манбаи гуногун дар дохили диаграммаи комплекси фазагӣ ба вучуд оянд. Яке аз онҳо метавонад ҳамчун натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантӣ системаҳои ҷузъӣ ба ҳудуди таркиби умумӣ ба вучуд оянд (онҳо дар расми 3.1 бо хатҳои фосилдор ишора шудаанд:  $E_1^4$  -----  $E_1^5$ ;  $E_2^4$  -----  $E_1^5$ ;  $E_3^4$  -----  $E_2^5$ ;  $E_4^4$  -----  $E_3^5$ ). Дигар бошанд, ҳамчун пайвасткунандаи нуқтаҳои нонвариантӣ системаи умумӣ буда, дар расм бо хатҳои ғафси яклухт ишора шудаанд ( $E_1^5$  —  $E_2^5$ ;  $E_1^5$  —  $E_4^5$ ;  $E_3^5$  —  $E_4^5$ ). Навъи аввали қачхатҳои моновариантӣ метавонанд пешбинӣ карда шаванд. Онҳо шакли транслятсияшудаи нуқтаҳои нонвариантӣ системаҳои ҷузъӣ ба фосилаи таркиби умумӣ мебошанд. Боқимонда ҳангоми сохтани диаграммаи сарбасти комплекси фазавии системаи таҳқиқшавандаи  $Na^+$ ,  $Ca^{2+} || SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^- - H_2O$  муайян карда мешаванд.

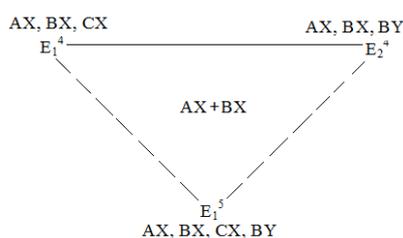
Ҳангоми гузаронидани қачхатҳои моноварианти дар байни нуқтаҳои нонвариантии системаи умумӣ, мумкин аст ду ва зиёда аз он қачхатҳо бо таркиби фазавии якхелаи таҳшинҳо пайдо шаванд. Дар ин ҳолат, қачхатҳои моноварианти муайян карда мешаванд, ки дар сарбасти шаклҳои сохтори диаграммаи комплекси фазавии системаи бисёркомпонентаи таҳқиқшаванда иштирок намекунанд ва ҳамчун изофӣ рад карда мешаванд.

**Майдонҳои диварианти.** Майдонҳои диварианти дар СБК метавонанд дар натиҷаи транслятсияи қачхатҳои моновариантии системаҳои ҷузъӣ ба ҳудуди системаи умумӣ ба вуҷуд оянд. Ин раванд ба мо имкон медиҳад, ки муносибатҳои мураккаби фазавиро дар доираи системаҳои мураккаб дарк кунем. Масалан, майдонҳои аз ду фаза сери  $AХ+ВХ$ ,  $AХ+ВУ$  ва  $ВХ+СХ$  дар расми 3.1, ки дар натиҷаи транслятсияи қачхатҳои моновариантии  $E_1^4—E_2^4$ ,  $E_2^4—E_3^4$  ва  $E_1^4—E_4^4$  ба фосилаи таркиби панҷкомпонента ба вуҷуд омадаанд, инчунин дар натиҷаи сарбаст шудани майдонҳо бо қачхатҳои моноварианти, ки дар байни нуқтаҳои нонвариантии системаи умумӣ мегузаранд.

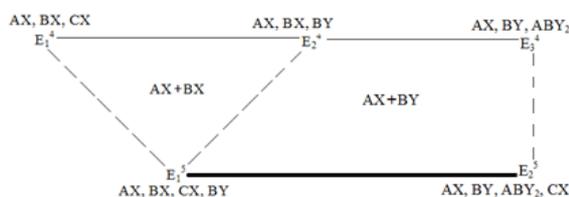
Сохтани диаграммаҳои мувозинати фазавии СБК бо усули транслятсия марҳилаҳои асосии зеринро дар бар мегирад:

- муайян кардани нуқтаҳои нонвариантии системаи умумӣ тавассути пайваст кардани нуқтаҳои нонвариантии системаҳои қисман (ғайрияхела);
- муайян кардани нуқтаҳои нонвариантии системаи умумӣ дар ҳолати транслятсияи яктарафаи нуқтаҳои нонвариантии системаҳои ҷузъӣ;
- тарҳи пешакии тасвири диаграммаи фазавии системаи таҳқиқшавандаи таркиби якум;
- санҷиши транслятсияи қачхатҳои моновариантии системаҳои ҷузъӣ ба минтақаи таркиби умумӣ;
- ёфтани нуқтаҳои имконпазири нонвариантии мобайнӣ, ки транслятсияи қачхатҳои моновариантии системаҳои ҷузъиро ба ҳудуди таркиби умумӣ таъмин мекунанд;

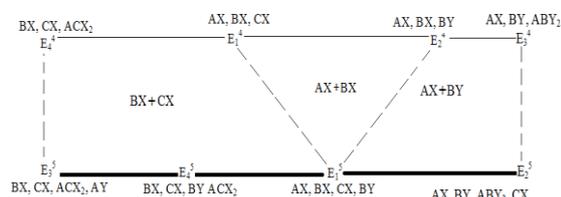
- сохтани диаграммаи комплекси фазавии СБК дар тақриби дуум;
- санчиши зарурати транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии системаҳои чузбӣ ба ҳудуди таркиби умумӣ дар зиёда аз як самт;
- санчиши иштироки нуқтаҳои нонвариантии системаи умумӣ дар сарбаст гардидани тасвирҳои геометрии система ва рад кардани нуқтаҳои зиёдатӣ;
- санчиши иштироки қачхатҳои моновариантии системаи умумӣ дар сарбаст намудани тасвирҳои геометрӣ ва рад кардани қачхатҳои зиёдатӣ;
- санчиши мавҷудияти майдонҳои дивариантӣ, ки бо маҳдуд кардани сатҳҳо бо қачхатҳои моновариантӣ, ки дар байни нуқтаҳои нонвариантии системаи умумӣ мегузаранд;
- сохтани диаграммаи комплекси фазавии СБК дар варианти ниҳой.



а)



б)



в)

Расми 3.1. – Транслятсияи шаклҳои геометрии фрагменти системаи А, В, С || X, Y - H<sub>2</sub>O:

а) дутарафа; б) яктарафа; в) мобайнӣ

Таъкид кардан зарур аст, ки ҳангоми сохтани диаграммаҳои комплекси фазавии СБК, татбиқи ҳамаи марҳилаҳои дар боло зикршуда на ҳамеша ҳатмӣ мебошад. Масалан, агар ҳамаи нуқтаҳои нонвариантии

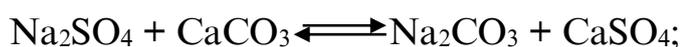
системаҳои чузъӣ тавассути транслятсияи дутарафа ба ҳудуди таркиби умумӣ интиқол ёбад, пас зарурати татбиқи транслятсияи яктарафа аз байн меравад. Имкон дорад, ки ҳамаи қачхатҳои моновариантии системаҳои чузъӣ тавассути транслятсияи дутарафа ва яктарафа интиқол гардад ва дар фосилаи таркиби умумӣ сарбаст шаванд. Дар ин сурат, зарурати ҷустуҷӯи нуқтаҳои мобайнии нонварианти аз байн меравад ва амсоли инҳо.

Системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  ҳафт чузъи таркибӣ дорад:  $\text{Na}_2\text{SO}_4, \text{Na}_2\text{CO}_3, \text{CaSO}_4, \text{CaCO}_3, \text{NaHCO}_3, \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  ва  $\text{H}_2\text{O}$ . Аммо, мувофиқи қоидаҳои умумӣ [1], ин система аз панҷ компонент иборат аст. Шумораи компонентҳо дар чунин системаҳои муовиза ба тариқи зайл муайян карда мешавад: бо шумораи ионҳои, ки ҳангоми диссоциатсияи намакҳо ба вучуд омада метавонанд. Дар маҳлӯлҳои обии системаи таҳқиқшаванда катионҳои  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+}$  ва анионҳои  $\text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^-$  мавҷуданд, яъне 5 ион. Аз ин рӯ, он системаи панҷкомпонента мебошад.

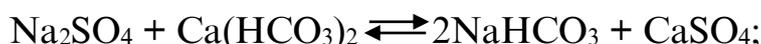
Системаи панҷкомпонентаи таҳқиқшаванда 5 зерсистемаи чоркомпонентаро дар бар мегирад:  $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ . Ду системаи аввал намакҳоро бо иони умумӣ дар бар мегиранд. Байни онҳо реаксияи муовиза вучуд надорад. Аз ин рӯ, барои онҳо шумораи чузъҳои таркибӣ (3 намак ва об) метавонанд компонент бошанд.

Дар се системаи дигар реаксияи муовиза ба амал меояд, бинобар ин, онҳо системаи муовиза мебошанд. Масалан:

- барои системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ :



- барои системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ :



- барои системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ :



Ҳамин тариқ, ҳарчанд ин системаҳо дорои 5 қисми таркибӣ (4 намак ва об) мебошанд, шумораи компонентҳо дар ҳар яки онҳо ба 4 баробар аст. Сабабаш он аст, ки шумораи қисмҳои таркибӣ (5) тарҳи шумораи реаксияҳои мубодилаи муовиза (1) ба 4 баробар аст. Аз рӯи шумораи ионҳо низ онҳо чоркомпонента мебошанд. Барои пешгӯии мувозинати фазагӣ дар системаи панҷкомпонентаи таҳқиқшаванда бо усули транслятсия, дониستاني мувозинатҳои фазавӣ дар зерсистемаҳои чоркомпонентаи таркибдиҳандаи он зарур аст.

Барои ин мақсад, мо маълумоти мавҷудаи адабиётиро оид ба мувозинатҳои фазавӣ дар системаҳои таркибии чоркомпонента [110, 111] ва секомпонента [108, 109] истифода кардем. Ин маълумот бо усулҳои гуногун, аз қабилӣ ҳалшавандагӣ, ҳисобҳои термодинамикӣ ва графоаналитикӣ, инчунин ҳамма гуна усулҳои дигари мувофиқ ба даст оварда шудаанд. Дар сурати мавҷуд набудани маълумоти адабиётӣ оид ба мувозинатҳои фазавӣ дар сатҳи таркиби чоркомпонента, онҳо бо усули транслятсия [112-116] пешгӯӣ карда шуданд. Ин равиш ба мувозинатҳои фазавии аллақай маълум дар системаҳои секомпонента, ки системаи чоркомпонентаро ташкил медиҳанд, асос ёфтааст.

Усули транслятсия, ки аз ҷониби яке аз асосгузори риштаи асосҳои таҳлили физико-химиявӣ, асосгузори мактаби илмии омӯзиши системаҳои бисёркомпонента бо усули транслятсия, профессор Лутфулло Солиев таҳия шудааст [41, 176], нишон дод, ки системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента бо нуқтаҳои нонвариантии зерин ва таркиби фазавии мувофиқи таҳшинҳо (ҷадв. 3.1) тавсиф меёбад.

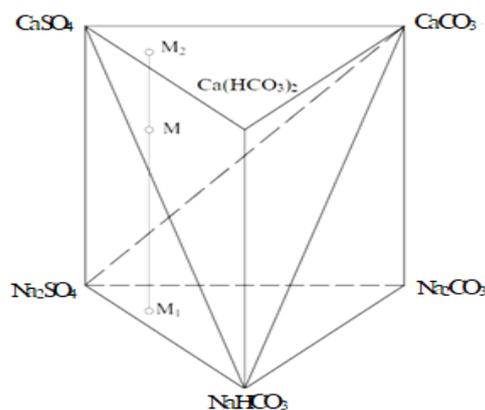
Ҷадвали 3.1. – Нуқтаҳои нонвариантии чорчандаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$

Система	Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
1	2	3
$5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_1^4$	$Mb + Na_{10} + Nk$
$3\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_2^4$	$Gp + CaH + Cc$

<i>Идомаи ҷадвали 3.1.</i>		
1	2	3
$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_3^4$ $E_4^4$	$\text{Mb} + \text{Nk} + \text{Gp}$ $\text{Nk} + \text{Gp} + \text{CaH}$
$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_5^4$ $E_6^4$ $E_7^4$	$\text{Na10} + \text{Mb} + \text{Gl}$ $\text{Cc} + \text{Gp} + \text{Gl}$ $\text{Mb} + \text{Gl} + \text{Gp}$
$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_8^4$ $E_9^4$ $E_{10}^4$	$\text{Na10} + \text{Gl} + \text{Nk}$ $\text{Gl} + \text{Cc} + \text{CaH}$ $\text{Gl} + \text{Nk} + \text{CaH}$

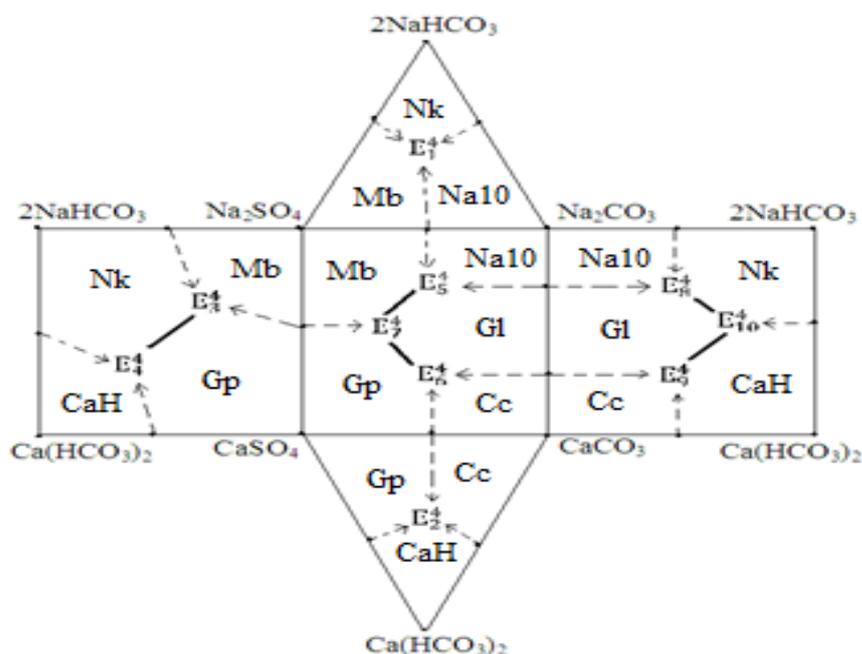
Чӣ хеле, ки аз ҷадвали 3.1 дида мешавад, миқдори нуқтаҳои нонвариантии барои зерсистемаҳо гуногун мебошанд. Ин аз навъи система ва хосиятҳои моддаҳои қисмҳои таркибиашон вобастагӣ дорад. Мисол, барои системаҳои чоркомпонентаи иони умумидоштаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  яктогӣ нуқтаҳои нонвариантии  $E_1^4$  ва  $E_2^4$ , барои системаи муовизаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дуто нуқтаи нонвариантии ( $E_3^4, E_4^4$ ) ва барои ду системаи дигар  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  ва  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  се то гӣ ( $E_5^4, E_6^4, E_7^4$ ) ва ( $E_8^4, E_9^4, E_{10}^4$ ) бо фазаҳои саҳти мувозинатиашон мувофиқ мебошанд.

Ҳангоми омӯзиши системаҳои бисёркомпонента, яке аз мушкилоти муҳим, пайдо кардан ё интиҳоб кардани усули тасвири диаграммаи ҳолати онҳост. Мутахассисони соҳа ин мушкилиро ба таври гуногун ҳал мекунанд. Усули маъмултарин ин истифодаи призма (рас. 3.2) мебошад, аммо дар ин ҳолат танҳо қисми намакии системаи панҷкомпонента тасвир карда мешавад. Ҳангоми чойгир кардани тасвирҳои геометрии мувофиқ, онҳо ба ҳам меафтанд. Ин ҳодиса хондани тасвирҳоро мушкил месозад. Барои ҳалли мушкилӣ призмаи секунҷаро бо секунҷаи баробарпахлуи асосдор ва ба сифати асосҳои паҳлуи чоркунҷаҳоро, ки дар расми 3.2 ифода ёфтааст, истифода мебарем.



Расми 3.2. – Сохтори ҷойгиршавии нуқтаҳо дар системаи обӣ, ки ионҳои натрий, калсий, алюминий, сулфат, гидрокарбонатро дар бар мегирад

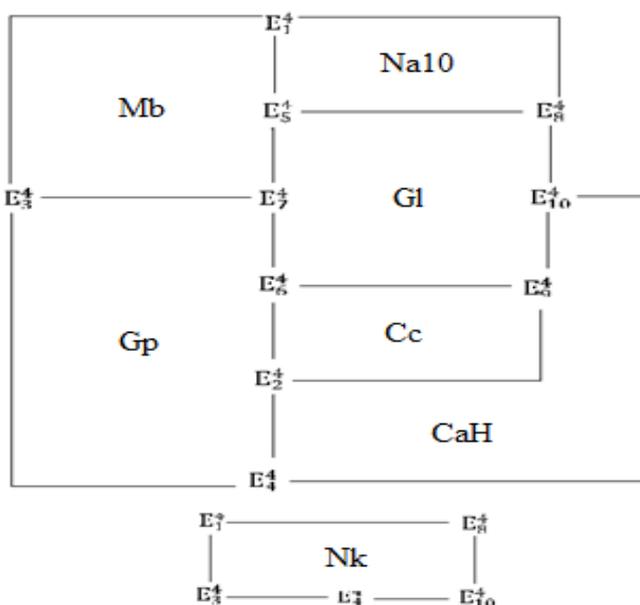
Дар ин призма ҳамаи канорҳо баробар мебошанд. Мо канорҳоро ба 100 баробар қабул мекунем ва дар ҳар ду асосҳо миқдори катионҳоро ба ҳамон тавре ки дар сохтани диаграммаи системаи секомпонентаи бо усули Розебом маълум аст, ҷойгир месозем. Дар натиҷа, ду нуқтаҳои  $M_1$  ва  $M_2$  ҳосил мешаванд, ки онҳоро бо хатти рости  $M_1M_2$  пайваست мекунем. Хати рости ҳосилшудаи  $M_1M_2$ , ки ба канораи паҳлӯии призма муқобил (параллел) аст ва он ба 100 баробар буда, бо нуқтаи  $M$  тавре тақсим мекунем, ки қисмҳои  $M_1M = y$  ва  $M_2M = x$  ба даст оянд. Пас, нуқтаи  $M$  нуқтаи муайяни таркиби намакӣ мебошад.



Расми 3.3. – Призмаи кушодаи чорчандаи системаи  $Na^+, Ca^{2+} || CO_3^{2-}, HCO_3^- - H_2O$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$

Барои ҳамоҳангсозии минбаъда (содагардони) диаграммаи дар расми 3.3 овардашуда, масалан, муттаҳид кардани майдонҳои якхелаи кристаллизатсияи фазаҳои сахтҳои мувозинатӣ, онро метавон дар намуди схема [177] пешниҳод кард.

Дар диаграммаи муттаҳидшудаи расми 3.4 иттилооти пурраи мавҷудияти ҳамаи тасвирҳои геометрӣ, ҷойгиршавии мутақобилаи онҳо ва таркиби фазаҳои сахтҳои мувозинатӣ нигоҳ дошта мешавад. Чунин диаграммаҳои схематикӣ метавонанд асос барои тасвири системаи таҳқиқшаванда дар сатҳи поликомпонентӣ бо усули транслятсия гарданд, яъне татбиқи принципи мутобиқати унсурҳои сохтори системаҳои ҷузъӣ ва умумӣ дар як диаграмма [177].



Расми 3.4. – Диаграммаи муттаҳидшудаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ||  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$

Дар асоси ҷадвали 3.2, дар системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ||  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента, 10 нуқтаи нонвариантӣ мавҷуд аст. Истифодаи усули транслятсияи «сетарафа» ва «дутафа» [112-116] нишон медиҳад, ки дар сатҳи таркиби панҷкомпонента онҳо нуқтаҳои нонвариантии зеринро ба вуҷуд меоранд:

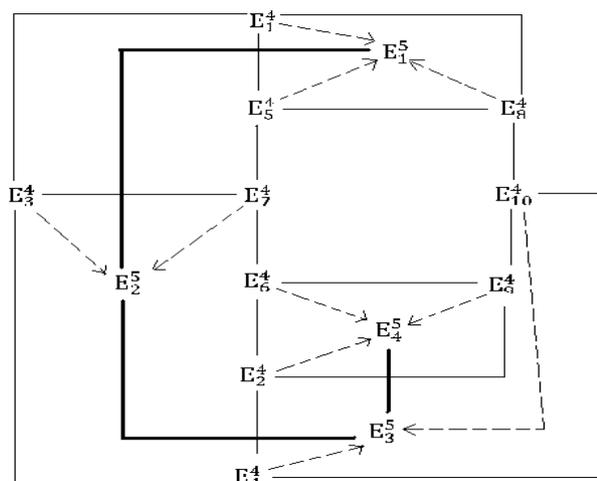
$$E_1^4 + E_5^4 + E_8^4 \dashrightarrow E_1^5 = \text{Nk} + \text{Mb} + \text{Na10} + \text{G1};$$

$$E_3^4 + E_7^4 \dashrightarrow E_2^5 = \text{Nk} + \text{Mb} + \text{Gp} + \text{G1};$$



Аз нуқтаҳои нонвариантии панҷкомпонента, ки дар натиҷаи транслятсия ҳосил шудаанд, дутои онҳо ( $E_1^5$  ва  $E_4^5$ ) тавассути транслятсияи «сетарафа» ба вучуд омадаанд, ки ин ба принципҳои асосии таҳлили физико-химиявӣ [1, 117] муҳолифат намекунад. Дар расми 3.5 диаграммаи комплекси мувозинатҳои фазавии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби панҷкомпонента, бо назардошти ҳамаи нуқтаҳои нонвариантии ошкоршуда, оварда шудааст.

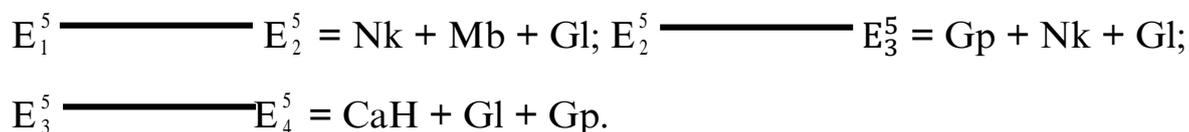
Дар ин диаграмма, ифодаҳои сохтори панҷ системаи чӯзӣи чоркомпонента ва умумии панҷкомпонента (майдонҳои дивариантӣ, қачхатҳои моновариантӣ, нуқтаҳои нонвариантӣ) бо ҳам муттаҳид карда шудаанд.



**Расми 3.5. – Диаграммаи комплекси фазавии сатҳи чор-панҷкомпонентаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$**

Таҳлили сохтори диаграммаи сохташуда нишон медиҳад, ки он дар сатҳи таркиби панҷкомпонента, ба ғайр аз 4 нуқтаи нонвариантӣ (ки таркиби фазавии таҳшинҳои онҳо дар боло оварда шудааст), инчунин бо мавҷудияти 15 қачхати моновариантӣ тавсиф меёбад. Аз инҳо 10-тоаш дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонента ба вучуд омадаанд (онҳо дар намуди хатҳои пунктирӣ ишора шуда, самти транслятсия бо тирчаҳо нишон дода шудааст). Таркиби фазавии

тахшинҳояшон ба таркиби фазавии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантии мувофиқ дар сатҳи таркиби чоркомпонента, ки дар боло оварда шуда буданд, яхела аст. 3 қачхати моновариантии, ки дар байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби панҷкомпонента мегузаранд, таркиби фазавии таҳшинҳои зеринро доранд:



Системаи таҳқиқшаванда дар сатҳи таркиби панҷкомпонента бо мавҷудияти 15 майдони дивариантии тавсиф меёбад, ки дар натиҷаи транслятсияи қачхатҳои моновариантии сатҳи чоркомпонента ба сатҳи панҷкомпонента ба вуҷуд омадаанд. Барои осон кардани хониши диаграммаи сохташуда, он аз рӯйи майдонҳои дивариантии аз ду фаза серфрагментатсия [178-180] карда шудааст, ки феҳрист ва контурҳои онҳо дар ҷадвали 3.2 оварда шудаанд.

Ҷадвали 3.2. – Фазаҳои саҳти мувозинати ва контури майдонҳои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ||  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$

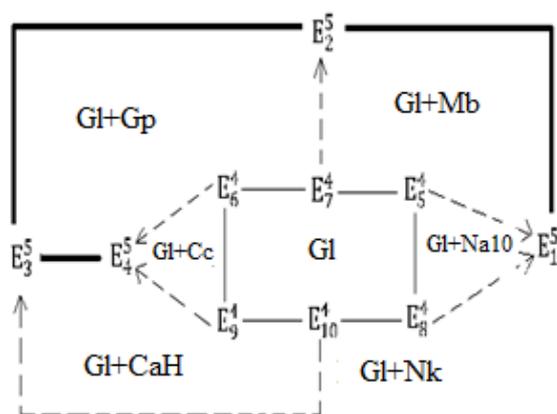
Фазаҳои саҳти мувозинати майдонҳо	Контури майдонҳо дар диаграмма (рас. 3.5)	Фазаҳои саҳти мувозинати майдонҳо	Контури майдонҳо дар диаграмма (рас. 3.5)
1	2	3	4
Mb + Nk		CaH + Nk	
Mb + Na10		Mb + Gl	
Na10 + Nk		Na10 + Gl	
Gp + CaH		Gl + Gp	

<i>Идомаи ҷадвали 3.2.</i>			
1	2	3	4
Cc + CaH		Cc + Gl	
Gp + Cc		Gl + Nk	
Nk + Gp		CaH + Gl	
Mb + Gp			

Таҳлили диаграммаи системаи таҳқиқшаванда дар  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  нишон медиҳад, ки Gl ва Gp бештарин майдонҳои кристаллизатсияи муштаракро бо дигар фазаҳо ташкил медиҳанд - мутаносибан 6 ва 5. Ин ҳодиса аз он шаҳодат медиҳад, ки майдонҳои кристаллизатсияи ин пайвастаҳо дар шароити додасуда қисми назарраси системаи таҳқиқшавандаро ишғол мекунанд.

Ҳангоми ҳалли масъалаҳои мушаххаси амалӣ, диаграммаи комплекси фазавии системаи панҷкомпонентаи таҳқиқшаванда, ки бо усули транслятсия сохта шудааст, метавонад аз рӯйи ҳудудҳои кристаллизатсияи пайвастаҳои инфиродӣ дар ҳама сатҳҳои вариантҳои система фрагментатсия карда шавад.

Дар расми 3.6 фрагменти изотермаи  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -и комплекси фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар ҳудуди парагенези гейлюссит бо дигар намакҳо, хусусан: гейлюссит + калсит; гейлюссит + декагидрати карбонати натрий; гейлюссит + гипс; гейлюссит + мирабилит; гейлюссит + гидрокарбонати натрий ва гейлюссит + нахколит оварда шудааст.



Расми 3.6. – Фрагменти диаграммаи комплекси фазагии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$  худуди парагенези гейлюссит

Фрагментатсияи диаграммаи комплекси фазагӣ, ки бо усули транслятсия сохта шудааст, имкон медиҳад, ки роҳҳои кристаллизатсияи намакҳо дар системаҳои бисёркомпонента дар асоси таркиби онҳо ва фазаҳои саҳти ибтидоии ҷудошуда таҳлил ва пешгӯӣ карда шавад.

Сохтори системаи омӯхташуда, ки бо усули транслятсия муайян шудааст, инчунин дар қорҳои [181-184] баррасӣ шудааст, изотермаи  $0\text{ }^\circ\text{C}$ -и дигар системаҳои бисёркомпонента [185-195] аз ҷониби мо таҳқиқ гардидаанд.

### 3.2. Диаграммаи фазагии сатҳи таркиби панҷкомпонентаи системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати $25\text{ }^\circ\text{C}$

Омӯзиши комплекси фазавии системаи муовизаи таҳқиқшаванда дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  нишон медиҳад, ки он дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ бо нуқтаҳои нонвариантии зерин ва таркиби фазавии мувофиқи таҳшинҳо тавсиф мешавад (ҷадв. 3.3).

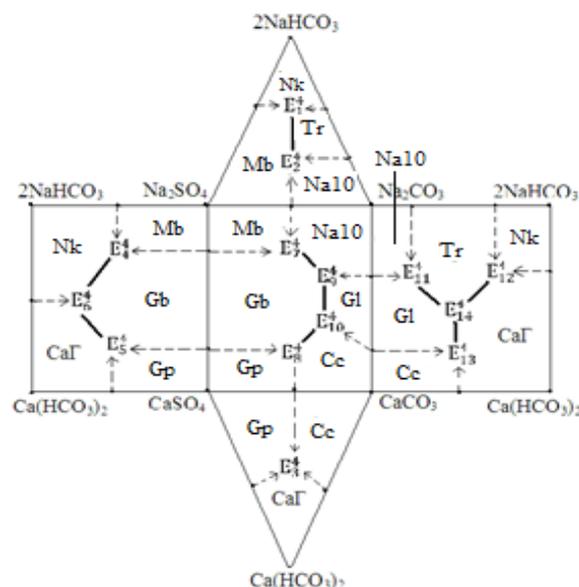
Ҷадвали 3.3. – Фазаҳои мувозинатии нуқтаҳои чорчандаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$

Система	Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
1	2	3
$5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_1^4$ $E_2^4$	$\text{Nk} + \text{Mb} + \text{Tr}$ $\text{Mb} + \text{Tr} + \text{Na10}$

<i>Идомаи ҷадвали 3.3.</i>		
1	2	3
$3\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-2\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$	$\text{E}_3^4$	Gp + CaG + Cc
$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$\text{E}_4^4$ $\text{E}_5^4$ $\text{E}_6^4$	Nk + Mb + Gb CaH + Gb + Gp Gb + Nk + CaH
$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$\text{E}_7^4$ $\text{E}_8^4$ $\text{E}_9^4$ $\text{E}_{10}^4$	Mb + Na10 + Gb Gb + Gb + Cc Gb + Na10 + Gl Gl + Gb + Cc
$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$\text{E}_{11}^4$ $\text{E}_{12}^4$ $\text{E}_{13}^4$ $\text{E}_{14}^4$	Na10 + Tr + Gl Tr + Nk + CaH Cc + Gl + CaH Tr + CaH + Gl

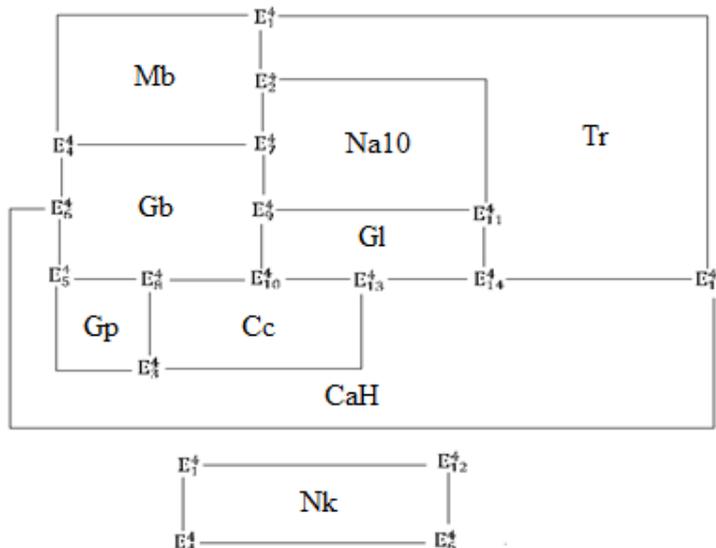
Тавре ки аз ҷадвали 3.3 дида мешавад, дар системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ 14 нуқтаи нонвариантӣ мавҷуд мебошад.

Дар расми 3.7 қисми намакии диаграммаи комплекси фазагии системаи таҳқиқшаванда дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ оварда шудааст. Барои тасвири система аз призмаи кушода истифода намудем.



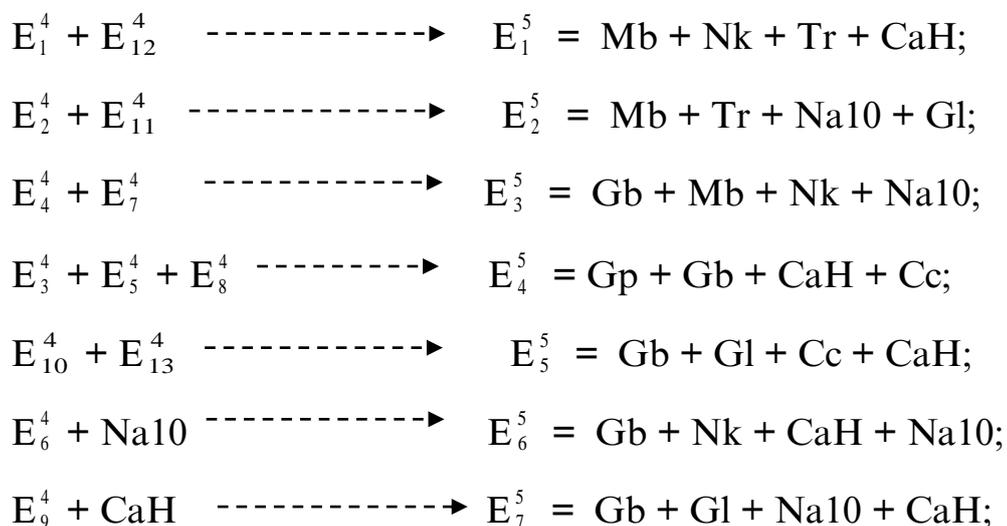
Расми 3.7. – Призмаи кушодаи чорчандаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$

Баъзе фазаҳои саҳти мувозинатии системаи таҳқиқшаванда дар зиёда аз як системаи чоркомпонентагӣ кристаллизатсия мешаванд, бинобар ин, якҷоя кардани майдонҳои онҳо сохтори диаграммаро хеле содда мегардонад, ҳамзамон иттилооти таҳқиқотро кам намекунад. Чунин диаграммаи схематии мувозинатҳои фазавӣ [177] системаи таҳқиқшаванда дар 25 °С, дар расми 3.8 оварда шудааст.



Расми 3.8. – Диаграммаи муттаҳидшудаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар 25 °С

Транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ, мувофиқи методологияи дар корҳои [109-113] тавсифшуда, нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби панҷкомпонентаро ҳосил мекунад:

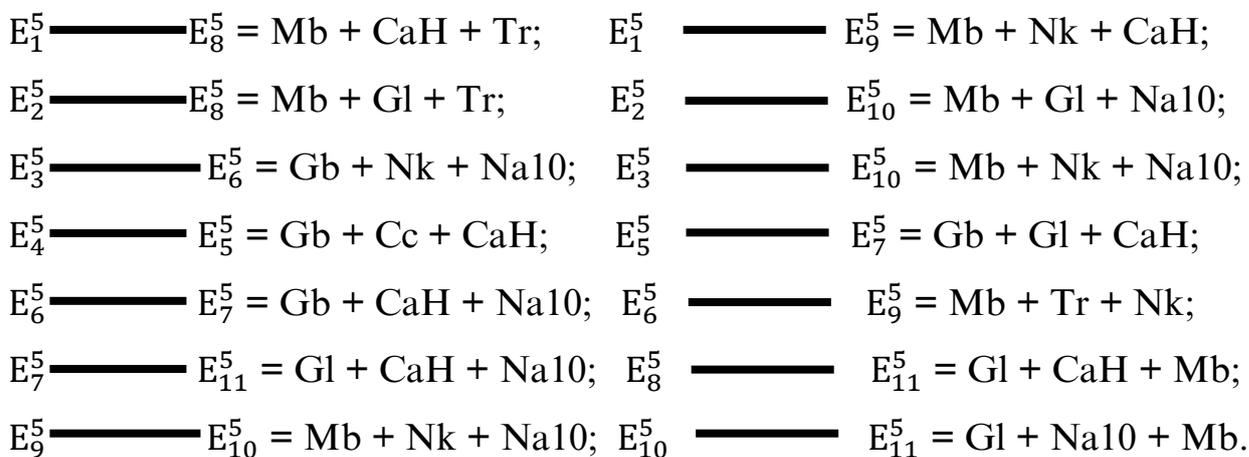




Диаграммаи сохташуда сарбаст буда, он фарогири хусусиятҳои топологӣ ва ҷавобгари қонуниятҳои АТФХ, хусусан қоидаи фазаи Гиббс мебошад. Дар он элементҳои сохтори системаҳои ҷузъӣ чоркомпонентагӣ ва системаи умумии панҷкомпонентагӣ муттаҳид карда шудаанд, мувофиқи талаботи принципи мутобиқат [1, 117].

Таҳлили сохтори диаграмма нишон медиҳад, ки он дар сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ, илова бар 11 нуқтаи нонварианти, ки таркиби фазавии таҳшинҳои онҳо дар боло оварда шудаанд, инчунин бо мавҷудияти 34 қачхатти моноварианти тавсиф мешаванд, ки аз онҳо 20-тоаш дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ ба вуҷуд омадаанд.

Таркиби фазавии таҳшинҳои онҳо ба таркиби фазагии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантии мувофиқ дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ, ки дар боло оварда шудаанд, яхела мебошад. 14 қачхатти моноварианти, ки байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ мегузаранд, дорои таркиби фазавии таҳшинҳои зерин мебошанд:



Системаи таҳқиқшаванда дар сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ бо мавҷудияти 32 майдони диварианти тавсиф мешавад, ки аз онҳо 31-тоаш дар натиҷаи транслятсияи хатҳои моновариантии сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ ба сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ ба вуҷуд омадаанд ва яктоаш бо фазаҳои саҳти мувозинатии  $Gl + Mb$ , ҳамчун натиҷаи маҳдудсозии сатҳи система бо нуқтаҳои нонварианти ва хатҳои моновариантии сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ ба вуҷуд омадааст.

Контурҳои майдонҳои дивариантӣ дар диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаи таҳқиқшаванда дар 25 °С, ки бо усули трансляция сохта шудааст, дар ҷадвали 3.4 оварда шудаанд.

Ҷадвали 3.4. – Фазаҳои саҳти мувозинатӣ ва контури майдонҳои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}||\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар 25 °С

Фазаҳои мувозинатии майдонҳо	Контури майдон дар диаграмма (рас. 3.9)	Фазаҳои мувозинатии майдонҳо	Контури майдонҳо дар диаграмма (рас. 3.9)
1	2	3	4
Mb+Tr	$E_1^4 \text{---} E_1^5 \text{---} E_8^5$ $E_2^4 \text{---} E_2^5$	Mb+Nk	$E_1^4 \text{---} E_1^5 \text{---} E_9^5$ $E_4^4 \text{---} E_3^5 \text{---} E_{10}^5$
Tr+Nk	$E_1^4 \text{---} E_1^5$ $E_{12}^4 \text{---} E_1^5$	Na10+Mb	$E_2^4 \text{---} E_2^5 \text{---} E_{10}^5$ $E_7^4 \text{---} E_3^5$
Tr+Na10	$E_2^4 \text{---} E_2^5$ $E_{11}^4 \text{---} E_2^5$	CaH+Gp	$E_3^4 \text{---} E_3^5$ $E_5^4 \text{---} E_3^5$
Gp+Cc	$E_3^4 \text{---} E_2^5$ $E_8^4 \text{---} E_2^5$	Cc+CaH	$E_3^4 \text{---} E_4^5$ $E_{13}^4 \text{---} E_5^5$
Mb+Gb	$E_4^4 \text{---} E_3^5$ $E_7^4 \text{---} E_3^5$	Nk+Gb	$E_4^4 \text{---} E_3^5$ $E_6^4 \text{---} E_6^5$
Gb+CaH	$E_5^4 \text{---} E_4^5 \text{---} E_5^5$ $E_6^4 \text{---} E_6^5 \text{---} E_7^5$	Gb+Gp	$E_5^4 \text{---} E_4^5$ $E_8^4 \text{---} E_4^5$
CaH+Nk	$E_6^4 \text{---} E_6^5$ $E_{12}^4 \text{---} E_1^5$	Gb+Na10	$E_7^4 \text{---} E_3^5$ $E_9^4 \text{---} E_7^5$
Cc+Gb	$E_8^4 \text{---} E_4^5$ $E_{10}^4 \text{---} E_5^5$	Na10+Gl	$E_9^4 \text{---} E_7^5 \text{---} E_{11}^5$ $E_{11}^4 \text{---} E_2^5 \text{---} E_{10}^5$

*Идомаи ҷадвали 3.4.*

1	2	3	4
Gb+Gl	$E_9^4 \text{---} E_7^5$ $E_{10}^4 \text{---} E_5^5$	Gl+Cc	$E_{10}^4 \text{---} E_5^5$ $E_{13}^4 \text{---} E_5^5$
Tr+Gl	$E_{11}^4 \text{---} E_2^5$ $E_{14}^4 \text{---} E_8^5$	CaH+Tr	$E_{12}^4 \text{---} E_1^5$ $E_{14}^4 \text{---} E_8^5$
CaH+Gl	$E_{13}^4 \text{---} E_5^5$ — $E_7^5$ $E_{14}^4 \text{---} E_8^5$ — $E_{11}^5$	Gl+Mb	$E_2^5$ — $E_8^5$ $E_{10}^5$ — $E_{11}^5$

Фрагментатсияи [196, 197] диаграммаҳои комплекси фазагӣ, ки бо усули транслятсия сохта шудаанд, имкон медиҳад, ки роҳҳои кристаллизатсияи намакҳо дар системаҳои бисёркомпонентагӣ дар асоси таркиби онҳо ва фазаҳои саҳти ибтидоии ҷудошуда таҳлил ва пешгӯӣ карда шаванд.

Фрагментатсия намудани диаграммаҳо барои таҳияи технологияи коркарди чунин омехтаҳои бисёркомпонента ниҳоят муҳим аст. Сохтори системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$ , инчунин дар корҳои [198, 199] баррасӣ шудааст. Дигар системаҳои бисёркомпонента дар ҳарорати додашуда низ аз ҷониби мо [200-202] омӯхта шуда аз апробатсия гузаштаанд.

### 3.3. Системаи панҷкомпонентаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ дар $50^\circ\text{C}$ ва сохтори диаграммаи фазагии он

Мувофиқи маълумотҳои мо, ки бо усули транслятсия ба даст оварда шудаанд, системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ бо нуқтаҳои нонвариантии зерин ва таркиби фазавии мувофиқи таҳшинҳо тавсиф мешавад (ҷадв. 3.5). Дар ҷадвали мазкур системаҳоеро мушоҳида намудан мумкин аст, ки барояшод дар  $50^\circ\text{C}$  миқдоран гуногунии фазаҳосилшавӣ ба назар мерасад.

Ҷадвали 3.5. – Фазаҳои мувозинатии нуқтаҳои чорчандаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50^\circ\text{C}$

Система	Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_1^4$	Te + Nk + Br
	$E_2^4$	Br + Tr + NaI
	$E_3^4$	Nk + Br + Tr
$3\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_4^4$	CaH + Gp + Cc
$\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_5^4$	CaH + Nk + Te
	$E_6^4$	CaH + Gb + Gp
	$E_7^4$	CaH + Gb + Te
$\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	$E_8^4$	Gb + Te + Br
	$E_9^4$	Gp + Gb + Cc
	$E_{10}^4$	Br + NaI + Pr
	$E_{11}^4$	Cc + Gb + Pr
	$E_{12}^4$	Gb + Pr + Cc
$\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	$E_{13}^4$	NaI + Pr + Tr
	$E_{14}^4$	Cc + Pr + CaH
	$E_{15}^4$	Tr + Nk + CaH
	$E_{16}^4$	Pr + Tr + CaH

Ҳангоми таҳқиқи системаҳои бисёркомпонентагӣ, яке аз мушкилоти муҳим ин ёфтани интихоби усули тасвири диаграммаи ҳолати онҳо мебошад. Мутахассисон дар соҳаи таҳқиқи системаҳои бисёркомпонентагӣ ин мушкилотро гуногун ҳал мекунанд. Усули маъмултарин ин аст, ки барои иҷрои мақсади мазкур аз призма (рас. 3.2) истифода мебаранд, аммо дар ин ҳолат танҳо қисми намакии системаи панҷкомпонентагӣ тасвир карда мешавад. Ҳангоми ҷойгир кардани тасвирҳои мувофиқи геометрӣ дар он, ин тасвирҳо болои ҳамдигар зам шуда, хондани диаграммаҳо душвор мегардонанд.

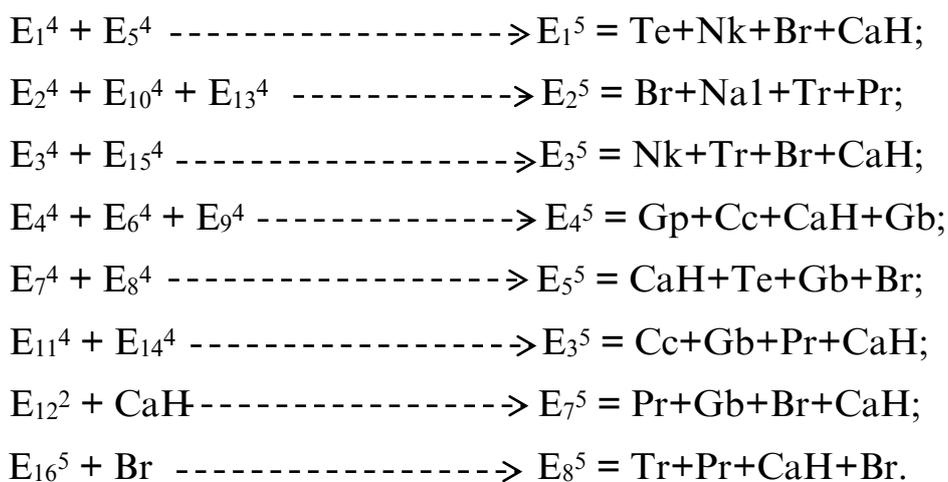
Мо барои ба даст овардани намоёнии шаклҳои геометрӣ ва осонии хондани он пешниҳод намудем, ки барои тасвири комплекси фазаӣ дар системаҳои муовизаи панҷкомпонента аз призмаи кушода истифода намоянд (рас. 3.10).

Тавре ки дида мешавад, дар натиҷаи кушодани призма муяссар мегардад, ки ҳамаи тасвирҳои геометрии система дар ин сатҳи компонентнокӣ, ҷойгиршавии мутақобилаи онҳо ва мувозинатҳои фазавии хоси онҳо тасвир карда шаванд. Бо мақсади минбаъда соддагардони диаграммаи овардашуда, масалан, муттаҳид кардани майдонҳои якхелаи кристаллизатсияи фазаҳои саҳти мувозинатӣ, онро метавон дар шакли схема [177] пешниҳод кард.

Дар диаграммаи комплекси муттаҳидшуда (рас. 3.11) [177] иттилооти пурраи он ҳифз шудааст: мавҷудияти ҳамаи тасвирҳои геометрӣ, ҷойгиршавии мутақобилаи онҳо ва таркиби фазаҳои саҳти мувозинатӣ. Чунин диаграммаҳои муттаҳидшуда метавонанд ҳамчун асос барои тасвири системаи таҳқиқшаванда дар сатҳи баландтари компонентӣ бо усули транслятсия, яъне татбиқи принципи мутобиқати унсурҳои сохтори қисмҳои ҷузъӣ ва системаи умумӣ дар як диаграмма [1, 117] хизмат кунанд.

Тавре ки аз ҷадвали 3.5 дида мешавад, дар системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50^\circ\text{C}$  барои сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ 16 нуқтаи нонварианти амалӣ мегардад.

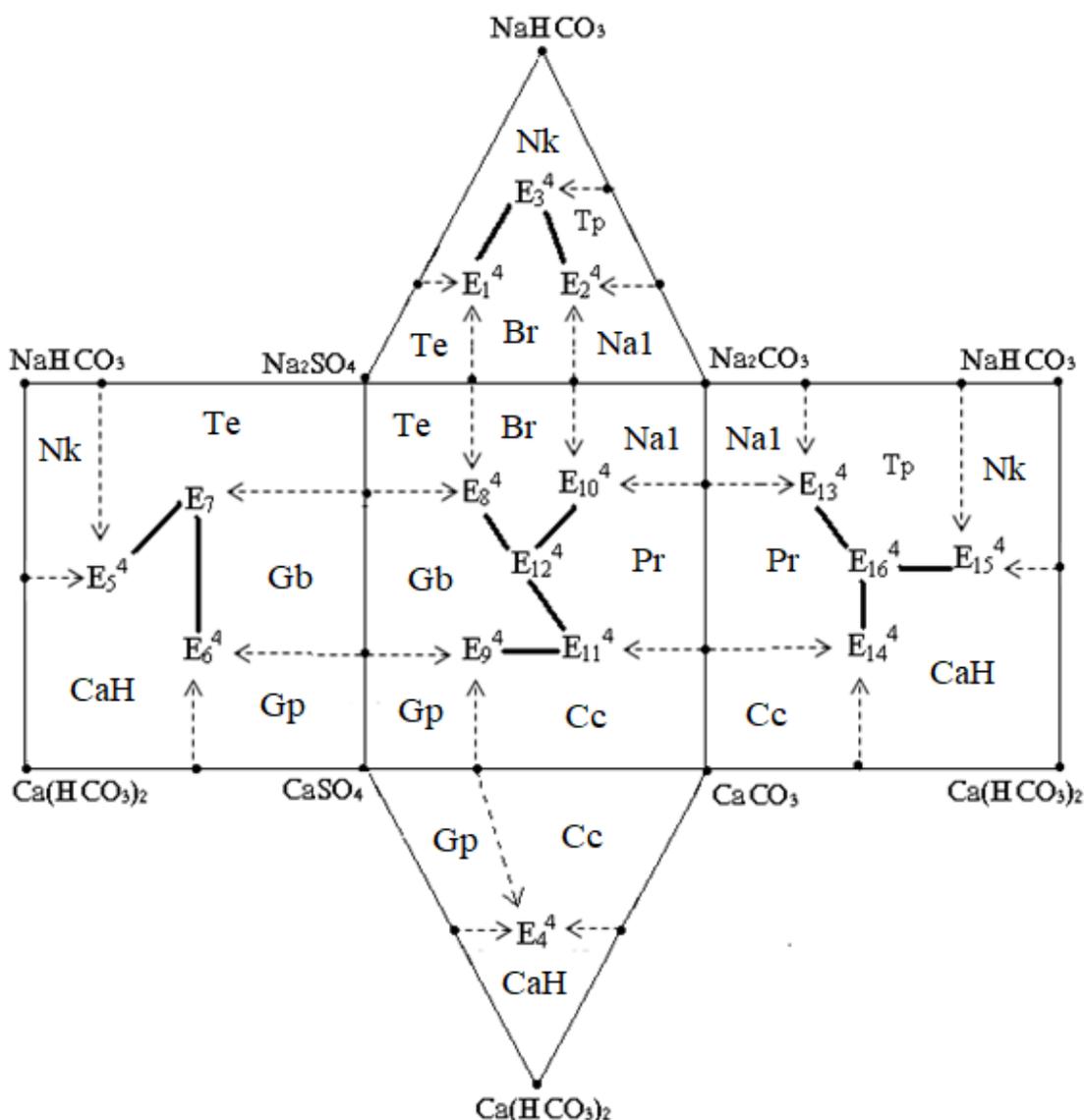
Татбиқи усули транслятсия [112-116] нишон медиҳад, ки дар сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ онҳо нуқтаҳои нонварианти зеринро ба вуҷуд меоваранд:



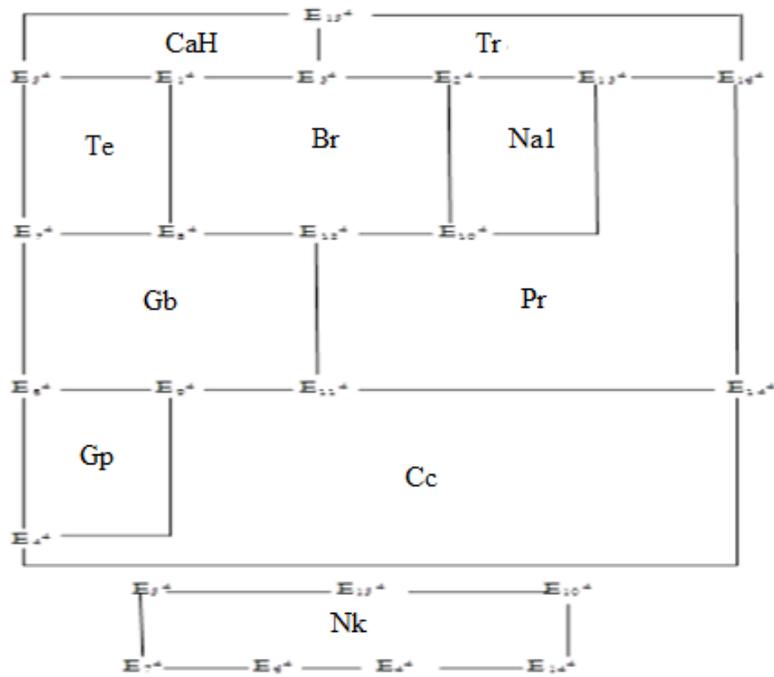
Аз нуқтаҳои нонварианти панҷкомпонентаи ошкоршуда дар натиҷаи транслятсия дутои онҳо ( $E_2^5$  ва  $E_4^5$ ) тавассути транслятсияи

сетарафа ба вучуд омадаанд, ки ин ба принципҳои асосии таҳлили физико-химиявӣ [1, 117] муҳолифат намекунад.

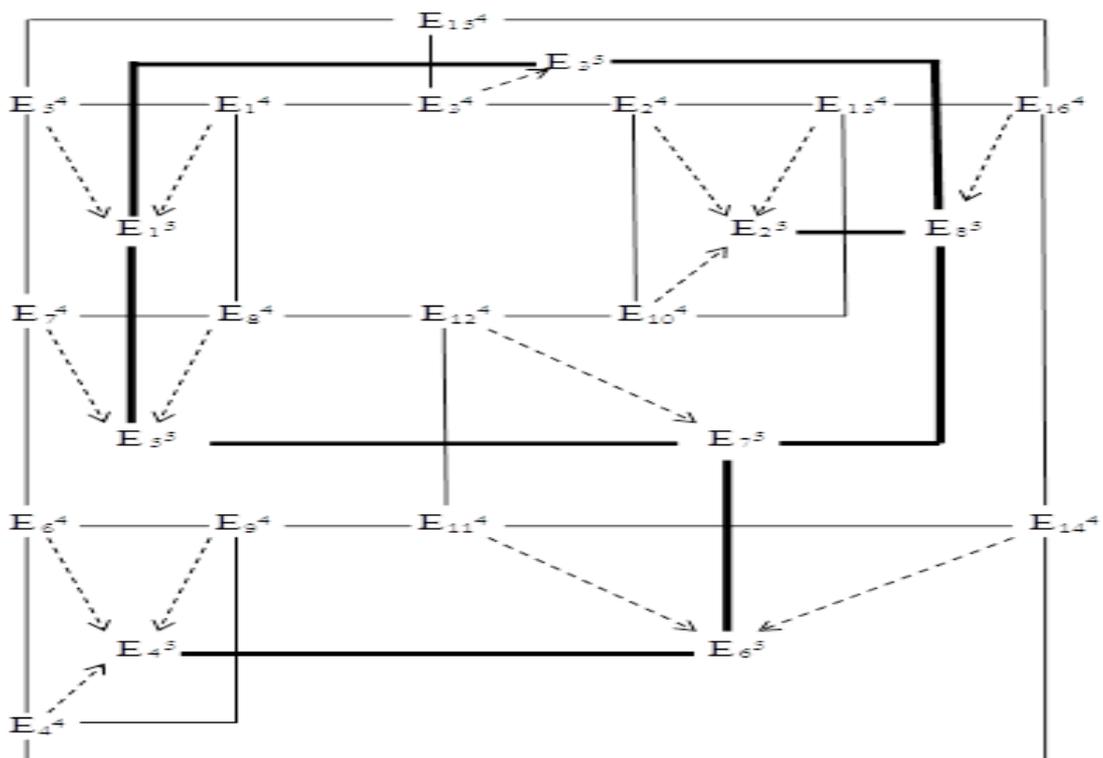
Дар расми 3.12 диаграммаи комплекси фазагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби панҷкомпонента, бо назардошти ҳамаи нуқтаҳои нонвариантии ошкоршуда, оварда шудааст. Тавре ки дида мешавад, дар он элементҳои сохтори панҷ қисми ҷузъии системаҳои чоркомпонентагӣ ва элементҳои сохтори системаи умумии панҷкомпонентагӣ (майдонҳои дивариантӣ, қачхатҳои моновариантӣ, нуқтаҳои нонварианти) муттаҳид карда шуда, дар қори [203] баррасӣ шудааст.



Расми 3.10. – Призмаи кушодаи чорчандаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50^\circ\text{C}$



Расми 3.11. – Диаграммаи схемагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $50\text{ }^\circ\text{C}$

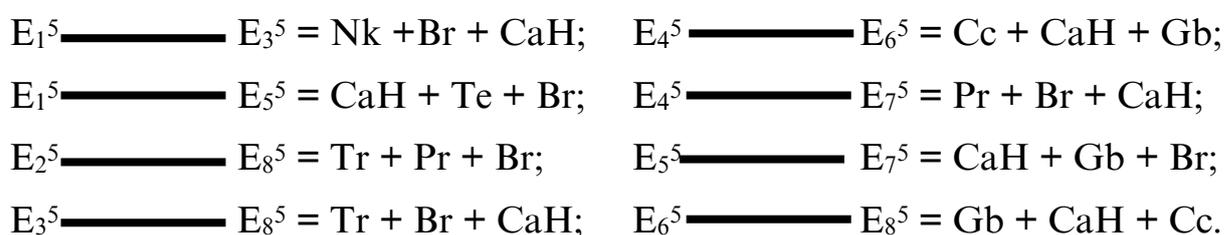


Расми 3.12. – Диаграммаи комплекси фазавии сатҳи чор-панҷкомпонентаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$

Таҳлили сохтори диаграммаи сохташуда нишон медиҳад, ки он дар сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ, илова бар 8 нуқтаи нонвариантӣ, ки таркиби фазавии таҳшинҳои онҳо дар боло оварда шудаанд, инчунин бо

мавҷудияти 24 хати моновариантӣ тавсиф мешавад. Аз инҳо 25-тоаш дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ ба вучуд омадаанд (онҳо дар шакли хатҳои пунктир нишон дода шудаанд ва самти транслятсия бо тирчаҳо ишора шудааст).

Таркиби фазавии таҳшинҳои онҳо ба таркиби фазавии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантии мувофиқ дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ, ки дар боло оварда шудаанд, яхела мебошад. 8 хати моновариантӣ, ки байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ мегузаранд, дорои таркиби фазавии таҳшинҳои зерин мебошанд:



Системаи таҳқиқшаванда дар сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ бо мавҷудияти 25 майдони дивариантӣ тавсиф мешавад. Дар натиҷаи транслятсияи хатҳои моновариантии сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ ба сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ ба вучуд омадаанд. Барои осон кардани хондани диаграммаи сохташуда, он аз рӯи майдонҳои дивариантии аз ду фазаи сер тақсим карда шудааст, ки феҳристи онҳо дар ҷадвали 3.6 оварда шудаанд.

**Ҷадвали 3.6. – Фазаҳои саҳти мувозинатӣ ва контури майдонҳои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ||  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $50^\circ\text{C}$**

Фазаҳои мувозинатии майдонҳо	Контури майдонҳо дар диаграмма (рас. 3.12)	Фазаҳои мувозинатии майдонҳо	Контури майдонҳо дар диаграмма (рас. 3.12)
1	2	3	4
Nk+Br	$E_1^4 \text{-----} \rightarrow E_1^5$ $E_3^4 \text{-----} \rightarrow E_3^5$ 	Gp+Cc	$E_4^4 \text{-----} \rightarrow E_4^5$ $E_9^4 \text{-----} \rightarrow E_4^5$ 
Nk+Te	$E_1^4 \text{-----} \rightarrow E_1^5$ $E_5^4 \text{-----} \rightarrow E_1^5$ 	CaH+Cc	$E_4^4 \text{-----} \rightarrow E_4^5$ $E_{14}^4 \text{-----} \rightarrow E_6^5$ 

1	2	3	4
Te+Br	$\begin{array}{ccc} E_1^4 & \text{-----} & \rightarrow E_1^5 \\   & &   \\ E_8^4 & \text{-----} & \rightarrow E_5^5 \end{array}$	Te+CaH	$\begin{array}{ccc} E_5^4 & \text{-----} & \rightarrow E_1^5 \\   & &   \\ E_7^4 & \text{-----} & \rightarrow E_5^5 \end{array}$
Pr+Br	$\begin{array}{ccc} E_2^4 & \text{-----} & \rightarrow E_2^5 \\   & &   \\ E_3^4 & \text{---} \rightarrow E_3^5 & \text{---} E_8^5 \end{array}$	Nk+CaH	$\begin{array}{ccc} E_5^4 & \text{-----} & \rightarrow E_1^5 \\   & &   \\ E_{15}^4 & \text{-----} & \rightarrow E_3^5 \end{array}$
Br+NaI	$\begin{array}{ccc} E_2^4 & \text{-----} & \rightarrow E_2^5 \\   & & \uparrow \\ E_{10}^4 & \text{-----} & \end{array}$	CaH+Gb	$\begin{array}{ccc} E_6^4 & \text{-----} & \rightarrow E_4^5 \\   & &   \\ E_7^4 & \text{---} \rightarrow E_5^5 & \text{---} E_6^5 \end{array}$
NaI+Tr	$\begin{array}{ccc} E_2^4 & \text{-----} & \rightarrow E_2^5 \\   & & \uparrow \\ E_{13}^4 & \text{-----} & \end{array}$	Gb+Gp	$\begin{array}{ccc} E_6^4 & \text{-----} & \rightarrow E_4^5 \\   & & \uparrow \\ E_9^4 & \text{-----} & \end{array}$
Tr+Nk	$\begin{array}{ccc} E_4^4 & \text{-----} & \rightarrow E_4^5 \\   & & \uparrow \\ E_6^4 & \text{-----} & \end{array}$	Te+Gb	$\begin{array}{ccc} E_7^4 & \text{-----} & \rightarrow E_5^5 \\   & & \uparrow \\ E_8^4 & \text{-----} & \end{array}$
CaH+Gp	$\begin{array}{ccc} E_2^4 & \text{-----} & \rightarrow E_2^5 \\   & & \uparrow \\ E_{13}^4 & \text{-----} & \end{array}$	Br+Gb	$\begin{array}{ccc} E_8^4 & \text{-----} & \rightarrow E_5^5 \\   & &   \\ E_{12}^4 & \text{-----} & \rightarrow E_7^5 \end{array}$
Br+Pr	$\begin{array}{ccc} E_{10}^4 & \text{-----} & \rightarrow E_2^5 \\   & &   \\ E_{12}^4 & \text{---} \rightarrow E_7^5 & \text{---} E_8^5 \end{array}$	Gb+Cc	$\begin{array}{ccc} E_9^4 & \text{-----} & \rightarrow E_4^5 \\   & &   \\ E_{11}^4 & \text{-----} & \rightarrow E_6^5 \end{array}$
NaI+Pr	$\begin{array}{ccc} E_{10}^4 & \text{-----} & \rightarrow E_2^5 \\   & & \uparrow \\ E_{13}^4 & \text{-----} & \end{array}$	Tr+Pr	$\begin{array}{ccc} E_{13}^4 & \text{-----} & \rightarrow E_2^5 \\   & &   \\ E_{16}^4 & \text{-----} & \rightarrow E_8^5 \end{array}$
Gb+Pr	$\begin{array}{ccc} E_{11}^4 & \text{-----} & \rightarrow E_6^5 \\   & &   \\ E_{12}^4 & \text{-----} & \rightarrow E_7^5 \end{array}$	Pr+CaH	$\begin{array}{ccc} E_{14}^4 & \text{-----} & \rightarrow E_6^5 \\   & &   \\ E_{16}^4 & \text{---} \rightarrow E_8^5 & \text{---} E_7^5 \end{array}$
Pr+Cc	$\begin{array}{ccc} E_{11}^4 & \text{-----} & \rightarrow E_6^5 \\   & & \uparrow \\ E_{14}^4 & \text{-----} & \end{array}$	Tr+CaH	$\begin{array}{ccc} E_{15}^4 & \text{-----} & \rightarrow E_3^5 \\   & &   \\ E_{16}^4 & \text{-----} & \rightarrow E_8^5 \end{array}$
		Br+CaH	$\begin{array}{ccccc} E_1^5 & \text{---} & E_3^5 & \text{---} & E_8^5 \\   & & & &   \\ E_5^5 & \text{---} & & & E_7^5 \end{array}$

Диаграммай системаи мазкур қар қорҳои [203-205] баррасӣ шудааст.

**3.4. Сатҳи таркиби панҷкомпонентагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$  ва сохтори диаграммаи фазагии он**

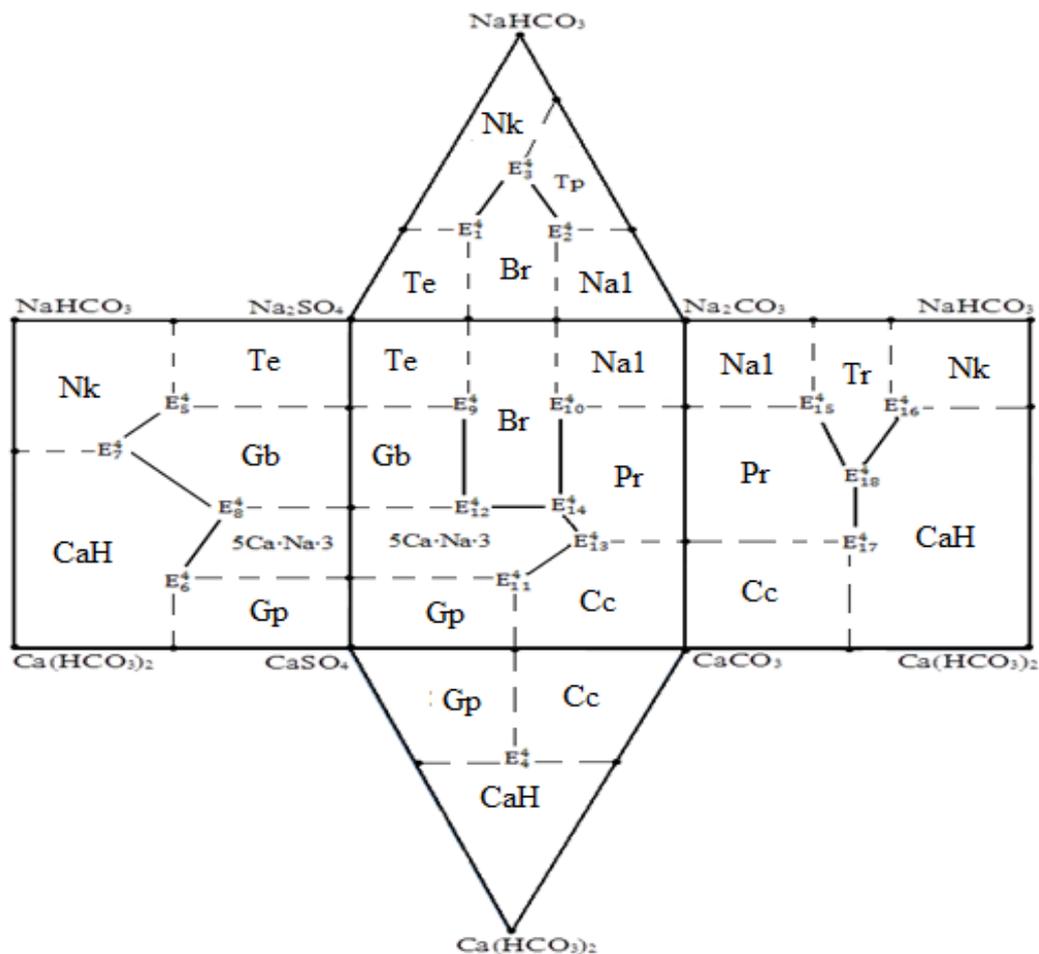
Тибқи маълумотҳои боби аввал оид ба ҳолати мувозинатҳои фазагии системаи таҳқиқшаванда нишон медиҳанд, ки он дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ бо нуқтаҳои нонвариантии зерин ва таркиби фазагии мувофиқи таҳшинҳо тавсиф мешавад (ҷадв. 3.7).

**Ҷадвали 3.7. – Фазаҳои мувозинатии нуқтаҳои чорҷандаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$**

Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ	Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
Системаи $5\text{Na}^+ \text{-} \text{SO}_4^{2-} \text{-} \text{CO}_3^{2-} \text{-} \text{HCO}_3^- \text{-} \text{H}_2\text{O}$		Системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} \text{-} \text{H}_2\text{O}$	
$E_1^4$	$\text{Te} + \text{Nx} + \text{Br}$	$E_9^4$	$\text{Te} + \text{Br} + \text{Gb}$
$E_2^4$	$\text{Na1} + \text{Tr} + \text{Br}$	$E_{10}^4$	$\text{Na1} + \text{Br} + \text{Pr}$
$E_3^4$	$\text{Nk} + \text{Tr} + \text{Br}$	$E_{11}^4$	$\text{Gb} + \text{Cc} + 5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3$
Системаи $3\text{Ca}^{2+} \text{-} \text{SO}_4^{2-} \text{-} \text{CO}_3^{2-} \text{-} 2\text{HCO}_3^- \text{-} \text{H}_2\text{O}$		$E_{12}^4$	$5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3 + \text{Gb} + \text{Br}$
$E_4^4$	$\text{Gp} + \text{Cc} + \text{CaH}$	$E_{13}^4$	$5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3 + \text{Pr} + \text{Cc}$
Системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- \text{-} \text{H}_2\text{O}$		$E_{14}^4$	$\text{Br} + \text{Pr} + 5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3$
$E_5^4$	$\text{Nk} + \text{Te} + \text{Gb}$	Системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- \text{-} \text{H}_2\text{O}$	
$E_6^4$	$\text{CaH} + 5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3 + \text{Gp}$	$E_{15}^4$	$\text{Na1} + \text{Tr} + \text{Pr}$
$E_7^4$	$\text{Nk} + \text{CaH} + \text{Gb}$	$E_{16}^4$	$\text{Tr} + \text{Nk} + \text{CaH}$
$E_8^4$	$\text{CaH} + \text{Gb} + 5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3$	$E_{17}^4$	$\text{Pr} + \text{CaH} + \text{Cc}$
		$E_{18}^4$	$\text{Tr} + \text{Pr} + \text{CaH}$

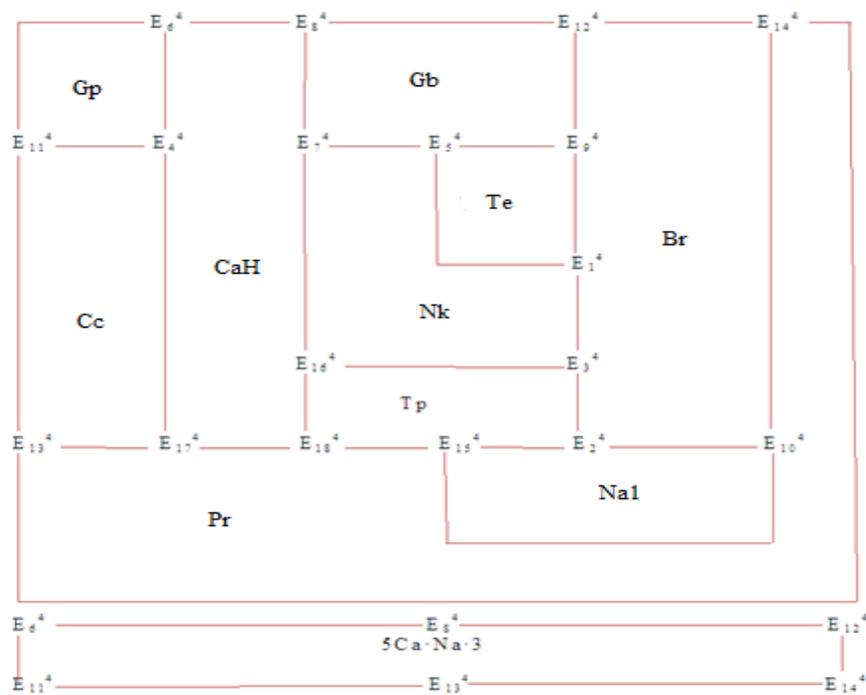
Тавре ки аз ҷадвали 3.7 дида мешавад, дар системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ 18 нуқтаи нонварианти амалӣ мегардад. Дар расми 3.13 қисми намакии диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ оварда шудааст. Барои тасвири система аз призмаи кушода истифода намудем, дар он имконпазир мегардад, ки элементҳои сохтори системаи

таҳқиқшаванда дар сатҳҳои таркиби 4-компонентагӣ ва 5-компонентагӣ муттаҳид карда шаванд.



Расми 3.13. – Призмаи кушодаи чорчандаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$

Азбаски баъзе фазаҳои саҳти мувозинатии системаи таҳқиқшаванда дар зиёда аз як системаи чоркомпонентагӣ кристаллизатсия мешаванд, яқоя кардани майдонҳои онҳо сохтори диаграммаро хеле содда мекунад. Инчунин иттилооти онро кам намекунад. Чунин диаграммаи мувозинатҳои фазагии [206] системаи таҳқиқшаванда дар  $75^\circ\text{C}$  дар расми 3.14 оварда шудааст. Диаграммаи сохтасудай расми 3.14 дорои ҳамаи тасвирҳои геометрии (нуқтаҳои нонварианти, хатҳои моноварианти, майдонҳои диварианти) ва системаи таҳқиқшаванда бо фазаҳои саҳти мувозинатии хоси онҳо дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ ва ҷойгиршавии мутақобилаи онҳо мебошад. Таркиби фазагии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантии чоркомпонента дар ҷадвали 3.7 оварда шудаанд.

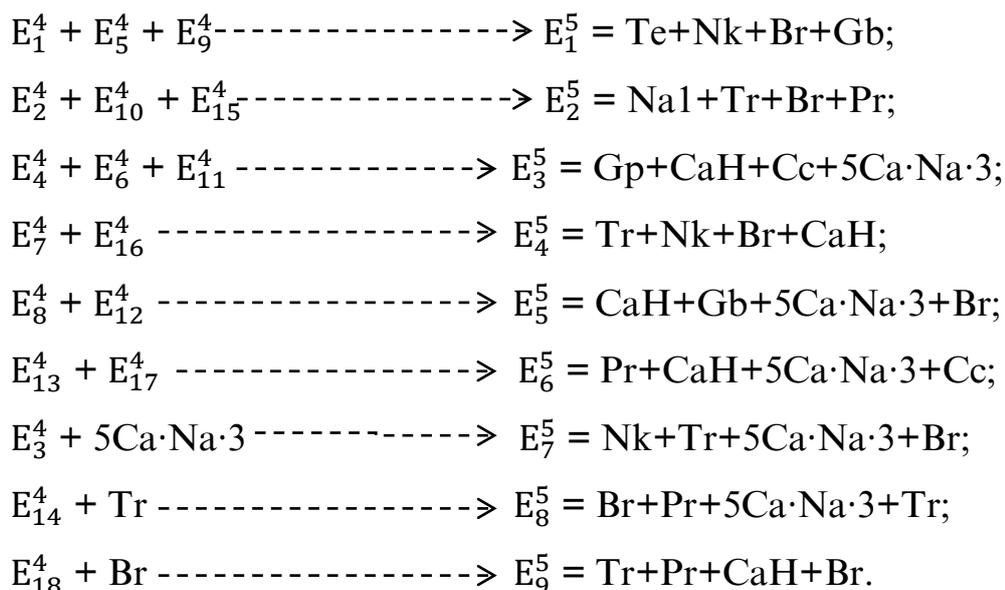


Расми 3.14. –Диagramмаи схематии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$

Таркиби фазавии таҳшинҳои майдонҳои дивариантӣ дар расми 3.15 нишон дода шудааст. Таркиби фазавии таҳшинҳои хатҳои моновариантӣ, ки байни нуқтаҳои нонвариантӣ чоркомпонента мегузаранд, чунин аст:

- |  |   |
|--|---|
| $E_1^4$ ————— $E_3^4 = \text{Nk} + \text{Br};$                             | $E_7^4$ ————— $E_8^4 = \text{CaH} + \text{Gb};$                               |
| $E_1^4$ ————— $E_5^4 = \text{Nk} + \text{Te};$                             | $E_7^4$ ————— $E_{16}^4 = \text{Nk} + \text{CaH};$                            |
| $E_1^4$ ————— $E_9^4 = \text{Te} + \text{Br};$                             | $E_8^4$ ————— $E_{12}^4 = \text{Gb} + 5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3;$    |
| $E_2^4$ ————— $E_3^4 = \text{Tr} + \text{Br};$                             | $E_9^4$ ————— $E_{12}^4 = \text{Gb} + \text{Br};$                             |
| $E_2^4$ ————— $E_{10}^4 = \text{Na1} + \text{Br};$                         | $E_{10}^4$ ————— $E_{14}^4 = \text{Br} + \text{Pr};$                          |
| $E_2^4$ ————— $E_{15}^4 = \text{Na1} + \text{Tr};$                         | $E_{10}^4$ ————— $E_{15}^4 = \text{Na1} + \text{Pr};$                         |
| $E_3^4$ ————— $E_{16}^4 = \text{Nk} + \text{Tr};$                          | $E_{11}^4$ ————— $E_{13}^4 = \text{Cc} + 5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3;$ |
| $E_4^4$ ————— $E_6^4 = \text{Gp} + \text{CaH};$                            | $E_{12}^4$ ————— $E_{14}^4 = \text{Br} + 5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3;$ |
| $E_4^4$ ————— $E_{11}^4 = \text{Gp} + \text{Cc};$                          | $E_{13}^4$ ————— $E_{14}^4 = \text{Pr} + 5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3;$ |
| $E_4^4$ ————— $E_{17}^4 = \text{CaH} + \text{Cc};$                         | $E_{13}^4$ ————— $E_{17}^4 = \text{Pr} + \text{Cc};$                          |
| $E_5^4$ ————— $E_7^4 = \text{Nk} + \text{Gb};$                             | $E_{15}^4$ ————— $E_{18}^4 = \text{Tr} + \text{Pr};$                          |
| $E_5^4$ ————— $E_9^4 = \text{Te} + \text{Gb};$                             | $E_{16}^4$ ————— $E_{18}^4 = \text{Tr} + \text{CaH};$                         |
| $E_6^4$ ————— $E_8^4 = \text{CaH} + 5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3;$   | $E_{17}^4$ ————— $E_{18}^4 = \text{Pr} + \text{CaH}.$                         |
| $E_6^4$ ————— $E_{11}^4 = \text{Gp} + 5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3;$ |   |

Транслятсияи «сетарафа», «дутарафа» ва «яктарафа» [112-116]-и нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ ба сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ, трансформатсияи онҳо ба хатҳои моновариантии бо буриши минбаъда боиси пайдоиши нуқтаҳои нонвариантии панҷгона мегардад. Ин равандро аз ҷиҳати математикӣ метавон ҳамчун омезиши нуқтаҳои нонвариантии чоргона, ки аз ҳамдигар бо як фаза фарқ мекунанд, тасвир кард (талаботи қоидаи фазаҳои Гиббс):

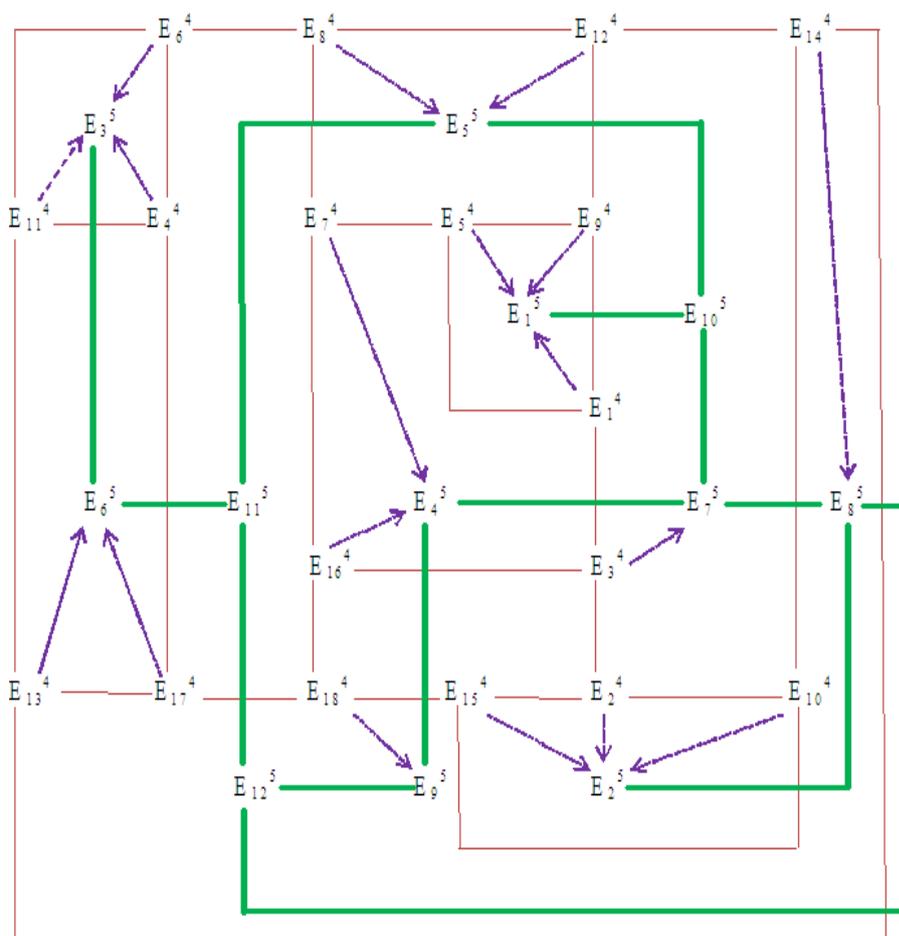


Диаграммаи мувозинатҳои фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$ , ки дар асоси маълумоти бадастомада дар сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ сохта шудааст, нишон медиҳад, ки майдонҳои кристаллизатсия, ки ҳангоми транслятсияи хатҳои моновариантии сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ бо фазаҳои сахти мувозинатии  $\text{Pr+CaH}$ ,  $\text{Pr+Tr}$ ,  $\text{Br+Gb}$ ,  $\text{Br+Nk}$ ,  $\text{CaH+Gb}$ ,  $\text{Gb+Nk}$ ,  $5\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot\text{3+CaH}$  ва  $5\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot\text{3+Pr}$  ба вучуд омадаанд, сарбаст нестанд.

Барои сарбаст намудани онҳо, бо усули транслятсия нуқтаи нонвариантии «мобайнӣ» [112-116] нуқтаҳои нонвариантии панҷкомпонентаи зерин бо фазаҳои сахти мувозинатӣ муайян карда шуданд:  $E_{10}^5 = \text{Nk} + \text{Br} + \text{Gb} + 5\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot\text{3}$ ;  $E_{11}^5 = \text{CaH} + 5\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot\text{3} + \text{Gb} + \text{Pr}$ ;  $E_{12}^5 = \text{Tr} + 5\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot\text{3} + \text{Pr} + \text{CaH}$ .

Варианти ниҳоии диаграммаи муттаҳидшудаи мувозинатҳои фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар сатҳҳои таркиби чор-

панҷкомпонентагӣ дар  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ , бо назардошти ҳамаи намудҳои транслятсия, дар расми 3.15 оварда шудааст.

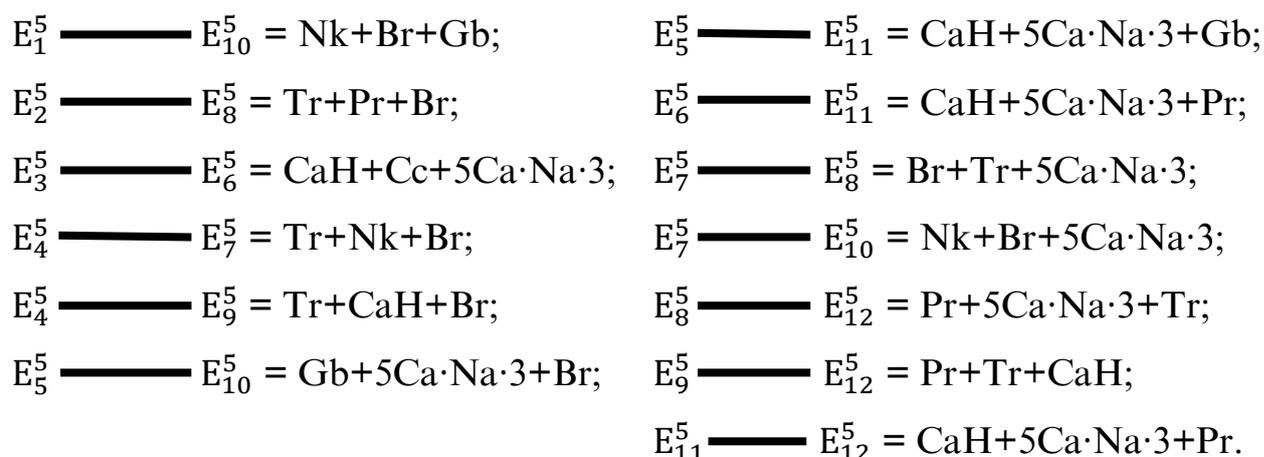


Расми 3.15. – Диаграммаи комплекси фазавии сатҳи чор-панҷкомпонентаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$

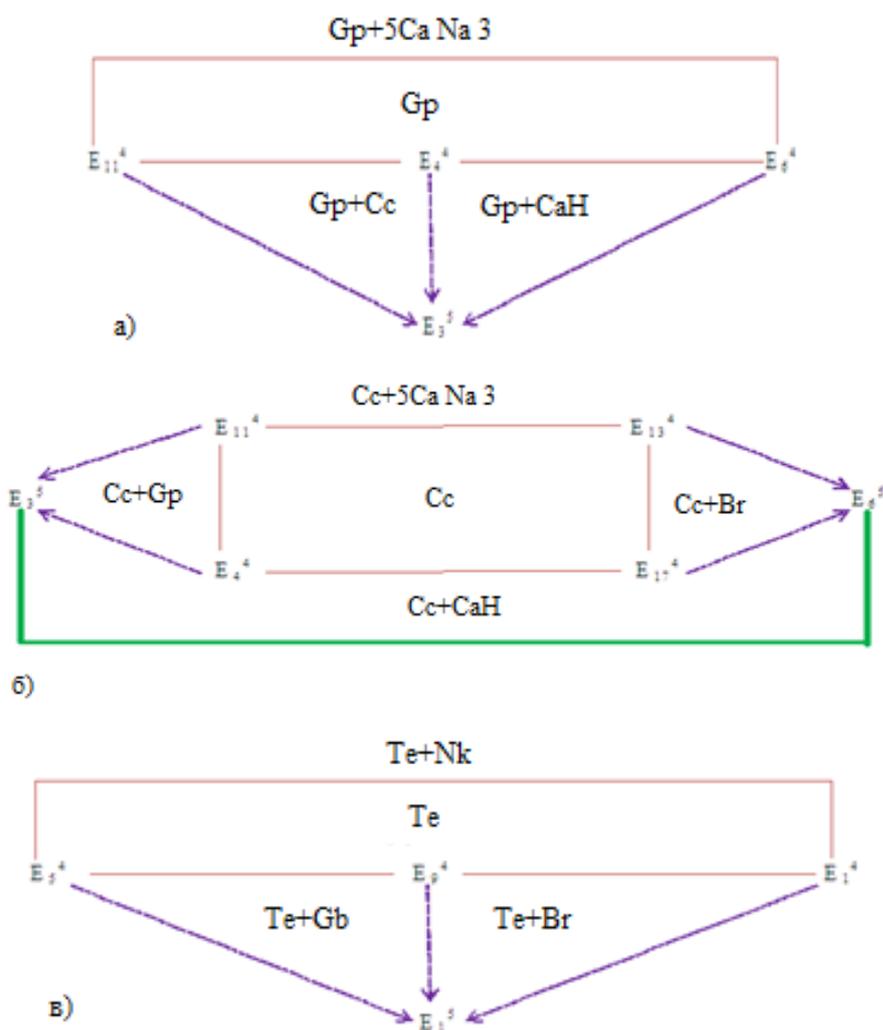
Дар расми 3.15 хатҳои борики пайваста хатҳои моновариантии сатҳи таркиби чоркомпонентаро ифода мекунанд. Фазаҳои саҳти мувозинатӣ, ки хоси ин хатҳоянд, дар боло оварда шудаанд. Хатҳои пунктирӣ бо тирчаҳо хатҳои моновариантии сатҳи таркиби панҷкомпонентаро ифода мекунанд. Онҳо дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии чоргона ба сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ ба вуҷуд омадаанд ва аз ин рӯ, фазаҳои саҳти мувозинатӣ, ки ин хатҳои моновариантиро тавсиф мекунанд, ба фазаҳои саҳти мувозинатии нуқтаҳои нонвариантии системаҳои чоркомпонентаи мувофиқ яхлелаанд.

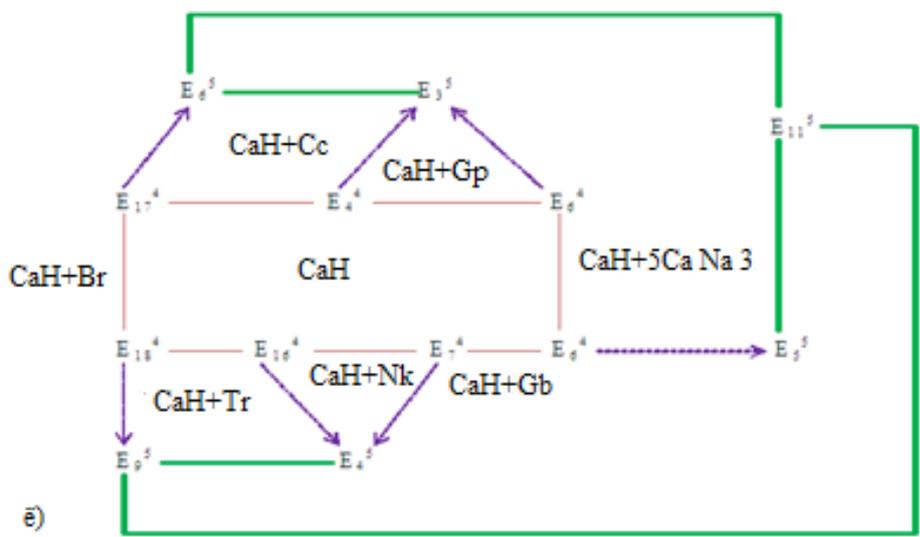
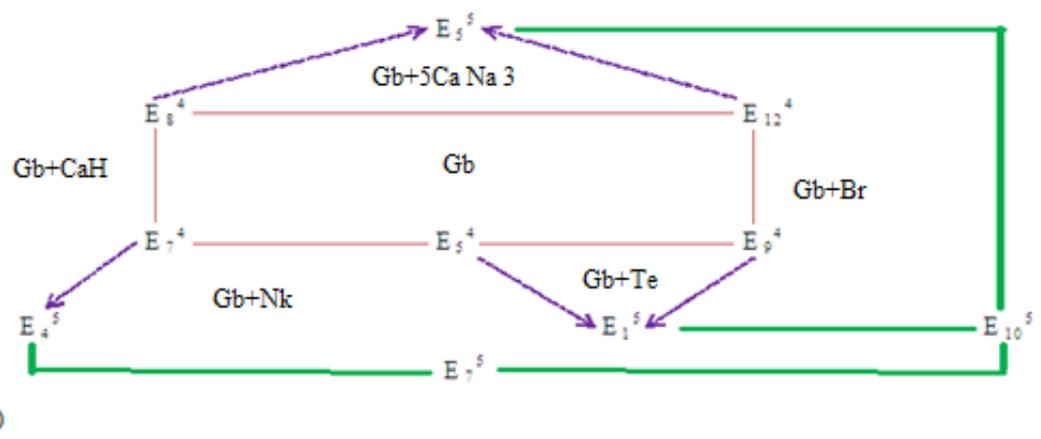
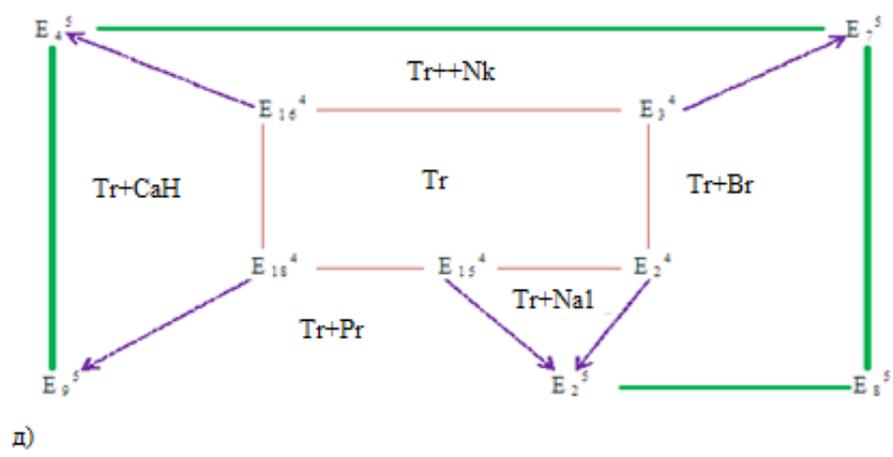
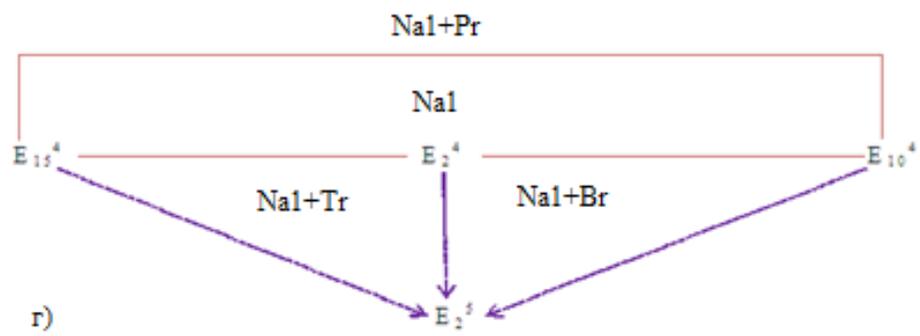
Тирчаҳо дар ин хатҳо самтҳои транслятсияро нишон медиҳанд. Хатҳои ғафси яқлухт низ хатҳои моновариантии сатҳи таркиби

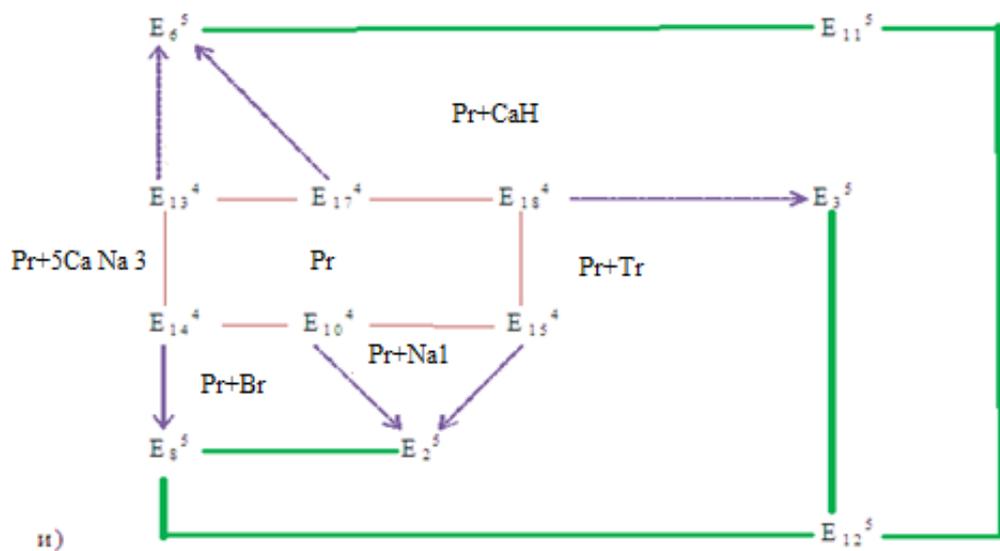
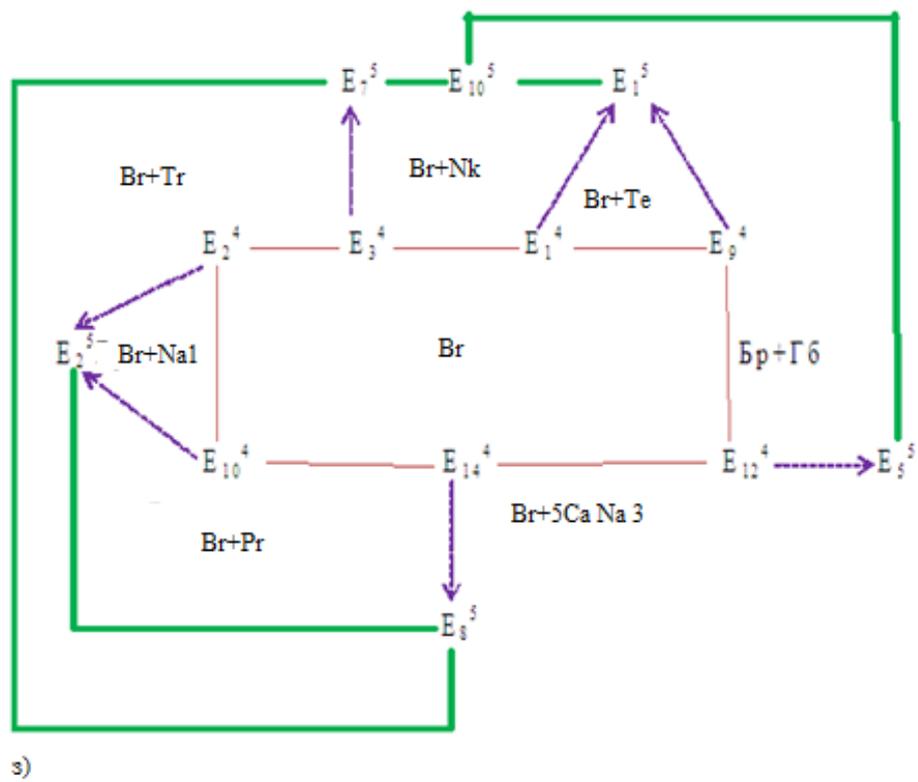
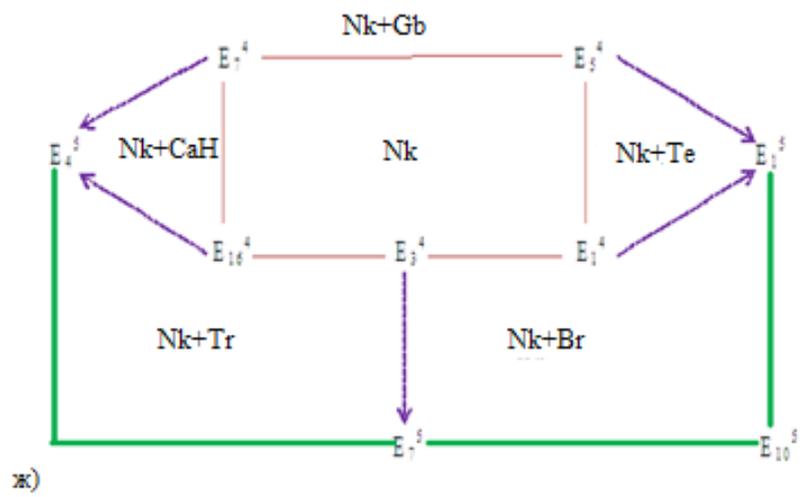
панҷкомпонента аст. Онҳо байни нуқтаҳои нонвариантии панҷкомпонента мегузаранд ва бо таркиби фазавии таҳшинҳои зерин тавсиф мешаванд:

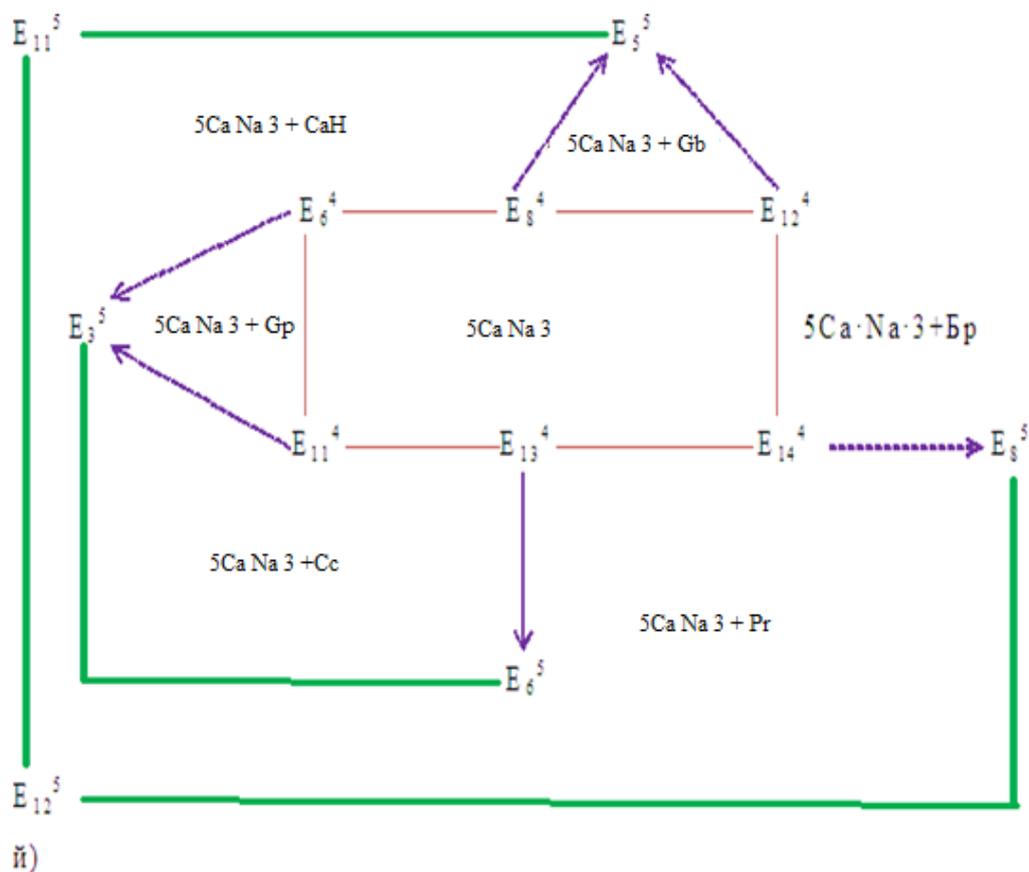


Дар расми 3.16 фрагментҳои диаграммаи сохташудаи комплекси фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$  аз рӯи худудҳои кристаллизатсияи фазаҳои саҳти мувозинати инфиродӣ пешниҳод шудаанд.









Расми 3.16. – Фрагментатсияи якҷояи диаграммаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$  барои таркиби чор-панҷкомпонентагӣ, аз рӯи майдони кристаллизатсияи фазаҳои саҳти алоҳидаи:  
 а) Пзж б) Ссж в) Еуж г) Тф1ж д) Екж е) Пиж ё) СаН; ж) Nк; з) Вr; и) Pr; й)  $5\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot 3$

Ҳамин тариқ, бо усули транслятсия муайян карда шуд, ки барои системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$  дар сатҳҳои таркиби чоркомпонентагӣ (А) ва панҷкомпонентагӣ (Б) мавҷудияти миқдори зерини тасвирҳои геометрӣ хос аст:

Сатҳи компонентнокӣ	А	Б
Нуқтаҳои нонвариантӣ	18	12
Қаҷхатҳои моновариантӣ	27	30
Майдонҳои дивариантӣ	11	27

Камшавии шумораи нуқтаҳои нонвариантӣ аз 18 дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ то 12 дар сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ бо омезиши мутақобилаи (аз ҷиҳати риёзӣ) нуқтаҳои нонвариантӣи чоркомпонента, ё буриши мутақобилаи (аз ҷиҳати графикӣ) хатҳои моновариантӣ, ки

хангоми трансформатсия ва баъдан транслятсияи ин нуқтаҳои нонвариантии чоргона ба сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ ба вучуд омадаанд ва бо ташаккули нуқтаҳои нонвариантии панҷгона алоқаманд мебошанд.

Афзоиши шумораи хатҳои моновариантии аз 27 дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ то 30 дар сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ бо пайдоиши хатҳои моновариантии байни нуқтаҳои нонвариантии панҷкомпонента алоқаманд аст. Афзоиши шумораи майдонҳои дивариантии аз 11 дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ то 27 дар сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ ба шумораи хатҳои моновариантии сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ 27 мувофиқат мекунад, ки хангоми транслятсия ба сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ ба майдонҳои дивариантии табдил меёбанд.

### 3.5. Сохтори диаграммаи фазагии системаи бисёркомпонентаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 100 °C

Маълумоти дар боло овардашуда оид ба ҳолати мувозинатҳои фазагии системаи таҳқиқшаванда нишон медиҳанд, ки он дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ бо нуқтаҳои нонвариантии зерин ва таркиби фазагии мувофиқи таҳшинҳо тавсиф мешавад (ҷадв. 3.8).

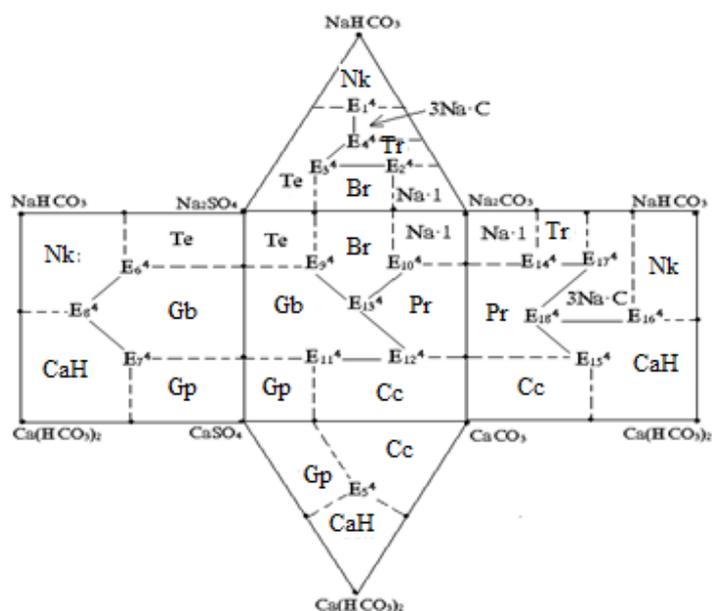
Ҷадвали 3.8. – Фазаҳои мувозинатии нуқтаҳои чорчандаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар 100 °C

Нуқтаҳои нонвариантии	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ	Нуқтаҳои нонвариантии	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
1	2	3	4
Системаи $5\text{Na}^+ \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{CO}_3^{2-} \cdot \text{HCO}_3^- \cdot \text{H}_2\text{O}$		Системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} \cdot \text{H}_2\text{O}$	
$E_1^4$	$\text{Te} + \text{Nk} + 3\text{Na} \cdot \text{C}$	$E_9^4$	$\text{Gb} + \text{Te} + \text{Br}$
$E_2^4$	$\text{Br} + \text{Tr} + \text{Na} \cdot \text{l}$	$E_{10}^4$	$\text{Br} + \text{Pr} + \text{Na} \cdot \text{l}$
$E_3^4$	$\text{Te} + \text{Br} + \text{Tr}$	$E_{11}^4$	$\text{Gp} + \text{Gb} + \text{Cc}$
$E_4^4$	$\text{Te} + \text{Tr} + 3\text{Na} \cdot \text{C}$	$E_{12}^4$	$\text{Cc} + \text{Gb} + \text{Pr}$
Система $3\text{Ca}^{2+} \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{CO}_3^{2-} \cdot 2\text{HCO}_3^- \cdot \text{H}_2\text{O}$		$E_{13}^4$	$\text{Gb} + \text{Pr} + \text{Br}$

1	2	3	4
$E_5^4$	CaH+Gp+Cc	Система $Na^+, Ca^{2+}    CO_3^{2-}, HCO_3^- - H_2O$	
Система $Na^+, Ca^{2+}    SO_4^{2-}, HCO_3^- - H_2O$		$E_{14}^4$	Na1+Pr+Tr
$E_6^4$	Nk+Te+Gb	$E_{15}^4$	Cc+Pr+CaH
$E_7^4$	CaH+Gb+Gp	$E_{16}^4$	$3Na \cdot C + Nk + CaH$
$E_8^4$	CaH+Gb+Nk	$E_{17}^4$	Pr+Tr+ $3Na \cdot C$
		$E_{18}^4$	Pr+ $3Na \cdot C$ +CaH

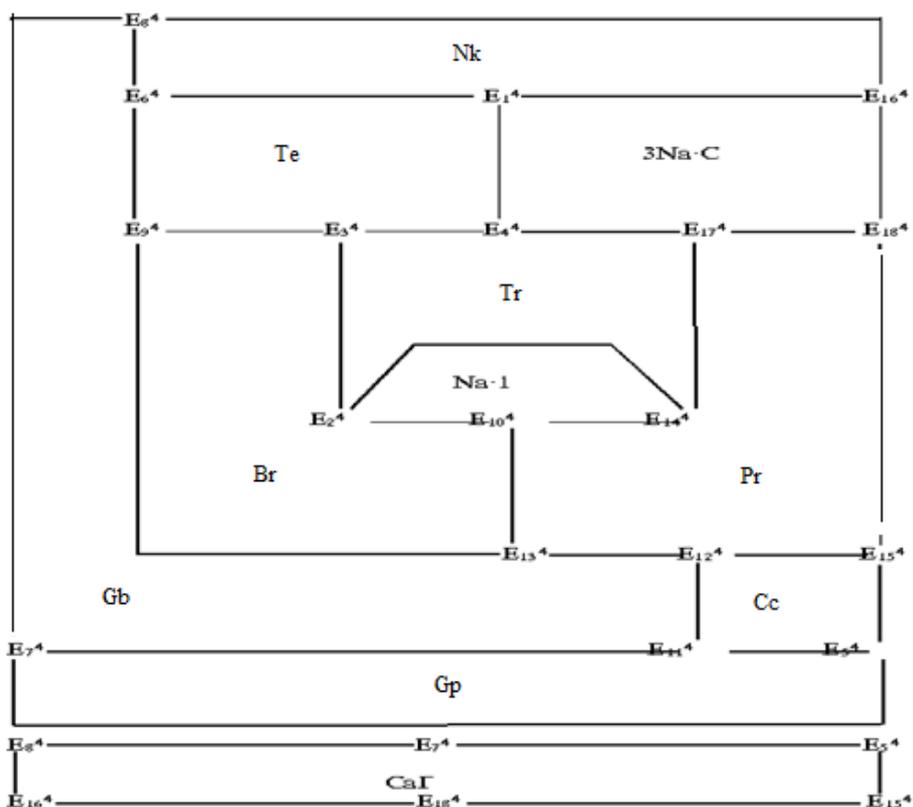
Тавре ки аз чадвали 3.8 дида мешавад, дар системаи панҷкомпонентаи  $Na^+$ ,  $Ca^{2+} || SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^- - H_2O$  дар  $100^\circ C$  дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ 18 нуқтаи нонварианти мавҷуд аст, ки дар муқоиса ба изотермаи  $75^\circ C$  баробар мебошад.

Дар расми 3.17 қисми намакии диаграммаи мувозинатҳои фазавии системаи  $Na^+$ ,  $Ca^{2+} || SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^- - H_2O$  дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ оварда шудааст. Барои тасвири система аз призмаи кушода истифода намудем, ки дар он имконпазир мегардад, ки элементҳои сохтори системаи таҳқиқшаванда дар сатҳҳои таркиби 4-компонентагӣ ва 5-компонентагӣ муттаҳид шаванд.



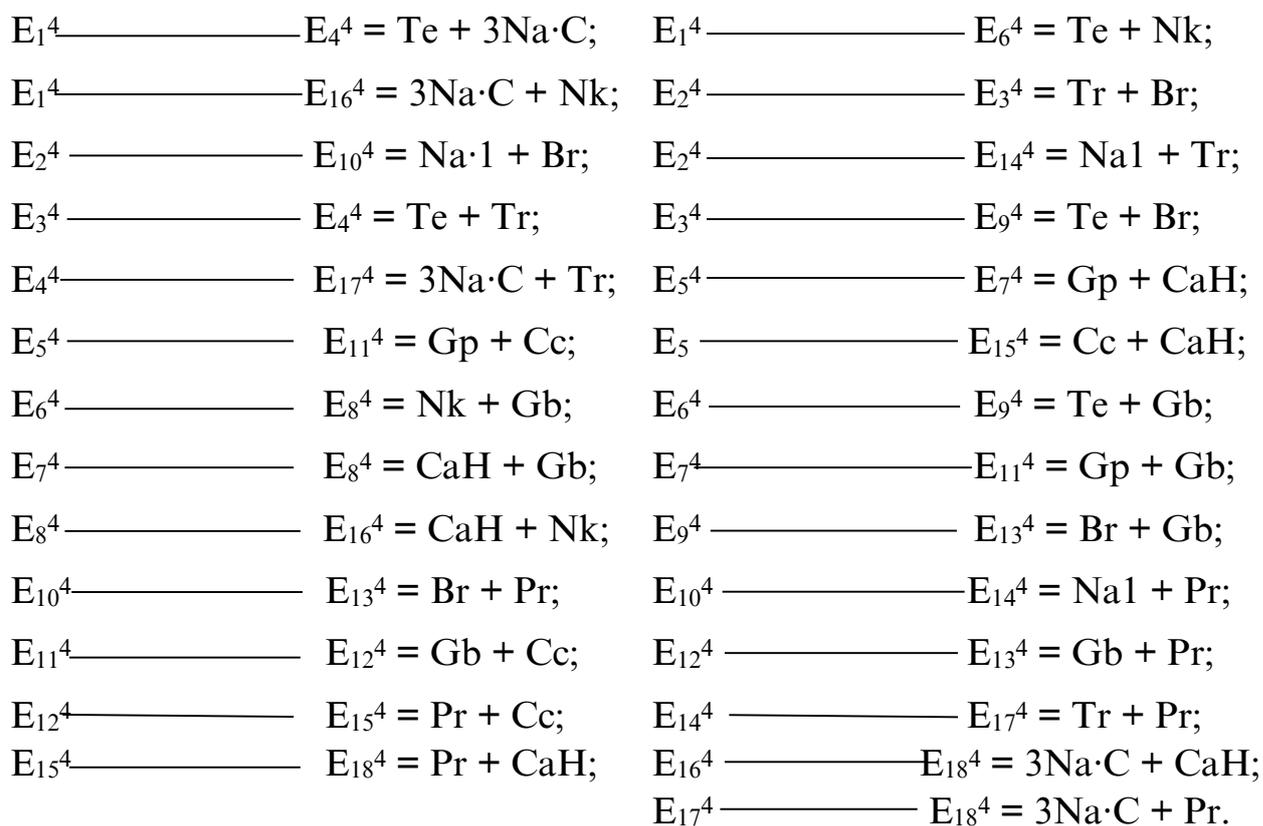
Расми 3.17. – Призмаи кушодаи чорчандаи системаи  $Na^+$ ,  $Ca^{2+} || SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^- - H_2O$  дар  $100^\circ C$

Азбаски баъзе фазаҳои саҳти мувозинатии системаи таҳқиқшаванда дар зиёда аз як системаи чоркомпонентагӣ кристаллизатсия мешаванд, якҷоя кардани майдонҳои онҳо сохтори диаграммаро хеле содда мекунад ва ҳамзамон иттилооти онро кам намегардонад. Чунин диаграммаи схематии мувозинатҳои фазаӣ [177] системаи таҳқиқшаванда дар 100 °C дар расми 3.18 оварда шудааст.

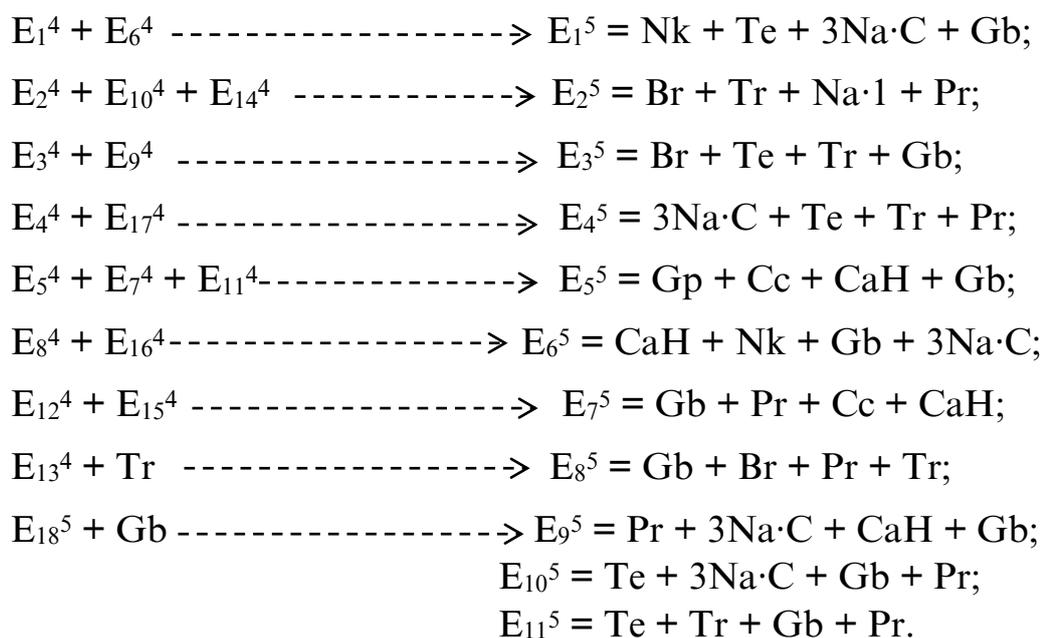


Расми 3.18. – Диаграммаи схематии системаи Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> || SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - H<sub>2</sub>O дар 100 °C

Диаграммаи сохташуда дорoi ҳамаи тасвирҳои геометрӣ (нуқтаҳои нонвариантӣ, хатҳои моновариантӣ, майдонҳои дивариантӣ) ва системаи таҳқиқшаванда бо фазаҳои саҳти мувозинатии хоси онҳо дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ ва ҷойгиршавии мутақобилаи онҳо мебошад. Таркиби фазавии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантӣ чорчанда дар ҷадвали 3.8 таҳлил гаштаанд. Таркиби фазавии таҳшинҳои майдонҳои дивариантӣ дар расми 3.18 нишон дода шудаанд. Таркиби фазавии таҳшинҳои хатҳои моновариантӣ, ки байни нуқтаҳои нонвариантӣ чоркомпонента мегузаранд, чунин аст:



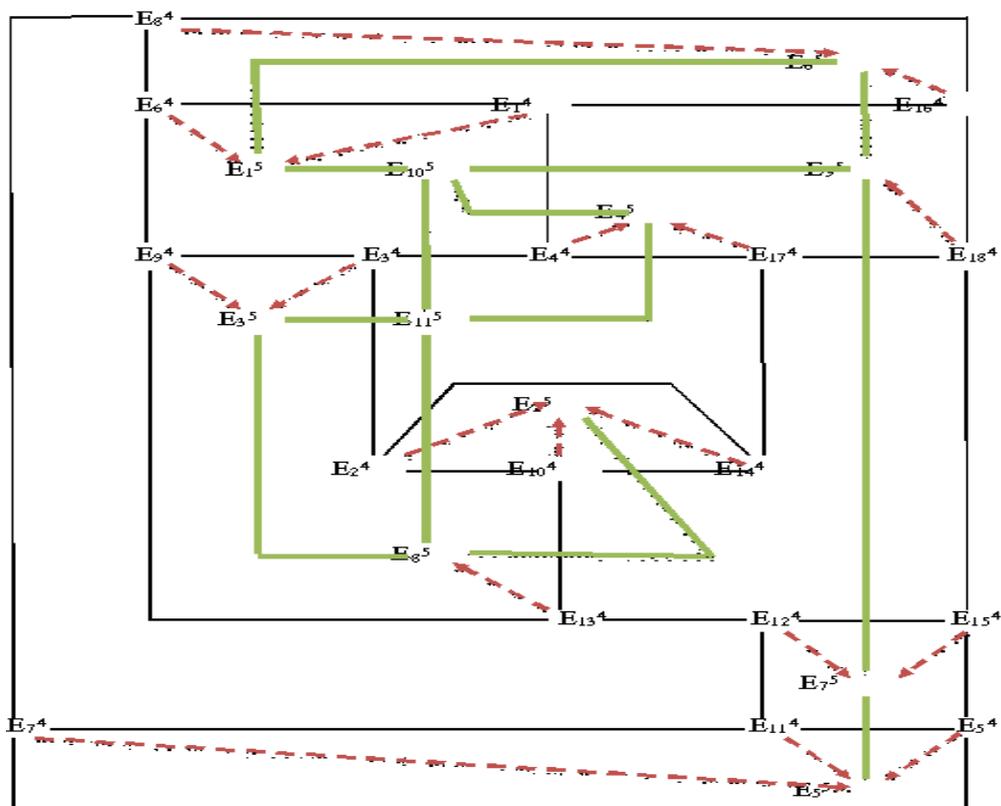
Навъҳои гуногуни транслятсия [112-116]-и нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ ба сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ, трансформатсияи онҳо ба хатҳои моноварианти бо буриши минбаъда ба пайдоиши нуқтаҳои нонвариантии панҷкомпонента меоранд. Ин равандро аз ҷиҳати риёзӣ метавон ҳамчун якҷояшавии нуқтаҳои нонвариантии чоркомпонента, ки аз ҳамдигар бо як фаза фарқ мекунанд, тасвир кард (мувофиқи талаботҳои қоидаи фазаҳои Гиббс мебошад):



Диаграммаи мувозинатҳои фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $100^\circ\text{C}$ , ки дар асоси маълумоти бадастомада дар сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ сохта шудаанд, нишон медиҳанд, ки майдонҳои кристаллизатсионӣ ҳангоми транслятсияи хатҳои моновариантии сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ бо фазаҳои саҳти мувозинатӣ:  $\text{Te}+\text{Gb}$ ;  $\text{Te}+3\text{Na}\cdot\text{C}$ ;  $\text{Te}+\text{Tr}$ ;  $\text{Gb}+\text{Pr}$ ;  $\text{Tr}+\text{Pr}$  ва  $3\text{Na}\cdot\text{C}+\text{Pr}$  ба вуҷуд омадаанд ва сарбаста нестанд.

Барои сарбаст намудани онҳо, аз навъи транслятсияи «мобайнӣ» -и [112-116] нуқтаҳои нонвариантии панҷкомпонентаи зерин ва фазаҳои саҳти мувозинатӣ истифода намудем:  $E_{10}^5 = \text{Te} + 3\text{Na}\cdot\text{C} + \text{Gb} + \text{Pr}$  ва  $E_{11}^5 = \text{Te} + \text{Tr} + \text{Gb} + \text{Pr}$ .

Варианти ниҳони диаграммаи муттаҳидшудаи мувозинатҳои фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар сатҳҳои таркиби чор-панҷкомпонентагӣ дар ҳарорати  $100^\circ\text{C}$ , бо назардошти ҳамаи намудҳои транслятсия, дар расми 3.19 тасвир шудаанд.

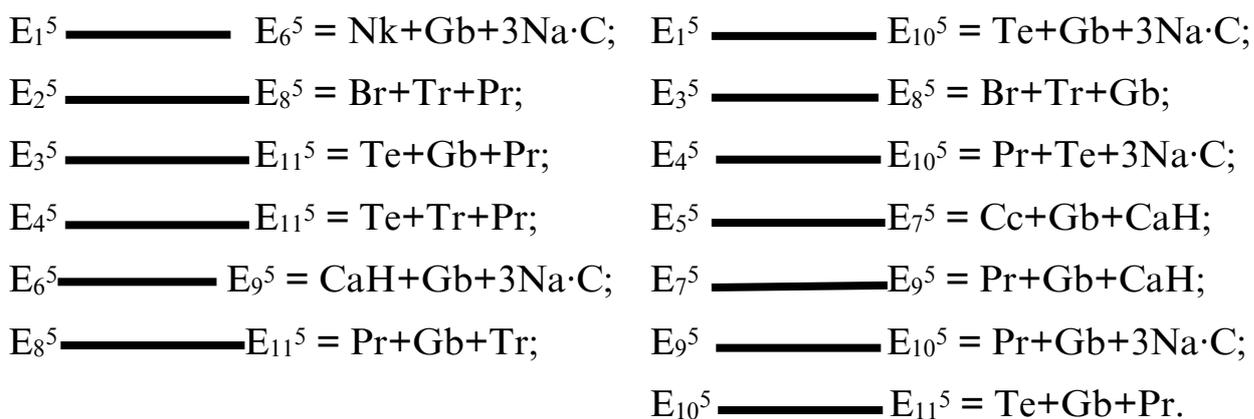


Расми 3.19. – Диаграммаи комплекси фазавии сатҳи чор-панҷкомпонентаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $100^\circ\text{C}$

Дар расми 3.19 хатҳои борики пайваста хатҳои моновариантии сатҳи таркиби чоркомпонентаро нишон медиҳанд. Фазаҳои саҳти мувозинатӣ, ки ба ин хатҳо хосанд, дар боло оварда шудаанд.

Хатҳои пунктирӣ бо тирчаҳо хатҳои моновариантии сатҳи таркиби панҷкомпонентаро ифода мекунанд. Ин хатҳо дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии чоркомпонента ба сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ ба вуҷуд омадаанд. Аз ин рӯ, фазаҳои саҳти мувозинатӣ, ки ин хатҳои моновариантиро тавсиф мекунанд, ба фазаҳои саҳти мувозинатии нуқтаҳои нонвариантии системаҳои чоргонаи мувофиқ яхлелаанд. Тирчаҳо дар ин хатҳо самтҳои транслятсияро нишон медиҳанд.

Хатҳои ғафси яклухт низ хатҳои моновариантии сатҳи таркиби панҷкомпонентаро ифода мекунанд. Онҳо байни нуқтаҳои нонвариантии панҷгона мегузаранд ва бо таркиби фазавии таҳшинҳои зерин тавсиф мешаванд:



Дар чадвали 3.9 фазаҳои саҳти мувозинатӣ ва контурҳои майдонҳои дивариантии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $100^\circ\text{C}$  оварда шудаанд. Аз 25 майдони дивариантигӣ, ки барои системаи таҳқиқшуда дар  $100^\circ\text{C}$  хос аст, 24-тоаш дар натиҷаи транслятсияи хатҳои моновариантии сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ ба сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ ба вуҷуд омадаанд. Се майдонҳои бо фазаҳои саҳти мувозинатии:  $\text{Gb+5Ca}\cdot\text{Na}\cdot\text{3}$ ;  $\text{Tr+Gb}$  ва  $\text{Te+Pr}$  бошад, ҳамчун натиҷаи маҳдудсозии сатҳи система бо нуқтаҳои нонвариантигӣ ва хатҳои моновариантии сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ ташаккул ёфтаанд.

Ҷадвали 3.9. – Фазаҳои саҳти мувозинатӣ ва контури майдонҳои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ||  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$

Фазаҳои саҳти мувозинатии майдонҳо	Контури майдон дар диаграмма (рас. 3.19)	Фазаҳои саҳти мувозинатии майдонҳо	Контури майдонҳо дар диаграмма (рас. 3.19)
1	2	3	4
Te+3Na·C	$E_1^4 \text{---} \rightarrow E_1^5$   $E_4^4 \text{---} \rightarrow E_4^5 \text{---} E_{10}^5$	Gp+Cc	$E_5^4 \text{---} \rightarrow E_5^5$   $E_{11}^4 \text{---} \rightarrow E_{11}^5$
Nk+Te	$E_1^4 \text{---} \rightarrow E_1^5$   $E_6^4 \text{---} \rightarrow E_6^5$	CaH+Cc	$E_5^4 \text{---} \rightarrow E_5^5$   $E_{15}^4 \text{---} \rightarrow E_{15}^5$
3Na·C+Nk	$E_1^4 \text{---} \rightarrow E_1^5$   $E_{16}^4 \text{---} \rightarrow E_{16}^5$	Nk+Gb	$E_6^4 \text{---} \rightarrow E_6^5$   $E_8^4 \text{---} \rightarrow E_8^5$
Tr+Br	$E_2^4 \text{---} \rightarrow E_2^5$   $E_3^4 \text{---} \rightarrow E_3^5 \text{---} E_8^5$	Te+Gb	$E_6^4 \text{---} \rightarrow E_6^5$   $E_9^4 \text{---} \rightarrow E_9^5 \text{---} E_{11}^5$
Na1+Br	$E_2^4 \text{---} \rightarrow E_2^5$   $E_{10}^4 \text{---} \rightarrow E_{10}^5$	CaH+Gb	$E_7^4 \text{---} \rightarrow E_7^5$   $E_8^4 \text{---} \rightarrow E_8^5 \text{---} E_9^5$
Na1+Tr	$E_2^4 \text{---} \rightarrow E_2^5$   $E_{14}^4 \text{---} \rightarrow E_{14}^5$	Gb+Gp	$E_7^4 \text{---} \rightarrow E_7^5$   $E_{11}^4 \text{---} \rightarrow E_{11}^5$
Te+Tr	$E_3^4 \text{---} \rightarrow E_3^5$   $E_4^4 \text{---} \rightarrow E_4^5 \text{---} E_{11}^5$	CaH+Nk	$E_8^4 \text{---} \rightarrow E_8^5$   $E_{16}^4 \text{---} \rightarrow E_{16}^5$
Te+Br	$E_3^4 \text{---} \rightarrow E_3^5$   $E_9^4 \text{---} \rightarrow E_9^5$	Br+Gb	$E_9^4 \text{---} \rightarrow E_9^5$   $E_{13}^4 \text{---} \rightarrow E_{13}^5$
3Na·C+Tr	$E_4^4 \text{---} \rightarrow E_4^5$   $E_{17}^4 \text{---} \rightarrow E_{17}^5$	Na1+Pr	$E_{10}^4 \text{---} \rightarrow E_{10}^5$   $E_{14}^4 \text{---} \rightarrow E_{14}^5$

1	2	3	4
Gp+CaH	$E_5^4 \text{---} \rightarrow E_5^5$ $E_7^4 \text{---} \rightarrow E_5^5$	Gb+Cc	$E_{11}^4 \text{---} \rightarrow E_5^5$ $E_{12}^4 \text{---} \rightarrow E_7^5$
Gb+Pr	$E_{12}^4 \text{---} \rightarrow E_7^5$ $E_{13}^4 \text{---} \rightarrow E_8^5$ $E_9^5$ $E_{10}^5$ $E_{11}^5$	Pr+Cc	$E_{12}^4 \text{---} \rightarrow E_7^5$ $E_{15}^4 \text{---} \rightarrow E_7^5$
Tr+Pr	$E_{14}^4 \text{---} \rightarrow E_2^5$ $E_{17}^4 \text{---} \rightarrow E_4^5$ $E_8^5$ $E_{11}^5$	Pr+CaH	$E_{15}^4 \text{---} \rightarrow E_7^5$ $E_{18}^4 \text{---} \rightarrow E_9^5$
3Na·C+CaH	$E_{16}^4 \text{---} \rightarrow E_6^5$ $E_{18}^4 \text{---} \rightarrow E_9^5$	3Na·C+Pr	$E_{17}^4 \text{---} \rightarrow E_4^5$ $E_{18}^4 \text{---} \rightarrow E_9^5$ $E_{10}^5$
Br+Pr	$E_{10}^4 \text{---} \rightarrow E_2^5$ $E_{13}^4 \text{---} \rightarrow E_8^5$	3Na·C+Gb	$E_1^5$ $E_6^5$ $E_{10}^5$ $E_9^5$
Tr+Gb	$E_3^5$ $E_8^5$ $E_{11}^5$	Te+Pr	$E_{10}^5$ $E_{11}^5$ $E_4^5$

Ҳамин тариқ, аввалин шуда [207-209] муайян гашт, ки барои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $100^\circ\text{C}$  дар сатҳҳои таркиби чоркомпонентагӣ (А) ва панҷкомпонентагӣ (Б) мавҷудияти миқдори зерини тасвирҳои геометрии хос мебошад: Сатҳи компонентнокӣ

	А	Б
Нуқтаҳои нонварианти	18	11
Хатҳои моноварианти	27	30
Майдонҳои диварианти	11	30

Бояд ибраз дошт, ки бо сабаби дар ҳар ҳарорати барои таҳқиқот интихобнамудаи мо мавҷуд будани тағйирот дар системаи химиявии  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  сохтори диаграммаҳои комплекси фазагӣ мухталиф мебошанд, ки ин бо фазаҳосилшавии системаи таҳқиқшаванда алоқаманд аст.

**БОБИ 4. ПОЛИТЕРМАИ ҲАЛШАВАНДАГИИ СИСТЕМАИ  
 $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ||  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  ДАР САТҲИ  
 ЧОРКОМПОНЕНТАГИИ ТАРКИБ**

**4.1. Ҳалшавандагии компонентҳо дар системаҳои химиявии обӣ**

Таҳқиқи таҷрибавии системаҳои химиявӣ талаб менамояд, ки барои омӯзиши ҳалшавандагӣ дар системаҳои химиявӣ дар ҳар 10 % концентратсия таҷриба гузошта, он натиҷагирӣ карда шавад. Чунин тарзи таҳқиқ дар баробари реактиви химиявии бисёр, боз вақти зиёдро низ талаб менамояд. Пешгӯйии комплекси фазагии СБК бо усули транслятсия имкон медиҳад, ки мавод ва вақт барои гузаронидани таҷриба сарфа гардад. Чунки диаграммаҳои системаҳои химиявӣ имкон медиҳад параметрҳои имконпазири концентратсионӣ муайян шаванд ва парагенезҳои фазаҳои саҳти мувозинатӣ барои хатҳо, майдонҳо ва нуқтаҳо ёфта шавад.

Об ҳалқунандаи универсиалӣ ба шумор меравад. Дар он моддаҳои ҳолати агрегатсионон саҳт, моеъ ва газҳо ҳал мешаванд. Ҳалшавандагии пайвастагиҳои химиявӣ дар се марҳила гузашта, инчунин он аз ҳолати агрегатсии моддаҳо вобастагӣ надорад, ки ин марҳилаҳо:

- 1) Аз ҳисоби қувваи кашиши молекулаи об бандҳои химиявии таркиби моддаи ҳалшаванда канда мешаванд;
- 2) Аз ҳисоби қувваи кашиши молекулаи об бандҳои молекулаи об ва моддаи ҳалшаванда банди нав ҳосил мекунанд;
- 3) Дар муҳити обӣ паҳншавии моддаҳои навӣ ҳосилшуда ҷой дорад.

Дар ҷадвали 4.1 хосиятҳои маҳлулҳо, омехтаҳои механикӣ ва моддаҳои химиявӣ оварда шудаанд.

**Ҷадвали 4.1. – Тавсифи омехтаҳои механикӣ, пайвастҳои химиявӣ ва маҳлулҳо**

Хосият	Омехтаи механикӣ	Пайвастҳои химиявӣ	Маҳлулҳо
1	2	3	4
Таркиб	Тағйирнопазир	Тибқи қонуни доимияти таркиб	Тағйирпазир

<i>Идомаи ҷадвали 4.1.</i>			
1	2	3	4
Таносуби компонентҳо	Таносуби гуногун	Тибқи қонуни эквивалентҳо, нисбатҳои каратии яклухт	Таносуби васеъ
Банди химиявӣ	Нест	Устувор, энергияи банд 70-418,7 кҶ/мол	Ноустувор, энергияи банд 20,9-125,6 кҶ/мол
Қонуни нигоҳдории массаи модда ва энергия	Итоат менамояд	Итоат менамояд	Итоат менамояд
Хосиятҳои қисмҳои таркибӣ	Бо нигоҳ доштани хосияти индивидуалӣ	Хосияти индивидуалӣ аз байн рафта, хосиятҳои нав пайдо мегарданд	Хосиятҳои индивидуалӣ аз байн рафта, хосиятҳои нав пайдо мешаванд

Об ҳангоми ҳалшавии моддаҳои ҳолати агрегатиашон саҳт ба панҷараи кристаллиашон таъсир расонида, онҳоро вайрон менамояд. Мисол, панҷараи ионии намакҳо ё моддаҳои соддаеро, ки дар шакли молекулаанд.

Энергияи панҷараи кристаллӣ гуфта, энергияеро меноманд, ки 1 г/мол молекулаҳои моли моддаҳои кристаллиро то ба ионҳо ҷудо месозанд, ё то ба масофаи беохир онҳоро аз ҳамдигар дур мекунанд. Моддаҳое, ки панҷараи кристаллии саҳт доранд, таҷзияшон бо фурубарии гармӣ мегузарад. Заряднокии ионҳо бузургии ҷудошавиро ташкил дода, ҳудуди аксари онҳо 4180 кҶ/молро ташкил медиҳад.

Ассотсиатҳое, ки ҳангоми ҳалшавандагии моддаҳои ҳолати агрегатиашон моеъ ва газ вобаста ба қувваҳои байни молекулаӣ, хусусан дисперсионӣ, диполӣ, доноро аксебторӣ ба назар мерасанд, об метавонад онҳоро ҷудо намояд.

Соҳтори комплексҳои фазагии моеъҳо ё ассотсиатҳои молекулавии онҳо зимни таҷзияшон миқдори камтарини энергияеро, ки дар шакли гармӣ мебошанд, фуруъ мебаранд. Энергияи мазкур метавонад аз 42 то 84 кҶ/молро дар бар гирад.

Аз таъсири об-молекула ё ионҳои дар раванди ҳалшавӣ ҳосилшуда ё пайдошуда ба ҳамон молекула метавонад таъсири химиявӣ расонад. Чунин ҳолат реаксияи химиявӣ набуда, онҳоро бо истифода аз муодилаи реаксия истифода кардан ғайриимкон мебошад. Сабаб дар он зоҳир мегардад, ки моддаҳои ҳосилшудаи маҳсул гидратҳо буда, онҳо таркиби доимӣ надоранд. Чунки дар ин ҳолат сураъти таъсири муттақобилаи молекулаи об бо ионҳои маҳлул бо энергияи гидрататсия мустақил мешаванд.

Миқдори гармиро, ки барои  $6,02 \cdot 10^{23}$  ион ё як грам-ион аз муҳити беҳаво ба маҳлули обӣ масраф мешавад – гармии гидрататсия номида мешавад. Бузургии мазкур аз рӯйи онест, ки ҳолати агрегатии модда чӣ гуна аст, гуногун шуда метавонад. Мисол, энергияи гидрататсияе, ки барои ионҳои металлҳо хос мебошад аз 251 то 4187 кҶ/ион баробар шуданаш мумкин аст.

Аз ҳисоби диффузияи дар об гидратҳои моддаҳои ҳалшуда баробар паҳн мешаванд, яъне дар об моддаҳои ҳалшуда баробар тақсим гарданд. Озодона ҳаракат намудани гидратҳои пайвастиҳои ҳалшуда дар маҳлул диффузия ном дорад. Эҳтимол меравад, ки ионҳо ё молекулаҳои гидратнок аз молекулаи об гузашта, пас аз муддате ба маҳлул пурра паҳн мешаванд. Барои чунин ҳолат, яъне диффузия, гармии зиёд сарф намешавад.

Гармии умумии ҳосилшавии моддаҳои химиявӣ аз эффекти гармии зинаҳои алоҳидаи ҳалшавӣ вобастагӣ дорад. Мисол, ҳангоми ҳалкунии кристаллогидрати гексагидрати хлориди калсий дар об, гармӣ ҷазб гардида, вале ҳалшавии намаки беоби он бо ихроҷи гармӣ мегузарад. Яъне, энергияи панҷараи кристаллии гексагидрати хлориди калсий нисбат ба гармии гидрататсия кам аст.

Аз намаки беоби хлориди калсий ва ишқори натрий акси он буда, нисбат ба энергияи панҷараи кристаллии гармии гидрататсия зиёд ба мушоҳида мерасад. Ҳамеша ҳалшавии моддаҳои ҳолати агрегатиашон моеъ дар об бо ихроҷи гармӣ мегузарад, ки он шаҳодати зиёд будани эффекти гармии кандашавии бандро нисбати гармии гидрататсия меънидод мекунад.

Вобаста ба гуфтаҳои боло сабаби ҳалшавӣ, камҳалшавӣ ё ҳалнашудани моддаҳои дар об мурашар дода метавонем. Мисол, новобаста аз он, ки аниони хлорид дар таркиби намакҳои он бо металлҳои нуқра ва литий якхела аст, як ҳел сохтор дорад, хлориди литий дар об хубҳалшаванда буда, вале хлориди нуқра бадҳалшаванда ё ҳалнашаванда мебошад.

Зимни муқоисаи ҳалшавии хлориди литий ва хлориди нуқра дучори чунин ҳодисот мешавем. Хлориди литий 83,41 кҶ/мол энергияи панҷараи кристаллӣ дошта, энергияи гидрататсияи катиони литий 124 ва аниони хлорид 363,7 кҶ/мол аст. Новобаста аз он, ки ҳангоми вайроншавии панҷараи кристаллии хлориди литий – 837 кҶ/мол гармӣ сарф шавад ҳам, энергияи гидрататсияи ионҳои ҳосилшуда аз ин нишондод зиёд аст. Яъне, ҳангоми гидрататсияи ионҳои ҳосилшудаи хлориди литий 883,4 кҶ/мол гармӣ хориҷ мешавад. Аз ин лиҳоз дар натиҷаи ҳалшавандагии хлориди литий боз гармӣ низ ҷудо мешавад, ки он ба 46 кҶ/мол баробар аст (883,4 (гармии ионҳои ҳосилшуда – 837,4 гармии вайроншавии панҷараи кристаллӣ = 46,0 кҶ/мол гармии иловагии ҷудошуда).

Намаки хлориди нуқра бошад, энергияи панҷараи кристаллии зиёд дорад. Нисбат ба энергияҳои гидрататсияи катиони нуқра ва аниони хлорид. Яъне, 883,4 бар 815,1 кҶ/мол. Барои ҳамин ҳам бо сабаби 883,4 калон аз 815,1 кҶ/мол хлориди нуқра дар об ҳалнашаванда аст.

Гуфтаҳои боло ба ҳамаи саволҳои ба ҳалшавандагии моддаҳои химиявӣ тааллуқдошта ҷавоб гуфта наметавонад. Чунки энергияи панҷараи кристаллӣ аз энергияи гидрататсия зиёд бошад ҳам модда хубҳалшаванда буда метавонад. Мисоли ин гуфтаҳо намаки хлориди натрий буда метавонад. Мисол, гармии гидрататсияи хлориди натрий 775,5 кҶ/г-ионро ташкил диҳад, гармии панҷараи кристаллиаш 778,8 кҶ/мол аст. Новобаста аз ин хлориди натрий дар об хубҳалшаванда мебошад. Ба чунин номувофиқӣ истилоҳҳои энталпия ва энтропия дар маҳлулҳо ҷавоб гуфта метавонад.

Энталпия ба энергияи дохилӣ вобаста буда, гармиғунҷоиши пайвастагии ҳалшавандагиро ифода менамояд. Мисоли энталпияро дар галлит шарҳ додан мумкин аст. Пайвасти мазкур энергияи дохилии ба худ хос дорад, ки он дар натиҷаи таъсири ядроӣ атомҳои натрий ва хлор, электронҳои натрий ва хлор, электрону ядроӣ атоми натрий ва электрону ядроӣ атоми хлор ба вуҷуд меоянд. Ҳангоми табдилоти фазагии хлориди натрийи сахт ба хлориди натрийи моеъ хориҷшавии эффекти гармии табдилоти фазагӣ, аз ҳисоби энергияи дохилии модда ба мушоҳида мерасад. Яъне, энергияи дохилии гидратҳои катиони натрий ва аниони хлорид меафзояд, чунки дар ҳосилшавии онҳо ҳамчун гармӣ сарф мешавад.

Дарачаи ҳаракати бетартибона-хаотикии системаро энтропия маънидод мекунад. Ҳаракати хаотикӣ дар система бо энтропия мутаносиби роста буда, зимни кам гаштани ҳаракати хаотикӣ – энтропия низ кам ба назар мерасад. Мисол, молекулаҳои об бетартиб ҳаракат мекунанд, бинобар ин дар он энтропия бештар мебошад. Дар кристаллҳои намаки хлориди натрий молекулаҳо дар кунҷҳои панҷараи кристаллии кубӣ ҷойгиранд ва бетартиб ҳаракат мекунанд, ки боиси камтари энтропия мегарданд.

Байни об ва кристаллҳои намаки ошӣ хлориди натрий ҳангоми ҳосил гардидани гидратҳои ионҳои натрий ва хлорид дар мавқеи мобайнӣ қарор мегирад. Зимни ба маҳлул гузаштани ионҳои  $\text{Na}^+$  ва гидрататсияи он энтропия то 8,4 кҶ афзуда, дар иони хлорид  $\text{Cl}^-$  бошад он 4,2 кҶ-ро ташкил менамояд. Зиёдшавии энтропия ба ҳалшавӣ таъсири қалон дорад. Хусусан, дар ҳалшавии хлориди натрий. Чунки, зимни ҳалшавии он дар об энергияи панҷараи кристаллӣ 778,8 кҶ, маҷмуи энергияи гидрататсия 770,5 кҶ-ро ташкил медиҳад. Дар ин асос зиёдшавии энтропия 12,5 кҶ камтар мешавад.

Дар асоси тағйирёбии энергияи озоди система мо метавонем худ аз худ ҳалшавии моддаҳоро дар об мушоҳида намоем, ки он бо формулаи умумии

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

муайян карда мешавад. Дар формула:

$\Delta G$  - тағйирёбии энергияи озод;

$\Delta H$  - эффекти гармии ҳалшавӣ ё камшавии энталпия

$T\Delta S$  - афзоиши энтропия ё камшавии он мебошад.

Ҳангоми ба маҳлул гузаштани пайвасти химиявӣ энталпияи он кам мешавад. Дар ин ҳолат энтропия бошад метавонад кам шавад ё афзоиш ёбад, ё ин ки вобаста ба тағйирёбии ҳаҷми маҳлул, майдони электростатикӣ, сохтори модда низ ба таври назаррас тағйир наёбад.

Мисол:

**энтропия**                      **тағйирёбии ҳаҷм**

$\Delta V > 0$                       - меафзояд;

$\Delta V = 0$                       - кам коҳиш меёбад;

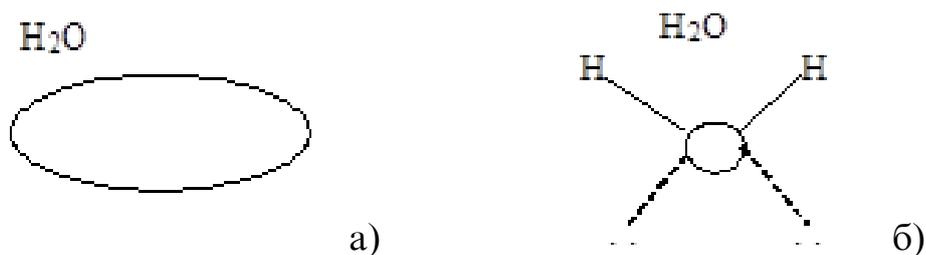
$\Delta V < 0$                       - коҳиш меёбад.

Коҳиш ёфтани энтропияи пайвастагиҳои химиявӣ дар об дар мадди аввал ба камшавии эффекти гармии ҳалшавӣ меоварад, дар бисёр ҳолат ҳалнашаванда буданашонро ифода менамояд. Ҳамин тавр пайвастагиҳои химиявӣ дар об ҳамон вақт ҳалнашаванда ҳисобида мешавад, ки энергияи панҷараи кристаллиаш зиёд бошад ва дар об ҳосилшавии гидрат бо осонӣ ба амал наояд.

**Ҳалшавандагии моддаҳое, ки бандҳои химиявии гуногун доранд.** Мусаллам аст кандашавии бандҳои химиявӣ дар молекулаи пайвастагиҳо ва ҳосилшавии бандҳои нав дар байни ҳалкунанда ва молекулаи моддаи ҳалшаванда – ҳалшавандагӣ номида мешавад. Дар ин асос, нақши асосиро дар ҳалшавандагӣ хосияти банди химиявии моддаи ҳалшаванда ва ҳалшудаю ҳалкунанда иҷро мекунад.

Об – ҳалкунандаи универсалӣ буда, нисбати дигар ҳалкунандаҳо истифодаи бештар дорад. Дар таҳқиқоти диссертатсионии мо низ ҳалкунандаи умумӣ об мебошад. Чунки объекти таҳқиқоти мо системаи обӣ-намакӣ аст. Барои ҳамин ҳам ба хосиятҳои он аҳамияти бештар зоҳир менамоем.

Дар ҳолати агрегатии газӣ молекулаҳои озоди об тарҳи кунҷӣ дошта, моменти диполиаш 1,84 Д-ро ташкил медиҳад, ки зарядҳо дар молекула тақсим шуда, чунин амалро ба вуҷуд меоранд. Дар он зарядҳои манфӣ дар орбитали ҷуфти тақсимношудаи электронҳои тетраэдрҷойгиршудаи оксиген боқӣ монда, зарядҳои мусбат бошад дар атомҳои гидроген ҷамъ оварда мешаванд. Дар расми 4.1 ифодаи молекулаи об ҳамчун схема дарҷ гардидааст.



Расми 4.1. – Тарҳи молекулаи об: а) дар шакли эллипсӣ; б) дар шакли кунҷӣ

Дар расми 4.1 бандҳои байни атомҳои гидроген ва оксиген, инчунин ҷуфти электронҳои озоди оксиген, нишон дода шудаанд. Заряди манфӣ дар оксиген ҷамъ оварда шудааст. Дар байни молекулаҳои об банди гидрогенӣ, ки аз ҳисоби қувваи байнимолекулавии калон дорад, ҳосил шудааст вуҷуд дорад. Аз ин лиҳоз ассотсиатсияи оби моеъ бо дараҷаи баланд ба вуҷуд омадааст.

Агар қувваи кашиши байни молекулаҳои пайвастагиҳои химиявӣ ва об нисбати қувваи кашиши байни молекулаи об зиёд бошад, дар он вақт модда дар об ҳал мешавад. Дар ин асос моддаҳо аз рӯи бандҳои химиявии таркибашон дар об гуногун ҳал мешаванд.

Системаи таҳқиқшавандаи бисёркомпонентаи иборат аз ионҳои  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ||  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  асосан аз намакҳо таркиб ёфтаанд, ки панҷараи кристаллии ионӣ доранд, бинобар ин механизми ҳалшавии онҳо доништан мувофиқи мақсад аст.

Ҳалшавандагии пайвастҳое, ки банди ионӣ доранд. Аксар пайвастагиҳои навъи ионӣ дар ҳолати кристаллӣ аз ионҳо таркиб ёфтааст, ки онҳо катионҳо ва анионҳо мебошанд. Дар маҳлул чунин моддаҳо молекулаҳои қутбнокӣ об ихота мекунад.

Атоми гидроген, ки қисми мусбати моменти диполии об мебошад ба аниони хлорид ва атоми оксиген, ки қутби манфии об аст ба катиони натрий майл мекунад. Бинобар ин диполи молекулаи об дар гирди аниони хлорид бо қутбҳои мусбат ҳамзамон дар гирди катиони натрий бо қутбҳои манфии худ майл мекунад. Зимни таъсири муттақобилаи об бо ионҳои пайвастагӣ банди ионии таркиби намаки мазкур 81 маротиба заиф мегардад. Қувваи электростатикӣ банди ионӣ нисбати қувваи кашиши диполҳои об хеле хурд мебошад. Барои ҳамин об метавонад дар маҳлул ионҳоро аз ҳам ҷудо намояд ва онҳо озодона дар маҳлул ҳаракат намоянд.

#### 4.2. Муайянкунии ҳалшавандагии системаи $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ дар фосилаи $0 \div 75 \text{ }^\circ\text{C}$

Ҳалшавӣ дар системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Партовҳои моеъи регенератсияи криолити заводи алюминий фторидҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳо ва сулфатҳои натрий, калсий ва алюминий доранд [210-214]. Равандҳои кристаллизатсия ва ҳалшавандагии намакҳо дар маҳлулҳои обии ин партовҳо бо қонуниятҳои мувозинатҳои фазагӣ дар шакли системаи шашкомпонентаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} || \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^-, \text{F}^- - \text{H}_2\text{O}$ , системаҳои панҷ- ва чоркомпонентаи онро ташкилкунанда [215-220] муайян карда мешаванд.

Фазаҳои саҳти мувозинатии системаи таҳқиқшаванда дар  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  инҳоянд:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – мирабилит (Mb);  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – Na10;  $\text{NaHCO}_3$  – нахколит (Nk) [108-109].

Барои таҷрибаҳо реактивҳои зерин истифода шуданд:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (навъи - «хч»);  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ( навъи - «ч»);  $\text{NaHCO}_3$  (навъи - «ч»). Омехтаи моддаҳои ибтидоӣ бо ёрии ултратермостати U-8 термостатӣ карда шуд ва омехтакунӣ бо омехтакунаки магнитӣ PD – 09 анҷом дода шуд. Дар таҳлили кристаллооптикӣ фазаҳои мувозинатии саҳт аз микроскопи электронии маркаи ПОЛАМ - P 311 истифода гардида, тавассути он дар маҳлул муайянкунии фазаҳои мувозинатӣ амалӣ гардидаанд. Ҳамзамон

фазаҳои мувозинати муайяншуда бо ёрии аксбардори SONY- DSC-S500 аксгирӣ гардид.

Баъди ба даст овардани ҳолати мувозинат (тағйирнопазирии таркиби фазагии таҳшинҳои кристаллизатсияшаванда) фазаҳои моеъ ва сахт бо ёрии насоси вакуумии обӣ тавассути коғази филтратсионии бесӯзиш (тасмаи кабуд) дар колбаи Бюхнер ҷудо карда мешуданд. Таҳширо бо спирти этилии 96 % шуста, пеш аз таҳлил дар ҷевони хушккунӣ дар ҳарорати 120 °C хушк мешуданд.

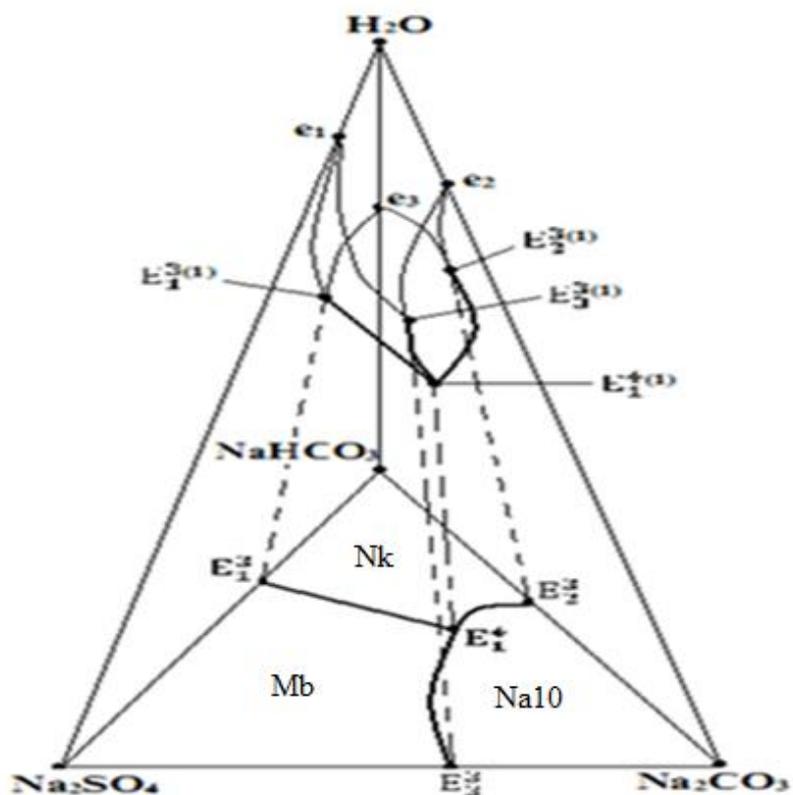
Таҳлили химиявии фазаи моеъ мувофиқи усулҳои маълум, ки дар корҳои [221-228] тасвир гашта, гузаронида шуд ва таҳлили кристаллооптикӣ мувофиқи корҳои [229-234] анҷом дода шуд.

Дар ҷадвали 4.2 маълумот оид ба ҳалшавии пайвастаҳои инфиродӣ, инчунин дар нуқтаҳои нонвариантии система барои сатҳи таркиби секомпонента, ки аз адабиёт гирифта шудаанд [108, 109] ва барои сатҳи таркиби чоркомпонента, ки аз ҷониби мо [235, 236] ба даст омадаанд, пешниҳод гаштаанд.

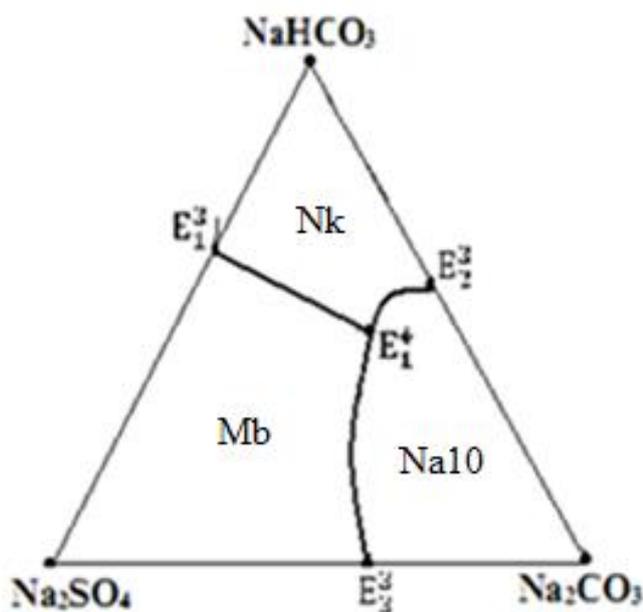
**Ҷадвали 4.2. – Ҳалшавии системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар 0 °C**

№ нуқта	Таркиби фазаи моеъ, мас.%				Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{NaHCO}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	
e <sub>1</sub>	4.30	-	-	95.70	Mb
e <sub>2</sub>	-	6.50	-	93.50	Na10
e <sub>3</sub>	-	-	6.49	93.51	Nk
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	2.73	-	5.58	91.69	Mb + Nk
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	-	5.60	4.6	89.80	Nk + Na10
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	2.80	6.00	-	91.20	Na10 + Mb
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	2.12	5.13	4.37	88.38	Mb + Tr + Na10

Дар асоси маълумоти ҷадвали овардашуда, аз ҷониби мо диаграммаи ҳалшавии системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар 0 °C сохта шуд, ки дар расми 4.2 қисми обӣ-намакӣ ва дар расми 4.3 бошад қисми намакӣ нишон дода шудаанд.



Расми 4.2. – Диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $0\text{ }^\circ\text{C}$



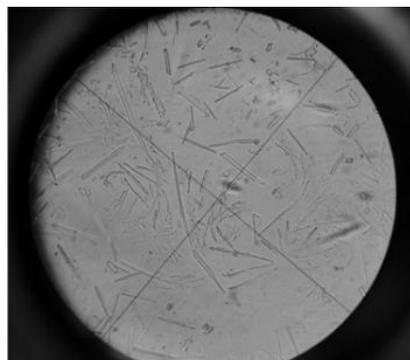
Расми 4.3. – Қисми намакии диаграммаи системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$

Тавсифи мундариҷаи намудҳои геометрӣ (майдонҳо, қачхатҳо, нуқтаҳо)-и расми 4.2 дар ҷадвали 4.3 оварда шуда, натиҷаҳои таҳлили кристаллооптикии фазаҳои саҳти мувозинатӣ (микроаксҳо) дар расми 4.4 пешниҳод гардидаанд.

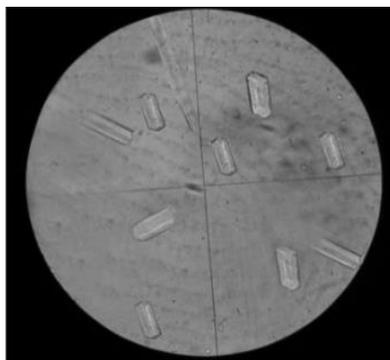
Чадвали 4.3. – Шарҳи шаклҳои геометрии расми 4.2.

Шаклҳои геометрӣ дар диаграмма	Номгӯи шаклҳои геометрӣ
e <sub>1</sub>	Дар об ҳалшавандаии намаки сулфати натрий
e <sub>2</sub>	Дар об ҳалшавандагии намаки карбонати натрий
e <sub>3</sub>	Дар об ҳалшавандагии намаки гидрокарбонати натрий
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Mb + Nk дар системаи H <sub>2</sub> O-3Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Na10+Nk дар системаи H <sub>2</sub> O-3Na <sup>+</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Mb + Na10 дар системаи H <sub>2</sub> O-4Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Na10+Nk дар системаи H <sub>2</sub> O-5Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>1</sub> <sup>3</sup> — E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Mb + Nk дар системаи H <sub>2</sub> O-5Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>2</sub> <sup>3</sup> — E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Na10 + Nk дар системаи H <sub>2</sub> O-5Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>3</sub> <sup>3</sup> — E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Mb + Na10 дар системаи H <sub>2</sub> O-5Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>1</sub> <sup>3</sup> Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> E <sub>3</sub> <sup>3</sup> E <sub>1</sub> <sup>4</sup> E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	Майдони кристаллизатсионии мирабилит
E <sub>2</sub> <sup>3</sup> Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> E <sub>3</sub> <sup>3</sup> E <sub>1</sub> <sup>4</sup> E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	Майдони кристаллизатсионии декагидрати карбонати натрий
E <sub>2</sub> <sup>3</sup> NaHCO <sub>3</sub> E <sub>1</sub> <sup>3</sup> E <sub>1</sub> <sup>4</sup> E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	Майдони кристаллизатсионии нахколит

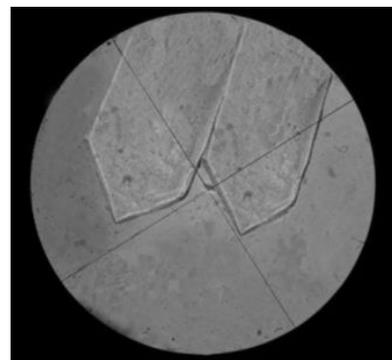
.....



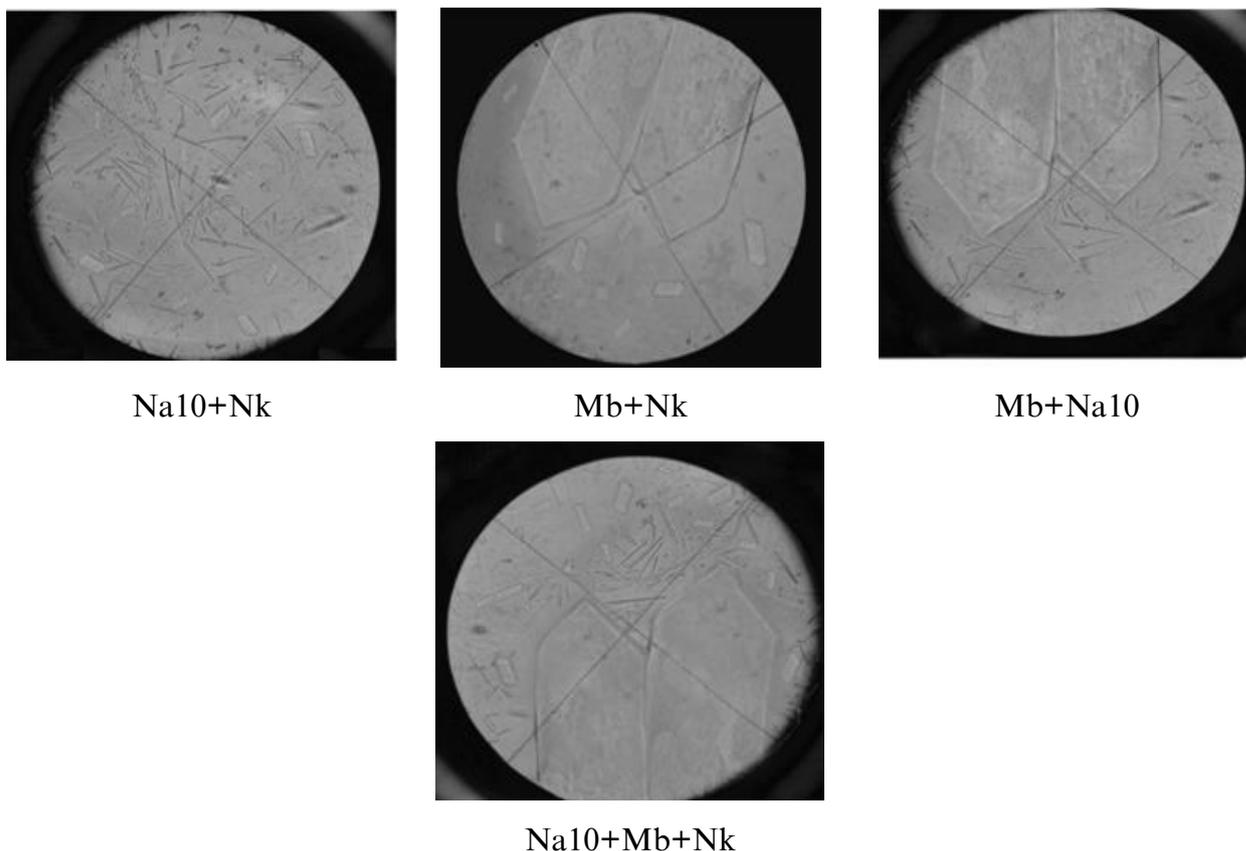
Na10



Nk



Mb



Расми 4.4. – Микроаксҳои фазаҳои мувозинатии системаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$

Дар изотермаи мазкур аз ҷониби мо дигар системаҳои чоркомпонентаи иони умумидошта [237-240] таҳқиқ ва натиҷагирӣ гардидааст.

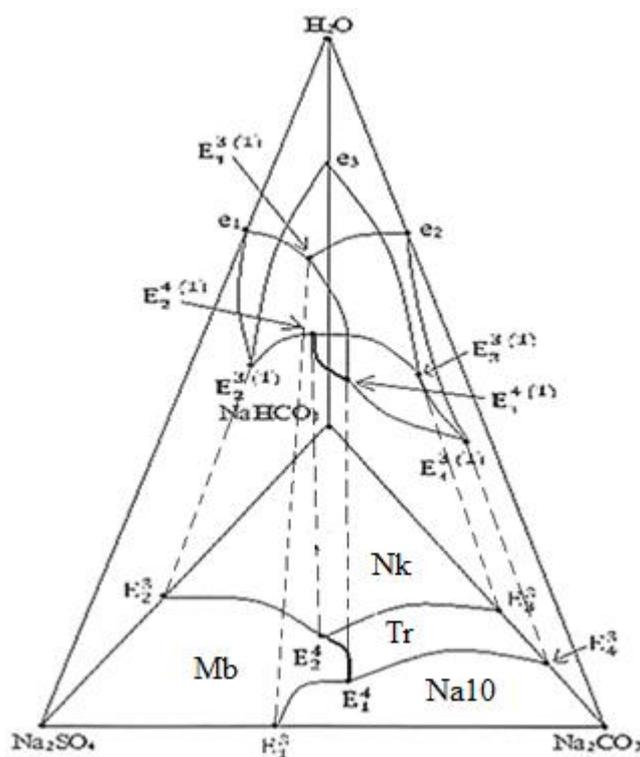
Ҳалшавии системаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$ . Фазаҳои саҳти мувозинатии системаи таҳқиқшаванда дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  инҳоянд:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – мирабилит (Mb);  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – Na10;  $\text{NaHCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – трона (Tr);  $\text{NaHCO}_3$  – нахколит (Nk) [108, 109]. Барои таҷрибаҳо реактивҳои зерин истифода шуданд:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (навъи - «хч»);  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (навъи - «ч»);  $\text{NaHCO}_3$  (навъи - «ч»).

Дар ҷадвали 4.4 маълумот оид ба ҳалшавии пайвастагиҳои инфиродӣ, инчунин дар нуқтаҳои нонвариантии система барои сатҳи таркиби секомпонента [108, 109], ки аз адабиёт гирифта шудаанд ва барои сатҳи таркиби чоркомпонента, ки аз ҷониби мо [241, 242] ба даст омадаанд, пешниҳод шудаанд.

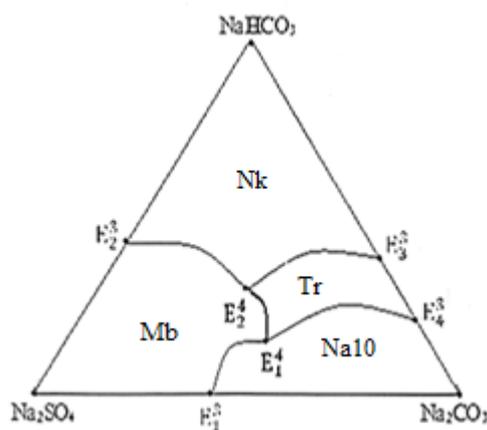
Ҷадвали 4.4. – Ҳалшавандагии системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^- \text{- H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$

№ нукта	Таркиби фазаи моеъ, мас.%				Таркиби фазаҳои сахт
	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{NaHCO}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	
$e_1$	21.90	-	-	78.10	Mb
$e_2$	-	22.70	-	77.30	Na10
$e_3$	-	-	9.31	90.69	Nk
$E_1^3$	16.40	18.30	-	65.30	Mb+Na10
$E_2^3$	20.68	-	4.16	75.16	Nk+Mb
$E_3^3$	-	17.62	4.62	77.76	Tr+Nk
$E_4^3$	-	22.46	2.84	74.70	Na10+Tr
$E_1^4$	21.20	20.07	5.51	50.22	Mb+Tr+Na10
$E_2^4$	20.90	22.54	4.77	50.68	Nk+Tr+Mb

Дар асоси маълумоти ҷадвали 4.4 аз ҷониби мо диаграммаи ҳалшавии системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  сохта шуд. Дар расми 4.5 қисми обӣ-намакӣ ва дар расми 4.6 қисми намакии диаграммаи сохташуда дар шакли секунҷаи баробартараф нишон дода шудааст.



Расми 4.5. – Қисми намакии диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$



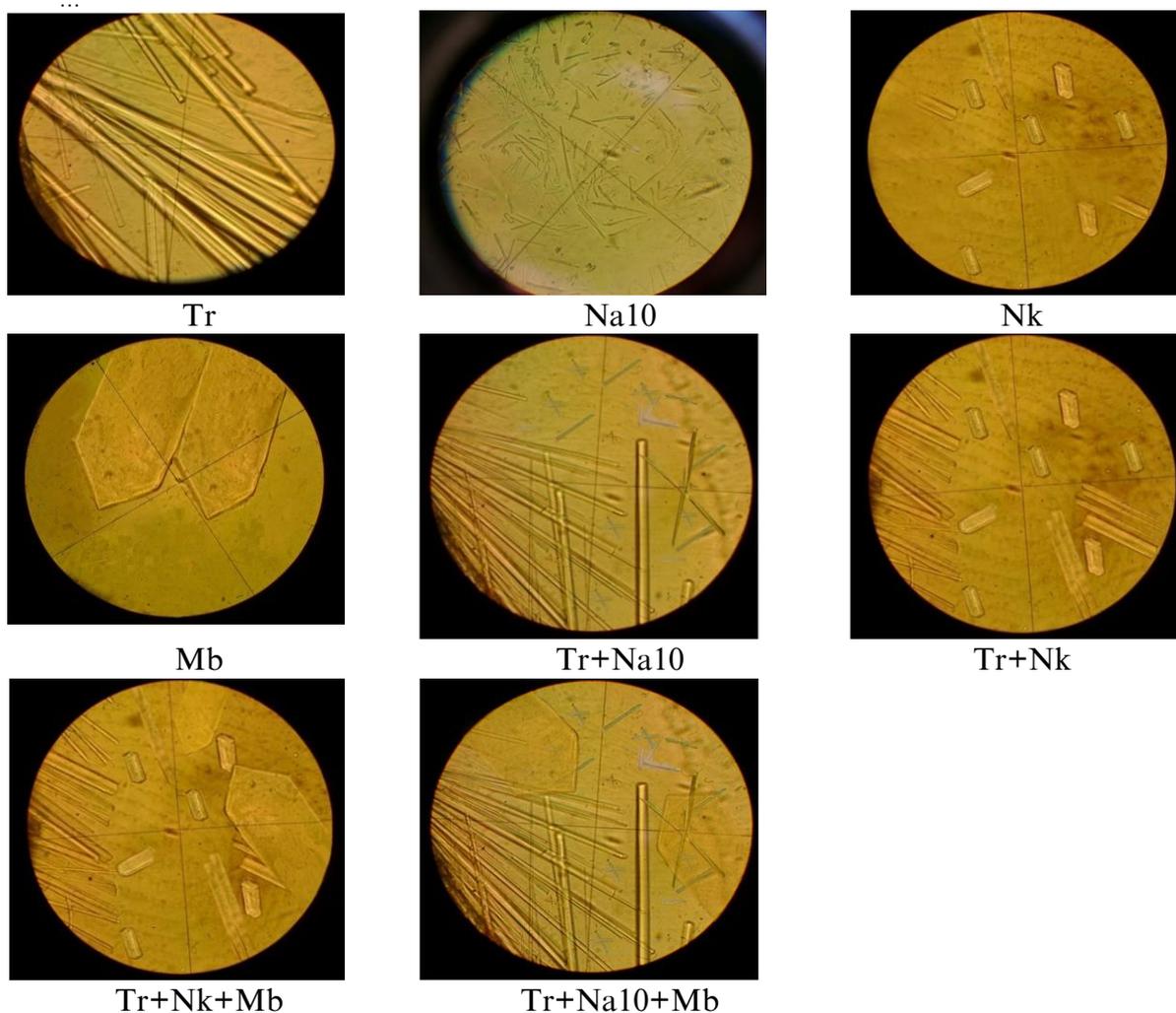
Расми 4.6. – Диаграмма ҳалшавандагии системаи  $5\text{Na}^+ \text{-SO}_4^{2-} \text{-CO}_3^{2-} \text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$

Тавсифи мундариҷаи ифодаҳои геометрӣ (майдонҳо, қачхатҳо, нуқтаҳо)-и расми 4.5 дар ҷадвали 4.5 оварда шудааст ва натиҷаҳои таҳлили кристаллооптикийи фазаҳои саҳти мувозинатӣ (микроаксҳо) дар расми 4.7 пешниҳод гардидаанд.

Ҷадвали 4.5. – Шарҳи ифодаҳои геометрии дар расми 4.5

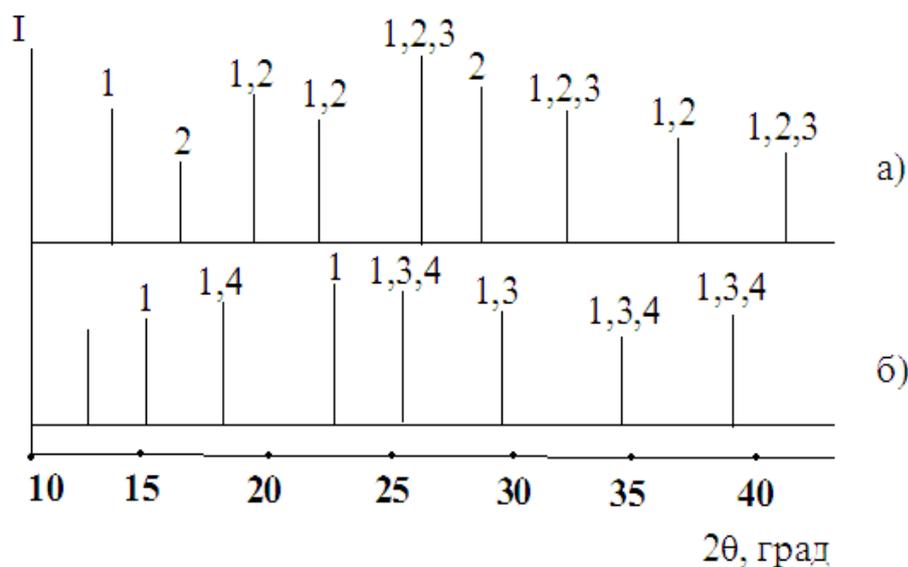
Нишонаҳои мавқеи шаклҳои геометрӣ дар диаграмма	Рамзкушой кардани нишонаҳо
1	2
$e_1$	Ҳалшавандагии сулфати натрий дар об
$e_2$	Ҳалшавандагии карбонати натрий дар об
$e_3$	Ҳалшавандагии гидрокарбонати натрий дар об
$E_1^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Na10 дар системаи $\text{H}_2\text{O}-4\text{Na}^+ \text{-SO}_4^{2-} \text{-CO}_3^{2-}$
$E_2^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Nk дар системаи $\text{H}_2\text{O}-3\text{Na}^+ \text{-SO}_4^{2-} \text{-HCO}_3^-$
$E_3^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Nk+Tr дар системаи $\text{H}_2\text{O}-3\text{Na}^+ \text{-CO}_3^{2-} \text{-HCO}_3^-$
$E_4^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Na10+Tr дар системаи $\text{H}_2\text{O}-3\text{Na}^+ \text{-CO}_3^{2-} \text{-HCO}_3^-$
$E_1^4$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Mb + Na10 + Tr дар системаи $5\text{Na}^+ \text{-SO}_4^{2-} \text{-CO}_3^{2-} \text{-HCO}_3^- \text{-H}_2\text{O}$
$E_2^4$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Tr + Nk + Mb дар системаи $\text{H}_2\text{O}-5\text{Na}^+ \text{-SO}_4^{2-} \text{-CO}_3^{2-} \text{-HCO}_3^-$

1	2
$E_1^3 — E_1^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Na10 дар системаи $H_2O-4Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}$
$E_2^3 — E_2^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Nk дар системаи $H_2O-3Na^+-SO_4^{2-}-HCO_3^-$
$E_3^3 — E_2^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Nk+Tr дар системаи $H_2O-4Na^+-CO_3^{2-}-HCO_3^-$
$E_4^3 — E_1^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Na10+Tr дар системаи $H_2O-4Na^+-CO_3^{2-}-HCO_3^-$
$E_1^3 Na_2SO_4 E_2^3 E_2^4 E_1^4 E_1^3$	Худуди майдони кристаллизатсионии Mb
$E_1^3 Na_2CO_3 E_4^3 E_1^4 E_1^3$	Худуди майдони кристаллизатсияи Na10
$E_4^3 E_1^4 E_2^4 E_3^3 E_4^3$	Худуди майдони кристаллизатсионии Tr
$E_2^3 NaHCO_3 E_3^3 E_2^4 E_2^3$	Худуди майдони кристаллизатсионии Nk



Расми 4.7. – Микроаксҳои фазаҳои мувозинатии системаи  $5Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-HCO_3^- - H_2O$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$

Дар расми 4.8 диаграммаҳои штрихии фазаҳои сахти мувозинатии системаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  пешниҳод шудаанд, ки мувофиқи маълумоти корҳои [243-248] тасвир карда шудаанд.



Расми 4.8. – Штрих рентгенограммаи фазаҳои сахти мувозинатии системаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$ : а) Mb+Tr+Na10 (нуқтаи  $E_1^4$ ); б) Mb+Nk+Tr (нуқтаи  $E_2^4$ ).

1 – Mb; 2 - Na10; 3 – Tr; 4 – Nk

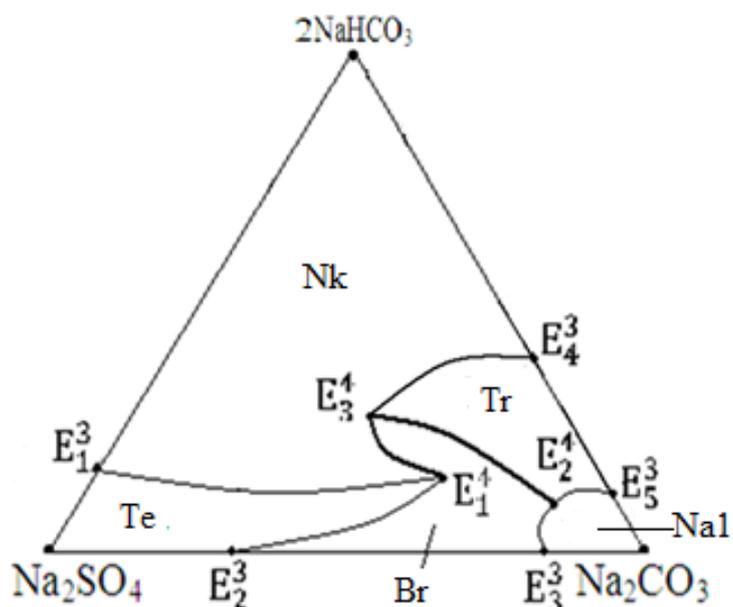
Ҳалшавии системаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$ . Барои омӯхтани ҳалшавандагии системаи чоркомпонентаи физико-химиявии таҳқиқшавандаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  қаблан маълумоти ҳалшавандагии чунин зерсистемаҳои секомпонентаи зерини  $4\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ ,  $3\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  ва  $3\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  – ро доништан зарур аст. Фазаҳои сахти мувозинатии системаи таҳқиқшаванда дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$  инҳоянд:  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – тенардит (Te);  $\text{Na}_2\text{CO}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$  – Na1;  $\text{NaHCO}_3$  – нахколит (Nk);  $\text{Na}_2\text{CO}_3\cdot\text{NaHCO}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – трона (Tr);  $\text{Na}_2\text{CO}_3\cdot\text{Na}_2\text{SO}_4$  – беркеит (Br). Барои таҷрибаҳо реактивҳои зерин истифода шуданд:  $\text{NaHCO}_3$  (навъи - «х.ч»);  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (навъи - «ч»);  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (навъи - «ч»).

Дар ҷадвали 4.6 маълумот оид ба ҳалшавӣ дар нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента, ки аз адабиёт гирифта шудаанд [108, 109] ва сатҳи таркиби чоркомпонента аз ҷониби мо ба даст омадаанд [249, 250] пешниҳод шудаанд.

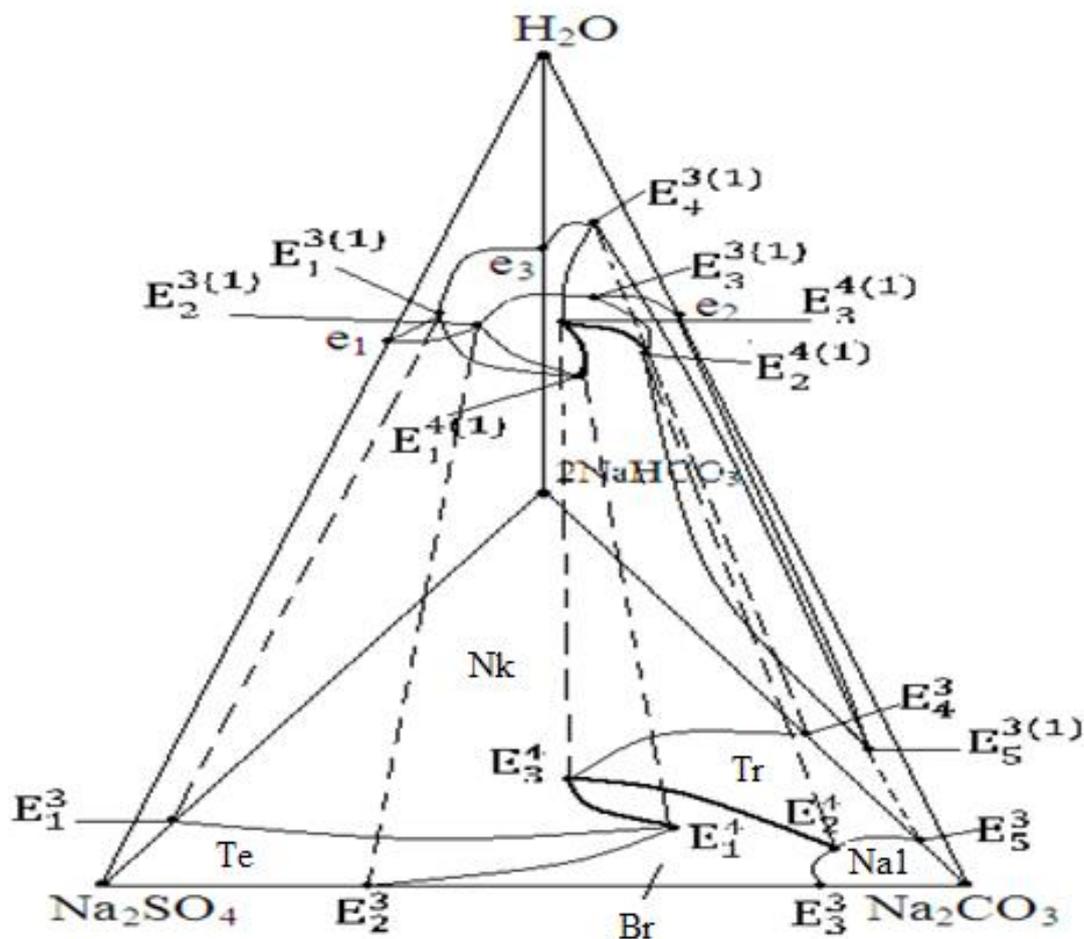
Чадвали 4.6. – Ҳалшавӣ дар нуқтаҳои нонвариантии системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$

№ нуқта	Таркиби фазаи моеъ, мас.%				Таркиби фазаи сахт
	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{NaHCO}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	
$e_1$	31.80	-	-	68.20	Te
$e_2$	-	32.10	-	67.90	Na1
$e_3$	-	-	12.7	87.30	Nk
$E_1^3$	29.65	-	4.05	66.30	Te+Nk
$E_2^3$	22.47	10.52	-	67.61	Te+Br
$E_3^3$	5.87	28.52	-	65.61	Br+Na1
$E_4^3$	-	16.92	6.30	76.78	Nk+Tr
$E_5^3$	-	31.80	0.85	67.35	Tr+Na1
$E_1^4$	12.64	21.31	2.51	54.76	Te+Nk+Br
$E_2^4$	4.30	24.36	0.64	58.03	Br+Tr+Na1
$E_3^4$	7.52	9.14	3.24	60.08	Tr+Nk+Br

Дар асоси маълумоти чадвали 4.6 аз ҷониби мо бори нахуст диаграммаи ҳалшавии системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$  сохта шуд, ки дар расми 4.9 дар шакли секунҷаи баробартароф нишон дода шудааст. Қисми обӣ-намакии диаграммаи сохташуда дар расми 4.10 пешниҳод гардидааст.



Расми 4.9. – Қисми намакии диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$



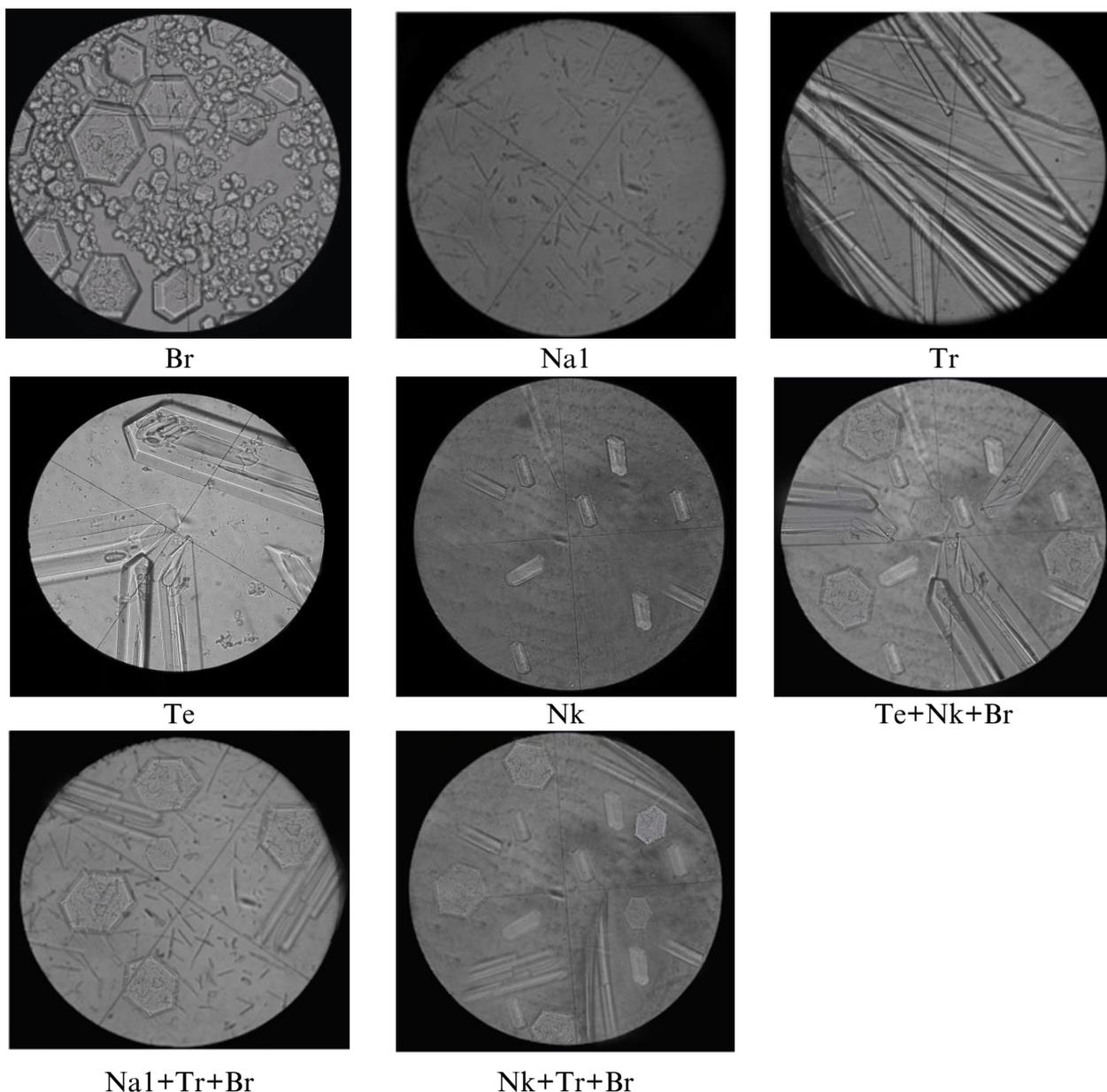
Расми 4.10. – Диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $50\text{ }^\circ\text{C}$

Тавсифи мундариҷаи намудҳои геометрӣ (майдонҳо, қачхатҳо, нуқтаҳо)-и расми 4.10 дар ҷадвали 4.7 оварда шудааст ва натиҷаҳои таҳлили кристаллооптикаи фазаҳои саҳти мувозинатӣ (микроаксҳо) дар расми 4.11 пешниҳод гардидаанд.

Ҷадвали 4.7. – Тавсифи мундариҷаи шаклҳои геометрии расми 4.10

Нишонаҳои мавқеи шаклҳои геометрӣ дар диаграмма	Рамзкушӣ кардани нишонаҳо
1	2
$e_1$	Дар об ҳалшавии сулфати натрий
$e_2$	Дар об ҳалшавии карбонати натрий
$e_3$	Дар об ҳалшавии гидрокарбонати натрий
$E_1^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $\text{Te} + \text{Nk}$ дар системаи $\text{H}_2\text{O} - 3\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^-$

1	2
$E_2^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $Te+Br$ дар системаи $H_2O-4Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}$
$E_3^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $Br+NaI$ дар системаи $H_2O-4Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}$
$E_4^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $Nk+Tr$ дар системаи $H_2O-3Na^+-CO_3^{2-}-HCO_3^-$
$E_5^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $NaI+Tr$ дар системаи $H_2O-3Na^+-CO_3^{2-}-HCO_3^-$
$E_1^4$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $Te+Nk+Br$ дар системаи $H_2O-5Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-HCO_3^-$
$E_2^4$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $NaI+Tr+Br$ дар системаи $H_2O-5Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-HCO_3^-$
$E_3^4$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $Tr+Nk+Br$ дар системаи $H_2O-5Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-HCO_3^-$
$E_1^3 — E_1^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $Te+Nk$ дар системаи $H_2O-3Na^+-SO_4^{2-}-HCO_3^-$
$E_2^3 — E_1^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $Te+Br$ дар системаи $H_2O-4Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}$
$E_3^3 — E_2^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $Br+NaI$ дар системаи $H_2O-4Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}$
$E_4^3 — E_3^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияи $Nk+Tr$ дар системаи $H_2O-3Na^+-CO_3^{2-}-HCO_3^-$
$E_5^3 — E_2^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияи $Tr+NaI$ дар системаи $H_2O-3Na^+-CO_3^{2-}-HCO_3^-$
$E_1^3Na_2SO_4E_2^3E_1^4E_1^3$	Ҳудуди майдони кристаллизатсияи тенардит дар системаи $H_2O-5Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-HCO_3^-$
$E_3^3Na_2CO_3E_5^3E_2^4E_3^3$	Ҳудуди майдони кристаллизатсияи термонатрит дар системаи $H_2O-5Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-HCO_3^-$
$E_2^3E_1^4E_3^4E_2^4E_3^3E_2^3$	Ҳудуди майдони кристаллизатсияи беркеит дар системаи $H_2O-5Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-HCO_3^-$
$E_1^3NaHCO_3E_4^3E_3^4E_1^4E_1^3$	Ҳудуди майдони кристаллизатсияи нахколит дар системаи $H_2O-5Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-HCO_3^-$
$E_4^3E_3^4E_2^4E_3^3E_4^3$	Ҳудуди майдони кристаллизатсияи трона дар системаи $H_2O-5Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-HCO_3^-$



Расми 4.11. – Микроаксҳои фазаҳои сахти мувозинатии системаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$

Ҳалшавии системаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$ . Дар ин бахш мо қаблан зерсистемаҳои системаи чоркомпонентаи таҳқиқшавандаи  $5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  – ро омӯхтем, ки онҳоро ташкил медиҳад:  $4\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ ;  $3\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  ва  $3\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$ .

Дар ҳарорати мазкур фазаҳои сахти мувозинатии системаи таҳқиқшаванда дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$  инҳоянд:  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – тенардит (Te);  $\text{Na}_2\text{CO}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$  – Na1;  $\text{NaHCO}_3$  – нахколит (Nk);  $\text{Na}_2\text{CO}_3\cdot\text{NaHCO}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – трона (Tr);  $\text{Na}_2\text{CO}_3\cdot\text{Na}_2\text{SO}_4$  – беркеит (Br).

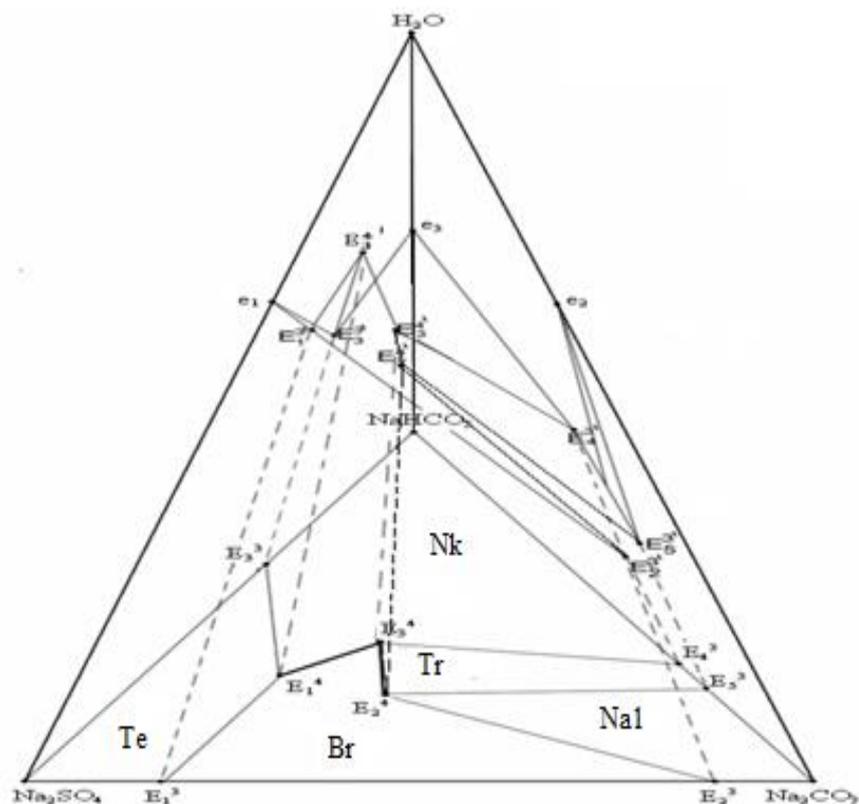
Барои таҳқиқи эксперименталӣ реактивҳои зерин истифода шуданд:  $\text{NaHCO}_3$  (навъи - «х.ч»);  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (навъи - «ч»);  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (навъи - «х.ч.»). Дар ҷадвали 4.8 маълумот оид ба ҳалшавӣ дар нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби секомпонента аз адабиёт гирифта шуда [108, 109] ва сатҳи таркиби чоркомпонента бошад аз ҷониби мо [128, 251] муайян карда шудаанд.

**Ҷадвали 4.8. – Ҳалшавандагии нуқтаҳо дар системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  барои  $75\text{ }^\circ\text{C}$**

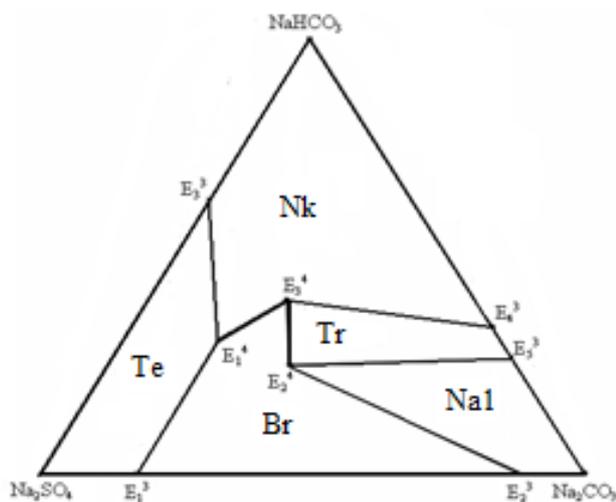
№ нуқтаҳо	Таркиби фазаҳои моеъ, мас.%				Фазаҳои мувозинатӣ
	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{NaHCO}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	
e <sub>1</sub>	30.50	-	-	69.50	Te
e <sub>2</sub>	-	31.20	-	68.80	Na1
e <sub>3</sub>	-	-	16.10	83.90	Nk
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	25.00	6.40	-	88.20	Te+Br
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	3.80	28.90	-	67.30	Br+ Na1
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	7.90	-	12.72	79.38	Te+Nk
E <sub>4</sub> <sup>3</sup>	-	17.01	9.05	73.94	Tr+Nk
E <sub>5</sub> <sup>3</sup>	-	30.40	10.91	58.69	Na1+Tr
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	17.40	6.08	10.23	66.29	Te+Nk+Br
E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	20.13	16.28	11.54	52.05	Na1+Br+Tr
E <sub>3</sub> <sup>4</sup>	20.28	15.72	13.45	50.55	Br+Tr+Nk

Аз ҷадвали 4.8 мушоҳида мегардад, ки ҳалшавандагии намакҳо вобаста ба моддаи навбатии иловашуда кам шудаанд, ки ин ба ҳосилшавии фазаи нав дар системаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  алоқаманди дорад. Мисол, ҳалшавандагии сулфати натрий дар ҳарорати додашуда аз 30,5 то бар 17,4 кам мешавад, ки ин миқдори камшудаи намак барои ҳосил нудани намаки омехтаи беркеит сарф мешавад ва ғ.

Дар асоси маълумоти ин ҷадвали 4.8 аз ҷониби мо [251, 252] бори нахуст диаграммаи ҳалшавии системаи чоркомпонентаи  $5\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$  сохта шуд, ки дар расми 4.12 нишон дода шудааст. Қисми намакии диаграммаи сохташуда дар шакли секунҷаи баробартараф дар расми 4.13 пешниҳод гардид.



Расми 4.12. – Диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  изотермаи дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$



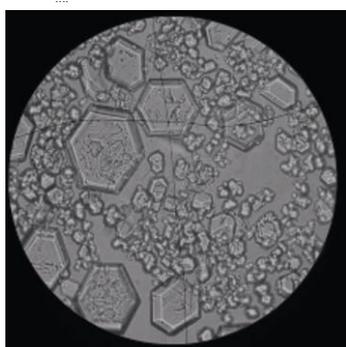
Расми 4.13. – Қисми намакии диаграммаи ҳолатии системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$

Тавсифи мундариҷаи намудҳои геометрии майдонҳо, қачхатҳо, нуқтаҳои расми 4.12 дар ҷадвали 4.9 оварда шудааст, ҳамзамон натиҷаҳои таҳлили кристаллооптикии [229-234] фазаҳои саҳти мувозинатӣ (микросуратҳо) дар расми 4.14 пешниҳод гардидаанд.

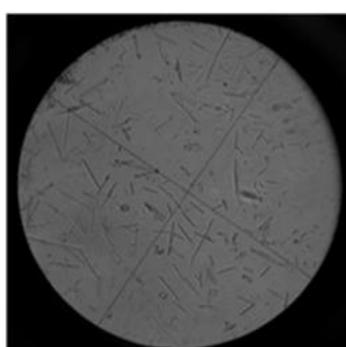
Ҷадвали 4.9. – Тавсифи мундариҷаи шаклҳои геометрии расми 4.12

Нишонаҳои мавқеи шаклҳои геометрии дар диаграмма	Рамзушои қардани нишонаҳо
1	2
e <sub>1</sub>	Ҳалшавандагии сулфати натрий дар об
e <sub>2</sub>	Ҳалшавандагии карбонати натрий дар об
e <sub>3</sub>	Ҳалшавандагии гидрокарбонати натрий дар об
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Те+Вг дар системаи H <sub>2</sub> O-4Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии NaI+Вг дар системаи H <sub>2</sub> O-4Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Те+Nk дар системаи H <sub>2</sub> O-3Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>4</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Nk+Tr дар системаи H <sub>2</sub> O-3Na <sup>+</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>5</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии NaI+Tr дар системаи H <sub>2</sub> O-3Na <sup>+</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияи Те+Вг+Nk дар системаи H <sub>2</sub> O-5Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии NaI+Tr+Вг дар системаи H <sub>2</sub> O-5Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>3</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Тл+Tr+Вг дар системаи H <sub>2</sub> O-5Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>1</sub> <sup>3</sup> —E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Те+Вг дар системаи H <sub>2</sub> O-4Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>2</sub> <sup>3</sup> —E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии NaI+Вг дар системаи H <sub>2</sub> O-4Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>3</sub> <sup>3</sup> —E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Те+Nk дар системаи H <sub>2</sub> O-3Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>4</sub> <sup>3</sup> —E <sub>3</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Nk+Tr дар системаи H <sub>2</sub> O-3Na <sup>+</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>5</sub> <sup>3</sup> —E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии NaI+Tr дар системаи H <sub>2</sub> O-3Na <sup>+</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>1</sub> <sup>3</sup> Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> E <sub>3</sub> <sup>3</sup> E <sub>1</sub> <sup>4</sup> E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	Худуди кристаллизатсияи тенардит дар системаи H <sub>2</sub> O-5Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>

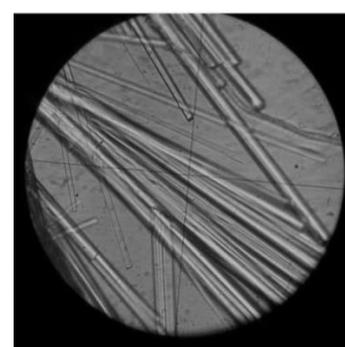
1	2
$E_2^3 Na_2 CO_3 E_5^3 E_2^4 E_2^3$	Ҳудуди кристаллизатсияи термонатрит дар системаи $H_2O-5Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-HCO_3^-$
$E_2^3 E_2^4 E_3^4 E_1^3 E_1^3 E_2^3$	Ҳудуди кристаллизатсияи беркеит дар системаи $H_2O-5Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-HCO_3^-$
$E_3^3 NaHCO_3 E_4^3 E_3^4 E_1^4 E_3^3$	Ҳудуди кристаллизатсияи нахколит дар системаи $H_2O-5Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-HCO_3^-$
$E_4^3 E_3^4 E_2^4 E_5^3 E_4^3$	Ҳудуди кристаллизатсияи трона дар системаи $H_2O-5Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-HCO_3^-$



Br



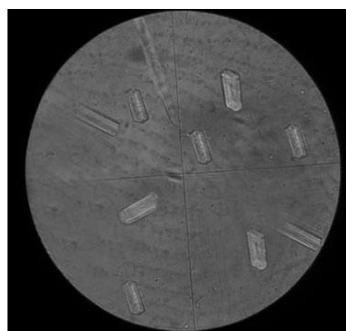
Na1



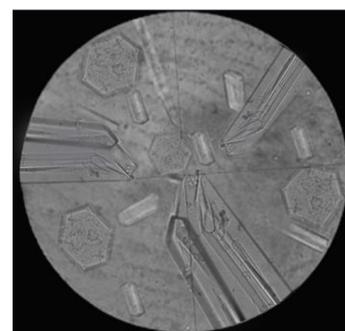
Tr



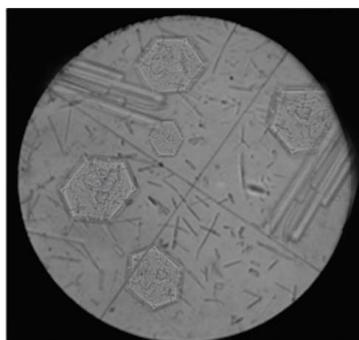
Te



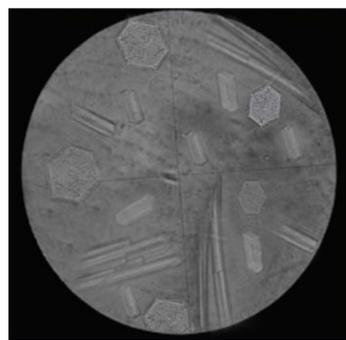
Nk



Te+Nk+Br



Na1+Tr+Br



Nk+Tr+Br

Расми 4.14. – Микроаксҳои фазаҳои мувозинатии системаи  $5Na^+-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-HCO_3^- -H_2O$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$

### 4.3. Омӯзиши ҳалшавандагии системаи $3\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-2HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ дар фосилаи $0 \div 75 \text{ }^\circ\text{C}$

Қисмҳои таркибии ин системаи чоркомпонента сулфат, карбонат ва гидрокарбонати калсий мебошанд, ки дар ҳароратҳои 0, 25, 50 ва  $75 \text{ }^\circ\text{C}$  дар шакли  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Gp),  $\text{CaCO}_3$  (Cc) ва  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  (CaH) [253-259] кристаллизатсия мешаванд. Барои эксперимент реактивҳои зерин истифода шуданд:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (навъи - «х.ч.»);  $\text{CaCO}_3$  (навъи - «ч.»);  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  (навъи - «ч.»).

Дар ҷадвали 4.10 маълумот оид ба ҳалшавии пайвастаҳои инфиродӣ, дар нуқтаҳои сечандаи нонвариантии система ҳам дар сатҳи таркиби секомпонента [253-259] ва дар сатҳи таркиби чоркомпонента, ки аз ҷониби мо ба даст омадаанд, пешниҳод шудаанд.

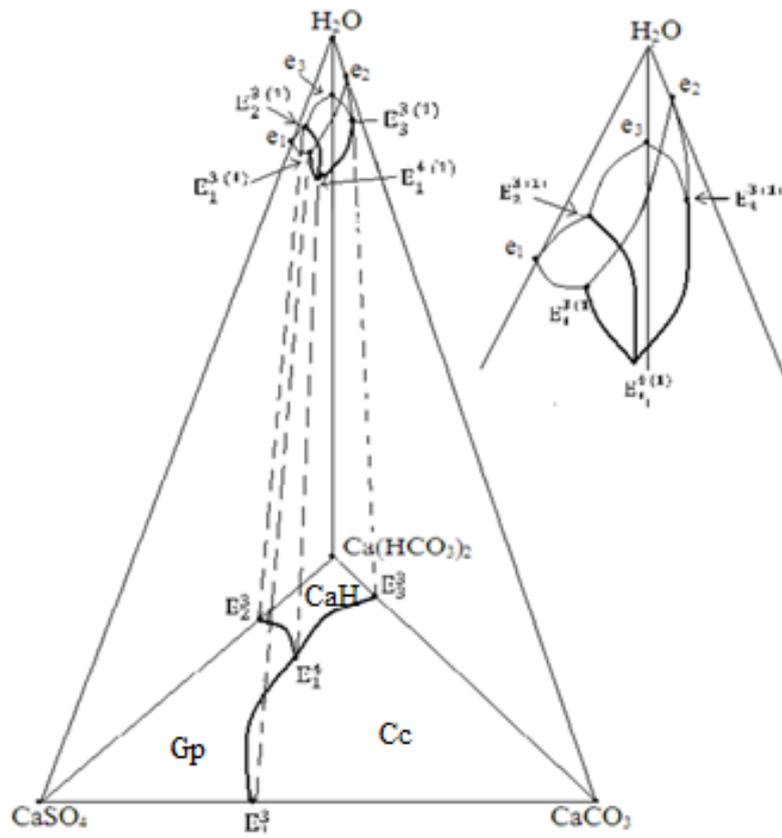
Ҷадвали 4.10. – Ҳалшавандагӣ дар системаи  $3\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-2HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$

№ нуқта	Таркиби фазаҳои моеъ, мас.%				Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
	$\text{CaSO}_4$	$\text{CaCO}_3$	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{H}_2\text{O}$	
1	2	3	4	5	6
Изотермаи $0 \text{ }^\circ\text{C}$					
e <sub>1</sub>	0.176	-	-	99.824	Gp
e <sub>2</sub>	-	0.0031	-	99.996	Cc
e <sub>3</sub>	-	-	0.144	99.856	CaH
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	0.0217	0.0014	-	99.964	Gp+Cc
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	-	0.0014	0.083	99.90	Cc+CaH
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	0.0217	-	0.083	99.985	CaH+Cp
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	0.0217	0.0014	0.083	99.88	Cc+CaH+Gp
Изотермаи $25 \text{ }^\circ\text{C}$					
e <sub>1</sub>	0.213	-	-	99.787	Gp
e <sub>2</sub>	-	0.0056	-	99.994	Cc
e <sub>3</sub>	-	-	0.0160	99.984	CaH
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	0.175	0.0038	-	99.821	Gp+Cc
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	0.186	-	0.0168	99.797	Gp+CaH
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	-	0.0046	0.0179	99.977	Cc+CaH
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	0.218	0.00535	0.0225	99.754	Gp+Cc+CaH

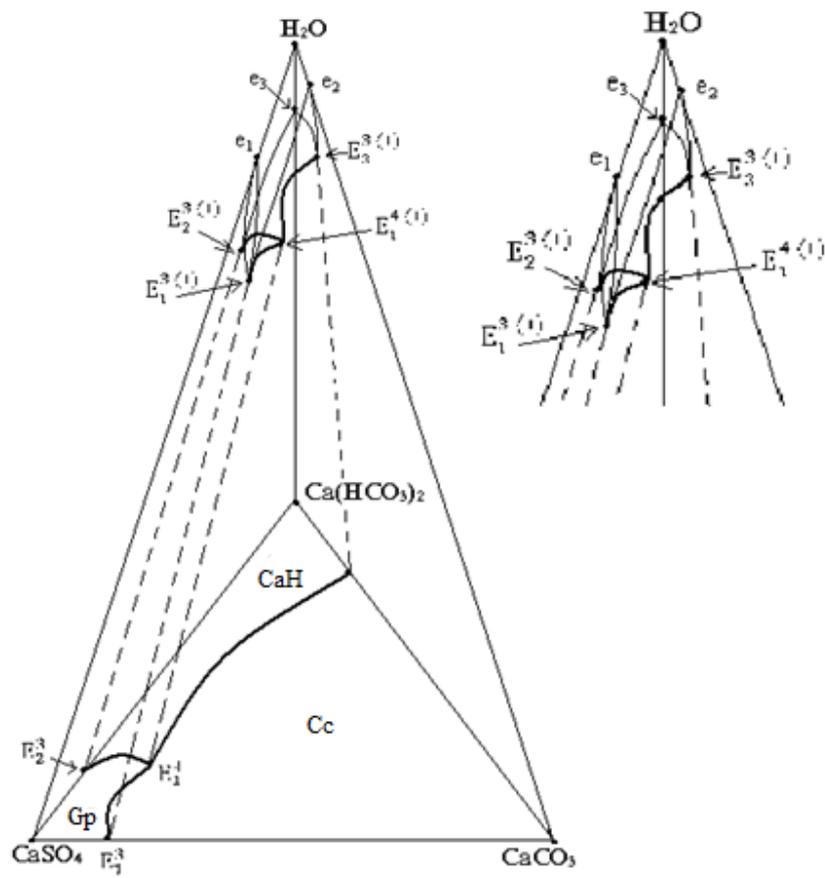
<i>Идомаи ҷадвали 4.10.</i>					
1	2	3	4	5	6
Изотермаи 50 °C					
e <sub>1</sub>	0.2100	-	-	99.7900	Gp
e <sub>2</sub>	-	0.0054	-	99.9946	Cc
e <sub>3</sub>	-	-	0.0145	99.9855	CaH
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	0.1070	0.0042	-	99.8888	Gp+Cc
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	-	0.0047	0.0125	99.9828	Cc+CaH
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	0.2580	-	0.0135	99.7285	CaH+Gp
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	0.1940	0.0063	0.0210	99.7787	Cc+CaH+Gp
Изотермаи 75 °C					
e <sub>1</sub>	0.3120	-	-	99.6880	Gp
e <sub>2</sub>	-	0.0076	-	99.9924	Cc
e <sub>3</sub>	-	-	0.0145	99.9855	CaG
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	0.1284	0.0053	-	99.8663	Gp+Cc
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	-	0.0059	0.0115	99.9826	Cc+CaG
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	0.3350	-	0.0128	99.6522	CaG+Gp
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	0.2710	0.0082	0.0207	99.7208	Cc+Gp+CaG

Дар асоси маълумоти ҷадвали 4.10 аз ҷониби мо диаграммаи ҳалшавии системаи чоркомпонентаи  $3\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-2HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$  дар фосилаи ҳарорати 0 – 75 °C сохта шуд, ки дар расми 4.15 а) барои изотермаи 0 °C, б) барои изотермаи 25 °C, в) барои изотермаи 50 °C ва г) барои изотермаи 75 °C нишон дода шудаанд.

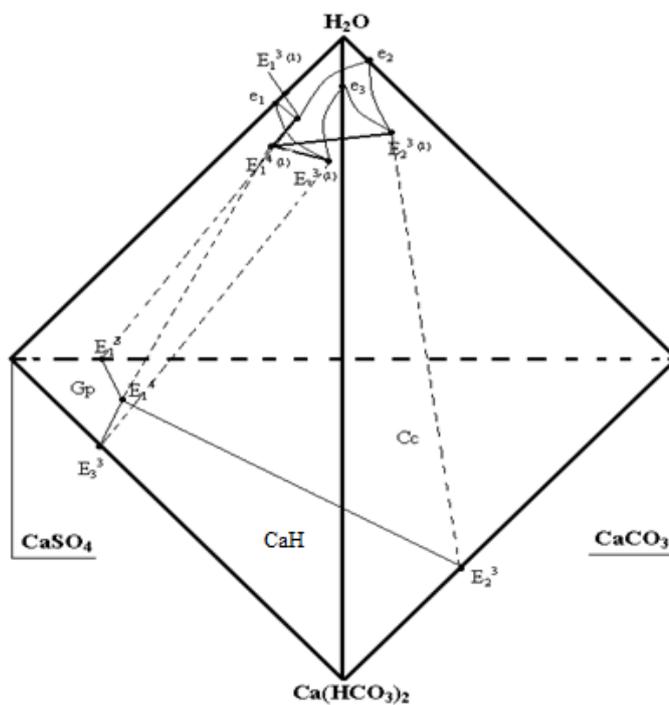
Тибқи қоидаи Фашанг паҳлуҳои секунча се системаи обии секомпонентаро ифода мекунад, ки онҳо: сулфати калсий-карбонати калсий; сулфати калсий-гидрокарбонати калсий ва карбонати калсий-гидрокарбонати калсий мебошанд. Системаҳои мазкур дар диаграмма чунин мавқеъ гирифтаанд:  $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  дар қисми поён;  $\text{CaSO}_4\text{-Ca(HCO}_3)_2\text{-H}_2\text{O}$  дар қисми чапи диаграмма ва  $\text{CaCO}_3\text{-Ca(HCO}_3)_2\text{-H}_2\text{O}$  дар қисми рост аз поён ба болои диаграмма. Ҳар як компоненти алоҳида бо ҳалқунанда ба остови координатӣ бо хатти моновариантии консентратсионӣ ифода гардидааст. Координатаҳои дигари шакли геометрӣ мувофиқи маълумоти ҳалшавандагӣ бо истифода аз усули массентрӣ муайян карда шудааст.



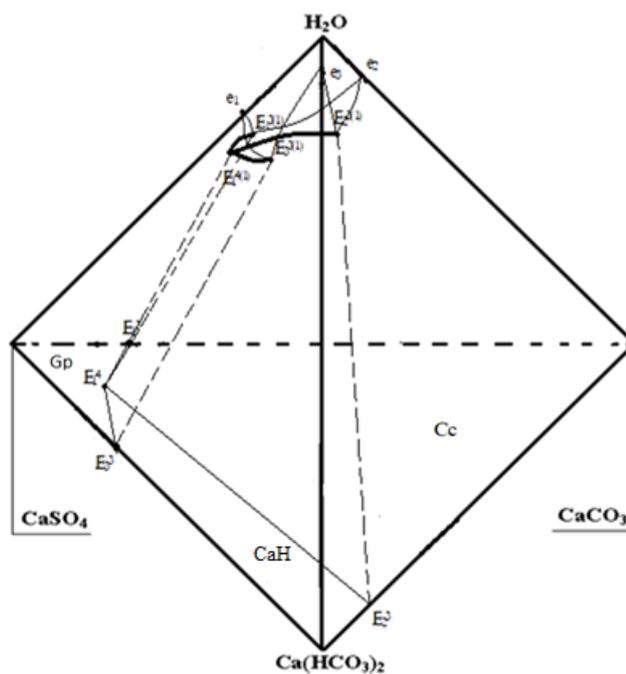
a)



b)



в)



г)

Расми 4.15. – Диаграммаи ҳалшавандагии  $3\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-2HCO}_3^-\text{-H}_2\text{O}$ :

а) 0 °C; б) 25 °C; в) 50 °C; г) 75 °C

Тавре ки аз расми 4.15 бармеояд, дар системаи чоркомпонентаи таҳқиқшаванда майдони кристаллизатсияи Cc ( $\text{CaCO}_3$ ) қисми назарраси онро ишғол мекунад, ки ин бо ҳалшавии ками ин намак дар шароитҳои овардашуда тавсиф меёбад.

Тавсифи мундариҷаи намудҳои геометрӣ (майдонҳо, қачхатҳо, нуқтаҳо)-и расми 4.15 дар ҷадвали 4.11 оварда шудааст.

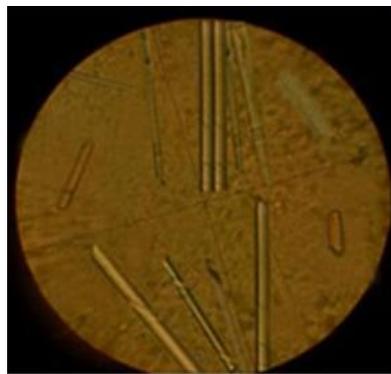
Ҷадвали 4.11. – Тавсифи мундариҷаи шаклҳои геометрии расми 4.15

Нишонаҳои мавқеи шаклҳои геометрӣ дар диаграмма	Рамзкушой кардани нишонаҳо
1	2
$e_1$	Мавқеи ҳалшавии $\text{CaSO}_4$ дар сатҳи обии диаграмма
$e_2$	Мавқеи ҳалшавии $\text{CaCO}_3$ дар сатҳи обии диаграмма
$e_3$	Мавқеи ҳалшавии $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ дар сатҳи обии диаграмма
$E_1^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $\text{Gr}+\text{Cc}$ дар системаи $\text{H}_2\text{O}-2\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}$
$E_2^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $\text{Gr}+\text{CaH}$ дар системаи $\text{H}_2\text{O}-2\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-2\text{HCO}_3^-$
$E_3^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $\text{Cc}+\text{CaH}$ дар системаи $\text{H}_2\text{O}-2\text{Ca}^{2+}-\text{CO}_3^{2-}-2\text{HCO}_3^-$
$E_1^4$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $\text{Gr}+\text{Cc}+\text{CaH}$ дар системаи $3\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-2\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$
$e_1-E_1^3$	Қаҷхати кристаллизатсионии $\text{Gr}$ дар системаи $\text{H}_2\text{O}-2\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}$
$e_1-E_2^3$	Қаҷхати кристаллизатсионии гипс дар системаи $\text{H}_2\text{O}-2\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-2\text{HCO}_3^-$
$e_2-E_1^3$	Қаҷхати кристаллизатсионии $\text{Cc}$ дар системаи $\text{H}_2\text{O}-3\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}$
$e_2-E_3^3$	Қаҷхати кристаллизатсионии $\text{Cc}$ дар системаи $\text{H}_2\text{O}-2\text{Ca}^{2+}-\text{CO}_3^{2-}-2\text{HCO}_3^-$
$e_3-E_2^3$	Қаҷхати кристаллизатсионии $\text{CaH}$ дар системаи $\text{H}_2\text{O}-2\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-2\text{HCO}_3^-$
$e_3-E_3^3$	Қаҷхати кристаллизатсияи $\text{CaH}$ дар системаи $\text{H}_2\text{O}-2\text{Ca}^{2+}-\text{CO}_3^{2-}-2\text{HCO}_3^-$
$E_1^3 - E_1^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $\text{Gr}+\text{Cc}$ дар системаи $\text{H}_2\text{O}-2\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}$
$E_2^3 - E_1^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $\text{Gr}+\text{CaH}$ дар системаи $\text{H}_2\text{O}-2\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-2\text{HCO}_3^-$

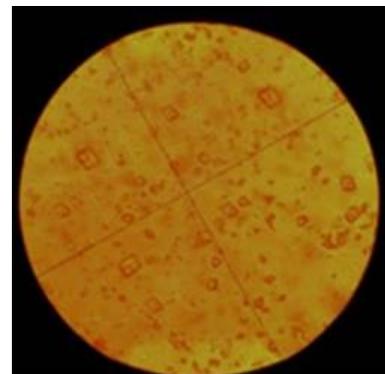
1	2
$E_3^3 - E_1^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии СаН+Сс дар системаи $H_2O-2Ca^{2+}-CO_3^{2-}-2HCO_3^-$
$e_1E_1^3E_1^4E_2^3e_1$	Ҳудуди майдони кристаллизатсияи гипс дар системаи $H_2O-3Ca^{2+}-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-2HCO_3^-$
$e_3E_2^3E_1^4E_3^3e_3$	Ҳудуди майдони кристаллизатсияи гидрокарбонати калсий дар системаи $H_2O-3Ca^{2+}-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-2HCO_3^-$
$e_2E_1^3E_1^4E_3^3e_2$	Ҳудуди майдони кристаллизатсияи калсит дар системаи $H_2O-3Ca^{2+}-SO_4^{2-}-CO_3^{2-}-2HCO_3^-$

Тавре ки дар боло қайд гардид ҳолати расидани мувозинатии системаи таҳқиқшаванда бо усули кристаллооптикӣ [229-234] назорат карда шуд, яъне тавассути мушоҳидаи фазаҳои саҳти таҳшин бо ёрии микроскоп ва аксбардории онҳо.

Дар расми 4.16 микроаксҳои фазаҳои саҳти мувозинатии инфиродӣ ва омехтаи онҳо дар нуктаҳои сечанда ва чаҳоркомпонентаи нонвариантӣ пешниҳод шудаанд.



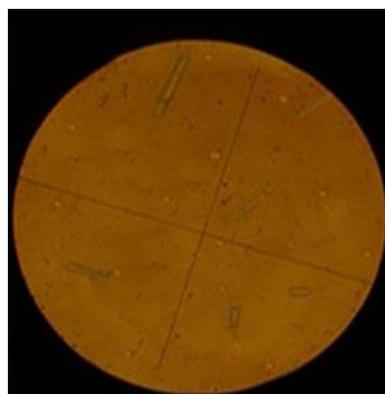
СаН



Сс



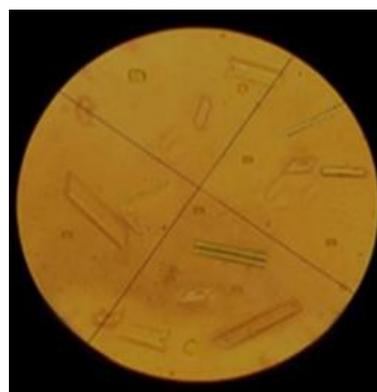
Gp



Сс+СаН



Gp+CaH



Gp+CaH+Cc

Расми 4.16. – Микроаксҳои фазаҳои саҳти мувозинатии системаи  $3\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-2HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  дар фосилаи ҳароратҳои  $0\div 75\text{ }^\circ\text{C}$

#### 4.4. Дар фосилаи ҳароратҳои $0 \div 75\text{ }^\circ\text{C}$ таҳқиқи ҳалшавандагии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$

Ҳалшавӣ дар системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$ . Фазаҳои саҳти мувозинатии системаи таҳқиқшаванда дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$  инҳоянд:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – мирабилит (Mb);  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – гипс (Gp);  $\text{CaCO}_3$  – калсит (Cc);  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – гейлюссит (Gl) [260]. Барои таҷрибаҳо реактивҳои зерин истифода шуданд:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (навъи - «хч»);  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (навъи - «хч»);  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (навъи- «ч»);  $\text{CaCO}_3$  (навъи-«ч»).

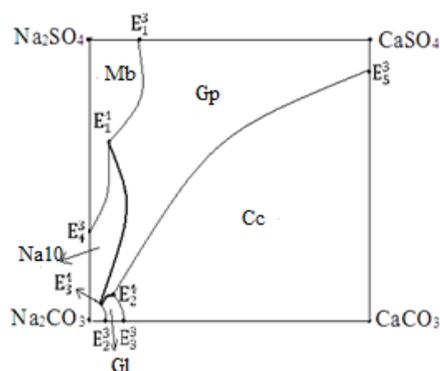
Дар ҷадвали 4.12 маълумот оид ба ҳалшавии пайвастаҳои инфиродӣ, дар баъзе нуқтаҳои сечандаи нонвариантии таркиби секомпонента, ки аз адабиёт [108, 109] гирифта шудаанд ва сатҳи таркиби чоркомпонента, ки аз ҷониби мо [261-263] ба даст омадаанд, пешниҳод шудаанд.

Ҷадвали 4.12. – Ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $0\text{ }^\circ\text{C}$

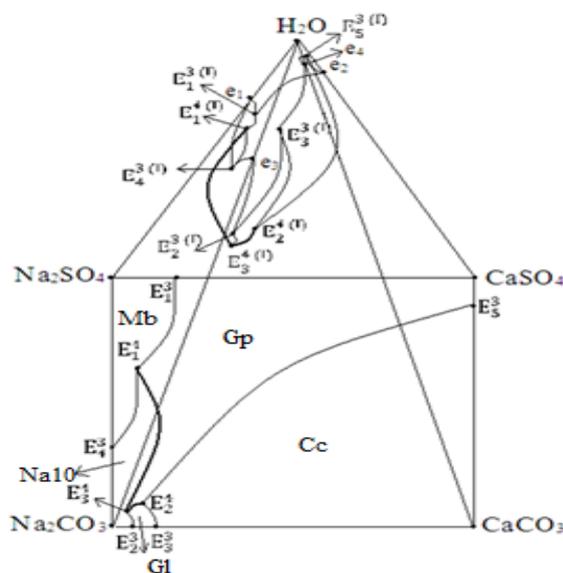
№ нуқта	Таркиби фазаи моеъ, мас.%					Фазаи саҳти мувозинатӣ
	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{CaSO}_4$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{CaCO}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	
1	2	3	4	5	6	7
e <sub>1</sub>	4.300	-	-	-	95.700	Mb
e <sub>2</sub>	-	0.176	-	-	99.824	Gp
e <sub>3</sub>	-	-	6.570	-	93.430	Na10
e <sub>4</sub>	-	-	-	0.0031	99.996	Cc
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	4.340	0.196	-	-	95.460	Mb+Gp
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	-	-	12.00	0.0048	87.990	Na10+Gl

<i>Идомаи ҷадвали 4.12.</i>						
1	2	3	4	5	6	7
$E_3^3$	-	-	4.300	0.0048	95.690	Gl+Cc
$E_4^3$	2.800	-	6.010	-	91.190	Mb+Na10
$E_5^3$	-	0.200	-	0.0045	99.795	Gp+Cc
$E_1^4$	1.967	0.244	1.551	-	96.238	Mb+Na10+Gp
$E_2^4$	-	0.272	11.300	0.00465	88.420	Na10+Gp+Gl
$E_3^4$	-	0.340	18.300	0.0125	81.347	Gp+Gl+Cc

Дар асоси маълумоти дар ҷадвали 4.12 овардашуда аз ҷониби мо диаграммаи ҳалшавии системаи чоркомпонентаи  $Na^+$ ,  $Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$  -  $H_2O$  дар  $0^\circ C$  сохта шуд. Қисми намакии диаграммаи сохташуда дар шакли чоркунҷаи баробартараф дар расми 4.17 ва диаграммаи пурраи обӣ-намакӣ бошад дар расми 4.18 пешниҳод гардидааст.



Расми 4.17. – Қисми намакии диаграммаи ҳолатии системаи  $Na^+$ ,  $Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$  -  $H_2O$  дар  $0^\circ C$



Расми 4.18. – Диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $Na^+$ ,  $Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$  -  $H_2O$  дар  $0^\circ C$

Тавсифи мундариҷаи намудҳои геометрии майдонҳо, қачхатҳо, нуқтаҳои расми 4.18 дар ҷадвали 4.13 оварда шудааст, инчунин натиҷаҳои таҳлили кристаллооптикаи [229-234] фазаҳои саҳти мувозинатӣ (микрофотосуратҳо) дар расми 4.19 пешниҳод гардидаанд. Дар расми 4.20 штрихдиаграммаҳои фазаҳои саҳти мувозинатии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$  пешниҳод шудаанд, ки мувофиқи қорҳои [243-248] тафсир карда шудаанд.

Ҷадвали 4.13. – Тавсифи мундариҷаи шаклҳои геометрии расми 4.18

Нишонаҳои мавқеи шаклҳои геометрии дар диаграмма	Рамзкушоии нишонаҳо
1	2
e <sub>1</sub>	Ҳалшавандагии сулфати натрий дар об
e <sub>2</sub>	Ҳалшавандагии сулфати калсий дар об
e <sub>3</sub>	Ҳалшавандагии карбонати натрий дар об
e <sub>4</sub>	Ҳалшавандагии карбонати калсий дар об
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Gr дар системаи $2\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel 2\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Na10+Gl дар системаи $2\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel 2\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияи Gl+Cc дар системаи $2\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel 2\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E <sub>4</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Na10 дар системаи $4\text{Na}^+ \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E <sub>5</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Gr+Cc Дар системаи $2\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Mb + Na10 + Gr дар системаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Cc+Gr+Gl дар системаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E <sub>3</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Gl + Na10 + Gr дар системаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E <sub>1</sub> <sup>3</sup> — E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Қачхати якҷоя кристаллизатсияшавии Mb + Gr дар системаи $\text{H}_2\text{O}-2\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel 2\text{SO}_4^{2-}$

1	2
$E_2^3 \text{ — } E_3^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Na10+G1 дар системаи $H_2O-2Na^+, Ca^{2+} \parallel 2CO_3^{2-}$
$E_3^3 \text{ — } E_2^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии G1+Cc дар системаи $H_2O-2Na^+, Ca^{2+} \parallel 2CO_3^{2-}$
$E_4^3 \text{ — } E_1^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Na10 дар системаи $H_2O-4Na^+ \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-}$
$E_5^3 \text{ — } E_2^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Cc+Gp дар системаи $H_2O-2Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-}$
$E_1^3 Na_2SO_4 E_4^3 E_1^3 E_1^3$	Худуди кристаллизатсияи майдони мирабилит
$E_4^3 Na_2CO_3 E_2^3 E_3^4 E_1^3 E_4^3$	Худуди кристаллизатсияи майдони декагидрати карбонати натрий
$E_2^3 E_3^4 E_2^4 E_3^3 E_2^3$	Худуди кристаллизатсияи майдони гейлюсит
$E_3^3 CaCO_3 E_5^3 E_2^4 E_3^3$	Худуди кристаллизатсияи майдони калсит
$E_1^3 E_1^4 E_3^4 E_2^4 E_5^3 CaSO_4 E_1^3$	Худуди кристаллизатсияи майдони гипс

...



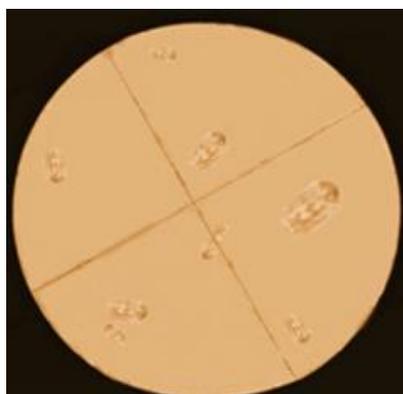
Mb



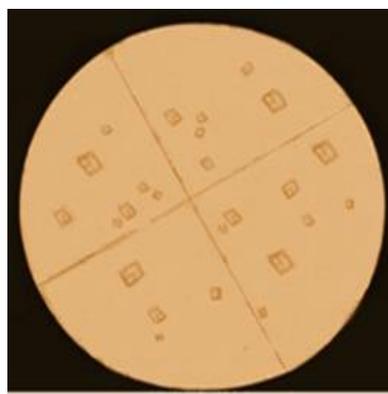
Gp



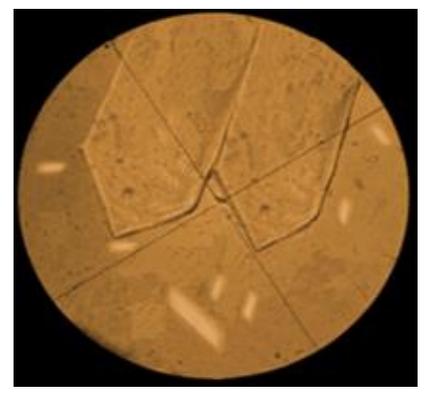
Na10



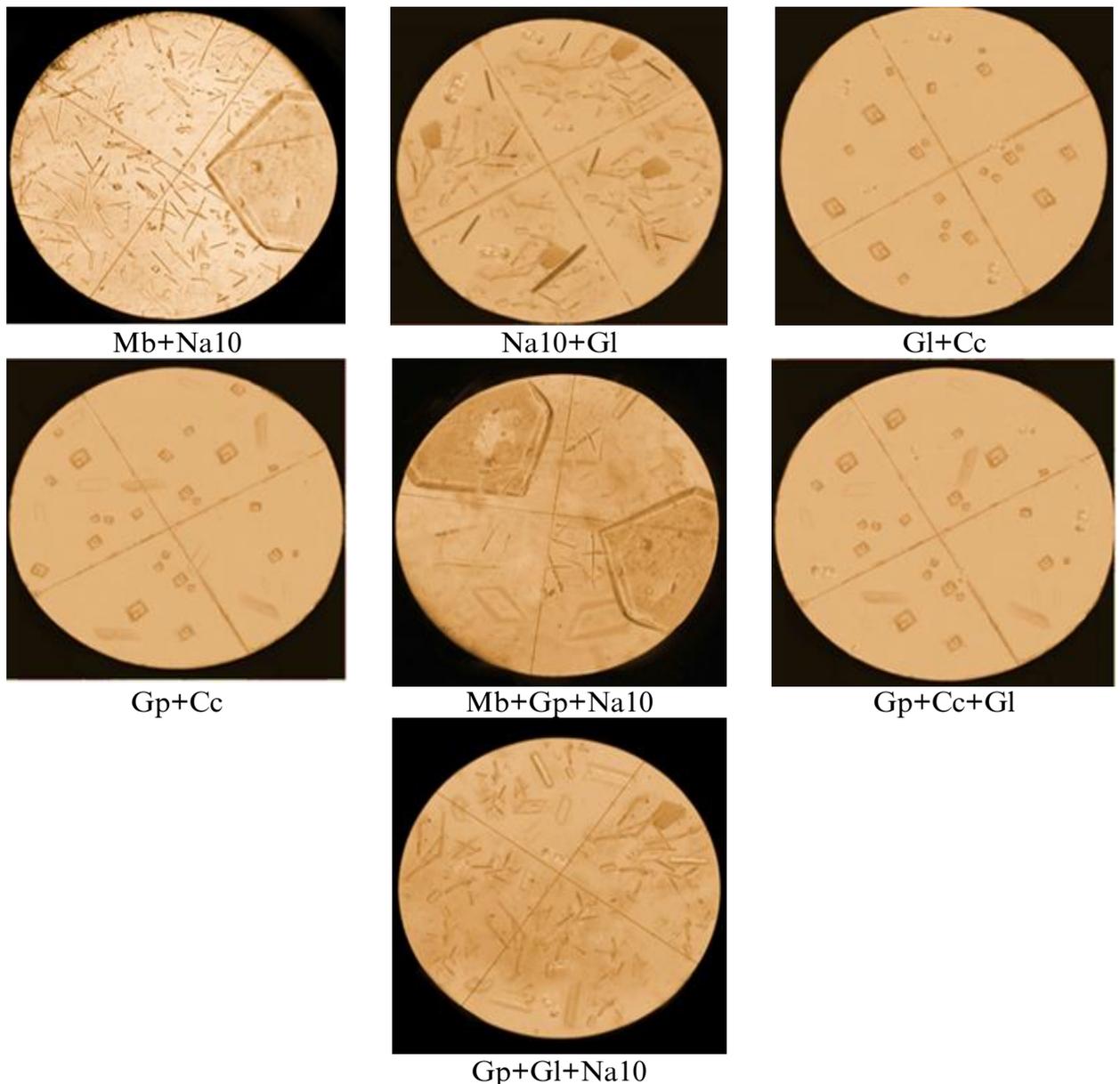
G1



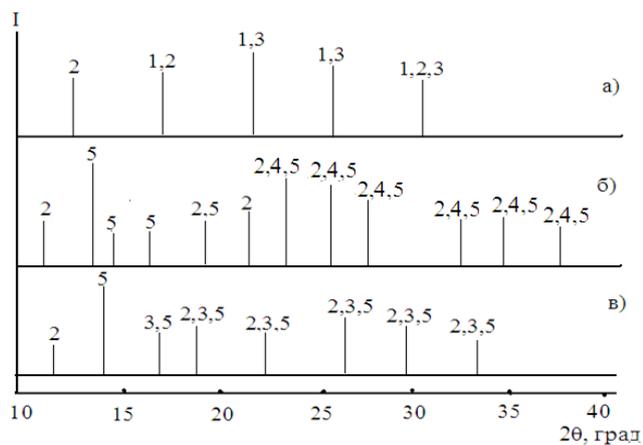
Cc



Gp+Mb



Расми 4.19. – Микроаксҳои фазаҳои мувозинатии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$



Расми 4.20. – Штрих рентгенограммаи фазаҳои саҳти мувозинатии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$ : а)  $\text{Mb} + \text{Gp} + \text{Na10}$  (нуқтаи  $E_1^4$ ); б)  $\text{Gp} + \text{G1} + \text{Cc}$  (нуқтаи  $E_2^4$ ); в)  $\text{Gp} + \text{Na10} + \text{G1}$  (нуқтаи  $E_3^4$ ); 1 – Mb, 2 – Gp, 3 – Na10, 4 – Cc, 5 – G1

Ҳалшавии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$ . Фазаҳои сахти мувозинатии системаи таҳқиқшаванда дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$   $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – мирабилит (Mb);  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – гипс (Gp);  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$  – глауберит (Gb);  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – гейлюссит (Gl);  $\text{CaCO}_3$  – калсит (Cc);  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – декагидрати карбонати натрий Na10 [264]. Барои таҷрибаҳо реактивҳои зерин истифода шуданд:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (навъи-«х.ч.»);  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (навъи-«х.ч.»);  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (навъи-«ч.»);  $\text{CaCO}_3$  (навъи-«ч.»).

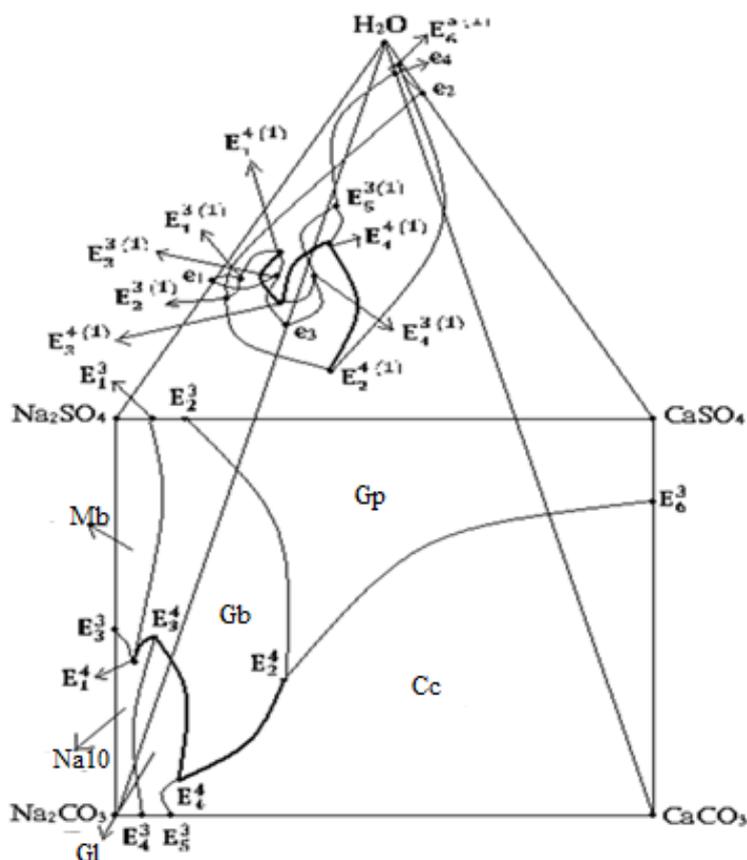
Дар ҷадвали 4.14 маълумот оид ба ҳалшавии пайвастаҳои инфиродӣ, дар баъзе нуқтаҳои нонвариантии системаи таҳқиқшаванда дар сатҳҳои таркиби секомпонента [108, 109] ва таркиби чоркомпонента, ки аз ҷониби мо [265-269] ба даст омадаанд, пешниҳод шудаанд.

Ҷадвали 4.14. – Ҳалшавандагии нуқтаҳои системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$

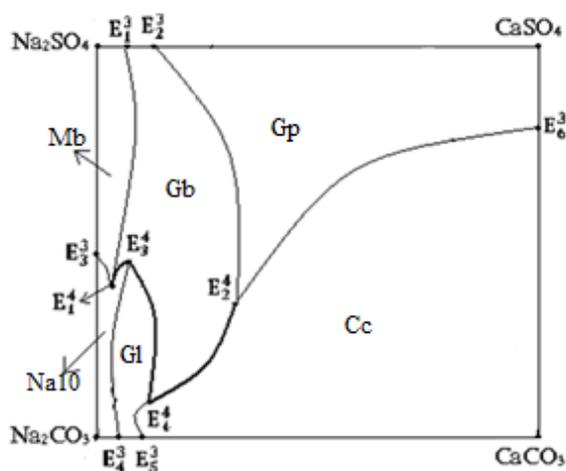
№ нуқта	Таркиби фазаи моеъ, мас.%					Фазаҳои сахти мувозинатӣ
	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{CaSO}_4$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{CaCO}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	
e <sub>1</sub>	21.900	-	-	-	78.100	Mb
e <sub>2</sub>	-	0.209	-	-	99.791	Gp
e <sub>3</sub>	-	-	22.950	-	77.053	Na10
e <sub>4</sub>	-	-	-	0.0048	99.9952	Cc
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	21.750	0.197	-	-	78.050	Mb+Gb
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	25.780	0.188	-	-	74.032	Gp+Gb
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	16.400	-	18.400	-	65.300	Mb+Na10
E <sub>4</sub> <sup>3</sup>	-	-	5.6500	0.0035	94.3465	Na10+Gl
E <sub>5</sub> <sup>3</sup>	-	-	4.5000	0.0024	95.4976	Gl+Cc
E <sub>6</sub> <sup>3</sup>	-	0.2130	-	0.0048	99.7822	Gp+Cc
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	14.200	0.273	19.600	-	65.927	Mb+Na10+Gb
E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	-	0.408	18.550	0.0055	81.0365	Gp+Gb+Cc
E <sub>3</sub> <sup>4</sup>	12.5200	-	19.4500	0.0052	68.0248	Na10+Gl+Gb
E <sub>4</sub> <sup>4</sup>	-	0.3280	20.7000	0.0043	78.9677	Cc+Gb+Gl

Дар асоси маълумоти ҷадвали 4.14 аз ҷониби мо диаграммаи ҳалшавии системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  сохта шуд, ки дар расми 4.21 тасвир гашта. Қисми намакии диаграммаи

сохташуда дар шакли чоркунҷаи баробартараф дар расми 4.22 тасвир гардидааст.



Расми 4.21. – Диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+}||\text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$



Расми 4.22. – Қисми намакии диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+}||\text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$

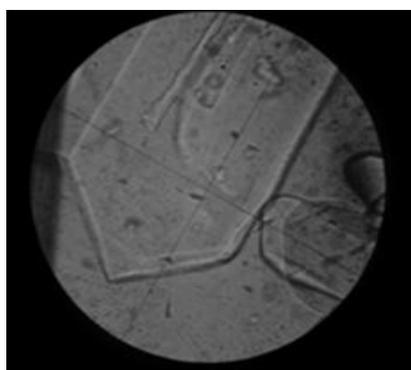
Тавсифи мундариҷаи намудҳои геометрӣ (майдонҳо, қачхатҳо, нуқтаҳо)-и расми 4.21 дар ҷадвали 4.15 оварда шудааст ва натиҷаҳои таҳлили кристаллооптикийи фазаҳои саҳти мувозинатӣ (микроаксҳо) дар расми 4.23 пешниҳод гардидаанд.

Маълумоти таҳлили рентгенофазавии фазаҳои саҳти мувозинатӣ дар расми 4.24 пешниҳод шудаанд, ки мувофиқи корҳои [243-248] тафсир карда шудаанд.

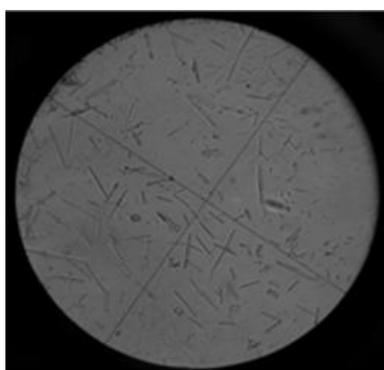
Ҷадвали 4.15. – Шарҳи шаклҳои геометрии расми 4.21

Шаклҳои геометрӣ дар диаграмма (рас. 4.21)	Рамзкушоии шаклҳои геометрӣ
1	2
e <sub>1</sub>	Ҳалшавандагии сулфати натрий дар об
e <sub>2</sub>	Ҳалшавандагии сулфати калсий дар об
e <sub>3</sub>	Ҳалшавандагии карбонати натрий дар об
e <sub>4</sub>	Ҳалшавандагии карбонати калсий дар об
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Gb дар системаи H <sub>2</sub> O-2Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   2SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Gb+Gr дар системаи H <sub>2</sub> O-2Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   2SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Na <sub>10</sub> дар системаи H <sub>2</sub> O-4Na <sup>+</sup>   SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>4</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Na <sub>10</sub> +G1 дар системаи H <sub>2</sub> O-2Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>5</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии G1+Cc дар системаи H <sub>2</sub> O-2Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>6</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Gr+Cc дар системаи H <sub>2</sub> O-2Ca <sup>2+</sup>   SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Mb + Na <sub>10</sub> + Gb дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Cc+Gr+Gb дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>3</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Gb + Na <sub>10</sub> + G1 дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>4</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Gb + Cc + G1 дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>1</sub> <sup>3</sup> — E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Mb + Gb дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>2</sub> <sup>3</sup> — E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Gb+Gr дар системаи H <sub>2</sub> O-2Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   2SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>

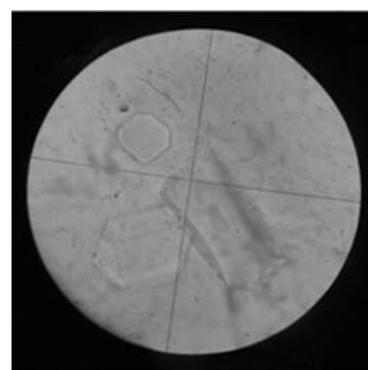
1	2
$E_3^3 — E_1^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $Na_{10}+Mb$ дар системаи $H_2O-4Na^+  SO_4^{2-},CO_3^{2-}$
$E_4^3 — E_3^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $Na_{10}+Gl$ дар системаи $H_2O-2Na^+,Ca^{2+}  2CO_3^{2-}$
$E_5^3 — E_4^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $Cc+Gl$ дар системаи $H_2O-2Na^+,Ca^{2+}  CO_3^{2-}$
$E_6^3 — E_2^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $Cc+Gp$ дар системаи $H_2O-2Ca^{2+}  SO_4^{2-},CO_3^{2-}$
$E_1^3Na_2SO_4E_3^3E_1^4E_1^3$	Ҳудуди майдони кристаллизатсияи мирабилит
$E_3^3Na_2CO_3E_4^3E_3^4E_1^4E_3^3$	Ҳудуди майдони кристаллизатсияи декагидрат карбонати натрий
$E_4^3E_3^4E_4^4E_5^3E_4^3$	Ҳудуди майдони кристаллизатсияи гейлюссит
$E_1^3E_1^4E_3^4E_4^4E_2^4E_2^3E_1^3$	Ҳудуди майдони кристаллизатсияи глауберит
$E_5^3CaCO_3E_6^3E_2^4E_4^4E_5^3$	Ҳудуди майдони кристаллизатсияи калсит
$E_2^3E_2^4E_6^3CaSO_4E_2^3$	Ҳудуди майдони кристаллизатсияи гипс



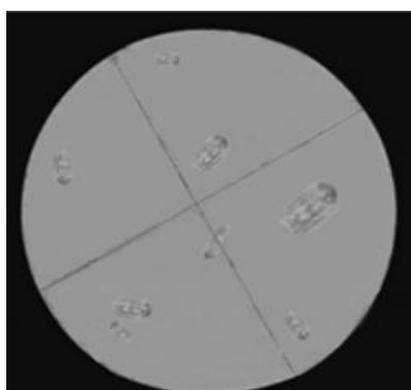
Mb



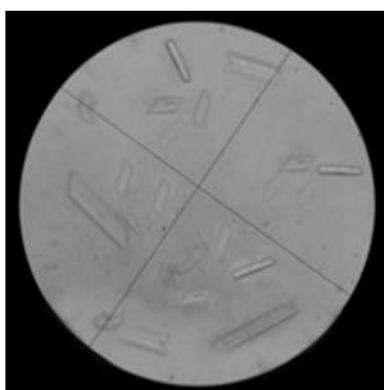
Na10



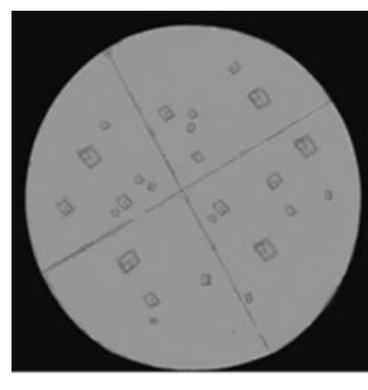
Gb



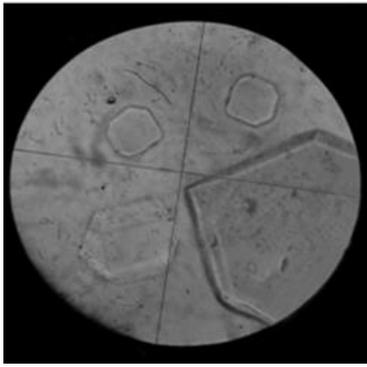
Gl



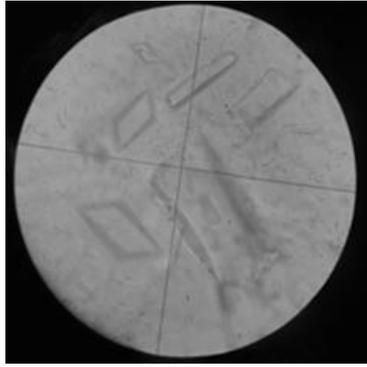
Gp



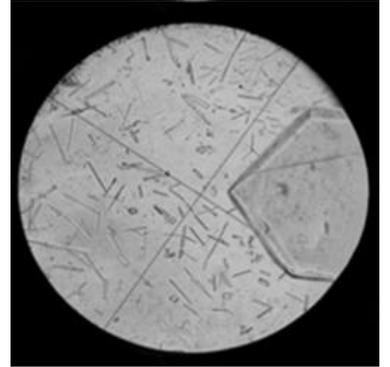
Cc



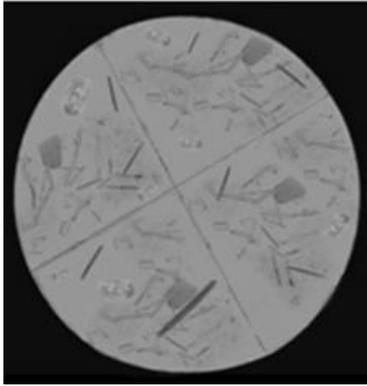
Mb+Gb



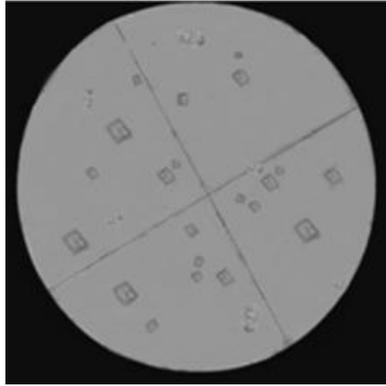
Gp+Gb



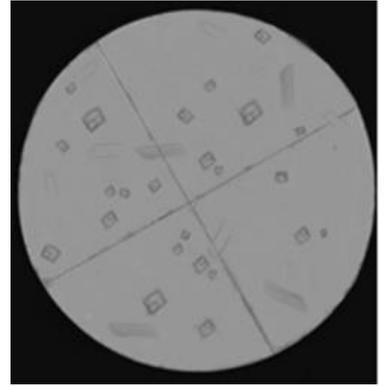
Mb+Na10



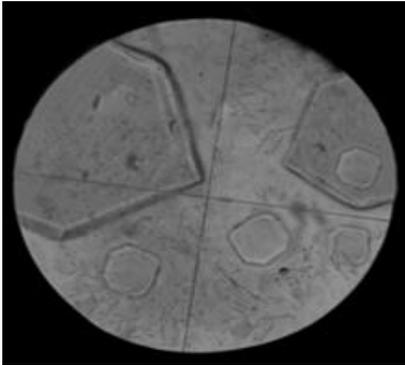
Gl+Na10



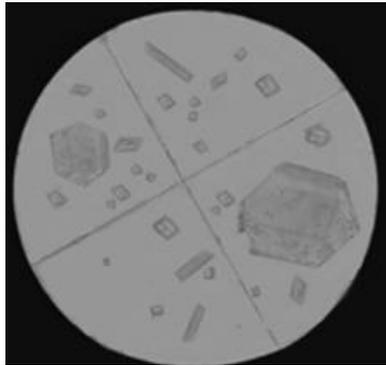
Gl+Cc



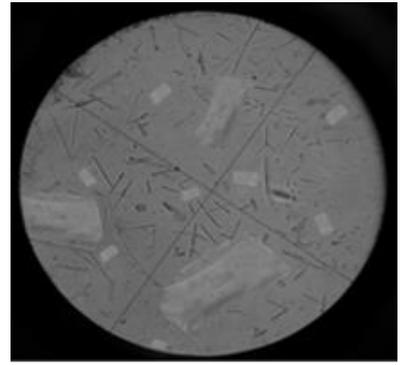
Gp+Cc



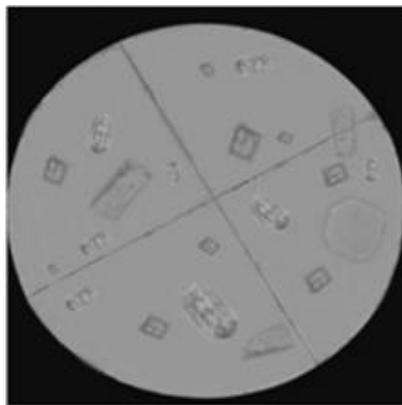
Mb+Gb+Na10



Gb+Gp+Cc

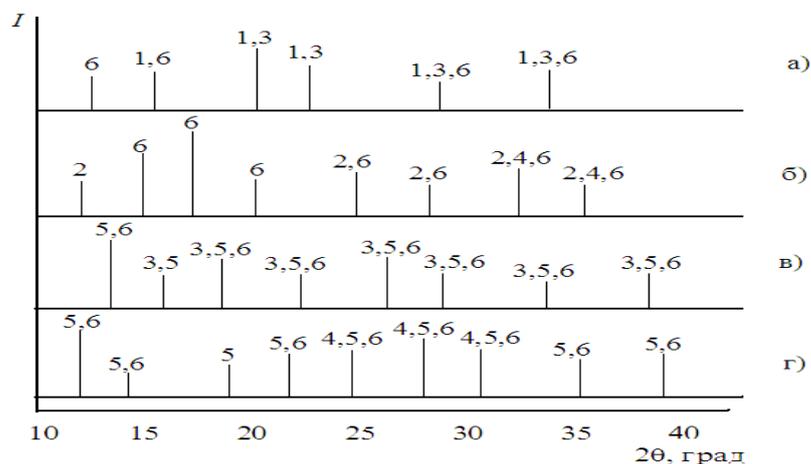


Gb+Gl+Na10



Gb+Gl+Cc

Расми 4.23. – Микроаксҳои фазаҳои мувозинати системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$



Расми 4.24. – Штрих рентгенограммаи фазаҳои сахти мувозинатии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$ : а)  $\text{Mb} + \text{Gb} + \text{Na}_{10}$  (нуқтаи  $E_1^4$ ); б)  $\text{Gr} + \text{Gb} + \text{Cc}$  (нуқтаи  $E_2^4$ ); в)  $\text{Na}_{10} + \text{Gb} + \text{Gl}$  (нуқтаи  $E_3^4$ ); г)  $\text{Cc} + \text{Gb} + \text{Gl}$  (нуқтаи  $E_4^4$ );  
1 - Mb, 2 - Gr, 3 -  $\text{Na}_{10}$ , 4 - Cc, 5 - Gl, 6 - Gb

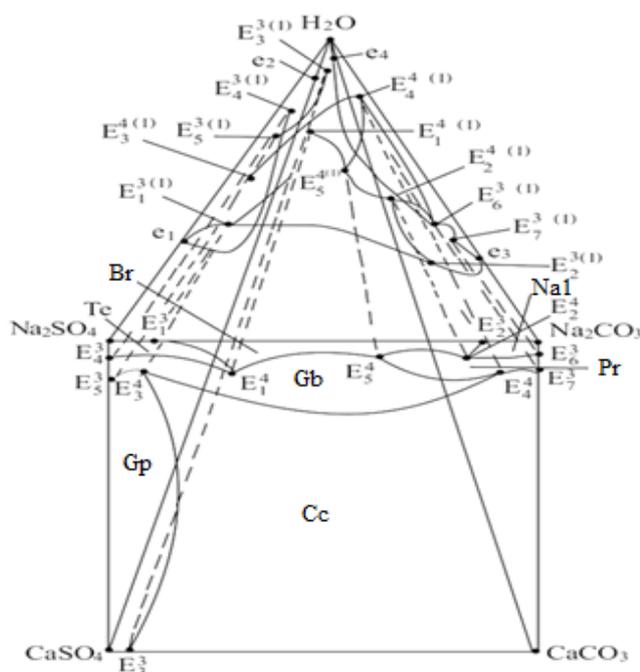
Ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50^\circ\text{C}$ . Системаи чоркомпонентаи таҳқиқшавандаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  системаҳои секомпонентаи зеринро дар бар мегирад:  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $4\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ . Фазаҳои сахти мувозинатии системаи таҳқиқшаванда дар  $50^\circ\text{C}$  инҳоянд:  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – тенардит (Te);  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – гипс (Gr);  $\text{CaCO}_3$  – калсит (Cc);  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – пирсонит (Pr);  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  [118, 119]. Барои таҷрибаҳо реактивҳои зерин истифода шуданд:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (навъи-«х.ч.»);  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (навъи-«х.ч.»);  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (навъи-«ч.»);  $\text{CaCO}_3$  (навъи-«ч.»).

Ҷадвали 4.16. – Ҳалшавандагӣ дар нуқтаҳои нонвариантии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  барои  $50^\circ\text{C}$

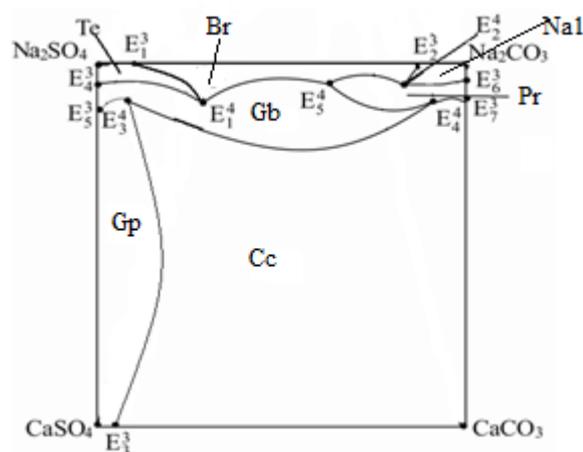
№ нуқта	Таркиби фазаи моеъ, мас. %					Фазаҳои сахти мувозинатӣ
	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{CaSO}_4$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{CaCO}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	
1	2	3	4	5	6	7
e <sub>1</sub>	31.800	–	–	–	68.200	Te
e <sub>2</sub>	–	0.210	–	–	99.790	Gr
e <sub>3</sub>	–	–	32.100	–	67.900	Na1
e <sub>4</sub>	–	–	–	0.0054	99.9946	Cc
$E_1^3$	22.470	–	10.520	–	67.010	Te+B

1	2	3	4	5	6	7
$E_2^3$	5.870	–	28.520	–	65.610	Br+Na1
$E_3^3$	–	0.1070	–	0.0042	99.8888	Gp+Cc
$E_4^3$	3.300	0.166	–	–	96.534	Te+Gb
$E_5^3$	3.880	0.274	–	–	95.846	Gb+Gp
$E_6^3$	–	–	24.7800	0.0039	75.2161	Na1+Pr
$E_7^3$	–	–	20.9300	0.0041	79.0659	Pr+Cc
$E_1^4$	1.521	0.148	3.743	–	94.588	Te+Br+Gb
$E_2^4$	3.7190	–	13.980	0.00375	82.2970	Na1+Br+Pr
$E_3^4$	8.9230	0.1620	–	0.0047	90.9100	Gp+Cc+Gb
$E_4^4$	–	0.1360	2.7700	0.0046	97.0894	Cc+Pr+Gb
$E_5^4$	6.1700	–	9.0100	0.0063	84.8137	Gb+Br+Pr

Дар асоси маълумотҳои дар ҷадвали 4.16 овардашуда аз ҷониби мо [270-274] бори нахуст диаграммаи ҳалшавии системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар  $50^\circ\text{C}$  сохта шуд, ки қисми обӣ-намакӣ расми 4.25 нишон дода шудааст. Қисми намакии диаграммаи сохташуда бошад дар шакли чоркунҷаи баробартараф дар расми 4.26 пешниҳод гардидааст.



Расми 4.25. – Қисми обӣ-намакии диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $50^\circ\text{C}$



Расми 4.26. – Қисми намакии диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$

Тавсифи мундариҷаи намудҳои геометрии майдонҳо, қачхатҳо, нуқтаҳои расми 4.25 дар ҷадвали 4.17 оварда шудааст ва натиҷаҳои таҳлили кристаллооптикийи фазаҳои саҳти мувозинатии микроаксҳо дар расми 4.27 тасвир гардидаанд.

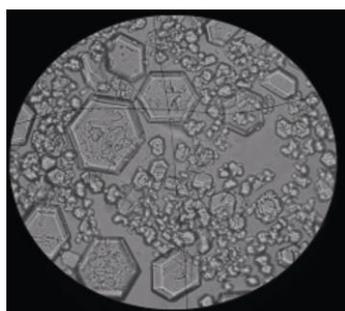
Дар расми 4.28 штрихренгенограммаи фазаҳои саҳти мувозинатии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$  пешниҳод шудаанд, ки мувофиқи маълумотҳои корҳои [243-248] тафсир карда шудаанд.

Ҷадвали 4.17. – Шарҳи шаклҳои геометрии расми 4.25

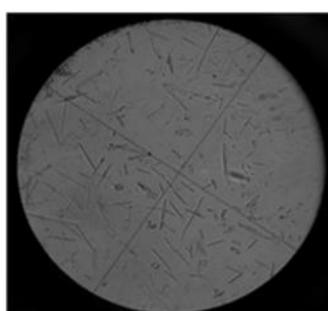
Шаклҳои геометрӣ	Мундариҷа
1	2
e <sub>1</sub>	Ҳалшавандагии сулфати натрий дар об
e <sub>2</sub>	Ҳалшавандагии сулфати калсий дар об
e <sub>3</sub>	Ҳалшавандагии карбонати натрий дар об
e <sub>4</sub>	Ҳалшавандагии карбонати калсий дар об
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Те+Вr дар системаи $\text{H}_2\text{O}-4\text{Na}^+ \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}$
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Вr+NaI дар системаи $\text{H}_2\text{O}-4\text{Na}^+ \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}$
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Gp+Cc дар системаи $\text{H}_2\text{O}-2\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}$
E <sub>4</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Те+Gb дар системаи $\text{H}_2\text{O}-2\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel 2\text{SO}_4^{2-}$

1	2
$E_5^3$	Нуктаи якҷоя кристаллизатсияшавии Gb+Gr дар системаи $H_2O-2Na^+, Ca^{2+}  2SO_4^{2-}$
$E_6^3$	Нуктаи якҷоя кристаллизатсияшавии Na1+Pr дар системаи $H_2O-2Na^+, Ca^{2+}  2CO_3^{2-}$
$E_7^3$	Нуктаи якҷоя кристаллизатсияшавии Pr+Cc дар системаи $H_2O-2Na^+, Ca^{2+}  2CO_3^{2-}$
$E_1^4$	Нуктаи якҷоя кристаллизатсияшавии Te+Br+Gb дар системаи $Na^+, Ca^{2+}  SO_4^{2-}, CO_3^{2-}-H_2O$
$E_2^4$	Нуктаи якҷоя кристаллизатсияшавии Br+Na1+Pr дар системаи $Na^+, Ca^{2+}  SO_4^{2-}, CO_3^{2-}-H_2O$
$E_3^4$	Нуктаи якҷоя кристаллизатсияшавии Gb + Gr + Cc дар системаи $Na^+, Ca^{2+}  SO_4^{2-}, CO_3^{2-}-H_2O$
$E_4^4$	Нуктаи якҷоя кристаллизатсияшавии Gb+Pr+Cc дар системаи $Na^+, Ca^{2+}  SO_4^{2-}, CO_3^{2-}-H_2O$
$E_5^4$	Нуктаи якҷоя кристаллизатсияшавии Gb+Br+Pr дар системаи $Na^+, Ca^{2+}  SO_4^{2-}, CO_3^{2-}-H_2O$
$E_1^3$ — $E_1^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Te+Br дар системаи $H_2O-4Na^+  SO_4^{2-}, CO_3^{2-}$
$E_3^3$ — $E_3^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Gr+Cc дар системаи $H_2O-4Na^+  SO_4^{2-}, CO_3^{2-}$
$E_4^3$ — $E_1^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Te+Gb дар системаи $H_2O-2Na^+, Ca^{2+}  2SO_4^{2-}$
$E_5^3$ — $E_3^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Gb+Gr дар системаи $H_2O-2Na^+-Ca^{2+}   SO_4^{2-}$
$E_6^3$ — $E_2^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Na1+Pr дар системаи $H_2O-2Na^+, Ca^{2+}  2CO_3^{2-}$
$E_7^3$ — $E_4^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Cc+Pr дар системаи $H_2O-2Na^+, Ca^{2+}  2CO_3^{2-}$
$E_1^4$ — $E_5^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Br+Gb дар системаи $Na^+, Ca^{2+}  SO_4^{2-}, CO_3^{2-}-H_2O$
$E_2^4$ — $E_5^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Br+Pr дар системаи $Na^+, Ca^{2+}    SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$

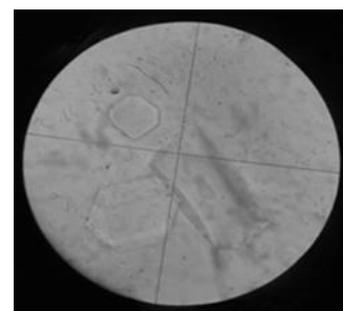
1	2
$E_3^4 \text{ — } E_4^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Cc+Gb дар системаи $Na^+, Ca^{2+}    SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
$E_4^4 \text{ — } E_5^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Pr+Gb дар системаи $Na^+, Ca^{2+}    SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
$E_1^3 Na_2SO_4 E_4^3 E_1^4 E_1^3$	Майдони кристаллизатсионии тенардит
$E_2^3 Na_2CO_3 E_6^3 E_2^4 E_2^3$	Майдони кристаллизатсионии термонатрид
$E_1^3 E_1^4 E_5^4 E_2^4 E_2^3 E_1^3$	Майдони кристаллизатсионии беркеит
$E_4^3 E_1^4 E_5^4 E_4^4 E_3^4 E_5^3 E_4^3$	Майдони кристаллизатсионии глауберит
$E_5^3 CaSO_4 E_3^3 E_3^4 E_5^3$	Майдони кристаллизатсионии гипс
$E_3^3 E_3^4 E_4^4 E_7^4 CaCO_3 E_3^3$	Майдони кристаллизатсионии калсит
$E_6^3 E_2^4 E_5^4 E_4^4 E_7^3 E_6^3$	Майдони кристаллизатсионии пирсонит
(I)	Ифодаи мавқеи нуқтаи фигуративӣ дар қисми обинамакии диаграмма



Br



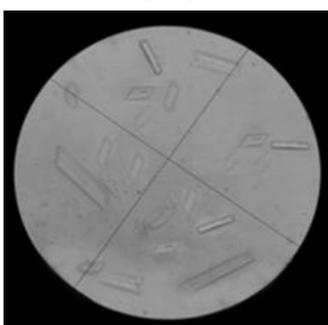
Na1



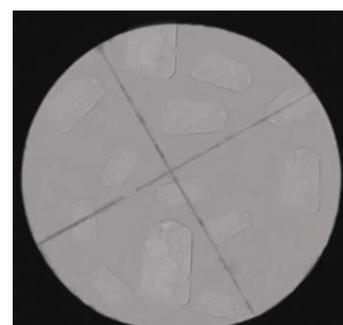
Gb



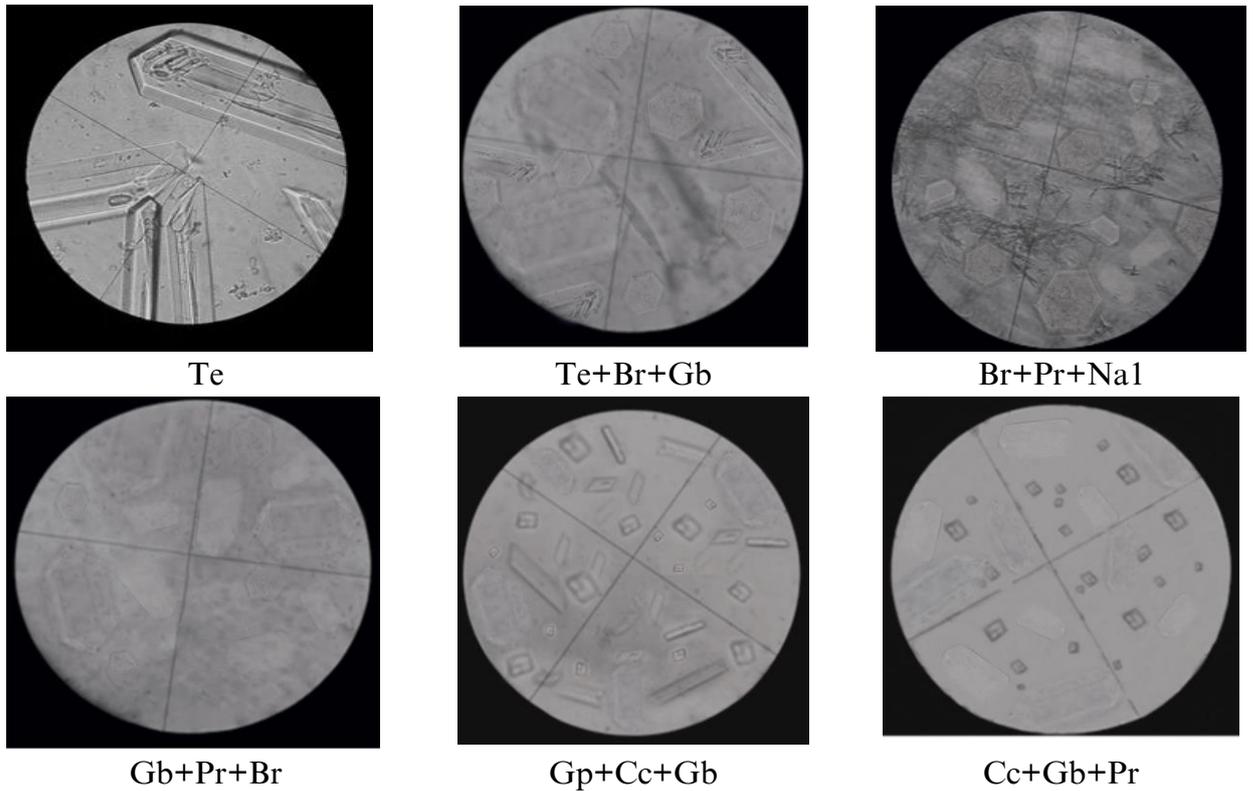
Cc



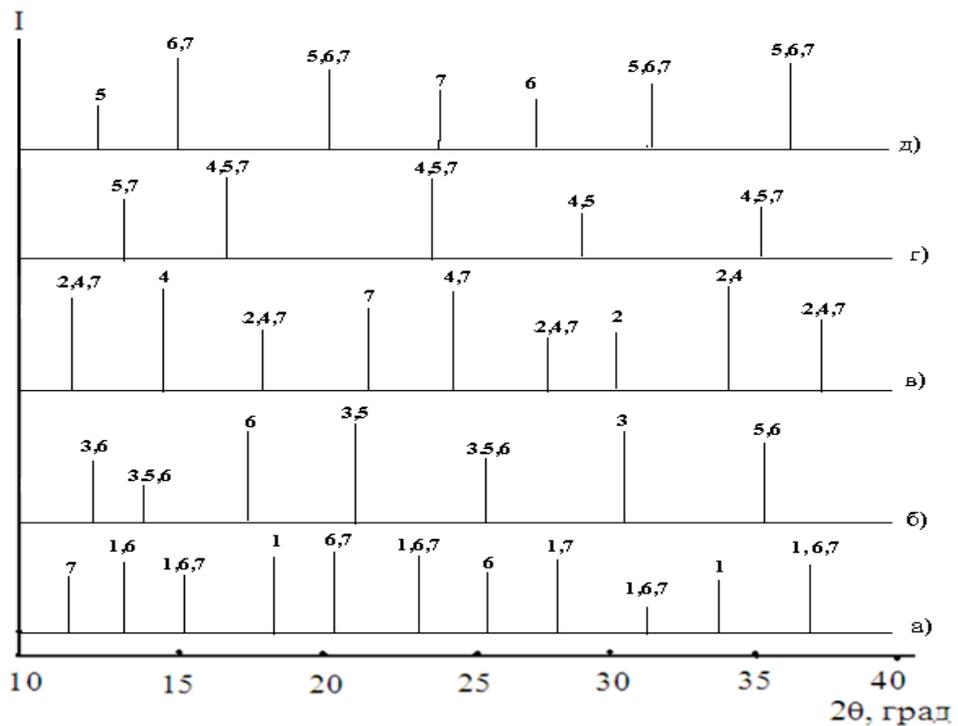
Gp



Pr



Расми 4.27. – Микроаксҳои фазаҳои саhti мувозинатӣ дар системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  барои  $50\text{ }^\circ\text{C}$



Расми 4.28. – Схеми рентгенограмми фазаҳои саhti мувозинатии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $50\text{ }^\circ\text{C}$ : а)  $\text{Te} + \text{Br} + \text{Gb}$  (нуқтаи  $\text{E}_1^4$ ); б)  $\text{Br} + \text{Na1} + \text{Pr}$  (нуқтаи  $\text{E}_2^4$ ); в)  $\text{Gb} + \text{Gp} + \text{Cc}$  (нуқтаи  $\text{E}_3^4$ ); г)  $\text{Pr} + \text{Cc} + \text{Gb}$  (нуқтаи  $\text{E}_4^4$ ); д)  $\text{Pr} + \text{Br} + \text{Gb}$  (нуқтаи  $\text{E}_5^4$ ). 1 - Te, 2 - Gp, 3 - Na1, 4 - Cc, 5 - Pr, 6 - Br, 7 - Gb

Ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$ . Системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  -  $\text{H}_2\text{O}$  аз зерсистемаҳои секомпонентаи  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ,  $2\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - 2\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ,  $4\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ,  $2\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  иборат аст.

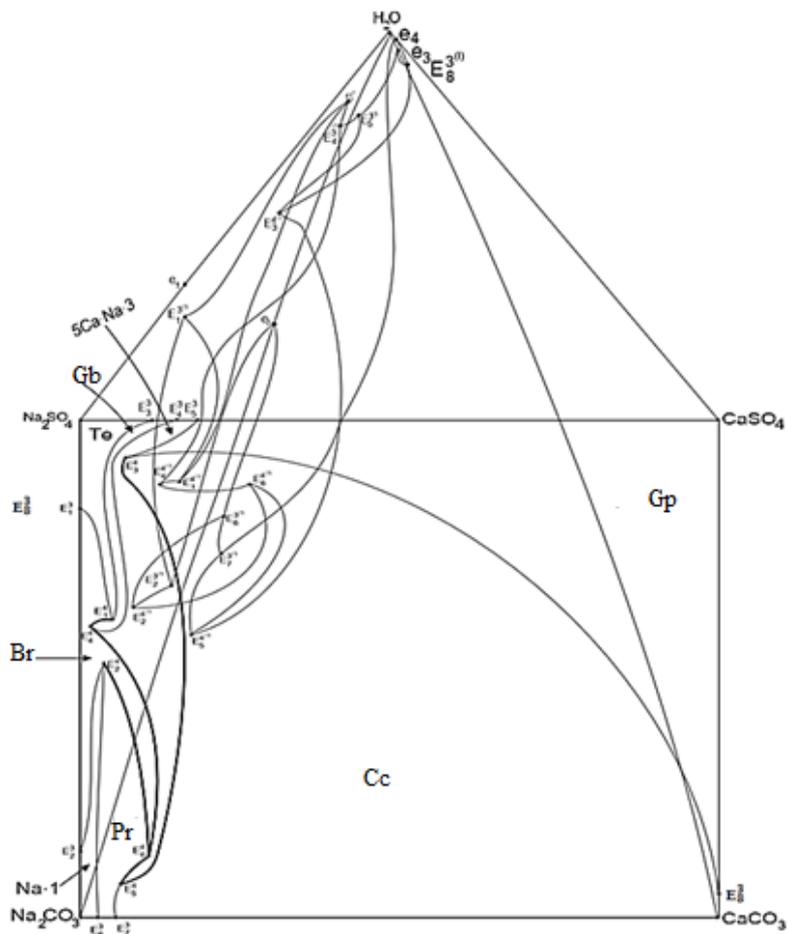
Дар ҷадвали 4.18 маълумот оид ба ҳалшавӣ дар нуқтаҳои нонвариантии системаи таҳқиқшавандаи чоркомпонента пешниҳод шудаанд [275, 276].

Ҷадвали 4.18. – Ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$

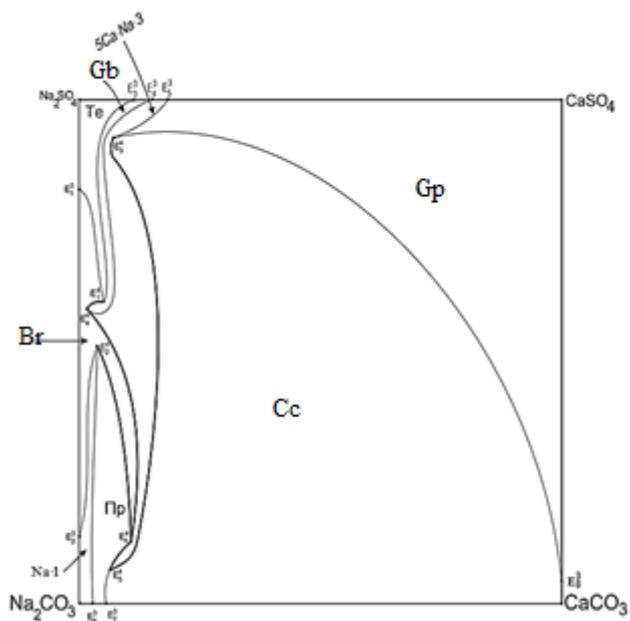
№ нуқта	Таркиби фазаҳои моеъ, мас.%					Ҷазаҳои саҳти мувозинатӣ
	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{CaSO}_4$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{CaCO}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	
1	2	3	4	5	6	7
e <sub>1</sub>	30.3500	–	–	–	69.6500	Te
e <sub>2</sub>	–	–	31.2000	–	68.8000	Na1
e <sub>3</sub>	–	0.481	–	–	99.5090	Gp
e <sub>4</sub>	–	–	–	0.0056	99.9940	Cc
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	25.00	–	6.40	–	68.6000	Te+Br
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	3.800	–	28.900	–	67.3000	Br+Na1
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	4.600	0.522	–	–	94.8780	Te+Gb
E <sub>4</sub> <sup>3</sup>	5.840	0.888	–	–	93.2720	Gb+5CaNa3
E <sub>5</sub> <sup>3</sup>	4.340	0.884	–	–	95.3760	5CaNa3+Gp
E <sub>6</sub> <sup>3</sup>	–	–	21.750	0.0065	78.2435	Na1+Pr
E <sub>7</sub> <sup>3</sup>	–	–	24.800	0.0078	75.1922	Pr+Cc
E <sub>8</sub> <sup>3</sup>	–	0.692	–	0.0063	81.7837	Gp+Cc
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	24.380	0.911	20.290	–	54.4190	Te+Gb+Br
E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	28.420	–	30.140	0.0058	41.4342	Na1+Br+Pr
E <sub>3</sub> <sup>4</sup>	15.190	0.824	–	0.0067	83.9793	5CaNa3+Gp+Cc
E <sub>4</sub> <sup>4</sup>	16.980	0.783	21.180	–	61.0570	Gb+Br+5CaNa3
E <sub>5</sub> <sup>4</sup>	–	0.544	33.720	0.0091	65.7200	5CaNa3+Cc+Pr
E <sub>6</sub> <sup>4</sup>	–	0.646	21.160	0.0053	78.1887	Br+Pr+5CaNa3

Дар асоси маълумоти ин ҷадвали 4.18 аз ҷониби мо бори нахуст диаграммаи ҳалшавии системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$  сохта шуд, ки дар расми 4.29 нишон дода шудааст. Қисми

намакии диаграммаи сохтасуда дар шакли чоркунҷаи баробартараф дар расми 4.30 пешниҳод гардидааст.



Расми 4.29. – Диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$



Расми 4.30. – Қисми намакии диаграммаи ҳолатии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$

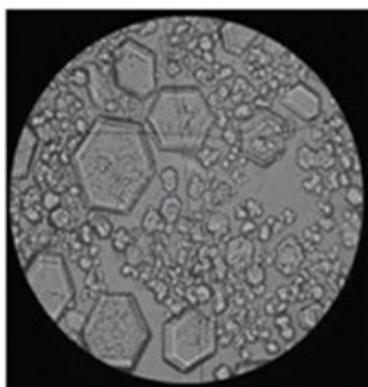
Тавсифи мундариҷаи намудҳои геометрии майдонҳо, қачхатҳо, нуқтаҳои расми 4.29 дар ҷадвали 4.19 оварда шудааст ва натиҷаҳои таҳлили кристаллооптикаи [229-234] фазаҳои саҳти мувозинатӣ, микроаксҳо дар расми 4.31 тасвир гардидаанд.

Ҷадвали 4.19. – Шарҳи шаклҳои геометрии расми 4.29

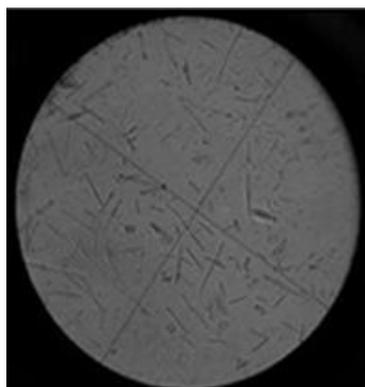
Шаклҳои геометрӣ	Мундариҷа
1	2
e <sub>1</sub>	Ҳалшавандагии тенардит дар об
e <sub>2</sub>	Ҳалшавандагии термонатрид дар об
e <sub>3</sub>	Ҳалшавандагии калсит дар об
e <sub>4</sub>	Ҳалшавандагии гипс дар об
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя таҳшиншавии тенардит ва беркеит дар системаи 4Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -H <sub>2</sub> O
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя таҳшиншавии беркеит ва термонатрид дар системаи 4Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -H <sub>2</sub> O
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя таҳшиншавии тенардит ва глауберит 2Na <sup>+</sup> -Ca <sup>2+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -H <sub>2</sub> O
E <sub>4</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоятаҳшиншавии глауберит ва намаки дучандаи 5Ca·Na·3 дар системаи 2Na <sup>+</sup> -Ca <sup>2+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -H <sub>2</sub> O
E <sub>5</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя таҳшиншавии намаки дучандаи 5Ca·Na·3 ва гипс дар системаи 2Na <sup>+</sup> -Ca <sup>2+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -H <sub>2</sub> O
E <sub>6</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя таҳшиншавии термонатрид ва пирсонит дар системаи 2Na <sup>+</sup> -Ca <sup>2+</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -H <sub>2</sub> O
E <sub>7</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя таҳшиншавии пирсонит ва калсит дар системаи 2Na <sup>+</sup> -Ca <sup>2+</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -H <sub>2</sub> O
E <sub>8</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя таҳшиншавии гипс ва калсит дар системаи 2Ca <sup>2+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -H <sub>2</sub> O
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя таҳшиншавии тенардит, беркеит ва глауберит дар системаи Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>    SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> - H <sub>2</sub> O
E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя таҳшиншавии беркеит, термонетрит ва пирсонит дар системаи Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>    SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> - H <sub>2</sub> O
E <sub>3</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя таҳшиншавии гипс, калсит ва намаки дучандаи 5Ca·Na·3 дар системаи Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>    SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -H <sub>2</sub> O

1	2
$E_4^4$	Нуқтаи якҷоя таҳшиншавии глауберит, беркеит ва намаки дучандаи $5Ca \cdot Na \cdot 3$ дар системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
$E_5^4$	Нуқтаи якҷоя таҳшиншавии пирсонит, калсит ва намаки дучандаи $5Ca \cdot Na \cdot 3$ дар системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
$E_6^4$	Нуқтаи якҷоя таҳшиншавии пирсонит, беркеит ва намаки дучандаи $5Ca \cdot Na \cdot 3$ дар системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
$E_1^3 \text{ — } E_1^4$	Қаҷхати якҷоя таҳшиншавии тенардит ва беркеит дар системаи $2Na^+ - CO_3^{2-} - SO_4^{2-} - H_2O$
$E_3^3 \text{ — } E_1^4$	Қаҷхати якҷоя таҳшиншавии тенардит ва глауберит дар системаи $Ca^{2+} - 2Na^+ - 2SO_4^{2-} - H_2O$
$E_2^3 \text{ — } E_2^4$	Қаҷхати якҷоя таҳшиншавии беркеит ва термонатрит дар системаи $4Na^+ - CO_3^{2-} - SO_4^{2-} - H_2O$
$E_4^3 \text{ — } E_4^4$	Қаҷхати якҷоя таҳшиншавии глауберит ва намаки дучандаи $5Ca \cdot Na \cdot 3$ дар системаи $2Na^+ - Ca^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O$
$E_5^3 \text{ — } E_3^4$	Қаҷхати якҷоя таҳшиншавии гипс ва намаки дучандаи $5Ca \cdot Na \cdot 3$ дар системаи $2Na^+ - Ca^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O$
$E_6^3 \text{ — } E_2^4$	Қаҷхати якҷоя таҳшиншавии пирсонит ва термонатрит дар системаи $2Na^+ - Ca^{2+} - CO_3^{2-} - H_2O$
$E_7^3 \text{ — } E_5^4$	Қаҷхати якҷоя таҳшиншавии пирсонит ва калсит дар системаи $2Na^+ - Ca^{2+} - CO_3^{2-} - H_2O$
$E_8^3 \text{ — } E_3^4$	Қаҷхати якҷоя таҳшиншавии гипс ва калсит дар системаи $2Ca^{2+} - CO_3^{2-} - SO_4^{2-} - H_2O$
$E_1^4 \text{ — } E_4^4$	Қаҷхати якҷоя таҳшиншавии глауберит ва беркеит дар системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
$E_2^4 \text{ — } E_6^4$	Қаҷхати якҷоя таҳшиншавии пирсонит ва беркеит дар системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
$E_3^4 \text{ — } E_5^4$	Қаҷхати якҷоя таҳшиншавии калсит ва намаки дучандаи $5Ca \cdot Na \cdot 3$ дар системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
$E_4^4 \text{ — } E_6^4$	Қаҷхати якҷоя таҳшиншавии беркеит ва намаки дучандаи $5Ca \cdot Na \cdot 3$ дар системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$

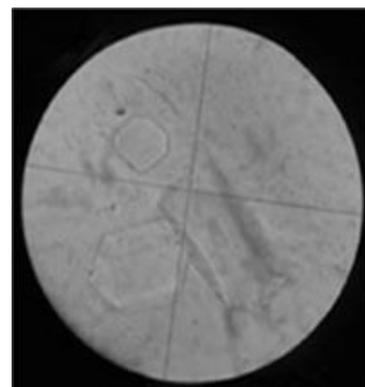
1	2
$E_5^4 \text{ — } E_6^4$	Қаҷхати якҷоя таҳшиншавии пирсонит ва намаки дучандаи $5Ca \cdot Na \cdot 3$ дар системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
$E_1^3 Na_2 SO_4 E_3^3 E_1^4 E_1^3$	Майдони кристаллизатсияи тенардит
$E_2^3 Na_2 CO_3 E_6^3 E_2^4 E_2^3$	Майдони кристаллизатсияи термонатрит
$E_1^3 E_1^4 E_4^4 E_6^4 E_2^4 E_2^3 E_1^3$	Майдони кристаллизатсияи беркеит
$E_3^3 E_1^4 E_4^4 E_3^3 E_3^3$	Майдони кристаллизатсияи глауберит
$E_4^3 E_4^4 E_6^4 E_5^4 E_3^3 E_5^4 E_4^3$	Майдони кристаллизатсияи намаки дучандаи $5CaSO_4 \cdot Na_2SO_4 \cdot 3H_2O (5Ca \cdot Na \cdot 3)$
$E_5^3 CaSO_4 E_8^3 E_3^4 E_5^3$	Майдони кристаллизатсияи гипс
$E_8^3 CaCO_3 E_7^3 E_5^4 E_3^4 E_8^3$	Майдони кристаллизатсияи калсит
$E_7^3 E_5^4 E_6^4 E_2^3 E_6^3 E_7^3$	Майдони кристаллизатсияи пирсонит



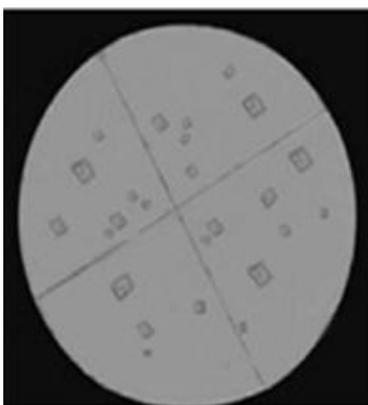
Br



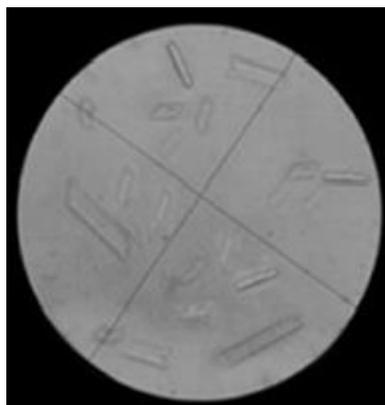
Na1



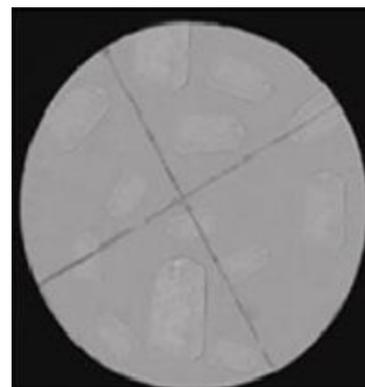
Gb



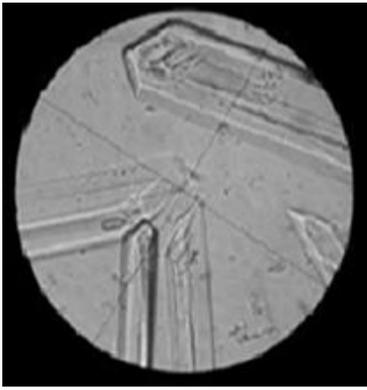
Cc



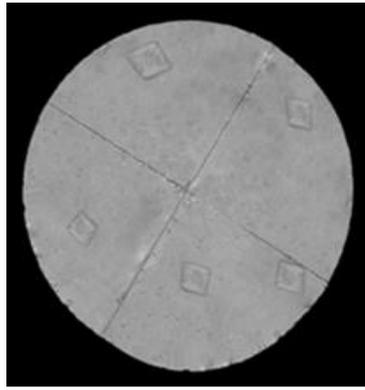
Gp



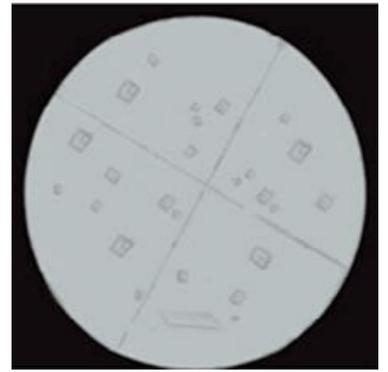
Pr



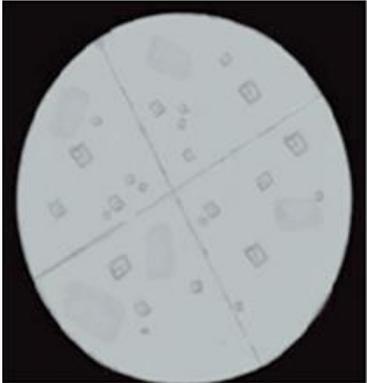
Te



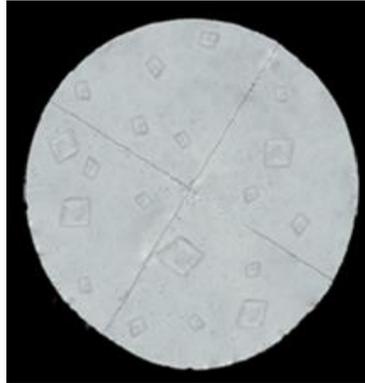
5Ca·Na·3



Gp+Cc



Pr+Cc



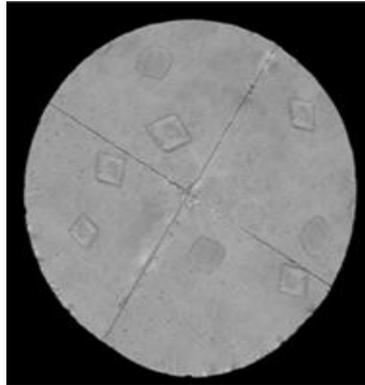
Cc+5Ca·Na·3



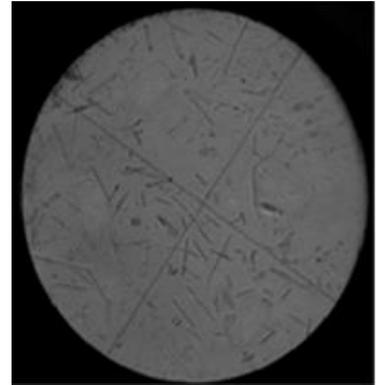
Pr +5Ca·Na·3



Br+5Ca·Na·3



Gb+5Ca·Na·3



Na1+Pr



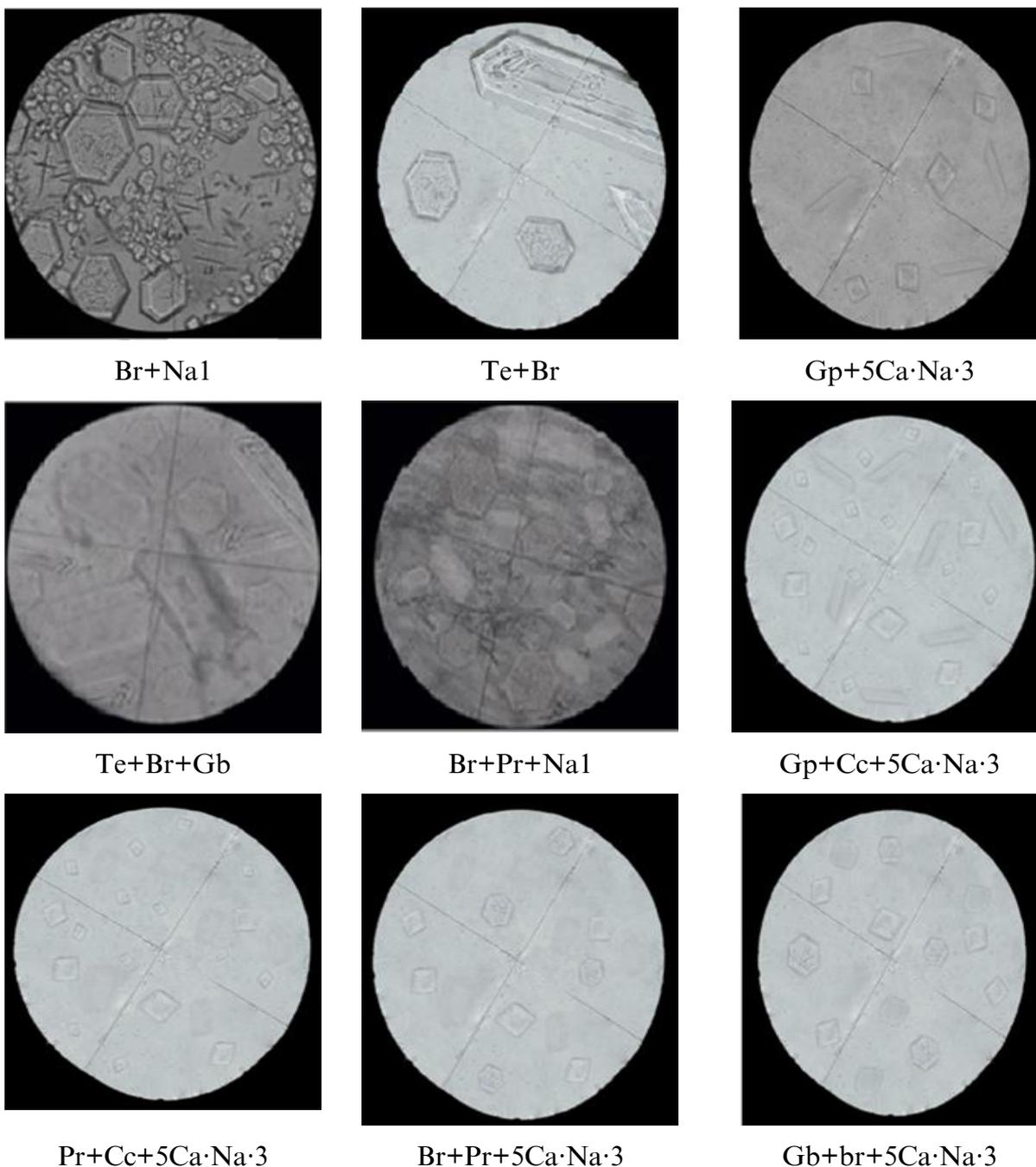
Br+Pr



Br+Gb



Te+Gb



Расми 4.31. – Микроаксҳои фазаҳои саҳти мувозинатии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$

#### 4.5. Ҳалшавандагии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$

Ҳалшавии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$ . Барои ҳарорати  $0\text{ }^\circ\text{C}$  дар системаи таҳқиқшаванда  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  – гидрокарбонати калсий (CaH),  $\text{NaHCO}_3$  – нахколит (Nk),  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – мирабилит (Mb),  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – гипс (Gp) ҳамчун фазаҳои мувозинатӣ таҳшин мешаванд [277]. Баҳри гузаронидани таҷрибаҳо реактивҳои зерин истифода шуданд:

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (навъи-«х.ч.»),  $\text{NaHCO}_3$  (навъи-«ч.»),  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  (навъи-«ч.»),  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (навъи-«х.ч.»).

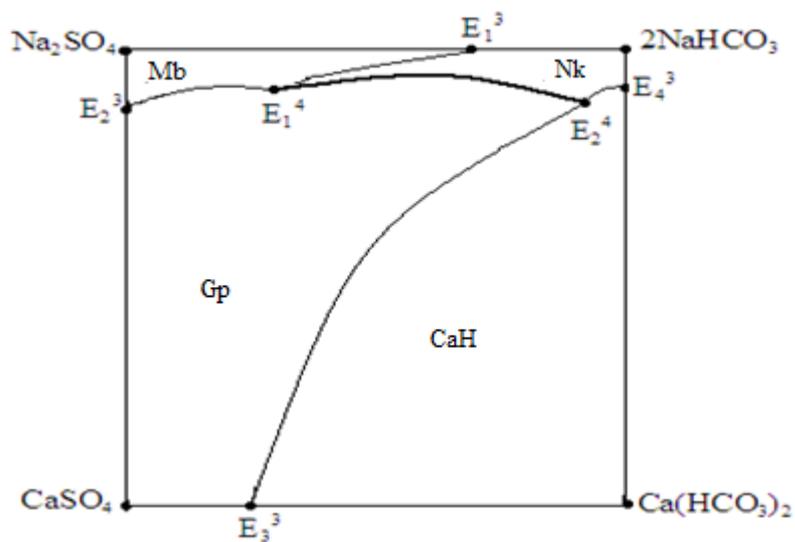
Дар чадвали 4.20 маълумотҳо оид ба ҳалшавии пайвастаҳои инфиродӣ, дар нуқтаҳои нонвариантии системаи таҳқиқшаванда дар сатҳи таркиби секомпонента аз адабиётҳои [108, 109] чамъ оварда, сатҳи таркиби чоркомпонента бошад аз ҷониби мо [278] натиҷа гирфта, таҳлил шудаанд.

Чадвали 4.20. – Ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар ҳарорати 0 °C

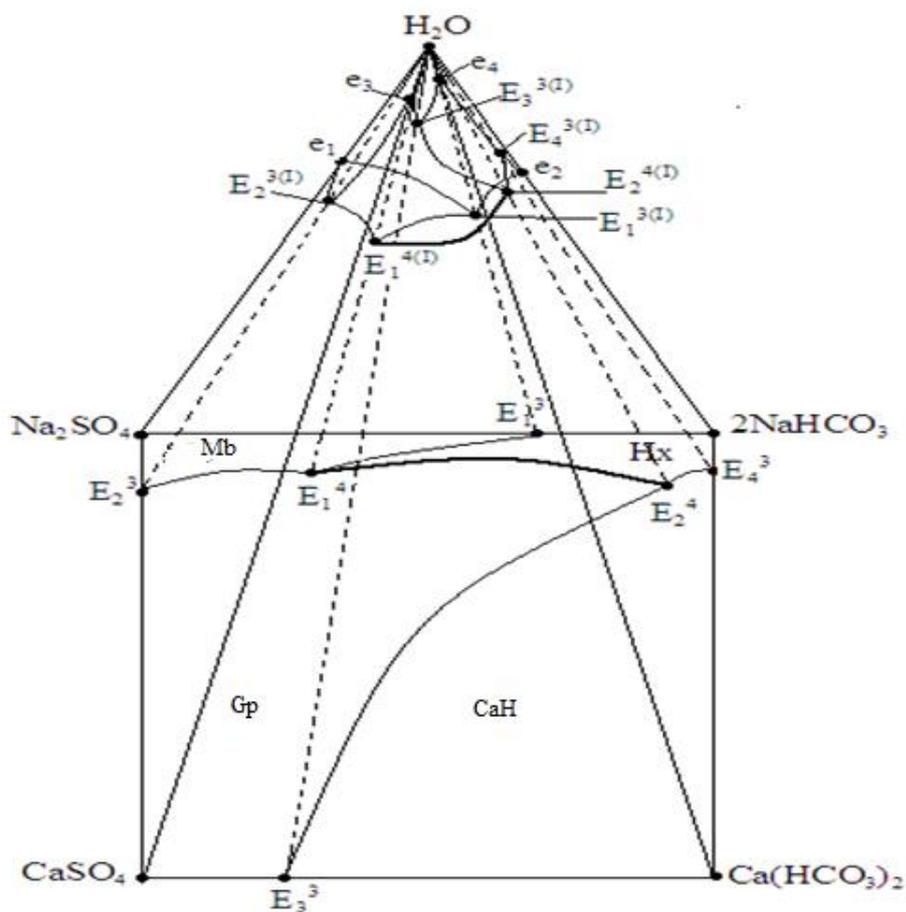
№ нуқта	Таркиби фазаҳои моеъ, мас. %					Таркиби фазавии таҳшинҳо
	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{NaHCO}_3$	$\text{CaSO}_4$	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{H}_2\text{O}$	
e <sub>1</sub>	4.300	–	–	–	95.700	Mb
e <sub>2</sub>	–	6.490	–	–	93.510	Nk
e <sub>3</sub>	–	–	0.176	–	99.824	Gp
e <sub>4</sub>	–	–	–	0.144	99.856	CaH
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	2.570	5.820	–	–	91.610	Mb+Nk
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	4.340	–	0.196	–	95.464	Mb+Gp
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	–	–	0.217	0.083	99.700	Gp+CaH
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	3.430	5.220	0.326	–	91.024	Mb+Gp+Nk
E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	–	4.865	0.131	0.153	94.851	Gp+Nk+CaH

Мувозинати моновариантии хатҳо ифода менамояд, ки ҳалшавандагии намакҳои сулфати натрий ва гидрокарбонати натрий дар онҳо нисбатан кам гардидааст. Чунин ҳолат ба илова гардидани фазаҳои минбаъда алоқаманди дошта, бинобар сабаби камҳалшаванда буданашон ба ҳалшавандагии намакҳои хубҳалшаванда бетаъсир намеронанд.

Дар асоси маълумоти чадвали 4.20 аввалин шуда диаграммаи ҳалшавии системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар 0 °C сохта шуд ва дар расми 4.32 тасвир гашт. Қисми обӣ-намакии диаграммаи сохташуда дар шакли чоркунҷаи баробартараф дар расми 4.33 пешниҳод гардидааст.



Расми 4.32. – Қисми намакии диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$

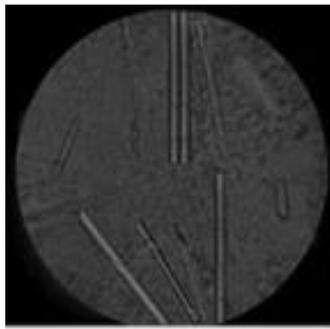


Расми 4.33. – Диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$

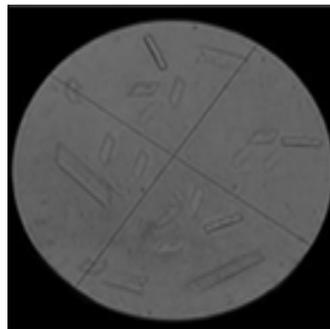
Тавсифи мундариҷаи шаклҳои геометрии майдонҳо, қачхатҳо, нуқтаҳои расми 4.33 дар ҷадвали 4.21 оварда шудааст ва натиҷаҳои таҳлили кристаллооптикийи фазаҳои саҳти мувозинатӣ (микроаксҳо) дар расми 4.34 пешниҳод гардидаанд.

Ҷадвали 4.21. – Шарҳи шаклҳои геометрии расми 4.33

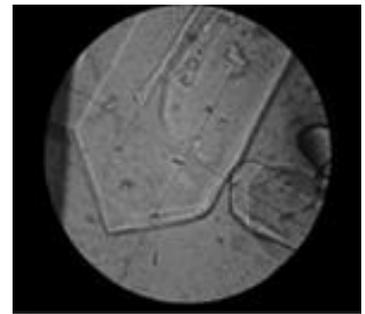
Ифодаҳои геометрӣ (рас. 4.33)	Рамзкушоии ифодаҳо
1	2
$e_1$	Ҳалшавандагии сулфати натрий дар об
$e_2$	Ҳалшавандагии гидрокарбонати натрий дар об
$e_3$	Ҳалшавандагии сулфати калсий дар об
$e_4$	Ҳалшавандагии гидрокарбонати калсий дар об
$E_1^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Nk дар системаи $H_2O-3Na^+    SO_4^{2-}, HCO_3^-$
$E_2^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Gr дар системаи $H_2O-2Na^+, Ca^{2+}    2SO_4^{2-}$
$E_3^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Gr+Nk дар системаи $H_2O-2Ca^{2+}    SO_4^{2-}, 2HCO_3^-$
$E_4^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Nk+CaH дар системаи $H_2O-Na^+, Ca^{2+}    3HCO_3^-$
$E_1^4$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Mb + Gr + Nk дар системаи $Na^+, Ca^{2+}    SO_4^{2-}, HCO_3^- - H_2O$
$E_2^4$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Nk + CaH + Gr дар системаи $Na^+, Ca^{2+}    SO_4^{2-}, HCO_3^- - H_2O$
$E_1^3$ — $E_1^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Gr дар системаи $H_2O-3Na^+    SO_4^{2-}, HCO_3^-$
$E_2^3$ — $E_1^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Gr дар системаи $H_2O-2Na^+, Ca^{2+}    2SO_4^{2-}$
$E_3^3$ — $E_2^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Gr+CaH дар системаи $H_2O-2Ca^{2+}    SO_4^{2-}, 2HCO_3^-$
$E_4^3$ — $E_2^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Nk+CaH дар системаи $H_2O-Na^+, Ca^{2+}    3HCO_3^-$
$E_1^4$ — $E_2^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Nk+Gr дар системаи $Na^+, Ca^{2+}    SO_4^{2-}, HCO_3^- - H_2O$
$E_1^3 Na_2SO_4 E_2^3 E_1^3 E_1^3$	Майдони кристаллизатсияи мирабилит
$E_1^3 NaHCO_3 E_4^3 E_2^4 E_1^3 E_1^3$	Майдони кристаллизатсияи нахколит
$E_2^3 CaSO_4 E_3^3 E_2^4 E_1^3 E_2^3$	Майдони кристаллизатсияи гипс
$E_4^3 Ca(HCO_3)_2 E_3^3 E_2^4 E_4^3$	Майдони кристаллизатсияи гидрокарбонати калсий



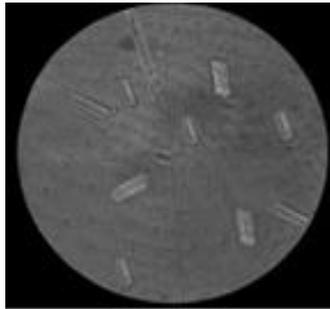
CaH



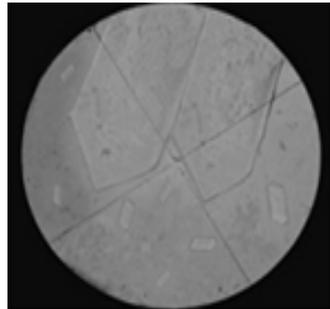
Gp



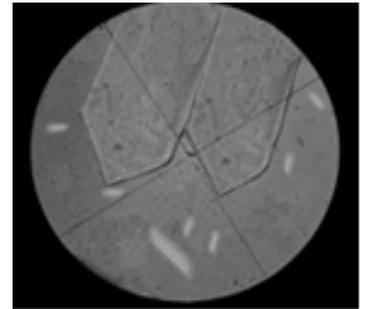
Mb



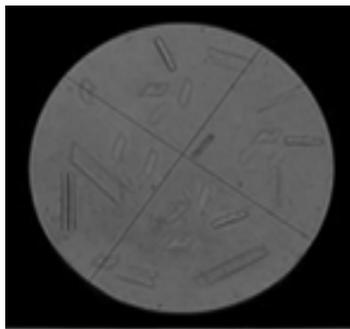
Nk



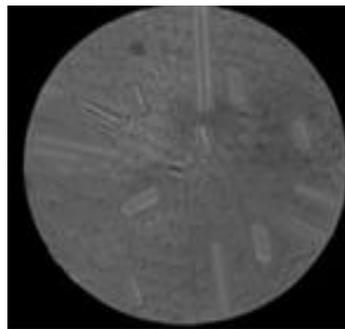
Mb+Nk



Gp+Mb



Gp+CaH



CaH+Nk



Gp+Mb+Nk



Nk+CaH+Gp

Расми 4.34. – Микроаксҳои фазаҳои сахти мувозинати системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$

Изотермаи ҳалшавии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$ . Фазаҳои сахти мувозинати системаи таҳқиқшаванда дар  $25^\circ\text{C}$  инҳоянд:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  – гидрокарбонати калсий (CaH);  $\text{NaHCO}_3$  – нахколит (Nk);  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – мирабилит (Mb);  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – гипс (Gp);

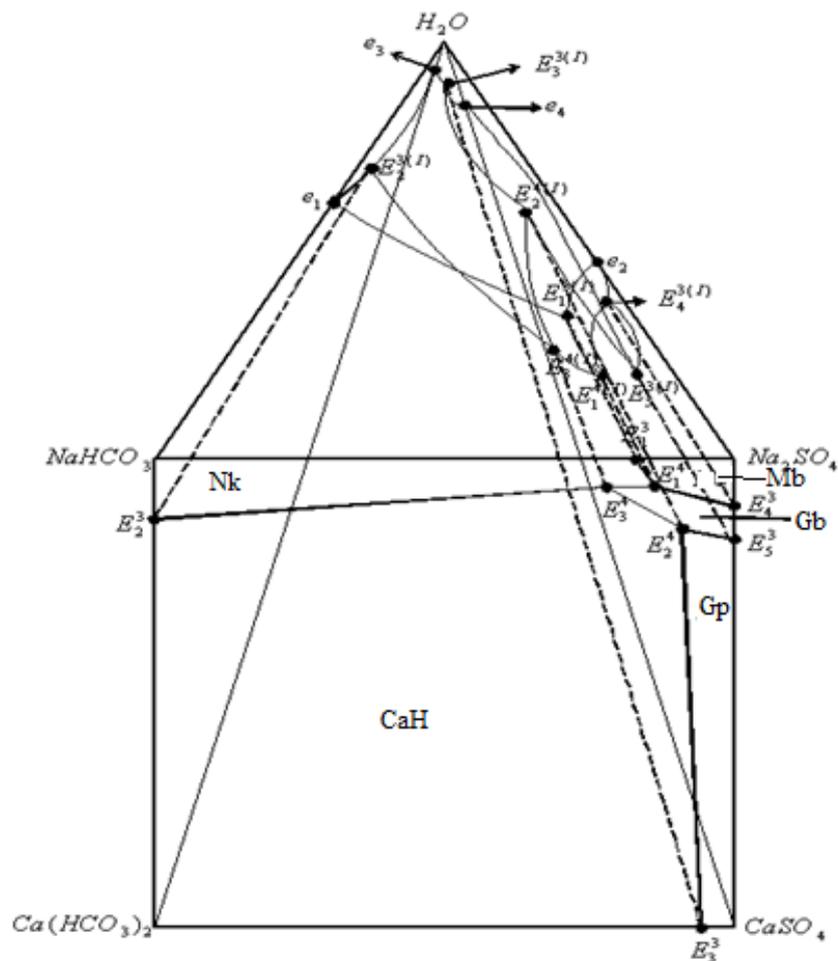
$\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$  – глауберит (Gb) [279]. Барои иҷрои таҷрибаҳои нақшавӣ реактивҳои зерин истифода шуданд:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (навъи-«х.ч.»),  $\text{NaHCO}_3$  (навъи-«ч.»),  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  (навъи-«ч.»),  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (навъи-«х.ч.»).

Дар ҷадвали 4.22 маълумот оид ба ҳалшавии пайвастаҳои инфиродӣ, дар нуқтаҳои нонвариантии системаи таҳқиқшаванда дар сатҳи таркиби секомпонента [108, 109] ва сатҳи таркиби чоркомпонента, ки умуман омӯхта нашуда буд [110, 111] аз ҷониби мо [279] ба даст омадаанд, пешниҳод шудаанд.

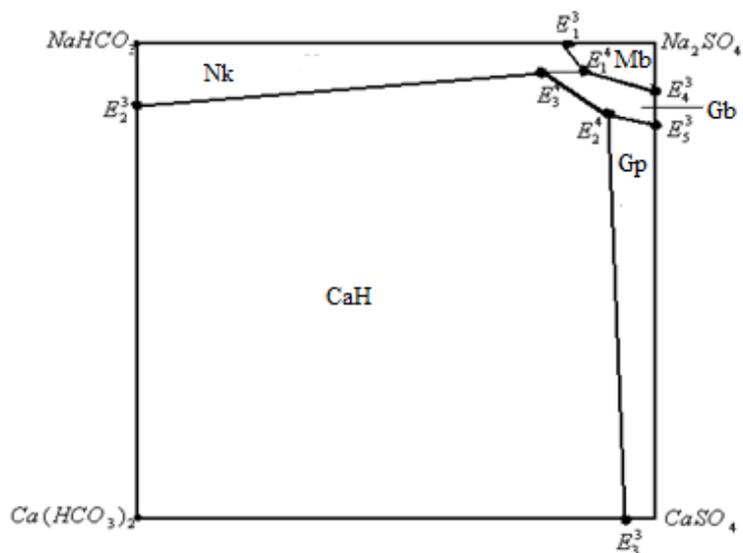
**Ҷадвали 4.22. – Ҳалшавандагии нуқтаҳои нонвариантии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$**

№ нуқта	Таркиби фазаҳои моеъ, мас. %					Таркиби фазаҳои сахт
	$\text{NaHCO}_3$	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{CaSO}_4$	$\text{H}_2\text{O}$	
e <sub>1</sub>	9.310	-	-	-	90.690	Nk
e <sub>2</sub>	-	21.900	-	-	78.100	Mb
e <sub>3</sub>	-	-	0.0160	-	99.984	CaH
e <sub>4</sub>	-	-	-	0.219	99.78	Gb
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	4.160	20.680	-	-	75.160	Nk+Mb
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	4.890	-	0.0109	-	95.090	Nk+CaH
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	-	-	0.0168	0.1860	99.7970	CaH+Gp
E <sub>4</sub> <sup>3</sup>	-	21.750	-	0.197	78.050	Mb+Gp
E <sub>5</sub> <sup>3</sup>	-	25.780	-	0.188	74.030	Gb+Gp
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	5.200	28.380	-	0.270	66.150	Nk+Mb+Gb
E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	-	25.140	0.0136	0.184	74.660	Gb+Gp+CaH
E <sub>3</sub> <sup>4</sup>	7.120	24.400	0.0163	-	68.460	Nk+CaH+Gb

Дар асоси маълумоти ин ҷадвали 4.22 аз ҷониби мо диаграммаи ҳалшавии системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$  сохта шуд, ки дар расми 4.35 нишон дода шудааст. Қисми намакии диаграммаи сохташуда дар шакли чоркунҷаи баробартараф дар расми 4.36 тасвир гардидааст.



Расми 4.35. – Диаграмма ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$



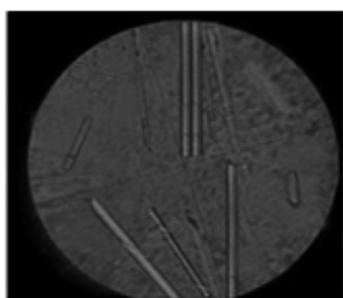
Расми 4.36. – Қисми намакии диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$

Тавсифи мундариҷаи намудҳои геометрии расми 4.35 дар ҷадвали 4.23 оварда шудааст ва натиҷаҳои таҳлили кристаллооптикаи [229-234] фазаҳои саҳти мувозинатӣ, микроакс дар расми 4.37 пешниҳод гардидаанд.

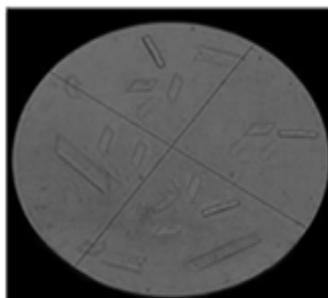
Ҷадвали 4.23. – Шарҳи шаклҳои геометрии расми 4.35

Шаклҳои геометрӣ дар диаграмма	Рамзкушоии аломатҳо
1	2
e <sub>1</sub>	Ҳалшавандагии гидрокарбонати натрий дар об
e <sub>2</sub>	Ҳалшавандагии сулфати натрий дар об
e <sub>3</sub>	Ҳалшавандагии гидрокарбонати калсий дар об
e <sub>4</sub>	Ҳалшавандагии сулфати калсий дар об
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Nk дар системаи H <sub>2</sub> O-3Na <sup>+</sup>   SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Nk+CaH дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   3HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии CaH+Gp дар системаи H <sub>2</sub> O-2Ca <sup>2+</sup>   SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,2HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>4</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Gb дар системаи H <sub>2</sub> O-2Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   2SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>5</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Gp+Gb дар системаи H <sub>2</sub> O-2Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   2SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Nk+Mb+Gb дар системаи Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -H <sub>2</sub> O
E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии CaH+Gb+Gp дар системаи Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -H <sub>2</sub> O
E <sub>3</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Nk+Gb+CaH дар системаи Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -H <sub>2</sub> O
E <sub>1</sub> <sup>3</sup> ————— E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Nk дар системаи H <sub>2</sub> O-3Na <sup>+</sup>   SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>2</sub> <sup>3</sup> ————— E <sub>3</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Nk+CaH дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   3HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>2</sub> <sup>3</sup> ————— E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии CaH+Gb дар системаи H <sub>2</sub> O-2Ca <sup>2+</sup>   SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,2HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>4</sub> <sup>3</sup> ————— E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Mb+Gb дар системаи H <sub>2</sub> O-2Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   2SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>

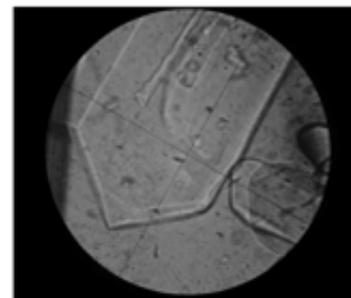
1	2
$E_5^3$ ————— $E_2^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Gb+Gp дар системаи $H_2O-3Na^+  SO_4^{2-},HCO_3^-$
$E_1^4$ ————— $E_3^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии Gb+Nk дар системаи $Na^+,Ca^{2+}  SO_4^{2-},HCO_3^--H_2O$
$E_2^4$ ————— $E_3^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии CaH+Gb дар системаи $Na^+,Ca^{2+}  SO_4^{2-},HCO_3^--H_2O$
$NaHCO_3E_1^3E_1^4E_3^4E_2^3NaHCO_3$	Майдони кристаллизатсияи нахколит
$Ca(HCO_3)_2E_2^3E_3^4E_2^4E_3^3$ $Ca(HCO_3)_2$	Майдони кристаллизатсияи гидрокарбонати калсий
$Na_2SO_4E_1^3E_1^4E_4^3Na_2SO_4$	Майдони кристаллизатсияи мирабилит
$CaSO_4E_3^3E_2^4E_5^3CaSO_4$	Майдони кристаллизатсияи гипс
$E_4^3E_1^4E_3^4E_2^4E_5^3E_4^3$	Майдони кристаллизатсияи глауберит



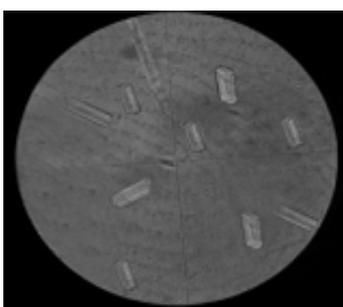
CaH



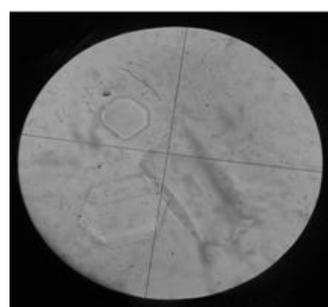
Gp



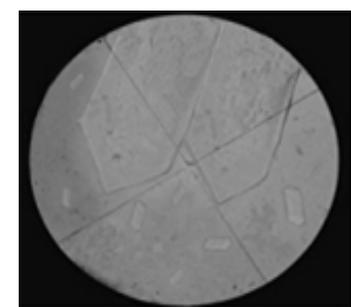
Mb



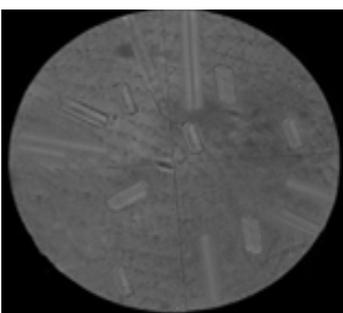
Nk



Gb



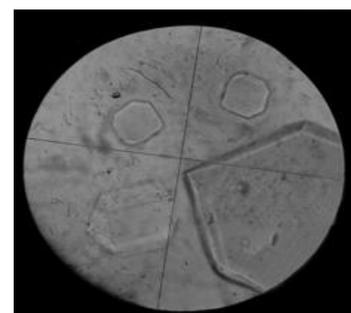
Mb+Nk



Nk+CaH



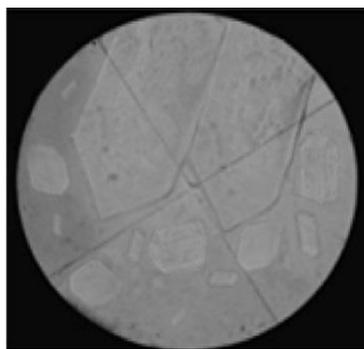
CaH+Gp



Mb+Gb



Gb+Gp



Mb+Nk+Gb



CaH+Gp+Gb



Gb+CaH+Nk

Расми 4.37. – Микроаксҳои фазаҳои мувозинатии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$

#### 4.6. Таҳқиқи ҳалшавандагӣ дар системаи муовизаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ – $\text{H}_2\text{O}$

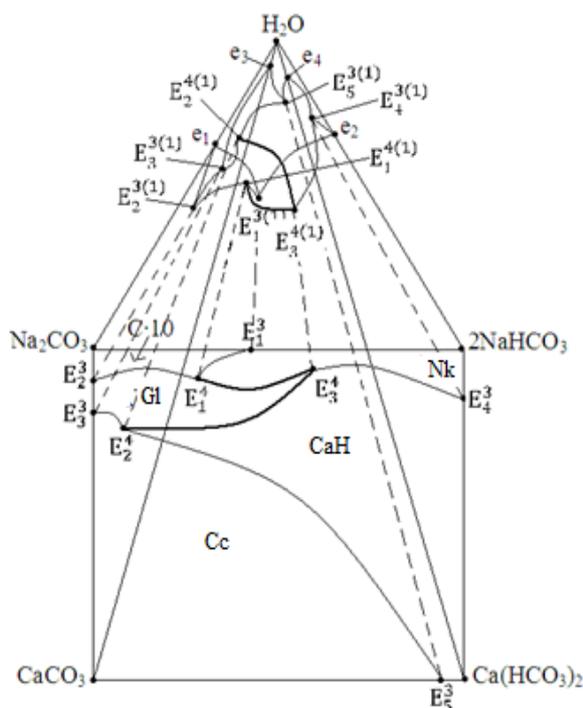
Ҳалшавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ – $\text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$ . Дар шароити додшуда фазаҳои саҳти мувозинатии системаи таҳқиқшаванда  $\text{CaCO}_3$  – калсит (Cc);  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – декагидрати карбонати натрий (Na10);  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – гейлюссит (Gl);  $\text{NaHCO}_3$  – нахколит (Nk);  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  – калсий гидрокарбонат (CaH) буда метавонанл [280, 281]. Барои таҷрибаҳо реактивҳои зерин истифода шуданд:  $\text{NaHCO}_3$  (навъи-«х.ч.»);  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (навъи-«ч.»);  $\text{CaCO}_3$  (навъи-«ч.»);  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  (навъи-«х.ч.»).

Дар ҷадвали 4.24 маълумот оид ба ҳалшавии пайвастагиҳои инфиродӣ, дар нуқтаҳои нонвариантии системаи таҳқиқшаванда дар сатҳи таркиби секомпонента [108, 109] ва сатҳи таркиби чоркомпонента, ки аз ҷониби мо [280] ба даст омадаанд, пешниҳод шудаанд.

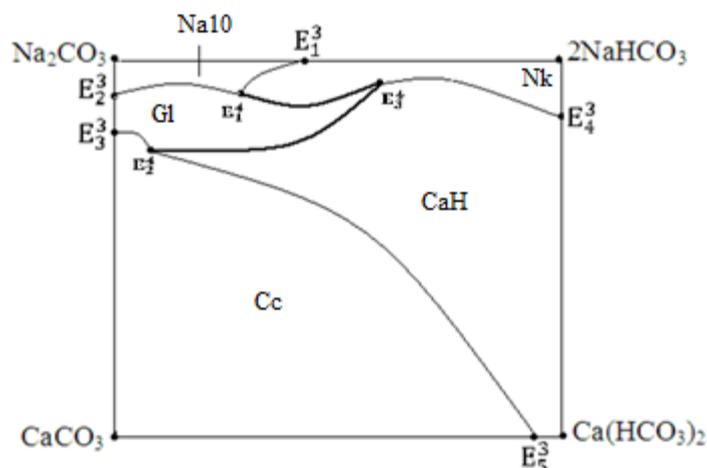
Чадвали 4.24. – Ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$

№ нукта	Таркиби фазаҳои моеъ, мас.%					Фазаҳои сахти мувозинатӣ
	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{NaHCO}_3$	$\text{CaCO}_3$	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{H}_2\text{O}$	
e1	6.5700	-	-	-	93.4300	Na10
e2	-	6.4900	-	-	93.5100	Nk
e3	-	-	0.0031	-	99.9969	Cc
e4	-	-	-	0.1440	99.8560	CaH
$E_1^3$	5.600	4.610	-	-	89.790	Na10+Nk
$E_2^3$	12.00	-	0.0048	-	87.9952	Na10+Gl
$E_3^3$	4.300	-	0.0046	-	95.6954	Gl+Cc
$E_4^3$	-	4.890	-	0.109	95.001	Nk+CaH
$E_5^3$	-	-	0.0014	0.0830	99.9156	Cc+CaH
$E_1^4$	6.1670	2.4430	0.0065	-	91.3835	Na10+Nk+Gl
$E_2^4$	5.9040	-	0.0057	0.3080	93.7823	Cc+Gl+CaH
$E_3^4$	5.5100	5.8960	-	0.1900	88.4040	Nk+CaH+Gl

Дар асоси маълумоти ин чадвали 4.24 аз ҷониби мо диаграммаи ҳалшавии системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$  сохта шуд, ки қисми обу намакии он дар расми 4.38 пешниҳод гардидааст. Қисми намакии диаграммаи сохташуда дар расми 4.39 нишон дода шудааст.



Расми 4.38. – Диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$



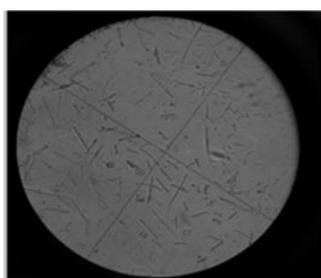
Расми 4.39. – Қисми намакии диаграммаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$

Тавсифи мундариҷаи намудҳои геометрӣ (майдонҳо, қачхатҳо, нуқтаҳо)-и расми 4.38 дар ҷадвали 4.25 оварда шудааст, ва натиҷаҳои таҳлили кристаллооптикийи фазаҳои саҳти мувозинатӣ (микрофотосуратҳо) дар расми 4.40 пешниҳод гардидаанд.

Ҷадвали 4.25. – Шарҳи элементҳои геометрӣ дар расми 4.38

Элементҳои геометрӣ	Рамзкушоии элементҳои геометрӣ
1	2
$e_1$	Ҳалшавандагии карбонати натрий дар об
$e_2$	Ҳалшавандагии гидрокарбонати натрий дар об
$e_3$	Ҳалшавандагии карбонати калсий дар об
$e_4$	Ҳалшавандагии гидрокарбонати калсий дар об
$E_1^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $\text{Na}_{10} + \text{Nk}$ дар системаи $\text{H}_2\text{O} - 3\text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^-$
$E_2^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $\text{Na}_{10} + \text{Gl}$ дар системаи $\text{H}_2\text{O} - 2\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel 2\text{CO}_3^{2-}$
$E_3^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $\text{Gl} + \text{Cc}$ дар системаи $\text{H}_2\text{O} - 2\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel 2\text{CO}_3^{2-}$
$E_4^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $\text{Nk} + \text{CaH}$ дар системаи $\text{H}_2\text{O} - \text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel 3\text{HCO}_3^-$
$E_5^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $\text{Cc} + \text{CaH}$ дар системаи $\text{H}_2\text{O} - 2\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, 2\text{HCO}_3^-$
$E_1^4$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $\text{Nk} + \text{Na}_{10} + \text{Gl}$ дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$

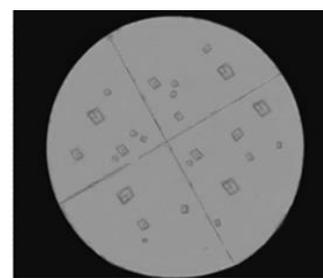
	<i>Идомаи ҷадвали 4.25.</i>
1	2
$E_2^4$	Нуктаи якҷоя кристаллизатсияшавии $Gl + Cc + CaH$ дар системаи $Na^+, Ca^{2+}    CO_3^{2-}, HCO_3^- - H_2O$
$E_3^4$	Нуктаи якҷоя кристаллизатсияшавии $Gl + CaH + Nk$ дар системаи $Na^+, Ca^{2+}    CO_3^{2-}, HCO_3^- - H_2O$
$E_1^3 — E_1^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $Na10+Nk$ дар системаи $H_2O-3Na^+    CO_3^{2-}, HCO_3^-$
$E_2^3 — E_1^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $Na10+Gl$ дар системаи $H_2O-2Na^+, Ca^{2+}    2CO_3^{2-}$
$E_3^3 — E_2^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $Cc+Gl$ дар системаи $H_2O-2Na^+, Ca^{2+}    2CO_3^{2-}$
$E_4^3 — E_3^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $CaH+Nk$ дар системаи $H_2O-Na^+, Ca^{2+}    3HCO_3^-$
$E_5^3 — E_2^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $Cc+CaH$ дар системаи $H_2O-2Ca^{2+}    CO_3^{2-}, 2HCO_3^-$
$E_1^3 Na_2CO_3 E_2^3 E_1^4 E_1^3$	Майдони кристаллизатсияи декагидрати карбонати натрий
$E_1^3 NaHCO_3 E_4^3 E_3^4 E_1^4 E_1^3$	Майдони кристаллизатсияи нахколит
$E_2^3 E_1^4 E_3^4 E_2^4 E_3^3 E_2^3$	Майдони кристаллизатсияи гейлюссит
$E_3^3 CaCO_3 E_5^3 E_2^4 E_3^3$	Майдони кристаллизатсияи калсит
$E_5^3 E_2^4 E_3^4 E_4^3 Ca(HCO_3)_2 E_5^3$	Майдони кристаллизатсияи гидрокарбонати калсий



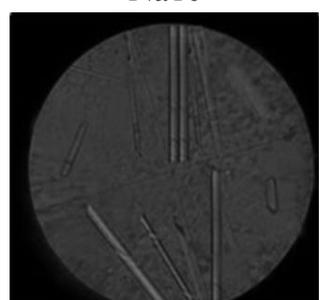
Na10



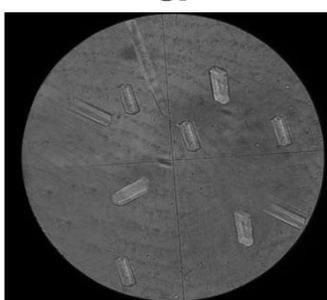
Gl



Cc



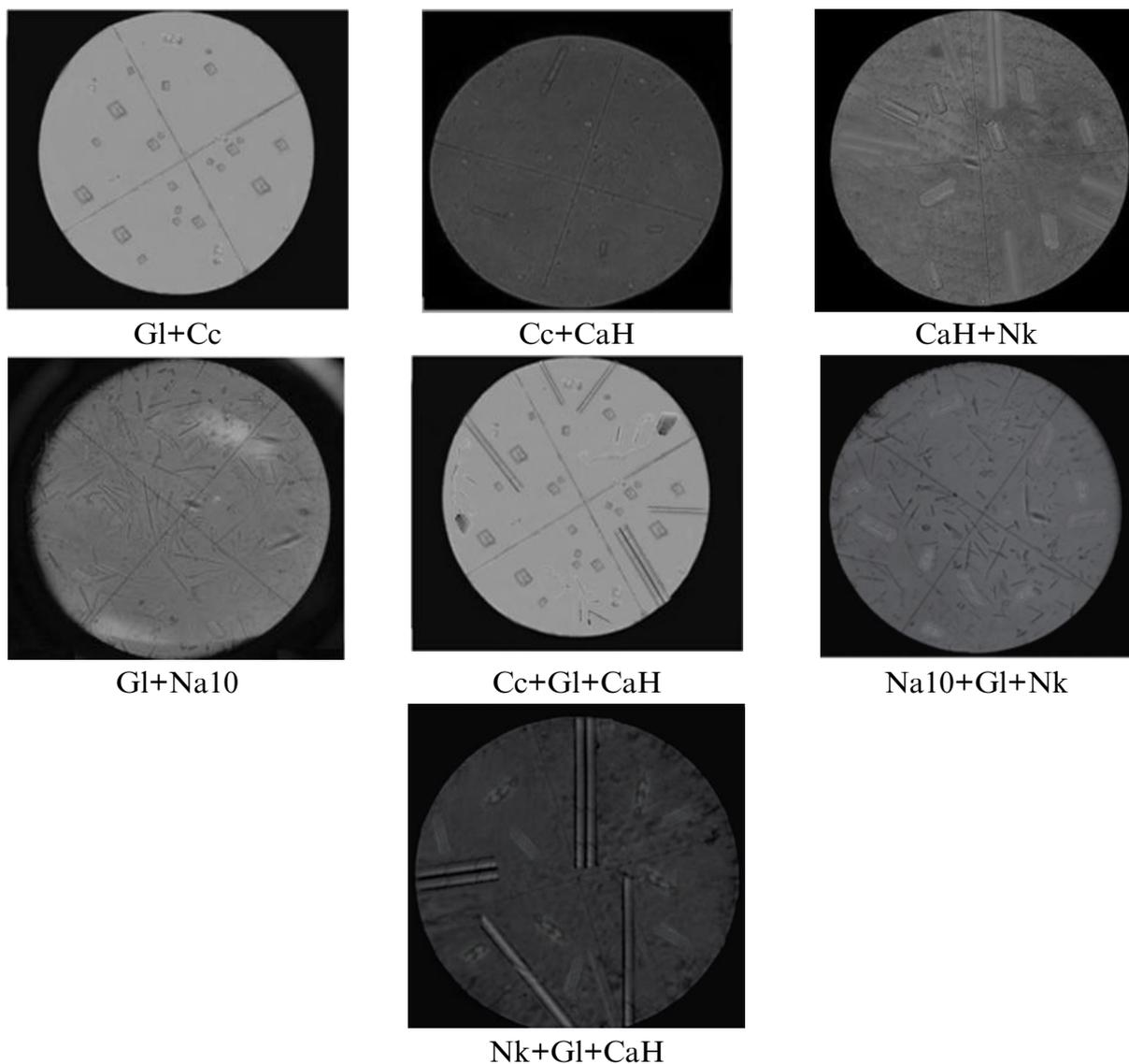
CaH



Nk



Na10+Gl



Расми 4.40. – Микроаксҳои фазаҳои саҳти мувозинатии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$

Изотермаи ҳалшавии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$ . Дар ҳарорати  $25\text{ }^\circ\text{C}$  дар системаи зерин фазаҳои саҳти мувозинатии  $\text{CaCO}_3$  – калсит (Cc);  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – декагидрати карбонати натрий (Na10);  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – гейлюссит (Gl);  $\text{NaHCO}_3$  – нахколит (Nk);  $\text{NaHCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – трона (Tr);  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  – калсий гидрокарбонат (CaH) ба мушоҳида мерасанд [282-284]. Барои эксперименталӣ таҳқиқи системаи мазкур дар муайянкунии ҳалшавандагӣ  $\text{NaHCO}_3$  (навъи-«х.ч.»);  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (навъи-«ч.»);  $\text{CaCO}_3$  (навъи-«ч.»);  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  (навъи-«х.ч.»).

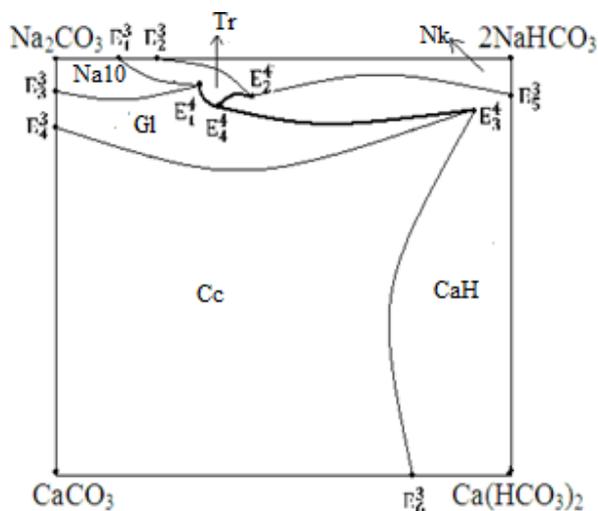
Дар ҷадвали 4.26 маълумот оид ба ҳалшавии пайвастаҳои алоҳида дар нуқтаҳои нонвариантии системаи таҳқиқшаванда барои сатҳи таркиби

секомпонента [108, 109] ва сатҳи таркиби чоркомпонента [282] пешниҳод шудаанд.

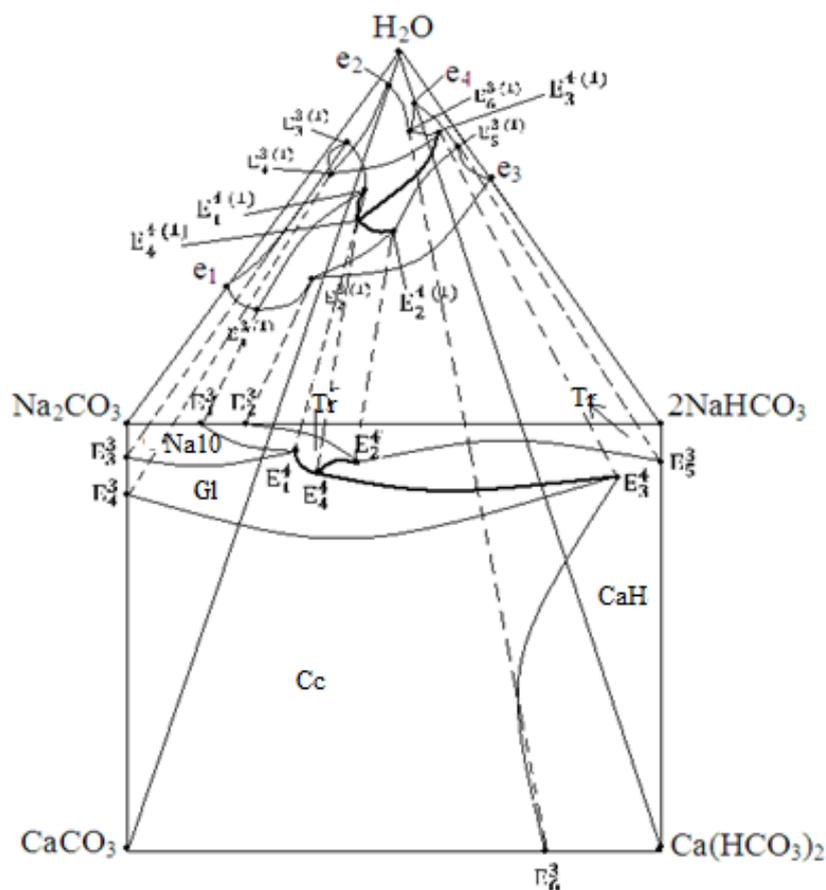
Чадвали 4.26. – Ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$

№ нуқта	Таркиби фазаҳои моеъ, мас.%					Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{CaCO}_3$	$\text{NaHCO}_3$	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{H}_2\text{O}$	
e1	22.9500	-	-	-	77.0500	Na10
e2	-	0.0048	-	-	99.9952	Cc
e3	-	-	9.3900	-	90.6100	Nk
e4	-	-	-	0.0160	99.9840	CaH
$E_1^3$	22.4600	-	2.8400	-	74.7000	Na10+Tr
$E_2^3$	17.6200	-	4.6200	-	77.7600	Tr+Nk
$E_3^3$	5.6500	0.0035	-	-	94.3465	Na10+Gl
$E_4^3$	4.5000	0.0024	-	-	95.4976	Gl+Cc
$E_5^3$	-	-	5.4300	0.0181	94.5519	Nk+CaH
$E_6^3$	-	0.0046	-	0.0179	99.9775	Cc+CaH
$E_1^4$	7.8500	0.00336	3.7200	-	88.4266	Na10+Tr+Gl
$E_2^4$	9.8300	-	4.6820	0.0229	85.4651	Tr+Nk+CaH
$E_3^4$	-	0.00423	4.4150	0.0215	95.5592	Cc+CaH+Gl
$E_4^4$	8.6740	-	3.9180	0.0198	87.3882	Tr+Gl+CaH

Дар асоси маълумоти чадвали 4.26 аз ҷониби мо диаграммаи ҳалшавии системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  сохта шуд, ки дар расми 4.41 нишон дода шудааст. Қисми обӣ-намакии диаграммаи сохташуда дар шакли чоркунҷаи баробартарафи ба қуллаи об пайваस्तбуда, дар расми 4.42 пешниҳод гардидааст.



Расми 4.41. – Қисми намакии диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$



Расми 4.42. – Диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$

Тавсифи мундариҷаи майдонҳо, қачхатҳо, нуқтаҳои расми 4.42 дар ҷадвали 4.27 оварда шудааст ва натиҷаҳои таҳлили кристаллооптикийи фазаҳои саҳти мувозинатӣ (микрофотосуратҳо) дар расми 4.43 пешниҳод гардидаанд.

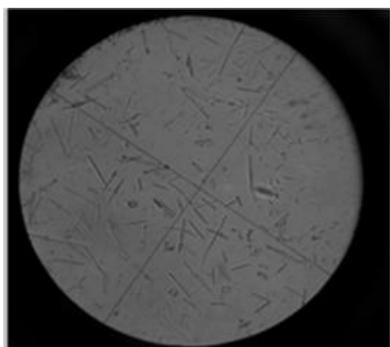
Ҷадвали 4.27. – Шарҳи ифодаҳои геометрӣ дар расми 4.42

Ишораҳои геометрӣ дар диаграмма	Рамзкушоии аломатҳои шартӣ
1	2
e <sub>1</sub>	Ҳалшавандагии карбонати натрий дар об
e <sub>2</sub>	Ҳалшавандагии карбонати калсий дар об
e <sub>3</sub>	Ҳалшавандагии гидрокарбонати натрий дар об
e <sub>4</sub>	Ҳалшавандагии гидрокарбонати калсий дар об
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Na <sub>10</sub> +Tr дар системаи H <sub>2</sub> O-3Na <sup>+</sup>   CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ,HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии Tr+Nk дар

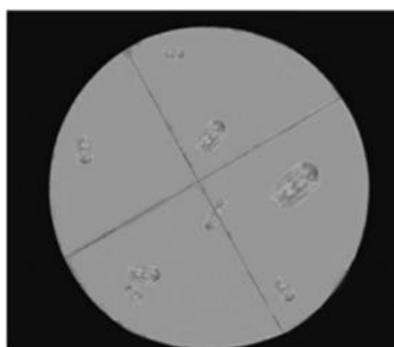
1	2
	системаи $H_2O-3Na^+  CO_3^{2-},HCO_3^-$
$E_3^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $Gl+Na10$ дар системаи $H_2O-2Na^+,Ca^{2+}  2CO_3^{2-}$
$E_4^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $Cc+Gl$ дар системаи $H_2O-2Na^+,Ca^{2+}  2CO_3^{2-}$
$E_5^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $Nk+CaH$ дар системаи $H_2O-Na^+,Ca^{2+}  3HCO_3^-$
$E_6^3$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $Cc+CaH$ дар системаи $H_2O-2Ca^{2+}  CO_3^{2-},2HCO_3^-$
$E_1^4$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $Tr+Na10+Gl$ дар системаи $Na^+,Ca^{2+}  CO_3^{2-},HCO_3^- -H_2O$
$E_2^4$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $Nk + Tr + CaH$ дар системаи $Na^+,Ca^{2+}  CO_3^{2-},HCO_3^- -H_2O$
$E_3^4$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $Gl + CaH + Cc$ дар системаи $Na^+,Ca^{2+}  CO_3^{2-},HCO_3^- -H_2O$
$E_4^4$	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии $Gl + Tr + CaH$ дар системаи $Na^+,Ca^{2+}  CO_3^{2-},HCO_3^- -H_2O$
$E_1^3 — E_1^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $Na10+Tr$ дар системаи $H_2O-3Na^+  CO_3^{2-},HCO_3^-$
$E_2^3 — E_2^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $Nk+Tr$ дар системаи $H_2O-3Na^+  CO_3^{2-},HCO_3^-$
$E_3^3 — E_1^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $Na10+Gl$ дар системаи $H_2O-2Na^+,Ca^{2+}  2CO_3^{2-}$
$E_4^3 — E_3^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $Cc+Gl$ дар системаи $H_2O-2Na^+,Ca^{2+}  2CO_3^{2-}$
$E_5^3 — E_2^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияи $Nk+CaH$ дар системаи $H_2O-Na^+,Ca^{2+}  3HCO_3^-$
$E_6^3 — E_3^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии $Cc+CaH$ дар системаи $H_2O-2Ca^{2+}  CO_3^{2-},2HCO_3^-$
$E_1^3Na_2CO_3E_3^3E_1^4E_1^3$	Майдони кристаллизатсияи декагидрати карбонати натрий
$E_2^3NaHCO_3E_5^3E_2^4E_2^3$	Майдони кристаллизатсияи нахколит

$E_1^3 E_1^4 E_4^4 E_2^4 E_2^3 E_1^3$	Майдони кристаллизатсияи трона
$E_3^3 E_1^4 E_4^4 E_3^4 E_4^3 E_3^3$	Майдони кристаллизатсияи гейлюссит
$E_4^3 CaCO_3 E_6^3 E_3^4 E_4^3$	Майдони кристаллизатсияи калсит
$E_5^3 E_2^4 E_4^4 E_3^4 E_6^3 Ca(HCO_3)_2 E_5^3$	Майдони кристаллизатсияи гидрокарбонати калсий

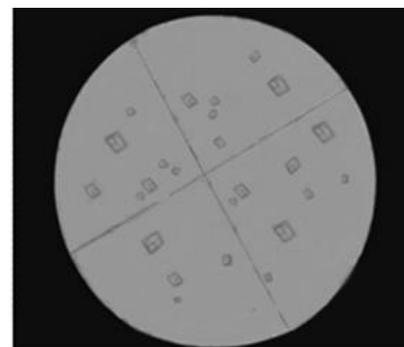
Вобаста ба ҳамаи бахшҳои диаграммаи ҳолатии системаи  $Na^+$ ,  $Ca^{2+} || CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^- - H_2O$  дар  $25\text{ }^\circ C$  таҳлилҳои кристаллооптикӣ гузаронида шуда, микроаксҳои фазаҳои мувозинатии ифодаҳои геометрие, ки дар ҷадвали 4.27 оварда шуда, ҳамзамон рамзкушоӣ гардидаанд дар расми 4.42 оварда шудаанд. Дар расми 4.43 - 16 микроакс мавҷуд буда, 6-тои аввал барои майдонҳои дивариантии фазаҳои алоҳида, 6-тои минбаъда барои хатҳои моновариантии фарогири ду фазаҳои мувозинатӣ ва 4-тои охир барои нуқтаҳои нонвариантие, ки тибқи талаботҳои асосҳои таҳлили физико-химиявӣ дар он се фаза дар мувозинат мебошанд, оварда шудаанд.



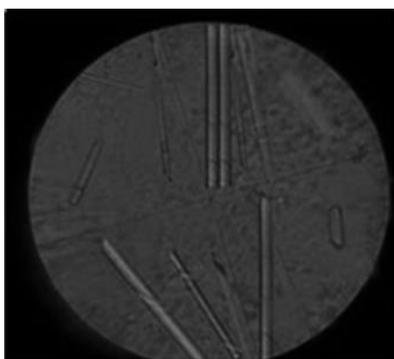
Na10



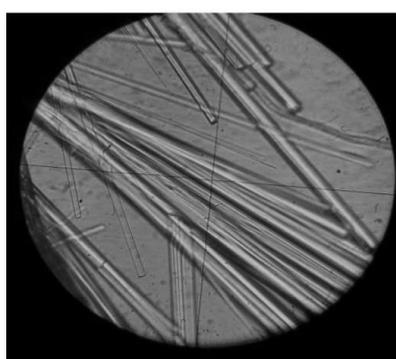
Gl



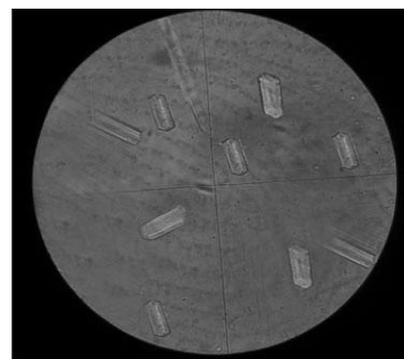
Cc



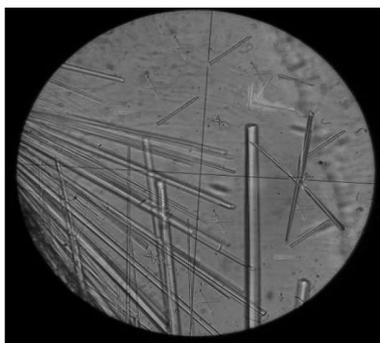
CaH



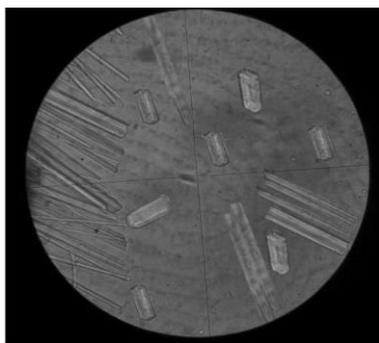
Tr



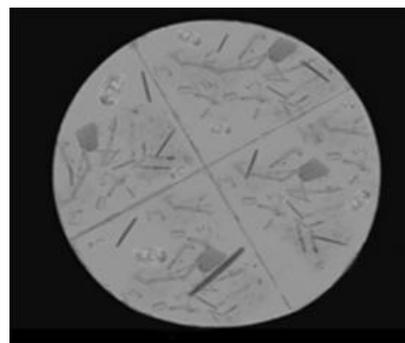
Nk



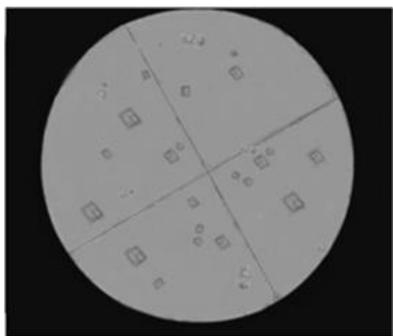
Na10+Tr



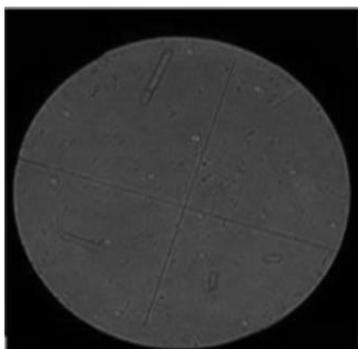
Tr+Nk



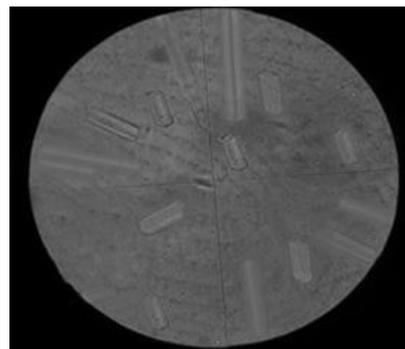
Na10+Gl



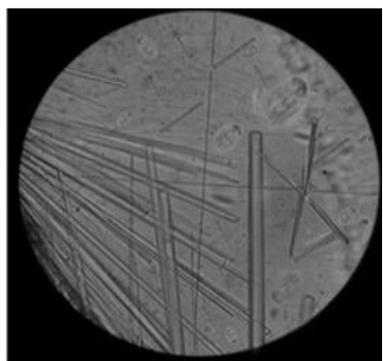
Gl+Cc



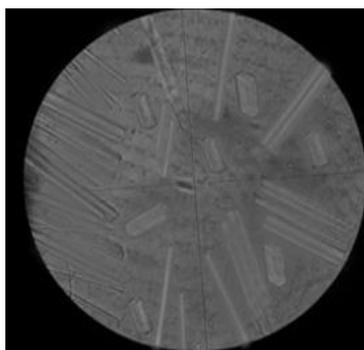
Cc+CaH



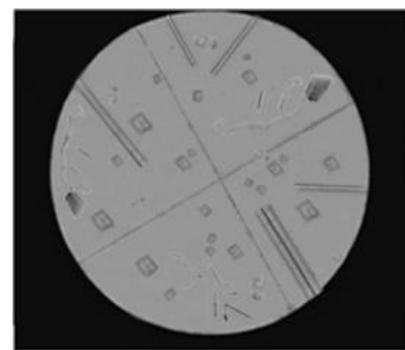
CaH+Nk



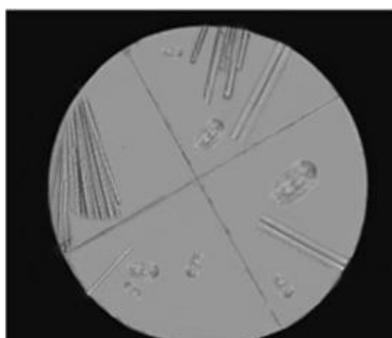
Gl+Na10+Tr



Tr+Nk+CaH



Cc+Gl+CaH



Gl+Tr+CaH

Расми 4.43. – Микроаксҳои фазаҳои саҳти мувозинатии системаи

$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$

Чи хеле, ки натиҷаҳои ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$  ҷадвали 4.26 ифода мекунад, баландшавии ҳарорат дар баробари тағйирот ворид намудан ба ҳалшавандагии моддаҳо дар

шакли геометрӣ, инчунин ба тағйироти фазагӣ дар системаи мазкур меоварад. Ин боиси мураккаб гардидани сохтори диаграмма нисбат бар диаграммаи системаи мазкур дар 0 °C мегардад.

Агар ҳалшавандагии қисмҳои таркибии системаи музкурро муқоиса намоем (ҷадв. 4.25 ва 4.27) таъсири ҳароратро дар он мебинем. Мисол: бо баланшавии ҳарорат ҳалшавандагии карбонати натрий - аз 6.57 ба 22.95 % дар маҳлул; гидрокарбонати натрий – аз 6.49 ба 9.39 %; карбонати калсий – аз 0.0031 ба 0.0048 % ва гидрокарбонати калсий бошад – аз 0.144 ба 0.0160 тағйир меёбад. Инчунин баланшавии ҳарорат боис мегардад, ки байни фазаҳои декагидрати карбонати натрий ва нахколит таъсири муттақобила ба амал омада фазаи нави трона, ки кристаллогидрати намаки омехта мебошад, ҳосил шавад.

Дар изотермаи 0 °C консентратсияи моддаҳо барои қатъҳои моноварианти чунин мебошанд: 5.6 % -  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ва 4.61 % -  $\text{NaHCO}_3$  бо фазаҳои мувозинатии саҳти  $\text{Na10} + \text{Nk}$ ; 12.0 % -  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ва 0.0048 %  $\text{CaCO}_3$  бо фазаи мувозинатии саҳти  $\text{Na10} + \text{Gl}$ ; 4.3 % -  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ва 0.0046 % -  $\text{CaCO}_3$  бо фазаҳои мувозинатии саҳти  $\text{Gl} + \text{Cc}$ ; 4.89 % -  $\text{NaHCO}_3$  ва 0.109 % -  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  бо фазаҳои мувозинатии саҳти  $\text{Nk} + \text{CaH}$  ва 0.0014 % -  $\text{CaCO}_3$  ва 0.083 % -  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  бо фазаҳои мувозинатии саҳти  $\text{Cc} + \text{CaH}$ .

Барои изотермаи 25 °C консентратсияи моддаҳо дар фазаи моеъ чунин мебошад: 22.46 % -  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ва 2.84 % -  $\text{NaHCO}_3$  бо фазаҳои мувозинатии саҳти  $\text{Na10} + \text{Tr}$ ; 17.62 % -  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ва 4.62 –  $\text{NaHCO}_3$  бо фазаҳои мувозинатии саҳти  $\text{Tr} + \text{Nk}$ ; 5.65 % -  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0.0035 % -  $\text{CaCO}_3$  бо фазаҳои мувозинатии саҳти  $\text{Na10} + \text{Gl}$ ; 4,5 % -  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ва 0.0024 % -  $\text{CaCO}_3$  бо фазаҳои мувозинатии саҳти  $\text{Gl} + \text{Cc}$ ; 5.43 % -  $\text{NaHCO}_3$  ва 0.0181 %  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  бо фазаҳои мувозинатии саҳти  $\text{Nk} + \text{CaH}$ ; 0.0046 % -  $\text{CaCO}_3$  ва 0.0179 % -  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  бо фазаҳои мувозинатии саҳти  $\text{Cc} + \text{CaH}$ . Таъсири ҳарорат на ин ки ба ҳалшавандагӣ, балки ба ҳосилшавии фазаи нави мувозинатӣ меоварад. Дар ин система тағйирот дар ҳосилшавии фазаҳои саҳти мувозинатии нуқтаҳо ва консентратсияи қисмҳои таркибии онҳо ба назар мерасанд.

## БОБИ 5. ПАРАМЕТРҲОИ КОНСЕНТРАТСИОНИИ ФАЗАҲОИ САХТИ МУВОЗИНАТӢ ДАР СИСТЕМАИ $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ АСОСИ КОРКАРДИ ПАРТОВҲОИ МОЕӢИ ИСТЕҲСОЛИ АЛЮМИНИЙ

### 5.1. Мувозинати нонварианти дар системаи бисёркомпонентаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$

Диаграммаҳои ҳолат пояи асосӣ барои технологон ба шумор рафта, он аз ҷониби Николай Семёнович Курнаков, ки асосгузори тариқаи таҳлили физико-химиявӣ мебошад ба ду қисм ҷудо намуда, шарҳ дода шудааст [1, 29]. Қисми якум остовҳои координатӣ ва қисми дуюм комплекси фазагӣ мебошанд. Шаклҳои геометрии майдонҳо, хатҳо ва нуқтаҳо аз муҳимтарин бахши диаграммаи комплекси фазагӣ ба шумор меравад ва он диаграмма дар асоси консентратсияи фазаҳои қисмҳои таркибии моеъи система мавқеъ пайдо менамояд.

Мувофиқи қоидаи фазаҳои Гиббс [285], мавқеи нуқтаҳои нонварианти дар диаграмма бояд ҳолатҳои системаро инъикос кунанд, ки дар он бо маҳлули сершуда миқдори ниҳонии имконпазири фазаҳои сахт, дар асоси компонентнокии система дар мувозинат қарор дорад. Вариантҳои ташаккули нуқтаҳои нонварианти бо компонентнокии система зич алоқаманданд. Вариантҳои ҳосилкунии дастраси нуқтаҳои нонвариантии системаҳои химиявӣ аз компонентнокии система вобаста буда, афзоиши онҳо бо зиёд гардидани ташаккули нуқтаҳои нонварианти муттаносиби роста мебошанд. Мувофиқи назарияи таҳлили физико-химиявӣ [3], новобаста аз вариантҳои ташаккули нуқтаи нонварианти, консентратсияи мувозинатии фазаи моеъ барои он бояд доимӣ бошад. Аммо, мувофиқи маълумоти адабиёти [4], дар бисёр ҳолатҳо барои як ва якхела таркиби фазавии таҳшинҳои нуқтаҳои нонварианти маҳлулҳои сершудаи мувозинатӣ бо миқдори гуногуни қисмҳои таркибӣ (компонентҳо) муайян карда шудаанд. Масалан, дар системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,

$\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  –  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$  барои яке аз нуқтаҳои нонварианти ду таркиби гуногуни фазаи моеъи мувозинатӣ муайян шудааст (ҷадв. 5.1).

Ҷадвали 5.1. – Ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$

Намуна	Таркиби маҳлули сер, мас. %							Таркиби фазаи сахт
	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{NaHCO}_3$	$\text{CaSO}_4$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{CaCO}_3$	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{H}_2\text{O}$	
ТПМ	5.2800	4.5100	-	5.7800	0.0054	-	84.4246	Nk+Mb+Na10+Gl
Эксп.	5.3700	4.6900	-	5.7600	0.0061	-	84,1739	Nk+Mb+Na10+Gl

Тавре ки аз ҷадвали 5.1 дида мешавад, барои як ва якхела таркиби фазаҳои сахти мувозинатии фазаи моеъи мувозинатӣ бо миқдори гуногуни намакҳои дахлдор хос аст. Аз ин рӯ, метавон хулоса кард, ки чор фазаи сахти мувозинатии зикршуда, ки ба ин нуқтаи нонварианти мувофиқат мекунанд, метавонанд якҷоя на дар концентратсияи муайяни (доимӣ)-и фазаи моеъи мувозинатӣ барои онҳо, балки дар як интервали концентратсияи намакҳои дар он мавҷудбуда кристаллизатсия шаванд.

Ин маънои онро дорад, ки чунин як нуқтаи нонварианти аз рӯи концентратсияи намакҳо дар фазаи моеъи мувозинатӣ дорои «андоза»-и муайян аст. Агар ба ин изҳорот розӣ шавем, пас ба андешаи мо, ин метавонад бо роҳҳо (вариантҳо)-и расидан ба ин ҳолати мувозинатӣ алоқаманд бошад. Асоснокии мулоҳизаҳои дар боло овардашуда бо натиҷаҳои пешгӯии мувозинатҳои фазавӣ (комплексҳои фазавӣ)-и системаҳои бисёркомпонентӣ бо усули транслятсия [112-116] тасдиқ мегардад, ки он ба мувофиқати шаклҳои сохтори қисмҳои чузъӣ (масалан, n-компонента) ва системаҳои умумӣ (масалан, n+1 компонента) дар як диаграмма ҳамчун яке аз усулҳои универсалтарини таҳқиқи системаҳои бисёркомпонентӣ асос ёфтааст [286]. Имконияти воқеии татбиқи чунин усули пешгӯии сохтори диаграммаҳои системаҳои бисёркомпонента аз гуфтаҳои Н.С. Курнаков бармеояд, ки «...ҳар гуна диаграммаи системаи бисёркомпонентаро метавон ҳамчун диаграммае баррасӣ намуд, ки аз диаграммаи система бо шумораи камтари компонентҳо ба вучуд омадааст. Бо ворид кардани компонентҳои нав ё мураккабсозии шароити дигари

мувозинат дар ҳоле ки элементҳои хоси диаграммаи соддатар аз байн намеравад, балки танҳо шакли дигари геометрии мегиранд» [1, 29]. Мувофиқи усули транслятсия, шаклҳои геометрии трансформатсияшуда ҳангоми гузариш аз ҳолати  $n$ -компонента ба  $n+1$ -компонента, мувофиқи хосиятҳои топологии худ ва бо риояи қоидаи фазаҳои Гиббс, бо ҳамдигар вохурда, шаклҳои геометрии (майдонҳо, хатҳо, нуқтаҳо)-и системаро дар сатҳи  $n+1$ -компонента ба вучуд меоранд.

Таҷрибаи татбиқи усули транслятсия барои пешгӯӣ ва сохтани диаграммаҳои мувозинатҳои фазавии системаҳои бисёркомпонента (панҷ ва шашкомпонента) ба вариантҳои гуногуни ташаккули шаклҳои геометрии онҳо ишора мекунад [287-290]. Дар қорҳои [291-298] кӯшиши пешгӯии омезишҳои имконпазири фазаҳои сахт дар нуқтаҳои нонвариантии системаи  $\text{Na, K, Mg, Ca} \parallel \text{SO}_4, \text{Cl} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25^\circ\text{C}$  бо усули кам кардани энергияи Гиббс анҷом дода шудааст. Аммо, натиҷаҳои бадастомада имкон намедоданд, ки диаграммаҳо мувофиқи мувозинатҳои фазавӣ сохта шаванд. Илова бар ин, ба гуфтаи худӣ муаллифон, бо афзоиши компонентнокии система, натиҷаҳои бадастомада камтар боэътимод мегарданд. Дар зербоби мазкур вариантҳои ташаккули нуқтаҳои нонвариантии системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$ , ки бо усули транслятсия муайян карда шудаанд, баррасӣ мешаванд. Бо истифода аз усули ҳалшавандагӣ [183, 184] барои системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$  4 нуқтаи нонвариантии бо фазаҳои сахти мувозинатӣ муайян карда шуданд:  $E_1^5 = \text{Mb} + \text{Na10} + \text{Nk} + \text{Gl}$ ;  $E_2^5 = \text{Gr} + \text{CaH} + \text{Cc} + \text{Gl}$ ;  $E_3^5 = \text{Gr} + \text{Nk} + \text{Mb} + \text{Gl}$ ;  $E_4^5 = \text{Nk} + \text{CaH} + \text{Cc} + \text{Gl}$ . Барои нуқтаи нонвариантии 1 аз рӯйи таҷриба ду таркиби маҳлули сершуда пайдо шудааст, дар ҳоле ки барои ду нуқтаи дигар яктогӣ таркиб муайян гардидааст. Маълумотҳои, ки бо усули транслятсия ба даст омадаанд, мавҷудияти чаҳор нуқтаи нонвариантиро барои ин система тасдиқ карда ва ҳамзамон таркиби гуногуни маҳлули сершударо барои як ва якхела нуқтаи нонвариантии шарҳ медиҳанд. Ин

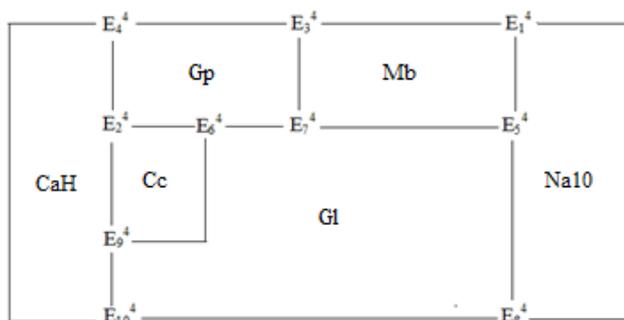
далелро бо таҳлили роҳҳои ташаккули нуқтаҳои нонвариантии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$  метавон тасдиқ кард.

Системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  панҷ системаи чоркомпонентаро дар бар мегирад, ки барои онҳо дар  $0^\circ\text{C}$  нуқтаҳои нонвариантии бо фазаҳои саҳти мувозинатии мувофиқ хосанд (ҷадв. 5.2).

Ҷадвали 5.2. – Фазаҳои саҳти мувозинатии нуқтаҳои нонвариантии дар системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  барои  $0^\circ\text{C}$  дар сатҳи чоркомпонентагии таркиб

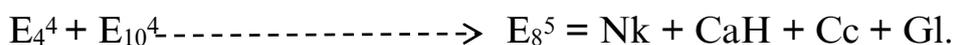
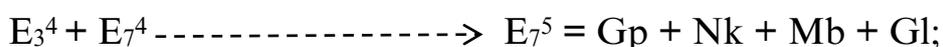
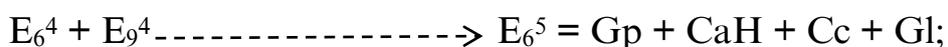
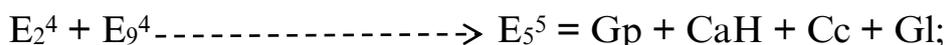
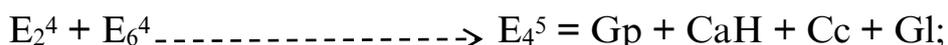
Нуқтаҳои нонвариантии	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ	Нуқтаҳои нонвариантии	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$		$\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	
$E_1^4$	Mb + Na10 + Nk	$E_5^4$	Na10 + Mb + Gl
$\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$		$E_6^4$	Cc + Gp + Gl
$E_8^4$	Na10 + Gl + Nk	$E_7^4$	Mb + Gl + Gp
$E_9^4$	Gl + Cc + CaH	$\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	
$E_{10}^4$	Gl + Nk + CaH	$E_3^4$	Mb + Nk + Gp
$3\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$		$E_4^4$	Nk + Gp + CaH
$E_2^4$	Gp + CaH + Cc		

Диаграммаи схематикии [177] комплекси фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$  [183, 184, 299] дар сатҳи таркиби чоркомпонента, ки дар асоси маълумоти ҷадвали 5.2 сохта шудааст (рас. 5.1).

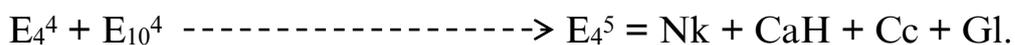
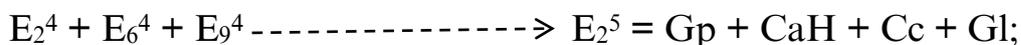
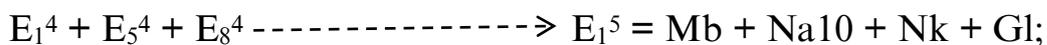


Расми 5.1. – Диаграммаи комплекси фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$ , сатҳи таркиби чоркомпонента

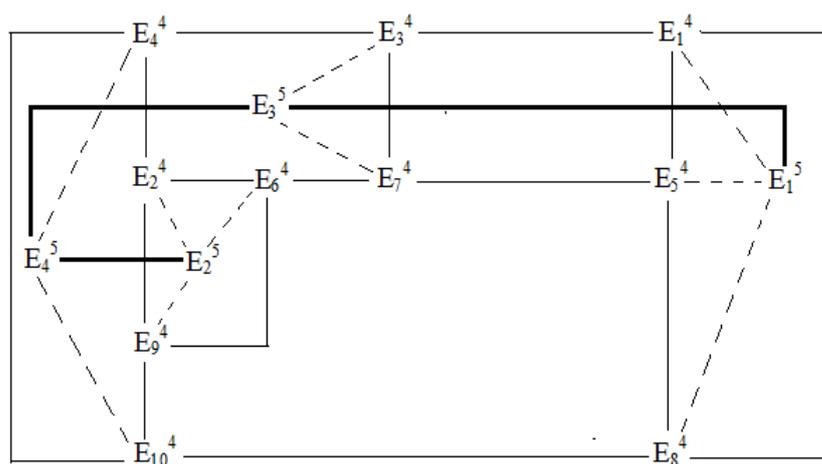
Транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии чоркомпонента ба сатҳи таркиби панҷкомпонента дар шакли хатҳои моновариантӣ ва буриши мутақобилаи онҳо, бо риояи қоидаи фазаҳои Гиббс, бо пайдоиши нуқтаҳои нонвариантии панҷгонаи зерин сабаб мешаванд:



Тавре ки мебинем, аз 8 нуқтаи нонвариантии панҷгонаи бавучудомада,  $E_1^5$ ,  $E_2^5$ ,  $E_3^5$  ва инчунин  $E_4^5$ ,  $E_5^5$ ,  $E_6^5$  бо фазаҳои саҳти мувозинатии якхела хосанд. Ин маъно дорад, ки онҳо дар натиҷаи буриши сетаарафаи хатҳои моновариантӣ, ки ҳангоми транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии чоргона ба вучуд омадаанд, ташаккул меёбанд. Аз ин рӯ, барои системаи панҷкомпонентаи  $Na^+$ ,  $Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^- - H_2O$  дар  $0^\circ C$  на ҳашт, балки 4 нуқтаи нонвариантии панҷгона хос аст, ки ба таври зайл ташаккул ёфтаанд:



Диаграммаи схематикии [178] комплекси фазавии системаи  $Na^+$ ,  $Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^- - H_2O$  дар  $0^\circ C$  бо усули транслятсия дар асоси ин маълумот сохта шудааст (рас. 5.2).



Расми 5.2. – Диаграммаи якҷояи схематикӣи комплекси фазагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}||\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  барои  $0\text{ }^\circ\text{C}$  дар сатҳи чор-панҷкомпонентагӣ

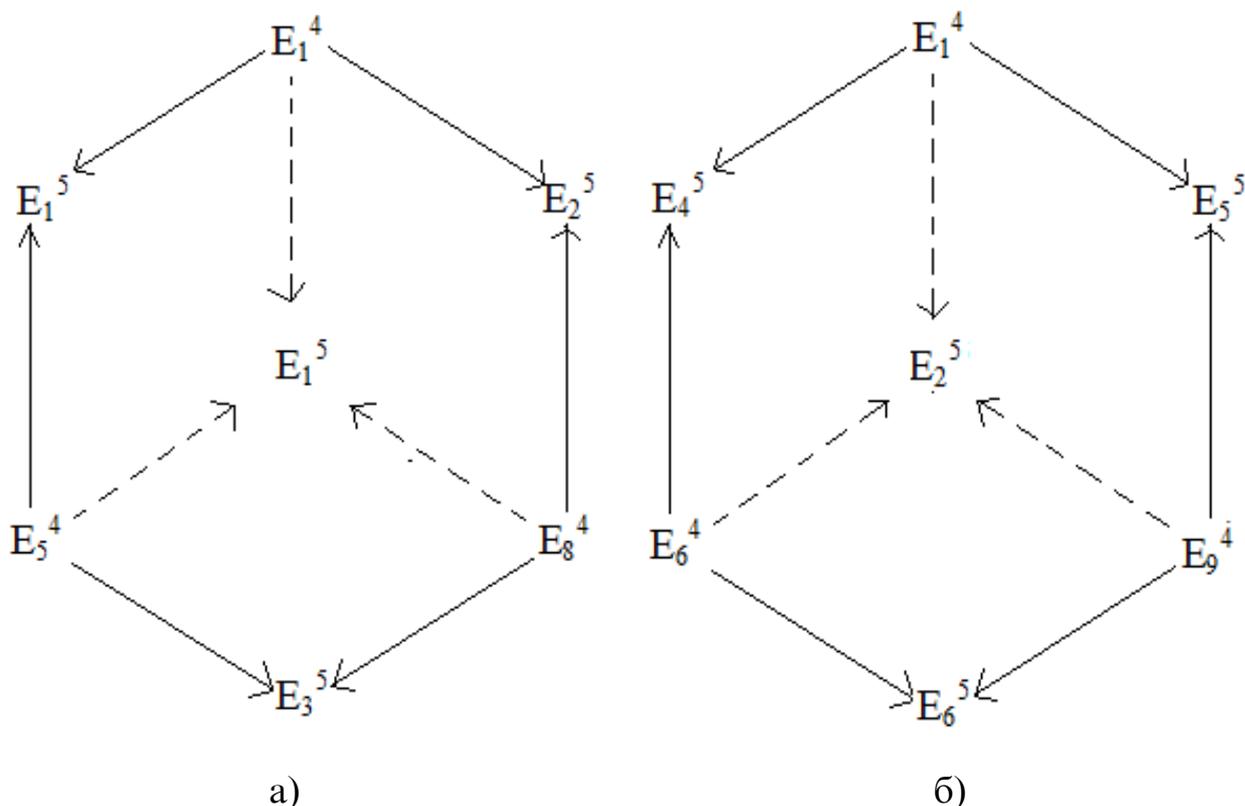
Мувозинати дар нуқтаҳои нонварианти бо усули трансляция муайяншударо аз рӯи таҷриба бо якчанд роҳ ба даст овардан мумкин аст. Масалан, мувозинатро дар нуқтаи нонварианти  $E_3^5$  бо роҳҳои зерин расидан мумкин аст:

- илова кардани нахколит ( $\text{NaHCO}_3$ ) ба маҳлуле, ки бо фазаҳои саҳти  $\text{Mb} + \text{Gl} + \text{Gr}$  ( $E_7^4$ ) сер шудааст;
- ё илова намудани гейлюссит ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) ба маҳлули бо фазаҳои саҳти  $\text{Mb} + \text{Nk} + \text{Gr}$  ( $E_3^4$ ) сер шуда.

Усули трансляция ҳамчунин роҳи сеюми расидан ба мувозинатро нишон медиҳад. Омехтани маҳлули сершуда бо фазаҳои саҳти нуқтаи  $E_3^4$  бо маҳлули сершудаи нуқтаи  $E_7^4$  ва баъдан ба ҳолати мувозинат овардани омехтаи ҳосилшуда дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$ . Ин усул талаботи камтар нисбат ба вақт ва хароҷоти моддӣ дорад. Роҳҳои амалӣ гардонидани мувозинат дар ду нуқтаи дигари нонварианти панҷгона, ки бо се маротиба бурида шудани хатҳои моноварианти ташаккул ёфтаанд, хеле зиёданд. Се варианти тосершавии омехтаҳои ибтидоии нуқтаҳои нонварианти чоргона бо фазаи саҳти навбатӣ ва як вариант, ки бо омезиши маҳлулҳои сершудаи ибтидоии ҳар се нуқтаи нонварианти чоргона бо фазаҳои саҳти мувозинатии ҳосилшуда ва ба ҳолати мувозинат овардани омехтаи ҳосилшуда алоқаманд аст.

Бо назардошти гуфтаҳои боло, метавон пешгӯӣ кард, ки таркиби гуногуни маҳлули сершудаи нуқтаи нонварианти системаи

бисёркомпонента бо як ва якхела таркиби фазаҳои сахти мувозинатӣ (ҷадв. 5.1) ба роҳҳои гуногуни расидан ба мувозинат алоқаманд аст. Аз ин рӯ, ташаккули нуқтаҳои нонвариантии панҷгонаи  $E_1^5$  ва  $E_2^5$  системаи  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  ||  $SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$  -  $H_2O$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$ -ро ба таври графикӣ чунин ифода кардан мумкин аст (рас. 5.3).



Расми 5.3. – Тарҳи вариантҳои ҳосилшавии нуқтаҳои нонвариантии системаи  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  ||  $SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$  -  $H_2O$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$  зимни тарнслятсияи нуқтаҳои чорчанда ба сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ бо таҳшинҳои: а)  $Mb+Na10+Nk+Gl$ ; б)  $Gr+CaH+Cc+Gl$

Дар расми 5.3 қачхатҳои кашидашуда бо тирчаҳо буриши дугарафаро ва хатҳои пунктирӣ бо тирчаҳо буриши сетарафаи қачхатҳои моновариантиро ҳангоми ташаккули нуқтаҳои нонвариантии  $E_1^5$  ва  $E_2^5$  нишон медиҳанд. Фазаҳои сахти мувозинатӣ, ки хоси нуқтаҳои нонвариантии буда, дар расми 5.3 ишора гаштаанд, дар матни боло оварда шудаанд.

Аз гуфтаҳои боло метавон пешгӯӣ кард, ки мо бо ҳолате дар диаграммаи системаҳои бисёркомпонента мувозинатҳои нонвариантии на танҳо дар шакли нуқтаҳои беандоза, балки, дар шакли ифодаҳои

геометрии (нонвариантии) дорои андозаи муайян инъикос ёфта метавонанд, сарукар дорем. Андозаи ин шаклҳо бо таркибҳои гуногуни фазаи моеъи мувозинатӣ, ки барои як ва якхела таркиби фазаҳои сахти мувозинатӣ хосанд, муайян карда мешавад.

Тағйирёбии таркиби фазаи моеъи мувозинатӣ метавонад ба роҳҳои гуногуни (вариантҳои) ташаккули ин шакли геометрии нуқтаи нонвариантӣ алоқаманд бошад. Чунин фарзия на танҳо бо мисоли баррасишудаи ҳалшавандагии системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$ , балки бо таҳқиқи дигар системаҳои бисёркомпонента низ тасдиқ меёбад. Масалан, барои системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Mg} \parallel \text{SO}_4$ ,  $\text{Cl} - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$  ва  $50^\circ\text{C}$  аз рӯи таҷриба муайян шудааст [125, 126], ки барои як ва якхела таркиби фазаҳои сахти мувозинатӣ, таркиби фазаи моеъи мувозинатӣ метавонад гуногун бошад.

Таркиби гуногуни химиявии маҳлули сершуда дар системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$  қадвали 5.1 барои як ва якхела таркиби фазаҳои сахти нуқтаҳои нонвариантиро, бешубҳа, бо тартиби пайдарпайи илова кардани намакҳои муайян ба омехтаи ибтидоӣ шарҳ додан мумкин аст. Вариантҳои гуногуни транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии чоргона ба сатҳи таркиби панҷкомпонента мувофиқат мекунад.

Имконияти принципалии мувофиқати як ва якхела таркиби фазаҳои сахти нуқтаҳои нонвариантӣ ба фазаҳои моеъи мувозинатӣ, ки аз рӯи таркиби химиявӣ гуногунанд, дар ҳолати бисёркомпонента будани системаи таҳқиқшаванда нишон дода шуд. Ин метавонад бо гуногунии роҳҳои расидан ба мувозинати нонвариантӣ асоснок карда шавад.

Тавре ки тадбиқи усули транслятсия барои пешгӯӣ ва сохтани диаграммаҳои комплексҳои фазавии системаҳои панҷ- ва шашкомпонента нишон медиҳад, чунин хулоса ба принципҳои асосии таҳлили физико-химиявӣ ва қоидаи фазаҳои Гиббс муҳолифат намекунад. Аз ин рӯ, мувозинати нонвариантӣ дар диаграммаи системаи бисёркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  метавонад на танҳо дар шакли нуқта (вақте

ки як варианти ташаккули он вучуд дорад), инчунин дар шакли ифодаи геометрии нуқта, инчунин онро шартан метавон квазинуқта номид, ки андозаи муайян дорад. Вақте мувозинат метавонад бо зиёда аз як вариант амалӣ шуда, инъикос ёбад. Аввалин маротиба мувозинати нонварианти [300, 301] дар системаҳои бисёркомпонента аз ҷониби Л. Солиев пешниҳод гардидаст.

## 5.2. Мувозинати моноварианти дар системаи бисёркомпонентаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$

Доништани қонуниятҳои мувозинатҳои фазавӣ ва сохтори комплексҳои фазавии системаҳои бисёркомпонента на танҳо аз ҷиҳати илмӣ, балки барои фароҳам овардани шароити беҳтарин барои коркарди ашёи хоми табиӣ полиминералӣ ва мураккаби техникӣ (партовҳои истехсолӣ) ниҳоят зарур аст. Муайян кардани ин қонуниятҳо дар таҷриба бо мушкилиҳои зиёде рӯбарӯ аст, ки муҳимтарини онҳо инҳоянд:

- набудани шаклҳои геометрии бисёрченакаи воқеӣ [285] барои нишон додани қонуниятҳои ошкоршуда;
- набудани усулҳои боэътимоди муайянкунии фазаҳои саҳти мувозинатӣ аз сабаби гуногунии онҳо;
- харочоти зиёди моддӣ ва вақт ҳангоми гузаронидани таҷрибаҳо.

Барои ҳалли ин мушкилот як қатор усулҳо [286] таҳия шудаанд, аммо истифодаи онҳо маҳдуд аст. Аз ҷумла, таҳқиқи системаи бисёркомпонента бо усули кам кардани энергияи Гиббс [291-298] ба ақидаи худи муаллифон, барои системаҳое, ки на бештар аз чор компонент доранд, натиҷаҳои қаноатбахш медихад. Ҳангоми афзоиши компонентнокии система ба 5 ва зиёда аз он, дақиқии ҳисобҳо коҳиш меёбад. Илова бар ин, дар асоси натиҷаҳои бо ин усул бадастомада, диаграммаи комплекси фазавии пӯшидаи системаи таҳқиқшударо сохтан ғайриимкон аст. Дар баробари ин, фарзияи Н.С. Курнаков, ки мегӯяд: «...ҳар гуна диаграммаи системаи бисёркомпонентаро метавон ҳамчун диаграммае баррасӣ кард, ки аз диаграммаи система бо шумораи камтари компонентҳо ба вучуд омада, бо

ворид кардани компонентҳои нав ё шароити дигари мувозинат мураккаб мешаванд, дар ҳоле ки унсурҳои хоси диаграммаи соддатар аз байн намеравад, танҳо шакли дигари геометрии мегиранд...» [1, 29]. Ин бошад имкон дод, ки дар асоси ду принципи асосии таҳлили физико-химиявӣ [1] принципи сеюм – принципи мувофиқати шаклҳои геометрии системаҳои  $n$  ва  $n+1$  компонентӣ дар як диаграмма [117, 119] таҳия гардад. Ҳамин тавр, усули транслятсия [40] барои пешгӯии мувозинатҳои фазавии системаҳои бисёркомпонента ва баъдан сохтани диаграммаҳои комплексҳои фазавии онҳо таҳия гардидааст.

Таҷрибаи татбиқи усули транслятсия барои таҳқиқи қисмҳои системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  [183, 198, 199, 203, 204, 206-208] ба хусусияти гуногуни ташаккули шаклҳои геометрии ва бахусус хатҳои моновариантии системаҳои таҳқиқшуда ишора мекунад.

Дар қорҳои [301, 302] шароити ташаккули мувозинатҳои нонвариантиро дар системаи панҷкомпонентаи  $\text{NaCl} - \text{KCl} - \text{MgCl}_2 - \text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$  дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$  баррасӣ гардидааст, ки дар он нишон дода шудааст, ки афзоиши компонентнокии система бо пайдоиши вариантҳои иловагии ташаккули мувозинатҳои нонвариантии ҳамроҳ мешавад. Дар натиҷаи ин, нуқтаи нонвариантии дар диаграммаи системаи химиявӣ ҳолати мувозинати нонвариантиро инъикос мекунад, аз ҳисоби консентратсияи компоненти иловашуда андозаи муайянеро қасб намуда, ба «квaziнуқта» мубаддал мегардад.

Дар қори мазкур имкониятҳои ташаккули мувозинатҳои моновариантии дар системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$  [206] баррасӣ шудаанд. Ин системаи панҷкомпонента аз 5 системаи чоркомпонента иборат аст.

Дар қадвали 5.3 нуқтаҳои нонвариантии панҷгонаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$  бо фазаҳои саҳти мувозинатии хоси онҳо оварда шудаанд.

Чадвали 5.3. – Фазаҳои сахти мувозинатии нуқтаҳои нонвариантии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}||\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ барои ҳарорати 75 °C

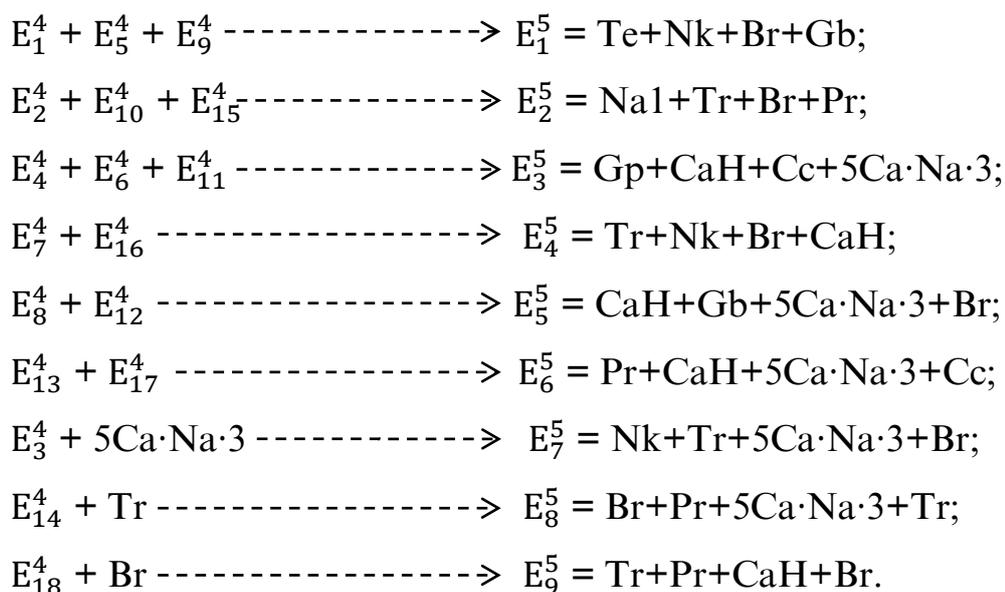
Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои сахти мувозинат	Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои сахти мувозинат
$5\text{Na}^+ \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{CO}_3^{2-} \cdot \text{HCO}_3^- \cdot \text{H}_2\text{O}$		$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+}    \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} \cdot \text{H}_2\text{O}$	
$E_1^4$	Te+Nk+Br	$E_9^4$	Te+Br+Gb
$E_2^4$	Na1+Tr+Br	$E_{10}^4$	Na1+Br+Pr
$E_3^4$	Nk+Tr+Br	$E_{11}^4$	Gb+Cc+5Ca·Na·3
$3\text{Ca}^{2+} \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{CO}_3^{2-} \cdot 2\text{HCO}_3^- \cdot \text{H}_2\text{O}$		$E_{12}^4$	5Ca·Na·3+Gb+Br
$E_4^4$	Gp+Cc+CaH	$E_{13}^4$	5Ca·Na·3+Pr+Cc
$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+}    \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- \cdot \text{H}_2\text{O}$		$E_{14}^4$	Br+Pr+5Ca·Na·3
$E_5^4$	Nk+Te+Gb	$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+}    \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- \cdot \text{H}_2\text{O}$	
$E_6^4$	CaH+5Ca·Na·3+Gp	$E_{15}^4$	Na1+Tr+Pr
$E_7^4$	Nk+CaH+Gb	$E_{16}^4$	Tr+Nk+CaH
$E_8^4$	CaH+Gb+5Ca·Na·3	$E_{17}^4$	Pr+CaH+Cc
		$E_{18}^4$	Tr+Pr+CaH

Дар чадвали 5.3 рақамҳои тартибии нуқтаҳои нонварианти барои осонии баёни мавод, чунон ки дар қорҳои [108-112] ҳастанд, нигоҳ дошта шудаанд. Маълумот дар бораи мувозинатҳои фазаӣ дар нуқтаҳои нонвариантии системаҳои панҷкомпонента аз қори [206] гирифта шудаанд, ки дар онҳо бо усули транслятсия муайян карда шудаанд, инчунин аз [116], ки дар онҳо қисман бо усули ҳалшавандагӣ муайян шудаанд. Ҳангоми илова кардани компоненти панҷум ба яке аз системаҳои чоркомпонента (n-компонента), ки дар чадвали 5.3 оварда шудаанд ва табдил додани он ба системаи панҷкомпонента (n+1 компонентӣ), шаклҳои геометрии системаҳои панҷкомпонента андозаи худро ба як воҳид (1) зиёд мекунад ва трансформатсия мешаванд.

Масалан, нуқтаҳои нонварианти, ки дараҷаи озодии (вариантноки) онҳо ба сифр (0) баробар аст, ба хатҳои моноварианти табдил меёбанд, ки дараҷаи озодии онҳоро ба як (1) баробар мекунад. Баъдан, шаклҳои геометрии табдилёфта дар сатҳи таркиби n+1 компонента бо қачхатҳои моноварианти, ки ҳангоми транслятсияи дигар нуқтаҳои панҷгона ба сатҳи таркиби шашкомпонента ба вуҷуд омадаанд ва аз хати моновариантии буридашаванда бо як фаза фарқ мекунад, воҳӯрда, мувофиқи талаботи фазаҳои Гиббс [117], нуқтаҳои нонвариантии сатҳи n+1 компонентаи

системаро ташкил медиҳанд. Ин буришҳо вобаста ба компонентнокии система метавонанд дутарафа ё бисёртарафа бошанд [108-112]. Тавре ки натиҷаҳои татбиқи усули транслятсия [40] барои пешгӯӣ ва сохтани комплексҳои фазавии системаҳои чор- ва панҷкомпонента [116] нишон медиҳанд, ташаккули нуқтаҳои нонварианти дар системаи n+1 компонента на танҳо ҳангоми бурида шудани хатҳои моноварианти, ки аз транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии системаҳои n-компонента ба вуҷуд омадаанд, балки, ҳангоми бурида шудани онҳо бо хатҳои моновариантии дар байни нуқтаҳои нонвариантии таркиби n+1 компонента мегузаранд, ба амал меояд.

Дар зер ифодаи риёзӣ вариантҳои гуногуни бурида шудани хатҳои моновариантии ҳангоми трансформатсияи нуқтаҳои панҷгона ба вуҷуд омадаанду дар яке аз фазаҳои саҳти мувозинатӣ тафовуд доранд, оварда шудааст:



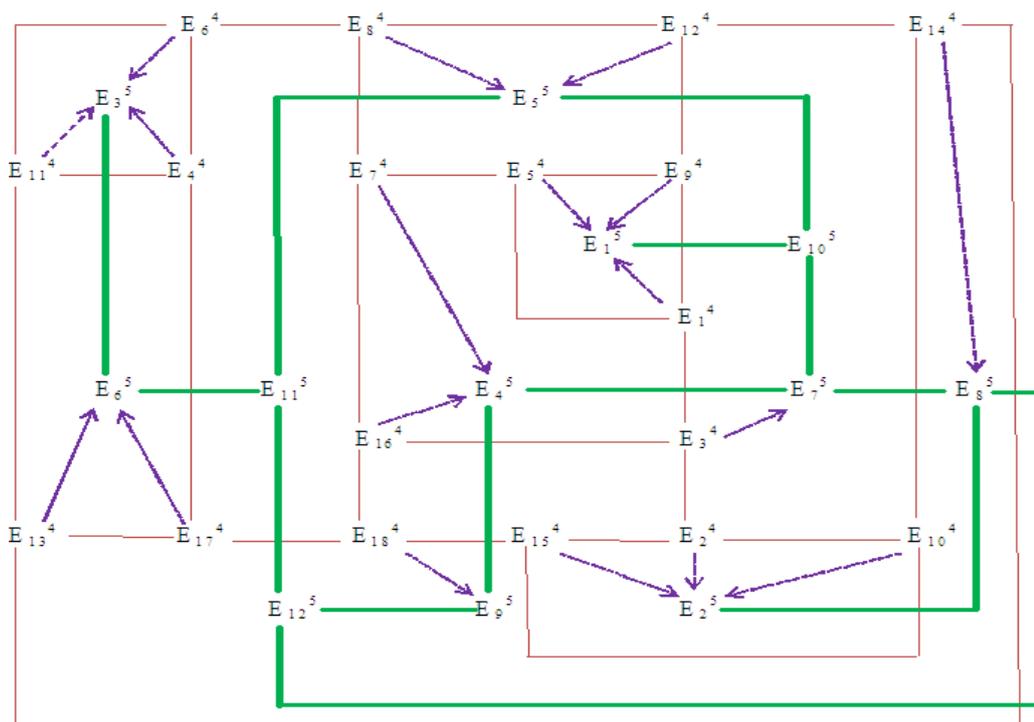
Тасвири графיקии гуфтаҳои боло дар шакли диаграммаи схематикӣ якҷояи комплекси фазавии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$  дар сатҳи таркибҳои панҷкомпонента оварда шудааст, ки дар расми 5.4 нишон дода шудааст.

Аз расми 5.4 дида мешавад, ки байни нуқтаҳои нонварианти хатҳои гуногуншакл мегузаранд. Байни нуқтаҳои нонвариантии чоркомпонента – шаклҳои хатҳои борики яклухт; байни нуқтаҳои нонвариантии

чоркомпонента ба панҷкомпонента – дар шаклҳои хатҳои пунктирӣ бо тирчаҳо; байни нуқтаҳои нонвариантии панҷгона – дар шаклҳои хатҳои ғафси яклухт.

Хатҳое, ки байни нуқтаҳои нонвариантии чоргона мегузаранд, хатҳои моновариантии сатҳи таркиби чоркомпонентаи системаи таҳқиқшаванда мебошанд. Хатҳои пунктирӣ, ки байни нуқтаҳои нонвариантии чоркомпонента ва панҷкомпонента мегузаранд, хатҳои моновариантии сатҳи таркиби панҷкомпонентаро ифода мекунанд. Ин хатҳо дар натиҷаи транслясияи нуқтаҳои нонвариантии чоркомпонента мувофиқ ба сатҳи таркиби панҷкомпонента ба вуҷуд омадаанд ва тирча самти транслясияро нишон медиҳад.

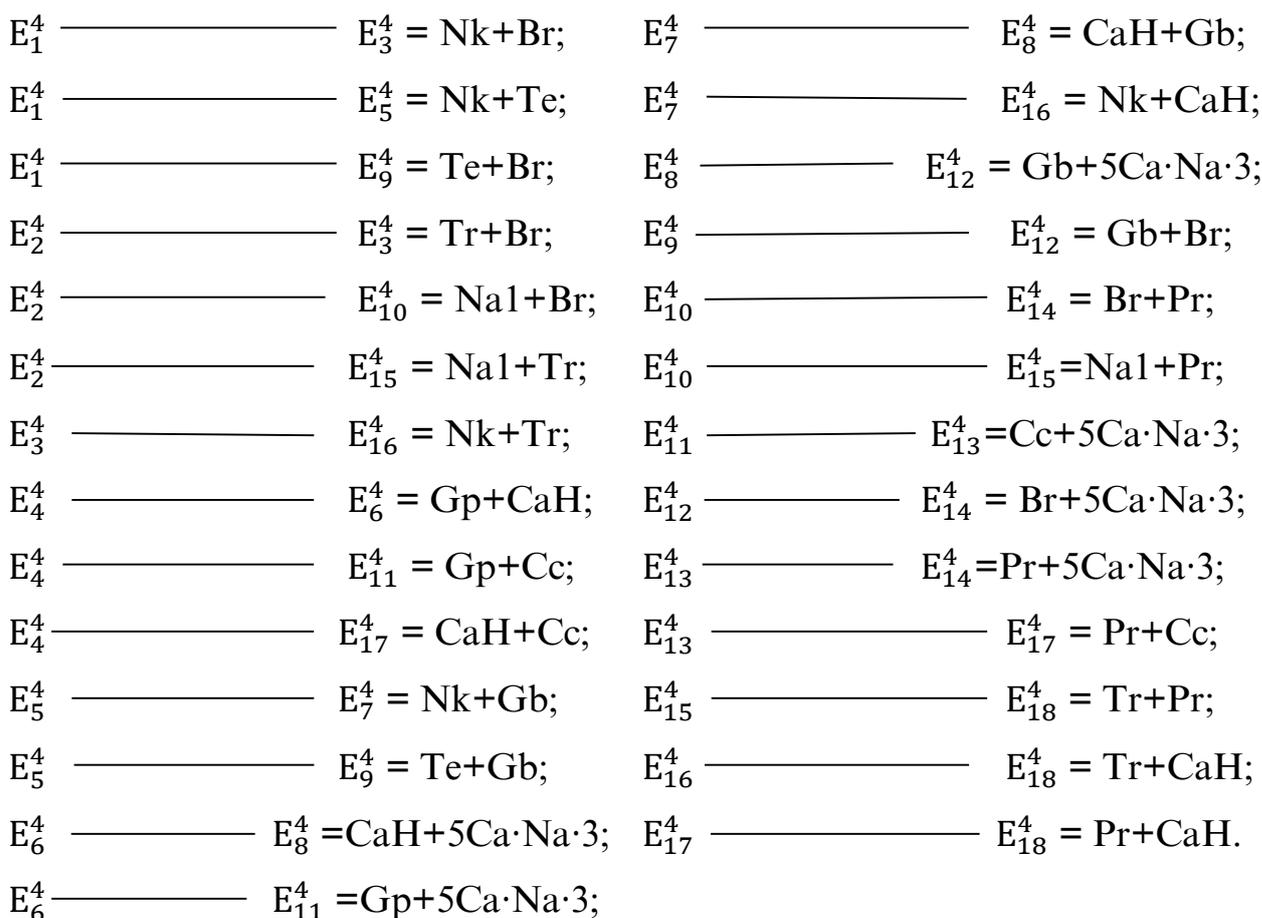
Хатҳои ғафси яклухт низ хатҳои моновариантии сатҳи таркиби панҷкомпонентаро инъикос мекунанд ва онҳо байни нуқтаҳои нонвариантии панҷкомпонента мегузаранд.



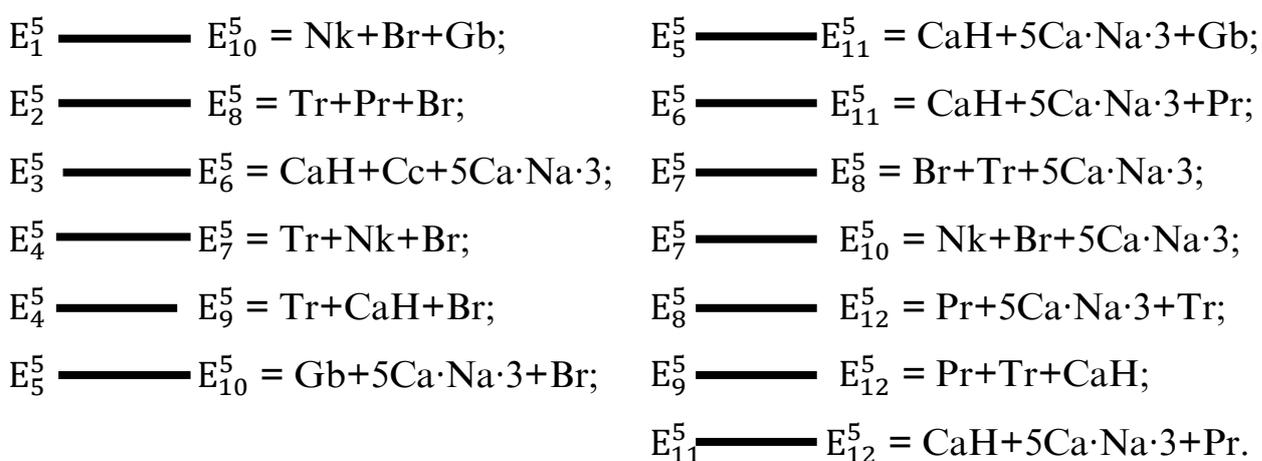
Расми 5.4. – Диаграммаи комплекси фазагии якҷояи чор-панҷкомпонентаи системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $75^\circ\text{C}$

Хатҳои моновариантӣ, ки дар расми 5.4 нишон дода шудаанд, на танҳо аз рӯи шакл, балки аз рӯи таркиби фазагии фазаҳои саҳти мувозинатии хоси онҳо низ фарқ мекунанд. Хатҳои моновариантӣ, ки

байни нуқтаҳои нонвариантии чоргона мегузаранд, бо фазаҳои саҳти мувозинати зерин хосанд:

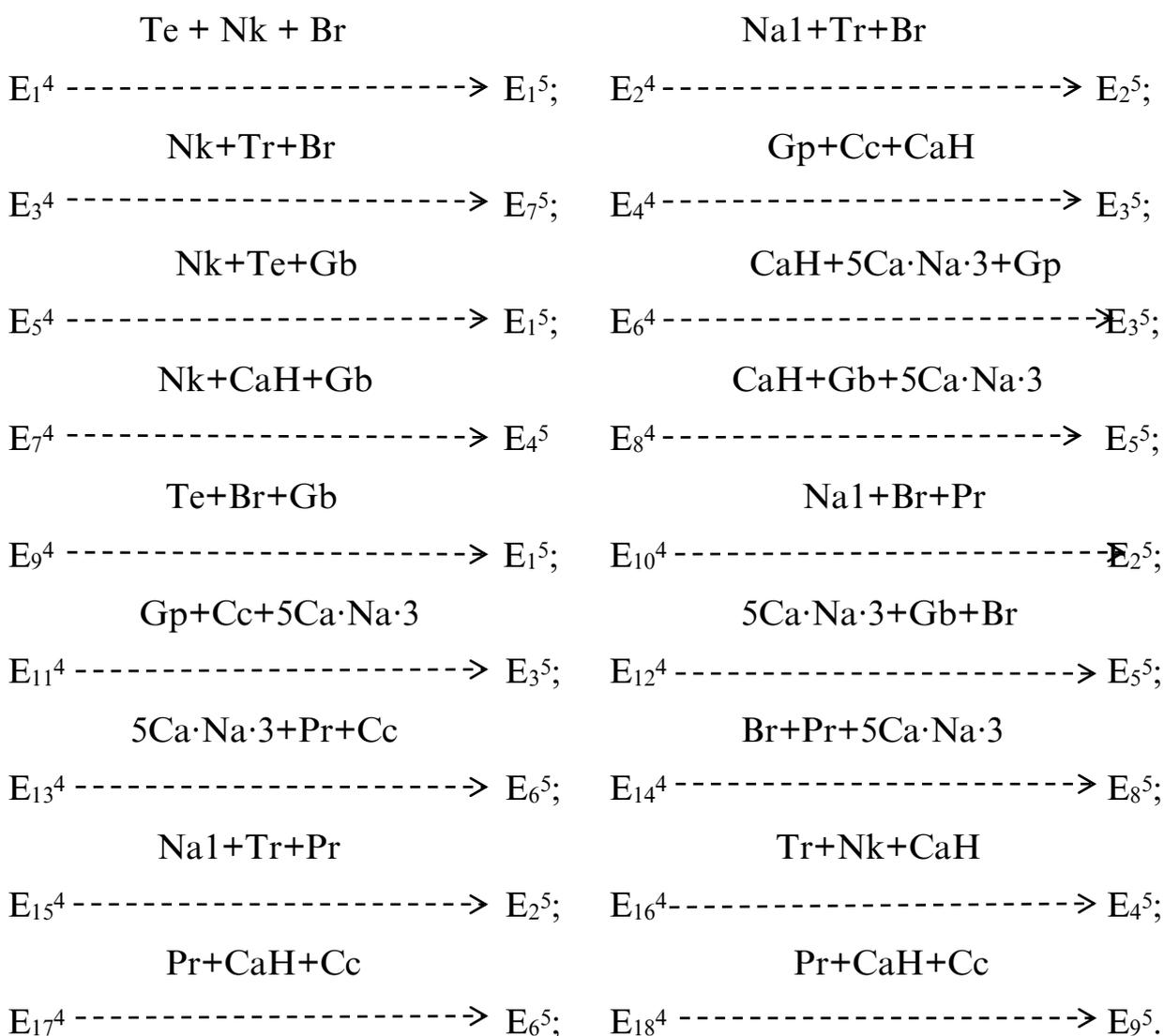


Барои ҳаҷҳои моновариантии сатҳи таркиби панҷкомпонента, ки байни нуқтаҳои нонвариантии панҷгона мегузаранд ва дар расми 5.4 дар шакли ҳаҷҳои ғафси яқлухт нишон дода шудаанд. Ба таркиби фазавии таҳшинҳои зерин хос аст:



Ташаккули намуди дигари ҳаҷҳои моновариантии бо трансформатсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи таркиби панҷкомпонента (табдил ёфтани

онҳо ба хатҳои моновариантӣ) ҳангоми транслятсия алоқаманд аст. Ин хатҳо дар сатҳи таркиби панҷкомпонента ҳангоми илова кардани компоненти панҷуми ноқис ба системаҳои чоркомпонентаи ибтидоии таркибёбанда ба вучуд меоянд. Дар системаи мазкур мо муайян намудем, ки нуқтаҳои нонвариантии чоргона, ки дар таркиби худ мавҷуданд, ҳангоми транслятсия ба сатҳи таркиби панҷкомпонента, ба хатҳои моновариантӣ табдил ёфта, дар ташаккули нуқтаҳои нонвариантии панҷгонаи зерин иштирок мекунанд:



Дар асоси натиҷаҳои дар боло овардашуда, мумкин аст, ки диаграммаи муттаҳидшудаи комплекси фазавии изотерми 75 °C системаи  $Na^+$ ,  $Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^- - H_2O$  дар сатҳҳои таркиби панҷ-шашкомпонента сохта шавад (рас. 5.4). Дар ин таҳқиқот вариантҳои ташаккули хатҳои моновариантӣ дар системаи шашкомпонентаи  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$

||  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $75\text{ }^\circ\text{C}$  баррасӣ шуданд. Маълум гардид, ки дар диаграммаи муттаҳидшудаи комплекси фазавии системаи таҳқиқшаванда дар сатҳи таркибҳои чор-панҷкомпонента, хатҳои моновариантии зерин амалӣ мешаванд: 27 хати моновариантии байни нуқтаҳои нонвариантии чоргона; 13 хати моновариантии байни нуқтаҳои нонвариантии панҷгона (дар хотир бояд дошт, ки онҳо байни нуқтаҳои панҷгонаанд ва метавонад ба таркиби дигари фазавӣ ё роҳҳои дигари ташаккул ишора шаванд); 18 хати моновариантии байни нуқтаҳои нонвариантии чоргона ва панҷгона. Ин натиҷаҳо ба фаҳмиши амиқтари равандҳои мувозинати фазавӣ дар системаҳои мураккаб, бахусус дар таҳияи усулҳои коркарди ашёи хоми табиӣ ва партовҳои истеҳсоли, мусоидат мекунанд. Аввалин маротиба мувозинати моновариантии дар системаҳои бисёркомпонента аз ҷониби Лутфулло Солиев кашф ва пешниҳод шудааст [302, 303].

### 5.3. Мувозинати дивариантии дар системаи бисёркомпонентаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ || $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$

Қонуниятҳое, ки сохтори комплекси фазавии системаҳои бисёркомпонентаро муайян мекунанд, заминаи назариявии эҷоди шароити мусоид барои коркарди ашёи хоми полиминералии табиӣ ва мураккаби техникӣ мебошанд. Муқаррар намудани ин қонуниятҳо тавассути таҷриба харочоти зиёди моддӣ ва вақтро талаб мекунад. Инчунин, дар муаррифии қонуниятҳои муқарраршуда дар шакли диаграммаҳои ҳолат (диаграммаҳои комплекси фазавӣ)-и система бо истифода аз шаклҳои геометрии фазои воқеии сеченака [285] ва шинохти фазаҳои саҳт аз сабаби гуногуншавии онҳо мушкilot вучуд дорад. Усулҳое, ки барои таҳқиқи системаҳои бисёркомпонента таҳия шудаанд [286], истифодаи маҳдуд доранд. Масалан, усули муайянкунии ассосиатсияҳои фазавии системаи «бахрӣ»  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Ca}$  ||  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , ки аз ҷониби муаллифони корҳои [291-298] таҳия шуда, ба кам кардани энергияи Гиббс

асос ёфтааст, имкон медиҳад, ки ассотсиатсияҳои эҳтимолии фазавӣ дар системаҳои чаҳоркомпонента ба таври қаноатбахш муайян карда шаванд. Ҳангоми истифодаи ин усул барои системаҳои панҷ ва ё зиёда компонента, ба андешаи худ муаллифон, натиҷаҳои бадастомада бо эътимод нахоҳанд буд. Илова бар ин, дар асоси маълумоти бадастомада сохтани диаграммаи мувозинатҳои фазавии системаи таҳқиқшаванда ғайриимкон аст. Н.С. Курнаков дар мавриди табиати сохтори диаграммаҳои системаҳои бисёркомпонента чунин навиштааст: «...ҳар гуна диаграммаи системаи бисёркомпонентаро метавон ҳамчун диаграммае баррасӣ кард, ки аз диаграммаи системаҳо бо шумораи камтари компонентҳо ба вуҷуд омада, бо ворид кардани компонентҳои нав ё шароити дигари мувозинат мураккаб шудааст, дар ҳоле ки унсурҳои хоси диаграммаи соддатар аз байн намераванд, балки танҳо шакли дигари геометрии мегиранд...» [1, 29]. Я.Г. Горощенко, бо назариявӣ асоснок кардани андешаҳои Н.С. Курнаков, ба ду принсипи асосии маълуми таҳлили физико-химиявӣ, принсипҳои пайдарпайӣ ва мувофиқат иловатан принсипи сеюмро - принсипи мутобиқати шаклҳои геометрии системаҳои  $n$  ва  $(n+1)$  компонентаро дар як диаграмма пешниҳод намуд [117, 119]. Дар асоси принсипи мувофиқат усули транслятсияро [40] барои пешгӯии мувозинатҳои фазавӣ дар системаҳои бисёркомпонентӣ ва баъдан сохтани диаграммаҳои комплекси фазавии онҳо (мувозинатҳои фазавӣ) таҳия шудааст. Усули транслятсия аз ҷониби мутахассисон ҳамчун яке аз усулҳои универсалӣ барои таҳқиқи системаҳои бисёркомпонента эътироф шудааст [112-116]. Ин усул дар таҳқиқи системаҳои панҷкомпонента ва фрагментҳои системаҳои шашкомпонентӣ озмоиши васеъро паси сар кардааст [48-84]. Таҷрибаи истифодаи усули транслятсия барои таҳқиқи қисмҳои системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  [208] нишон дод, ки табиати ташаккули тасвирҳои геометрии дар системаҳои бисёркомпонента гуногун аст. Масалан, таҳқиқи шароити ташаккули мувозинатҳои нонвариантӣ дар системаи панҷкомпонентаи  $\text{NaCl} - \text{KCl} - \text{MgCl}_2 - \text{CaCl}_2 -$

H<sub>2</sub>O дар ҳарорати 25 °C [303, 304] нишон дод, ки афзоиши компонентнокии система ба пайдоиши вариантҳои иловагии ташаккули нуқтаҳои нонварианти мусоидат мекунад, ки ин бо пайдоиши «квазинуқта» бо андозаи муайян ҳамроҳӣ мешавад. Таҳқиқоти фрагменти силвини системаи шашкомпонентаи Na, K, Mg, Ca ||SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O дар ҳарорати 50 °C [304, 305] бо усули транслятсия нишон дод, ки хатҳои моноварианти метавонанд ҳам ҳангоми транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии системаҳои панҷкомпонента ба сатҳи таркиби шашкомпонента ва ҳам барои пайваст кардани нуқтаҳои нонварианти дар ин сатҳи компонентнокӣ ташаккул ёбанд. Дар параграфи мазкур имкониятҳои ташаккулёбии майдонҳои диварианти (мувозинатҳои диварианти)-и системаи панҷкомпонентаи Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> || SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - H<sub>2</sub>O дар ҳарорати 100 °C, ки бо усули транслятсия муайян карда шудаанд, баррасӣ шудаанд. Системаи панҷкомпонентаи мавриди таҳқиқ қарордошта 5 системаи чоркомпонентаро дар бар мегирад.

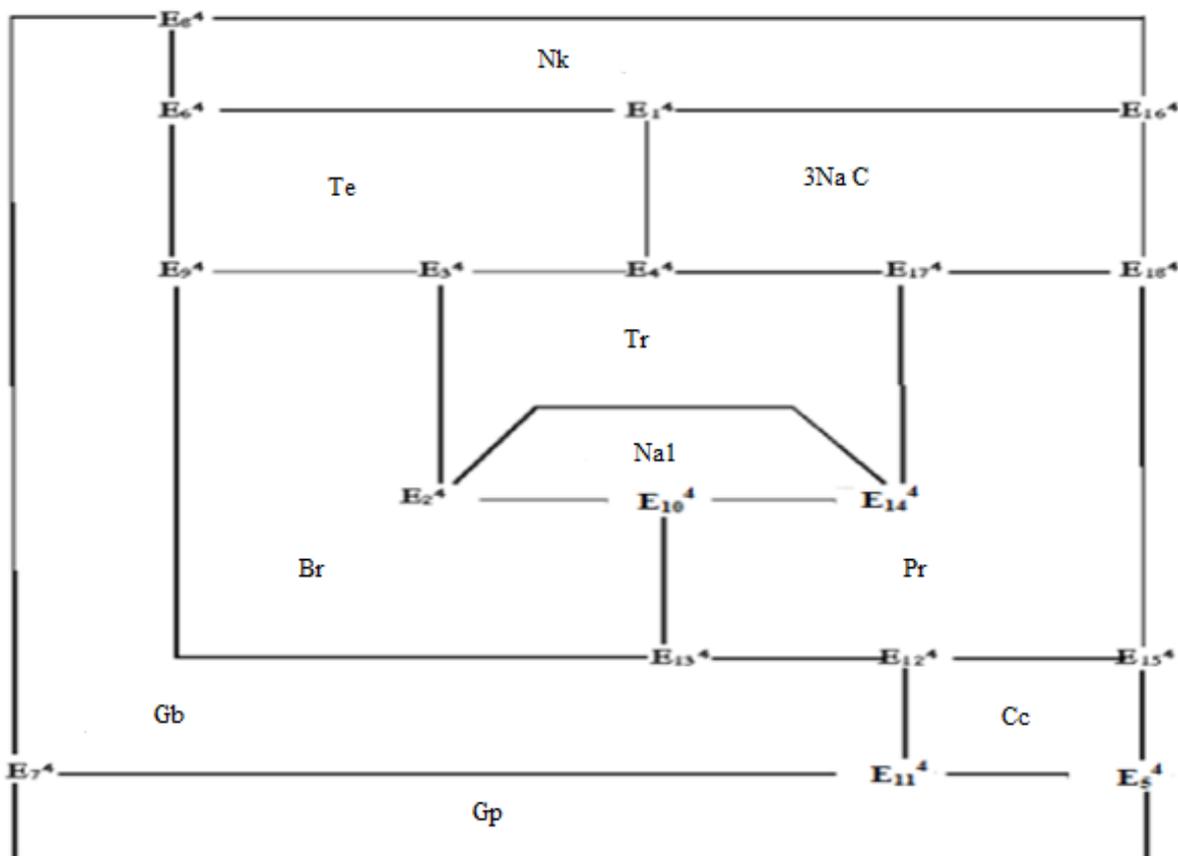
Дар ҷадвали 5.4 номгӯй ва таркиби фазагии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантии системаи Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> || SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - H<sub>2</sub>O дар 100 °C оварда шудаанд, ки аз [207] гирифта шудаанд.

**Ҷадвали 5.4. – Таркиби фазагии таҳшинҳои нуқтаҳои нонвариантии системаи Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> || SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - H<sub>2</sub>O дар 100 °C дар сатҳи таркиби чор**

Нуқтаи нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ	Нуқтаи нонварианти	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
1	2	3	4
5Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -H <sub>2</sub> O		Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>    SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> - H <sub>2</sub> O	
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Te+Nk+3Na·C	E <sub>9</sub> <sup>4</sup>	Gb+Te+Br
E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	Br+Tr+NaI	E <sub>10</sub> <sup>4</sup>	Br+Pr+NaI
E <sub>3</sub> <sup>4</sup>	Te+Br+Tr	E <sub>11</sub> <sup>4</sup>	Gp+Gb+Cc
E <sub>4</sub> <sup>4</sup>	Te+Tr+3Na·C	E <sub>12</sub> <sup>4</sup>	Cc+Gb+Pr
3Ca <sup>2+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -2HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -H <sub>2</sub> O		E <sub>13</sub> <sup>4</sup>	Gb+Pr+Br
E <sub>5</sub> <sup>4</sup>	CaH+Gp+Cc	Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ,HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -H <sub>2</sub> O	
Na <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup>   SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -H <sub>2</sub> O		E <sub>14</sub> <sup>4</sup>	NaI+Pr+Tr
E <sub>6</sub> <sup>4</sup>	Nk+Te+Gb	E <sub>15</sub> <sup>4</sup>	Cc+Pr+CaH

<i>Идомаи ҷадвали 5.4.</i>			
1	2	3	4
$E_7^4$	$CaH+Gb+Gp$	$E_{16}^4$	$3Na\cdot C+Nk+CaH$
$E_8^4$	$CaH+Gb+Nk$	$E_{17}^4$	$Pr+Tr+3Na\cdot C$
		$E_{18}^4$	$Pr+3Na\cdot C+CaH$

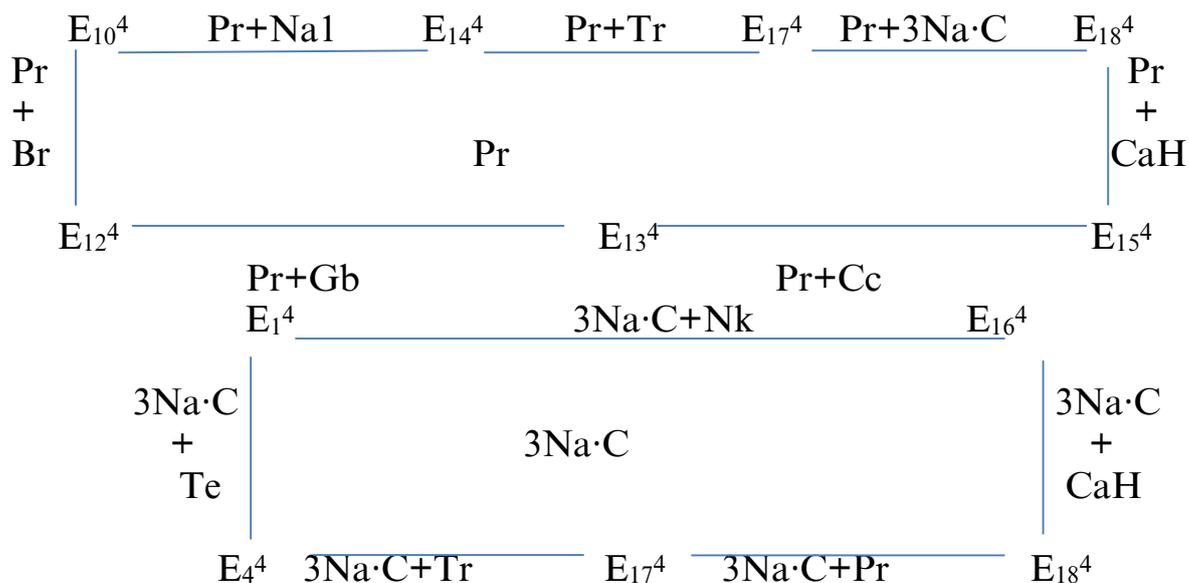
Бо тасвири хатҳои моновариантии тибқи талаботи қоидаи фазаҳои Гиббс байни нуқтаҳои нонвариантии панҷгона, мо диаграммаи комплекси фазавии системаи  $Na^+$ ,  $Ca^{2+} || SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^- - H_2O$  дар  $100\text{ }^\circ C$  дар сатҳи таркиби чоркомпонентаро ба даст меорем. Ин гуна диаграмма дар расми 5.5 нишон дода шудааст, ки дар он нуқтаҳои нонвариантии панҷгона, хатҳои моновариантии ва майдонҳои дивариантии, инчунин ҷойгиршавии мутақобилаи ин шаклҳои геометрии инъикос ёфтаанд.



Расми 5.5. – Сохтори диаграммаи комплекси фазавии изотерми  $100\text{ }^\circ C$ -и системаи  $Na^+$ ,  $Ca^{2+} || SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^- - H_2O$  дар сатҳи таркиби чоркомпонента

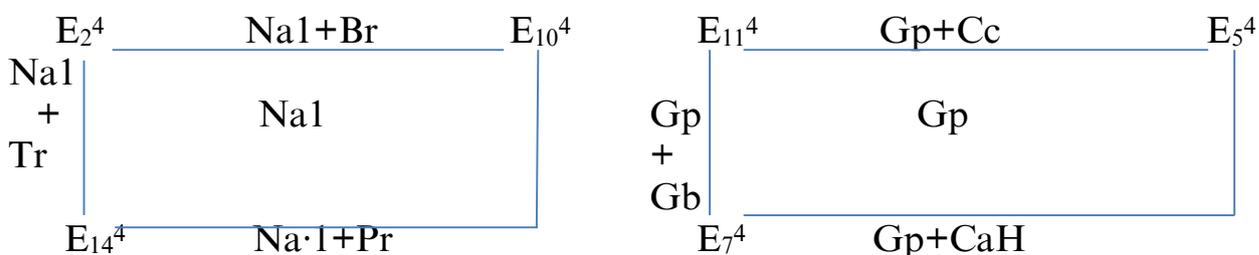
Аз расми 5.5 дида мешавад, ки майдонҳои дивариантии бо миқдори гуногуни нуқтаҳои нонвариантии ва хатҳои моновариантии маҳдуд шудаанд. Табиист, ки ҳар қадар нуқтаҳои нонвариантии ва хатҳои моновариантии

бештар дар маҳдудсозии майдонҳои дивариантӣ иштирок кунанд, ҳамон қадар қисмҳои зиёди системаи мавриди таҳқиқро ин майдонҳо ишғол мекунанд. Масалан, дар маҳдудсозии майдони дивариантӣ бо фазаҳои саҳти мувозинатии Pr (расми 5.5) 7 нуқтаи нонвариантӣ ва 7 хатти моновариантӣ иштирок мекунанд, дар ҳоле ки дар маҳдудсозии майдони дивариантӣ бо фазаҳои саҳти мувозинатии  $3\text{Na}\cdot\text{C}$  панҷ нуқтаи нонвариантӣ ва панҷ хатти моновариантӣ иштирок мекунанд:



Ин нишон медиҳад, ки майдони дивариантӣ аввал дар шароити зикршуда қисми зиёди системаро ишғол мекунад назар ба майдони дивариантӣ дуюм.

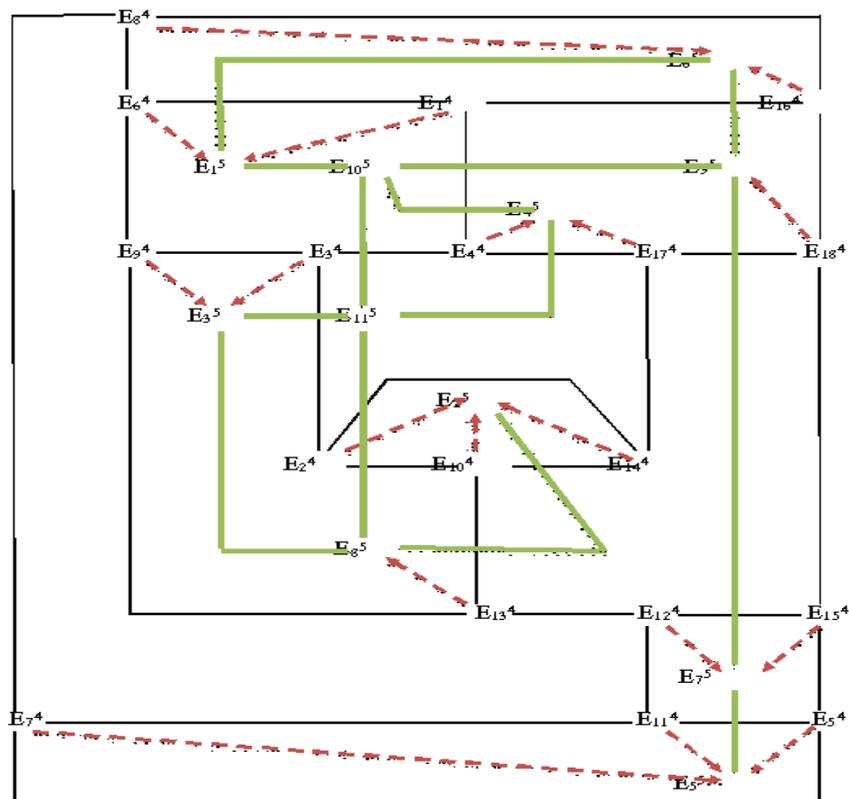
Майдонҳои дивариантӣ бо фазаҳои саҳти мувозинатии  $\text{Na}\cdot\text{I}$  ва Gp бо се нуқтаи нонвариантӣ панҷгона ва ҳамин қадар хатҳои моновариантӣ маҳдуд шудаанд:



Ин нишон медиҳад, ки онҳо ба таври алоҳида қисми хеле хурдтари системаи таҳқиқшавандаро дар шароити овардашуда ишғол мекунанд. Назар ба майдонҳои дивариантӣ бо фазаҳои саҳти мувозинатии Pr ва  $3\text{Na}\cdot\text{C}$ .

Ҳангоми гузаштани система аз сатҳи чоркомпонента ба сатҳи панҷкомпонента (масалан, бо илова кардани компоненти панҷум ба яке аз панҷ системаи чоркомпонента), табилёбии шаклҳои геометрии системаҳои чоркомпонента бо транслясияи минбаъдаи онҳо ба сатҳи таркиби панҷкомпонента ба амал меояд. Баъдан, шаклҳои геометрии транслясияшуда дар ташаккули унсурҳои сохтори диаграммаи системаи таҳқиқшаванда дар сатҳи панҷкомпонента иштирок мекунад.

Мувофиқи принсипи мутобиқат [117, 119], бо мутоҳид кардани шаклҳои геометрии сатҳҳои чоркомпонента ва панҷкомпонентаи системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $100^\circ\text{C}$ , мо диаграммаи мутоҳидшудаи комплекси фазавии онро ба даст меорем (расми 5.6).



Расми 5.6. – Сохтори диаграммаи мутоҳидшудаи комплекси фазавии изотерми  $100^\circ\text{C}$ -и системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиботи чор-панҷкомпонентае, ки бо усули транслясия сохта шудааст

Ин диаграммаи мутоҳидшудаи комплекси фазавӣ робитаи байни ҳамаи шаклҳои геометрии сатҳҳои чор ва панҷкомпонентаи системаи мавриди таҳқиқ қарордоштаро дар шароити баррасишаванда инъикос

мекунад. Масалан, дар расми 5.6 хатҳои борик - хатҳои моновариантии сатҳи таркиби чоркомпонентаро нишон медиҳанд, ки онҳо дар байни нуқтаҳои нонвариантии чоргона мегузаранд.

Хатҳои пунктирӣ - хатҳои моновариантии сатҳи таркиби панҷкомпонента мебошанд. Онҳо ҳангоми транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии чоргона ба сатҳи таркиби панҷкомпонента ба вуҷуд омадаанд. Тирча самти транслятсияро нишон медиҳад. Хатҳои ғафси кашидашуда низ хатҳои моновариантии сатҳи таркиби панҷкомпонента мебошанд. Онҳо дар байни нуқтаҳои нонвариантии панҷгона мегузаранд.

Нуқтаҳои нонвариантии панҷгона бо буриши (бо риояи қоидаи фазаҳои Гиббс) хатҳои моновариантии сатҳи таркиби панҷкомпонента ба вуҷуд меоянд. Таҳлили сохтори диаграммаи муштаракӣ системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$  [207, 208] нишон медиҳад, ки барои он дар шароити зикршуда мавҷудияти миқдори зерини шаклҳои геометрӣ дар сатҳи таркиботи чоркомпонента (А) ва панҷкомпонента (Б) хос аст (ҷадв. 5.5).

Ҷадвали 5.5. – Миқдори шаклҳои геометрии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $100\text{ }^\circ\text{C}$  дар сатҳҳои таркиботи чоркомпонента (А) ва панҷкомпонента (Б), ки бо усули транслятсия муайян карда шудаанд

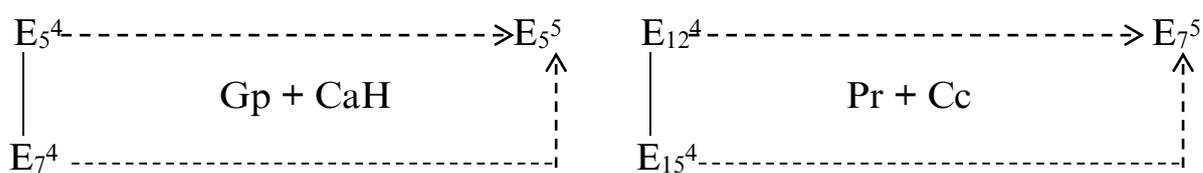
Ифодаҳои геометрӣ	Компонентнокии система	
	А	Б
Нуқтаҳои нонвариантӣ	18	11
Хатҳои моновариантӣ	27	30
Майдонҳои дивариантӣ	11	30

Шартҳои ташаккули шаклҳои геометрии системаи таҳқиқшаванда дар зербобҳои дар боло овардашуда дар қорҳои [19, 22] муфассал баррасӣ шудаанд. Дар ин бахш, мувофиқи вазифаи гузошташуда, мо мисолҳои ташаккули майдонҳои дивариантӣ (мувозинатҳои дивариантӣ) ва имкониятҳои муайянкунии роҳи кристаллизатсияи фазаҳои сахтро аз рӯйи

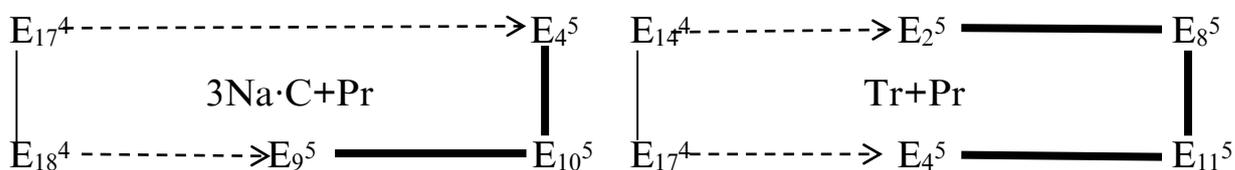
сохтори онҳо дида мебароем. Таҳлили муфассалтари диаграммаи муттаҳидшудаи комплекси фазавии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $100^\circ\text{C}$  дар корҳои [207, 208] баррасӣ шудааст.

Ташаккули майдонҳои дивариантӣ дар сатҳи таркиби панҷкомпонента бо ду роҳ амалӣ мегардад. Роҳи аввал ба транслятсияи хатҳои моновариантӣ сатҳи таркиби чоркомпонента ба сатҳи таркиби панҷкомпонента алоқаманд аст. Роҳи дуюм бо маҳдудсозии сатҳи система бо нуқтаҳои нонвариантӣ панҷгона ва хатҳои моновариантӣ, ки дар байни онҳо мегузаранд, алоқаманд аст. Майдонҳои дивариантӣ, ки дар натиҷаи транслятсияи хатҳои моновариантӣ сатҳи таркиби чоркомпонента ба сатҳи таркиби панҷкомпонента ба вуҷуд омадаанд (рас. 5.6), метавонанд чунин маҳдуд шаванд:

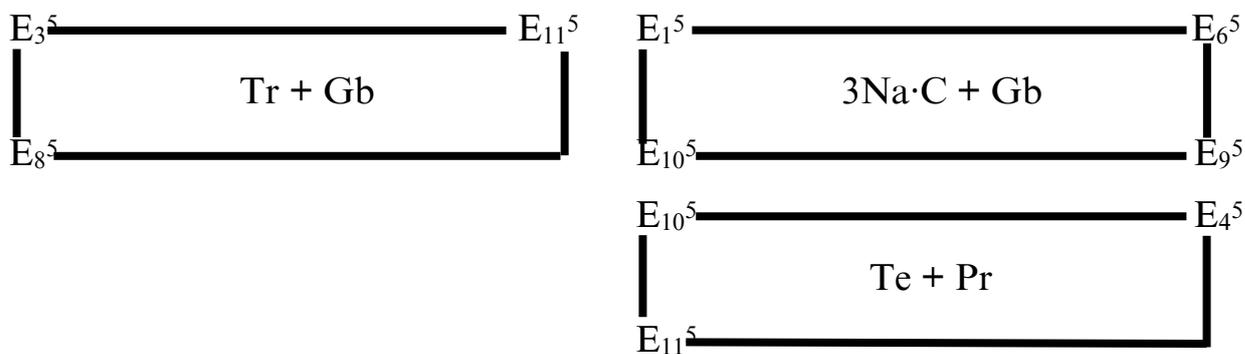
а) нуқтаҳои нонвариантӣ панҷгона – хатҳои моновариантӣ, ки дар байни онҳо мегузаранд; дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантӣ чоргона ба вуҷуд омадаанд; нуқтаҳои нонвариантӣ панҷгона. Мисол:



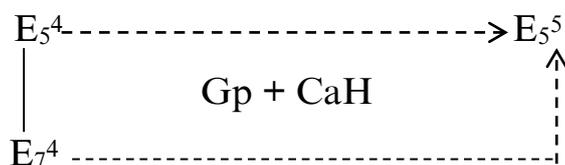
б) нуқтаҳои нонвариантӣ панҷгона – хатҳои моновариантӣ, ки дар байни онҳо мегузаранд – хатҳои моновариантӣ, ки дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантӣ чоргона ба вуҷуд омадаанд – нуқтаҳои нонвариантӣ панҷгона – хатҳои моновариантӣ, ки дар байни онҳо мегузаранд. Масалан:



Таҳлили сохтори диаграммаи комплекси фазавии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $100^\circ\text{C}$  нишон медиҳад, ки бо роҳи дуюм се (3) майдони дивариантӣ ташаккул меёбанд ва онҳо контурҳои зерин доранд (рас. 5.6).



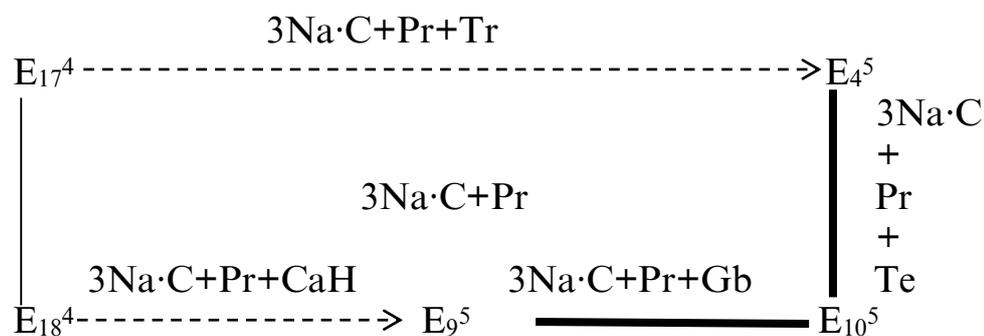
Принсипҳои ташаккули шаклҳои геометрӣ, бахусус майдонҳои дивариантӣ, на танҳо барои фаҳмидани қонуниятҳои, ки сохтори диаграммаи системаҳои физико-химиявии бисёркомпонентаро муайян мекунад, аҳамияти илмӣ-назариявӣ доранд, балки барои ҳалли масъалаҳои амалӣ, махсусан ҳангоми муайян кардани роҳҳои имконпазирӣ кристаллизатсияи фазаҳои саҳт, ниҳоят муҳиманд. Масалан, агар нуқтаи фигуративии таркиби фрагменти гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) системаи мавриди таҳқиқ дар  $100^\circ\text{C}$  дар оғози буғшавии изотермӣ дар майдони дивариантӣ ҷойгир бошад



он ду имконият аз рӯи шумораи хатҳои моновариантӣ сатҳи таркиби панҷкомпонента, ки ин майдонро маҳдуд мекунад барои идомаи роҳи кристаллизатсия вучуд дорад:

а) дар самти хатти моновариантӣ  $E_5^4$ -- $E_5^5$ , ки пас аз расидан ба он Gb (глауберит) ҳамчун фазаи чоруми саҳти мувозинатӣ кристаллизатсия мешавад; б) дар самти хатти моновариантӣ  $E_7^4$ -- $E_5^5$ , ки пас аз расидан ба он Cc (калсит) ҳамчун фазаи чоруми саҳти мувозинатӣ кристаллизатсия мегардад.

Баъдан, роҳи кристаллизатсия дар нуқтаи нонвариантӣ  $E_5^5$  бо фазаҳои саҳти мувозинатии Gr+Cc+CaH+Gb ба итмом мерасад. Ҳангоми ҷойгиршавии нуқтаи фигуративии таркиби омеҳта дар майдони дивариантӣ



имкониятҳои роҳҳои кристаллизатсияи фазаи чоруми саҳти мувозинатӣ се то мешаванд аз рӯи шумораи хатҳои моновариантии сатҳи таркиби панҷкомпонента. Сипас, роҳи кристаллизатсия дар яке аз се нуқтаи нонвариантии панҷгона ба итмом мерасад.

Масалан, ҳангоми расидан ба хати моновариантии  $\text{E}_{17}^4\text{E}_{4}^5$  дар роҳи кристаллизатсия, фазаи сеюми саҳти мувозинатӣ  $\text{Tr}$  (трона) хоҳад буд ва кристаллизатсия дар нуқтаи нонвариантии  $\text{E}_{4}^5$  бо фазаҳои саҳти мувозинатии  $3\text{Na}\cdot\text{C} + \text{Pr} + \text{Tr}$  ба итмом расад. Ҳангоми расидан ба хати моновариантии  $\text{E}_{18}^4\text{E}_{9}^5$  дар роҳи кристаллизатсия, фазаи сеюми саҳти мувозинатӣ  $\text{CaH}$  – гидрокарбонати калсий хоҳад буд ва кристаллизатсия дар нуқтаи нонвариантии  $\text{E}_{9}^5$  бо фазаҳои саҳти мувозинатии  $3\text{Na}\cdot\text{C} + \text{Pr} + \text{CaH}$  ба итмом расад.

Вақти расидан ба хатҳои моновариантии  $\text{E}_{9}^5\text{E}_{10}^5$  ё  $\text{E}_{4}^5\text{E}_{10}^5$  дар раванди кристаллизатсия, ҳаракати минбаъдаи он аз сершавии маҳлули фазаи чоруми саҳти мувозинатӣ вобаста аст. Масалан, агар ҳангоми расидан ба хати моновариантии  $\text{E}_{9}^5\text{E}_{10}^5$  сершавии маҳлул бо афзоиши концентратсияи маҳлул аз ҳисоби трона ( $\text{Tr}$ ) ҳамроҳӣ шавад, пас роҳи кристаллизатсия ба самти нуқтаи нонвариантии панҷгонаи  $\text{E}_{9}^5$  равона карда мешавад, ки пас аз расидан ба он фазаҳои саҳти мувозинатӣ  $3\text{Na}\cdot\text{C} + \text{Pr} + \text{CaH} + \text{Gb}$  хоҳанд буд. Агар пас аз расидан ба хати моновариантии  $\text{E}_{4}^5\text{E}_{10}^5$  раванди сершавии маҳлул бо афзоиши концентратсияи маҳлул аз ҳисоби тенардит ( $\text{Te}$ ) ҳамроҳӣ шавад, пас роҳи кристаллизатсия ба самти нуқтаи нонвариантии шашгонаи  $\text{E}_{10}^5$  равона мегардаду пас аз расидан ба он фазаҳои саҳти мувозинатӣ  $3\text{Na}\cdot\text{C} + \text{Pr} + \text{Te} + \text{Gb}$  хоҳанд монд. Мувозинати дивариантӣ дар системаҳои бисёркомпонента дар қори [304, 305] баррасӣ гардидааст.

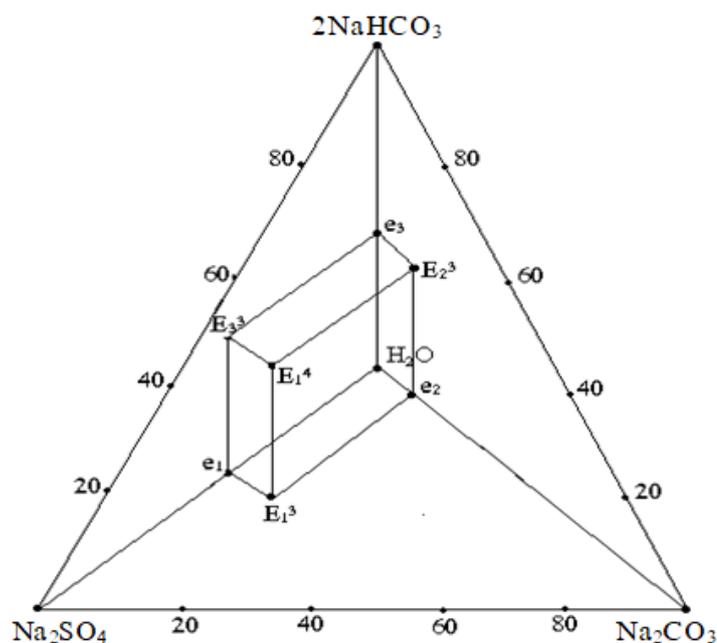
#### 5.4. Диаграммаи комплекси фазагӣ асоси технологии коркарди ашёи хоми маҳаллӣ ва партовҳои саноатӣ

Тараққиёти саноати химия коркарди ашёи хоми минералӣ ва истеҳсоли маводҳои навро талаб менамояд, ки он ба омӯзиши системаҳои дахлдори химиявӣ алоқаманд мебошад. Барои дониستاني онҳо одатан усулҳои таҳлили физико-химиявиро, ки академик Н. Курнаков [1, 29], шогирдону пайравонаш коркард намудаанд, истифода мебаранд.

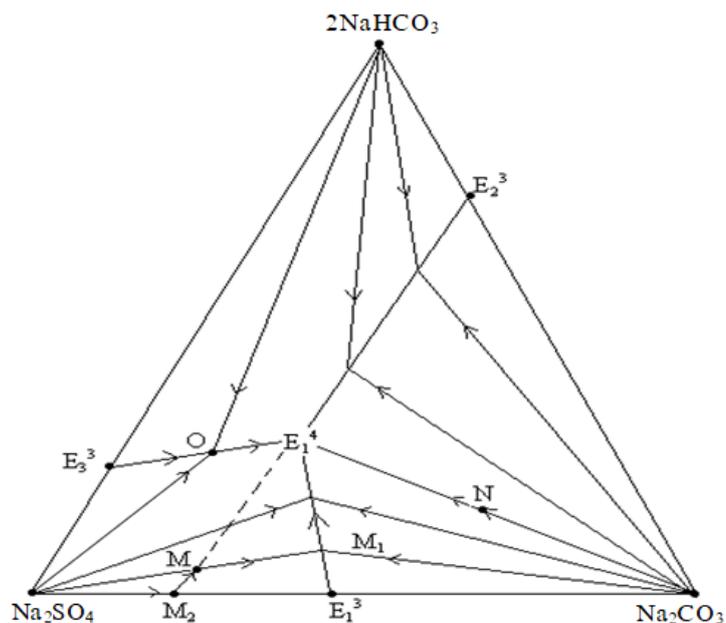
Системаи химиявии  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  қисми таркибии системаи шашкомпонентаи мураккабтари  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^-, \text{F}^- - \text{H}_2\text{O}$  мебошад, ки мувозинатҳои фазагии дар он ҷойдошта шароитҳои утилизатсияи партовҳои моеъи истеҳсоли алюминийро муайян мекунад. Партовҳои моеъи регенератсияи криолити заводи алюминий фторидҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳо ва сульфатҳои натрий ва калсий доранд [210-214]. Равандҳои кристаллизатсия ва ҳалшавандагии намакҳо дар маҳлулҳои оби ин партовҳо бо қонуниятҳои мувозинатҳои фазагӣ дар шакли системаи шашкомпонентаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^-, \text{F}^- - \text{H}_2\text{O}$ , системаҳои панҷ- ва чоркомпонентаи онро ташкилқунанда муайян карда мешаванд.

Дар бахши мазкур натиҷаҳои омӯзиши системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $0\text{ }^\circ\text{C}$  бо мақсади муқаррар намудани параметрҳои концентратсиявии мавқеи элементҳои геометрӣ ва таносуби майдонҳои кристаллизатсияи фазаҳои саҳти мувозинатии индивидуалӣ муҳокима шудаанд. Қаблан бо усули транслятсия фазаҳосилшавӣ ва ҳалшавандагии системаи таҳқиқшаванда дар изотермаи  $0\text{ }^\circ\text{C}$  муқаррар гардида, диаграммаи комплекси фазагӣ ва ҳалшавандагии он [116, 236] сохта шудааст. Дар расми 5.7 проексияи ортогоналии диаграммаи комплекси фазагӣ дар асоси тетраэдри намакии таркиб нишон дода шудааст. Дар проексияи ортогоналии комплекси фазагӣ ишораҳои зеринро мушоҳида намудан мумкин аст:  $e_1, e_2, e_3$  – проексияҳои нуқтаҳои нонвариантӣ бо таркибҳои маҳлулҳои моносершудаи компонентҳои  $\text{Na}_2\text{SO}_4, \text{Na}_2\text{CO}_3, \text{NaHCO}_3$ ;  $E_1^3E_1^4, E_2^3E_1^4, E_3^3E_1^4$  – проексияи хатҳои

моновариантии нисбат ба ду фазаи мувофиқи Mb+Na10, Na10+Nk ва Mb+Nk; e1-E1<sup>3</sup>-E1<sup>4</sup>-E3<sup>3</sup>-e1 – майдони дивариантии кристаллизатсияи фазаи Mb; e2-E1<sup>3</sup>-E1<sup>4</sup>-E2<sup>3</sup>-e2 – майдони дивариантии кристаллизатсияи фазаи Na10; e3-E3<sup>3</sup>-E1<sup>4</sup>-E2<sup>3</sup>-e3 – майдони дивариантии кристаллизатсияи фазаи Nk; E1<sup>4</sup> – нуқтаи нонвариантии таркиби маҳлули мувозинатие, мебошад, ки дар он фазаҳои Mb+Na10+Nk дар мувозинат мебошанд.



Расми 5.7. – Раванди ортогоналии диаграммаи комплекси фазагии системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$ , ки бо усули транслятсия сохта шудааст



Расми 5.8. – Раванди перспективии диаграммаи комплекси фазагии системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0^\circ\text{C}$ , ки бо усули транслятсия сохта шудааст

Тавсифи проексияи перспективӣ аз нуқтаи ҳалқунандаи холис  $H_2O$  дар асоси пирамидаи таркиб асоснок гардида, дар расми 5.8 сохтори диаграмма бо проексияи марказӣ аз қуллаи ба ҳалқунанда мувофиқ оварда шудааст. Азбаски роҳҳои кристаллизатсия дар сатҳҳои маҳлулҳои моносершуда дар ҳамворихое воқеъанд, ки аз таркиб ва яке аз се канори тетраэдр -  $H_2O-Na_2SO_4$ ,  $H_2O-Na_2CO_3$  ё  $H_2O-NaHCO_3$  мегузарад, ҳамчун хатҳои моновариантии рост пешбинӣ шудаанд. Онҳо дар расми 5.8 бо тирчаҳо нишон дода шуда, ифода менамоянд, ки зимни бухоршавии изотермикӣ тағйироти таркиби намаки маҳлулҳои сер ба амал омада метавонад. Ин асоситарин хосияти проексияи марказӣ ба шумор меравад.

Ҳамчун мисол, бо истифода аз проексия, бухоршавии маҳлулро, ки ба нуқтаи  $M$  хос аст, асоснок менамоем. Азбаски чунин амал ба майдони кристаллизатсияи компоненти  $Na_2SO_4$  ( $Na_2SO_4E_1^3E_1^4E_2^3Na_2SO_4$ ), рост меояд, пас кристаллизатсия аввал аз компоненти мазкур оғоз мегардад. Дар ин маврид нуқтаи тасвирии маҳлул дар хатти рости  $Na_2SO_4M_1$  аз нуқтаи  $M$  ба нуқтаи  $M_1$  мегузарад, ки таркиби фаза дар нуқтаи  $CaSO_4$  ҷойгир аст. Ҳангоми расидан ба  $M_1$ , кристаллизатсияи якҷояи қисмҳои таркибии  $Na_2SO_4$  ва  $Na_2CO_3$  оғоз мешавад, ғайр аз ин, нуқтаи тасвирии маҳлул дар хатти  $E_1^3E_1^4$  аз нуқтаи  $M_1$  ба нуқтаи эвтоники  $E_1^4$  ва таркиби умумии ин фаза (омехтаи фазаҳои саҳти мувозинатӣ) - аз нуқтаи  $Na_2SO_4$  ба нуқтаи  $M_2$  аз тарафи  $Na_2SO_4$  ба  $Na_2CO_3$  ҳаракат мекунад. Ниҳоят, вақте ки фазаи моеъ ба нуқтаи  $E_1^4$  мерасад, ҳар се фаза  $Na_2SO_4$ ,  $Na_2CO_3$  ва  $NaHCO_3$  кристалл мешаванд. Таркиби маҳлул дар қисми охирини бухоршавии изотермикӣ бетағйир мемонад ва таркиби фаза дар хатти рости  $M_2E_1^4$  аз нуқтаи  $M_2$  ба нуқтаи  $M$  тағйир меёбад. Вақте нуқтаи тасвирии фаза ба  $M$  мерасад, қатраи охирини маҳлули эвтоникӣ нест мешавад.

Пайдарҳамии дигари кристаллизатсия зимни бухоршавии изотермикӣ дар натиҷаи ҷойгиршавии маҳлули аввала дар яке аз гиреҳҳои мушоҳида мешавад –  $Na_2SO_4E_1^4$ ,  $NaHCO_3E_1^4$  ё  $Na_2CO_3E_1^4$  (нуқтаи  $N$ ). Дар ин ҳолат пас аз кристаллизатсияи ибтидоӣ (компоненти  $Na_2CO_3$ , таркиби фазаи поён низ  $Na_2CO_3$  аст) дарҳол кристаллизатсияи сеюми маҳлули

эвтоникӣ оғоз мешавад, таркиби ин фаза дар хати рости  $\text{Na}_2\text{CO}_3$   $E_1^4$  аз нуқтаи  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  то нуқтаи N тағйир меёбад.

Пайдарпайии сеюми кристаллизатсия дар маҳлулҳое, ки дар хатҳои мувозинатии моновариантии ду фазаи (сахт ва моеъ) ҷойгир шудаанд -  $E_1^3E_1^4$ ,  $E_2^3E_1^4$  ё  $E_3^3E_1^4$  (нуқтаи O) ба амал меояд. Дар ин маврид кристаллизатсия фавран бо ҷудо шудани ду фазаи сахт оғоз шуда, бухоршавии минбаъдаи изотермикӣ таркиби фазаи моеъ дар хатти  $E_3^3E_1^4$ , аз нуқтаи O то нуқтаи  $E_1^4$ , таркиби ин фаза тақрибан аз нуқтаи  $E_3^3$  ба нуқтаи O ҳаракат мекунад [306, 307].

Усули чоруми кристаллизатсия барои маҳлули эвтоникӣ системаи чоркомпонента хос аст (нуқтаи  $E_1^4$ ). Дар ин ҳолат, кристаллизатсияи ибтидоӣ ва дуҷуминдараҷа вучуд надорад. Таркиби маҳлул ва таркиби ин фаза то сахтшавии пурра дар нуқтаи  $E_1^4$  қарор мегирад.

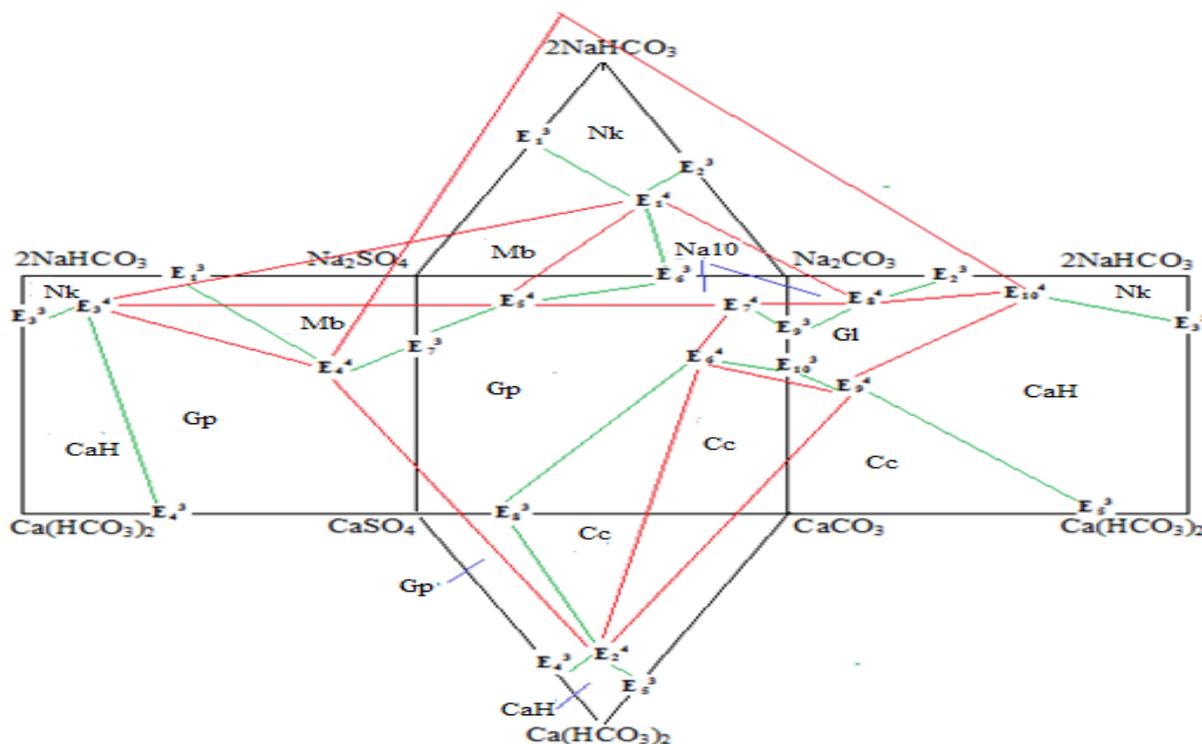
Ҳамин тавр, натиҷаҳои омӯзиши ҳалшавандагӣ ва комплекси фазагӣ дар системаи  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  барои изотермаи  $0^\circ\text{C}$  ва сохтори диаграммаи он нишон медиҳад, ки майдони кристаллизатсия  $\text{Na}10$  ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), дар шароити додашуда қисми зиёди диаграммаро ишғол мекунад, ки кам будани ҳалшавандагии он мебошад. Концентратсияи мувозинатӣ дар фазаҳои моеъ зимни кристаллизатсияи алоҳида барои майдон ва кристаллизатсияи якҷоя барои хатҳо ва нуқтаҳо муқаррар карда шудааст. Дар асоси маълумотҳои ба даст овардашуда маротибаи аввал диаграммаҳои комплекси фазагӣ ва ҳалшавандагии системаи таҳқиқшаванда дар ҳарорати  $0^\circ\text{C}$  сохта шудааст. Ҳалшавандагӣ дар ҳарорати  $0^\circ\text{C}$  ифода менамояд, ки координатаҳои шаклҳои геометрии системаи обӣ-намакии аз сулфатҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳои натрий таркибёфта, аз  $0$ ,  $25$  ва  $50^\circ\text{C}$  фарқдоранд. Микрофотографияи фазаҳои алоҳида, дар нуқтаҳо, хатҳо ва майдонҳо муайян карда шудаанд. Натиҷаи бадастомада асоси регенератсияи партовҳои моеъи саноати истеҳсоли алюминий, ки дорои сулфатҳо, карбонатҳо ва гидрокарбонатҳои натрий мебошанд, истифода бурдан мумкин аст.

### 5.5. Ҳалшавандагии системаи муовизаи панҷкомпонентаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати $0^\circ\text{C}$

Дар ҳарорати  $0^\circ\text{C}$  дар системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  фазаҳои саҳти мувозинати  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  - мирабилит (Mb);  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  - гипс (Gp);  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  - гейлюссит (Gl);  $\text{CaCO}_3$  - калсит (Cc);  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  - декагидрати карбонати натрий (Na10);  $\text{NaHCO}_3$  - нахколит (Nk);  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  - гидрокарбонати калсий (CaH) ба таҳшин меафтанд [183].

Барои таҷрибаҳо реактивҳои зерин истифода шуданд:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (тозагии «х.ч.»);  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (тозагии «х.ч.»);  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (тозагии «ч.»);  $\text{CaCO}_3$  (тозагии «ч.»);  $\text{NaHCO}_3$  (тозагии ч) ва  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  (тозагии «х.ч.»).

Мутобиқи маълумоти мо, ки бо усули транслятсия [110] ба даст оварда шудаанд, системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонентӣ бо нуқтаҳои нонвариантии зерин ва таркиби фазагии мувофиқи таҳшинҳо тавсиф карда мешавад (ҷадвали 3.1 боби 3).



Расми 5.9. – Диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ

Дар ҷадвали 5.6 маълумоти дар бораи ҳалшавии пайвастаҳои инфиродӣ, дар нуқтаҳои нонвариантии системаи таҳқиқшаванда дар сатҳи

таркиби секомпонентӣ, чоркомпонентӣ ва панҷкомпонентӣ, ки аз ҷониби мо муайян гаштаанд, оварда шудааст.

**Ҷадвали 5.6. – Ҳалшавандагии нуқтаҳои системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $0^\circ\text{C}$**

№ НУҚТА	Таркиби фазаи моеъ, мас.%							Таркиби фазавии таҳшин
	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{NaHCO}_3$	$\text{CaSO}_4$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{CaCO}_3$	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{H}_2\text{O}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
e <sub>1</sub>	4.30	-	-	-	-	-	95.70	Mb
e <sub>2</sub>	-	6.49	-	-	-	-	93.51	Nk
e <sub>3</sub>	-	-	0.176	-	-	-	99.824	Gp
e <sub>4</sub>	-	-	-	6.57	-	-	93.43	Na10
e <sub>5</sub>	-	-	-	-	0.0031	-	99.9969	Cc
e <sub>6</sub>	-	-	-	-	-	0.144	99.856	CaH
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	2.73	5.58	-	-	-	-	91.69	Mb+Nk
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	-	4.60	-	5.60	-	-	89.80	Nk+Na10
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	-	4.890	-	-	-	0.109	95.001	Nk+CaH
E <sub>4</sub> <sup>3</sup>	-	-	0.217	-	-	0.417	99.366	Gp+CaH
E <sub>5</sub> <sup>3</sup>	-	-	-	-	0.0097	0.219	99.6836	Cc+CaH
E <sub>6</sub> <sup>3</sup>	2.80	-	-	6.00	-	-	91.20	Mb+Na10
E <sub>7</sub> <sup>3</sup>	4.34	-	0.196	-	-	-	95.464	Gp+Mb
E <sub>8</sub> <sup>3</sup>	-	-	0.200	-	0.0045	-	99.7955	Cc+Gp
E <sub>9</sub> <sup>3</sup>	-	-	-	12.00	0.0049	-	87.9951	Gl+Na10
E <sub>10</sub> <sup>3</sup>	-	-	-	4.30	0.0048	-	95.6952	Cc+Gl
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	2.12	4.37	-	5.13	-	-	88.38	Mb+Na10+Nk
E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	-	-	0.217	-	0.0014	0.830	98.9516	Gp+Cc+CaH
E <sub>3</sub> <sup>4</sup>	-	4.865	0.131	-	-	0.153	94.851	Gp+Nk+CaH
E <sub>4</sub> <sup>4</sup>	3.43	5.22	0.326	-	-	-	91.024	Mb+Gp+Nk
E <sub>5</sub> <sup>4</sup>	1.196	-	0.244	1.551	-	-	96.238	Mb+Na10+Gp
E <sub>6</sub> <sup>4</sup>	-	-	0.272	11.30	0.00465	-	88.4233	Gp+Gl+Cc
E <sub>7</sub> <sup>4</sup>	-	-	0.340	18.30	0.0125	-	81.3475	Na10+Gl+Gp
E <sub>8</sub> <sup>4</sup>	-	2.443	-	6.167	0.0065	-	91.3835	Na10+Nk+Gl
E <sub>9</sub> <sup>4</sup>	-	-	-	5.904	0.0057	0.308	93.7823	Cc+Gl+CaH
E <sub>10</sub> <sup>4</sup>	-	5.896	-	5.510	-	0.190	88.404	Gl+Nk+CaH
E <sub>1</sub> <sup>5</sup>	5.37	4.69	-	5.76	0.0061	-	84.1739	Nk+Mb+Na10+Gl
E <sub>2</sub> <sup>5</sup>	3.42	5.16	0.312	7.26	0.0042	-	83.8438	Nk+Mb+Gp+Gl
E <sub>3</sub> <sup>5</sup>	-	3.83	0.274	4.41	0.0059	0.201	91.2791	Nk+CaH+Gp+Gl
E <sub>4</sub> <sup>5</sup>	-	-	0.265	6.53	0.0047	0.206	92.9943	Gp+Cc+CaH+Gl

Дар асоси маълумотҳои ҷадвали 5.6 мо диаграммаи ҳалшавандагии системаи чоркомпонентии  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$ -ро дар ҳарорати  $0^\circ\text{C}$  тартиб додем, ки дар расми 5.10 оварда шудааст. Мавқеи ифодаҳои геометрӣ дар диаграмма ба таври зерин муайян гаштаанд.

$$e_1 = \underbrace{\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}}_{4,30+95,70} \quad e_1(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{4,30 \cdot 100}{4,30+(95,70:5)} = \frac{430}{23,44} = 18,34 \text{ MM}$$

$$e_2 = \underbrace{\text{NaHCO}_3 - \text{H}_2\text{O}}_{6,49+93,51} \quad e_2(\text{NaHCO}_3) = \frac{6,49 \cdot 100}{6,49+(93,51:5)} = \frac{649}{25,192} = 25,76 \text{ MM}$$

$$e_3 = \underbrace{\text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}}_{0,176+99,824} \quad e_3(\text{CaSO}_4) = \frac{0,176 \cdot 100}{0,176+(99,824:5)} = \frac{17,6}{20,140} = 0,87 \text{ MM}$$

$$e_4 = \underbrace{\text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}}_{6,57+93,43} \quad e_4(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{6,57 \cdot 100}{6,57+(93,43:5)} = \frac{675}{25,256} = 26,01 \text{ MM}$$

$$e_6 = \underbrace{\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 - \text{H}_2\text{O}}_{0,144+99,856} \quad e_6(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = \frac{0,144 \cdot 100}{0,144+(99,856:5)} = \frac{14,4}{20,14} = 0,71 \text{ MM}$$

$$E_1^3 \quad \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaHCO}_3 - \text{H}_2\text{O} \\ 2,73 \quad 5,58 \quad 91,69 \end{array} \quad \begin{array}{l} 1(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{2,73 \cdot 35}{8,31} = 11,498 \\ 1(\text{H}_2\text{O}) = \frac{18,338 \cdot 87}{26,648} = 59,869 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{SO}_4 = 2,73 \\ \text{NaHCO}_3 = 5,58 \end{array} \right\} 8,31 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \text{H}_2\text{O} = 91,69:5=18,338 \end{array} \right\} 26,648$$

$$E_2^3 \quad \begin{array}{l} \text{NaHCO}_3 - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O} \\ 4,60 \quad 5,60 \quad 89,80 \end{array} \quad \begin{array}{l} 1(\text{NaHCO}_3) = \frac{4,60 \cdot 30}{10,2} = 13,52 \\ 1(\text{H}_2\text{O}) = \frac{17,96 \cdot 76}{28,16} = 48,47 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{NaHCO}_3 = 4,60 \\ \text{Na}_2\text{CO}_3 = 5,60 \end{array} \right\} 10,2 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \text{H}_2\text{O} = 89,80:5=17,96 \end{array} \right\} 28,16$$

$$E_3^3 \quad \text{NaHCO}_3 - \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 - \text{H}_2\text{O}$$

$$\begin{array}{ccc} 4,890 & 0,109 & 95,001 \end{array}$$

$$1(\text{NaHCO}_3) = \frac{4,890 \cdot 75}{4,999} = 73,36$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{NaHCO}_3 = 4,890 \\ \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 0,109 \end{array} \right\} 4,999$$

$$\left. \begin{array}{l} 4,999 \\ \text{H}_2\text{O} = 95,001:5=19 \end{array} \right\} 23,999$$

$$1(\text{H}_2\text{O}) = \frac{19 \cdot 87}{23,9992} = 68,877$$

$$E_4^3 \quad \text{CaSO}_4 - \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 - \text{H}_2\text{O}$$

$$\begin{array}{ccc} 0,217 & 0,417 & 99,366 \end{array}$$

$$1(\text{CaSO}_4) = \frac{0,217 \cdot 50}{0,634} = 17,113$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{CaSO}_4 = 0,217 \\ \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 0,417 \end{array} \right\} 0,634$$

$$\left. \begin{array}{l} 0,634 \\ \text{H}_2\text{O} = 99,336:5=19,8732 \end{array} \right\} 20,5072$$

$$1(\text{H}_2\text{O}) = \frac{19,8732 \cdot 73}{20,5072} = 70,74$$

$$E_5^3 \quad \text{CaCO}_3 - \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 - \text{H}_2\text{O}$$

$$\begin{array}{ccc} 0,0097 & 0,219 & 99,6836 \end{array}$$

$$1(\text{CaCO}_3) = \frac{0,0097 \cdot 35}{0,2287} = 1,48$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{CaCO}_3 = 0,0097 \\ \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 0,219 \end{array} \right\} 0,2287$$

$$\left. \begin{array}{l} 0,2287 \\ \text{H}_2\text{O} = 99,6836:5=19,93672 \end{array} \right\} 20,1654$$

$$1(\text{H}_2\text{O}) = \frac{19,9367 \cdot 89}{20,1654} = 87,99$$

$$E_6^3 \quad \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$$

$$\begin{array}{ccc} 2,80 & 6,00 & 91,20 \end{array}$$

$$1(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{2,80 \cdot 31}{8,80} = 9,86$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{SO}_4 = 2,80 \\ \text{Na}_2\text{CO}_3 = 6,00 \end{array} \right\} 8,80$$

$$\left. \begin{array}{l} 8,80 \\ \text{H}_2\text{O} = 91,20:5=18,24 \end{array} \right\} 27,04$$

$$1(\text{H}_2\text{O}) = \frac{18,24 \cdot 65}{27,04} = 43,84$$

$$E_7^3 \quad \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$$

$$\begin{array}{ccc} 4,34 & 0,196 & 95,464 \end{array}$$

$$1(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{4,34 \cdot 45}{4,536} = 43$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{SO}_4 = 4,34 \\ \text{CaSO}_4 = 0,196 \end{array} \right\} 4,536$$

$$\left. \begin{array}{l} 4,536 \\ \text{H}_2\text{O} = 95,464:5=19,0928 \end{array} \right\} 23,6288$$

$$1(\text{H}_2\text{O}) = \frac{19,0928 \cdot 66}{23,6288} = 53,33$$

$E_8^3 \quad \begin{array}{l} \text{CaSO}_4 - \text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{O} \\ 0,200 \quad 0,0045 \quad 99,7955 \\ \\ \left. \begin{array}{l} \text{CaSO}_4 = 0,200 \\ \text{CaCO}_3 = 0,0045 \end{array} \right\} 0,2045 \\ \left. \begin{array}{l} 0,2045 \\ \text{H}_2\text{O} = 99,7955:5=19,9591 \end{array} \right\} 20,1636 \end{array}$	$1(\text{CaSO}_4) = \frac{0,200 \cdot 46}{0,2045} = 44,99$ $1(\text{H}_2\text{O}) = \frac{19,9591 \cdot 46}{20,1636} = 45,533$
$E_9^3 \quad \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{O} \\ 12,00 \quad 0,0049 \quad 87,9951 \\ \\ \left. \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{CO}_3 = 12,00 \\ \text{CaCO}_3 = 0,0049 \end{array} \right\} 12,0049 \\ \left. \begin{array}{l} 12,0049 \\ \text{H}_2\text{O} = 87,9951:5=17,5990 \end{array} \right\} 29,6039 \end{array}$	$1(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{12,00 \cdot 56}{12,0049} = 53,8$ $1(\text{H}_2\text{O}) = \frac{17,5990 \cdot 64}{29,6039} = 38,04$
$E_{10}^3 \quad \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{O} \\ 4,30 \quad 0,0048 \quad 95,6952 \\ \\ \left. \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{CO}_3 = 4,300 \\ \text{CaCO}_3 = 0,0048 \end{array} \right\} 4,3048 \\ \left. \begin{array}{l} 4,3048 \\ \text{H}_2\text{O} = 95,6952:5=19,139 \end{array} \right\} 23,4438 \end{array}$	$1(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{4,3 \cdot 58}{4,3048} = 57,9$ $1(\text{CaCO}_3) = \frac{19,139 \cdot 62}{23,4438} = 50,61$
$E_1^4 \quad \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaHCO}_3 - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O} \\ 2,12 \quad 4,37 \quad 5,13 \quad 88,38 \\ \\ \left. \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{SO}_4 = 2,12 \\ \text{NaHCO}_3 = 4,37 \end{array} \right\} 6,49 \\ \left. \begin{array}{l} 6,49 \\ \text{Na}_2\text{CO}_3 = 5,13 \end{array} \right\} 11,62 \\ \left. \begin{array}{l} 11,62 \\ \text{H}_2\text{O} = 88,38:5 = 17,676 \end{array} \right\} 29,296 \end{array}$	$1(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{2,12 \cdot 35}{6,49} = 11,432$ $1(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{5,13 \cdot 35}{11,62} = 15,451$ $1(\text{H}_2\text{O}) = \frac{17,676 \cdot 77}{29,296} = 46,45$
$E_2^4 \quad \begin{array}{l} \text{CaSO}_4 - \text{CaCO}_3 - \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 - \text{H}_2\text{O} \\ 0,217 \quad 0,0014 \quad 0,830 \quad 98,9516 \\ \\ \left. \begin{array}{l} \text{CaSO}_4 = 0,217 \\ \text{CaCO}_3 = 0,0014 \end{array} \right\} 0,2184 \\ \left. \begin{array}{l} 0,2184 \\ \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 0,830 \end{array} \right\} 1,0484 \\ \left. \begin{array}{l} 1,0484 \\ \text{H}_2\text{O} = 98,9516:5 = 19,79 \end{array} \right\} 20,838 \end{array}$	$1(\text{CaSO}_4) = \frac{0,217 \cdot 45}{0,2184} = 44,71$ $1(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = \frac{0,830 \cdot 50}{1,0484} = 39,5$ $1(\text{H}_2\text{O}) = \frac{19,79 \cdot 70}{20,830} = 66,47$



$$E_7^4 \quad \begin{array}{cccc} \text{CaSO}_4 & - & \text{CaCO}_3 & - & \text{Na}_2\text{CO}_3 & - & \text{H}_2\text{O} \\ 0,340 & & 0,0125 & & 18,30 & & 81,3475 \\ \\ \text{CaSO}_4 & = & 0,340 & & & & \\ \text{CaCO}_3 & = & 0,0125 & & & & \\ \text{Na}_2\text{CO}_3 & = & 18,30 & & & & \\ \text{H}_2\text{O} & = & 81,3475:5 = 16,2695 & & & & \end{array}$$

$$l(\text{CaSO}_4) = \frac{0,340 \cdot 44}{0,3525} = 42,43$$

$$l(\text{CaCO}_3) = \frac{0,0125 \cdot 23}{18,6525} = 0,0154$$

$$l(\text{H}_2\text{O}) = \frac{16,2695 \cdot 55}{34,922} = 25,6234$$

$$E_8^4 \quad \begin{array}{cccc} \text{Na}_2\text{CO}_3 & - & \text{CaCO}_3 & - & \text{NaHCO}_3 & - & \text{H}_2\text{O} \\ 6,167 & & 0,0065 & & 2,443 & & 91,3835 \\ \\ \text{Na}_2\text{CO}_3 & = & 6,167 & & & & \\ \text{CaCO}_3 & = & 0,0065 & & & & \\ \text{NaHCO}_3 & = & 2,443 & & & & \\ \text{H}_2\text{O} & = & 91,3835:5 = 18,2767 & & & & \end{array}$$

$$l(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{6,167 \cdot 58}{6,1735} = 57,938$$

$$l(\text{NaHCO}_3) = \frac{2,443 \cdot 35}{8,6165} = 9,9234$$

$$l(\text{H}_2\text{O}) = \frac{18,2767 \cdot 71}{26,8932} = 48,25$$

$$E_9^4 \quad \begin{array}{cccc} \text{Na}_2\text{CO}_3 & - & \text{CaCO}_3 & - & \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 & - & \text{H}_2\text{O} \\ 5,904 & & 0,0057 & & 0,308 & & 93,7823 \\ \\ \text{Na}_2\text{CO}_3 & = & 5,904 & & & & \\ \text{CaCO}_3 & = & 0,0057 & & & & \\ \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 & = & 0,308 & & & & \\ \text{H}_2\text{O} & = & 93,7823:5 = 18,7564 & & & & \end{array}$$

$$l(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{5,904 \cdot 59}{5,9097} = 58,94$$

$$l(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = \frac{0,308 \cdot 50}{6,2177} = 2,4768$$

$$l(\text{H}_2\text{O}) = \frac{18,7564 \cdot 67}{24,9741} = 50,31$$

$$E_{10}^4 \quad \begin{array}{cccc} \text{NaHCO}_3 & - & \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 & - & \text{Na}_2\text{CO}_3 & - & \text{H}_2\text{O} \\ 5,896 & & 0,190 & & 5,510 & & 88,404 \\ \\ \text{NaHCO}_3 & = & 5,896 & & & & \\ \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 & = & 0,190 & & & & \\ \text{Na}_2\text{CO}_3 & = & 5,510 & & & & \\ \text{H}_2\text{O} & = & 88,404:5 = 17,6808 & & & & \end{array}$$

$$l(\text{NaHCO}_3) = \frac{5,896 \cdot 74}{6,086} = 71,689$$

$$l(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{5,510 \cdot 28}{11,596} = 13,30$$

$$l(\text{H}_2\text{O}) = \frac{17,6808 \cdot 78}{29,2768} = 47,10$$

$$E_1^5 \quad \begin{array}{r} \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaHCO}_3 - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{O} \\ 5,37 \quad 4,69 \quad 5,76 \quad 0,0061 \quad 84,1739 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{SO}_4 = 5,37 \\ \text{NaHCO}_3 = 4,69 \end{array} \right\} 10,06 \\ \left. \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{CO}_3 = 5,76 \\ \text{CaCO}_3 = 0,0061 \end{array} \right\} 15,82 \\ \left. \begin{array}{l} 10,06 \\ 15,82 \end{array} \right\} 15,8261 \\ \left. \begin{array}{l} 15,8261 \\ \text{H}_2\text{O} = 84,1739:5 = 16,8347 \end{array} \right\} 32,6608 \end{array}$$

$$1(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{5,37 \cdot 35}{10,06} = 18,68$$

$$1(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{5,76 \cdot 58}{15,8261} = 21,10$$

$$1(\text{H}_2\text{O}) = \frac{16,8347 \cdot 70}{32,6608} = 36,00$$

$$E_2^5 \quad \begin{array}{r} \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaHCO}_3 - \text{CaSO}_4 - \text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{O} \\ 3,42 \quad 5,16 \quad 0,312 \quad 0,0042 \quad 91,1038 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{SO}_4 = 3,42 \\ \text{NaHCO}_3 = 5,16 \end{array} \right\} 8,580 \\ \left. \begin{array}{l} \text{CaSO}_4 = 0,312 \\ \text{CaCO}_3 = 0,0042 \end{array} \right\} 8,892 \\ \left. \begin{array}{l} 8,580 \\ 8,892 \end{array} \right\} 8,8962 \\ \left. \begin{array}{l} 8,8962 \\ \text{H}_2\text{O} = 91,1038:5 = 18,22076 \end{array} \right\} 27,1169 \end{array}$$

$$1(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{3,42 \cdot 35}{8,580} = 13,95$$

$$1(\text{CaSO}_4) = \frac{0,312 \cdot 62}{8,8962} = 2,17$$

$$1(\text{H}_2\text{O}) = \frac{18,22076 \cdot 75}{27,1169} = 50,3950$$

$$E_3^5 \quad \begin{array}{r} \text{NaHCO}_3 - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{CaSO}_4 - \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 - \text{H}_2\text{O} \\ 3,83 \quad 4,41 \quad 0,274 \quad 0,201 \quad 91,285 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} \text{NaHCO}_3 = 3,83 \\ \text{Na}_2\text{CO}_3 = 4,41 \end{array} \right\} 8,24 \\ \left. \begin{array}{l} \text{CaSO}_4 = 0,274 \\ \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 0,201 \end{array} \right\} 8,514 \\ \left. \begin{array}{l} 8,24 \\ 8,514 \end{array} \right\} 8,8715 \\ \left. \begin{array}{l} 8,8715 \\ \text{H}_2\text{O} = 91,285:5 = 18,257 \end{array} \right\} 26,972 \end{array}$$

$$1(\text{NaHCO}_3) = \frac{3,83 \cdot 31}{8,24} = 14,4$$

$$1(\text{CaSO}_4) = \frac{0,274 \cdot 62}{8,715} = 1,94$$

$$1(\text{H}_2\text{O}) = \frac{18,257 \cdot 75}{26,257} = 52,14$$

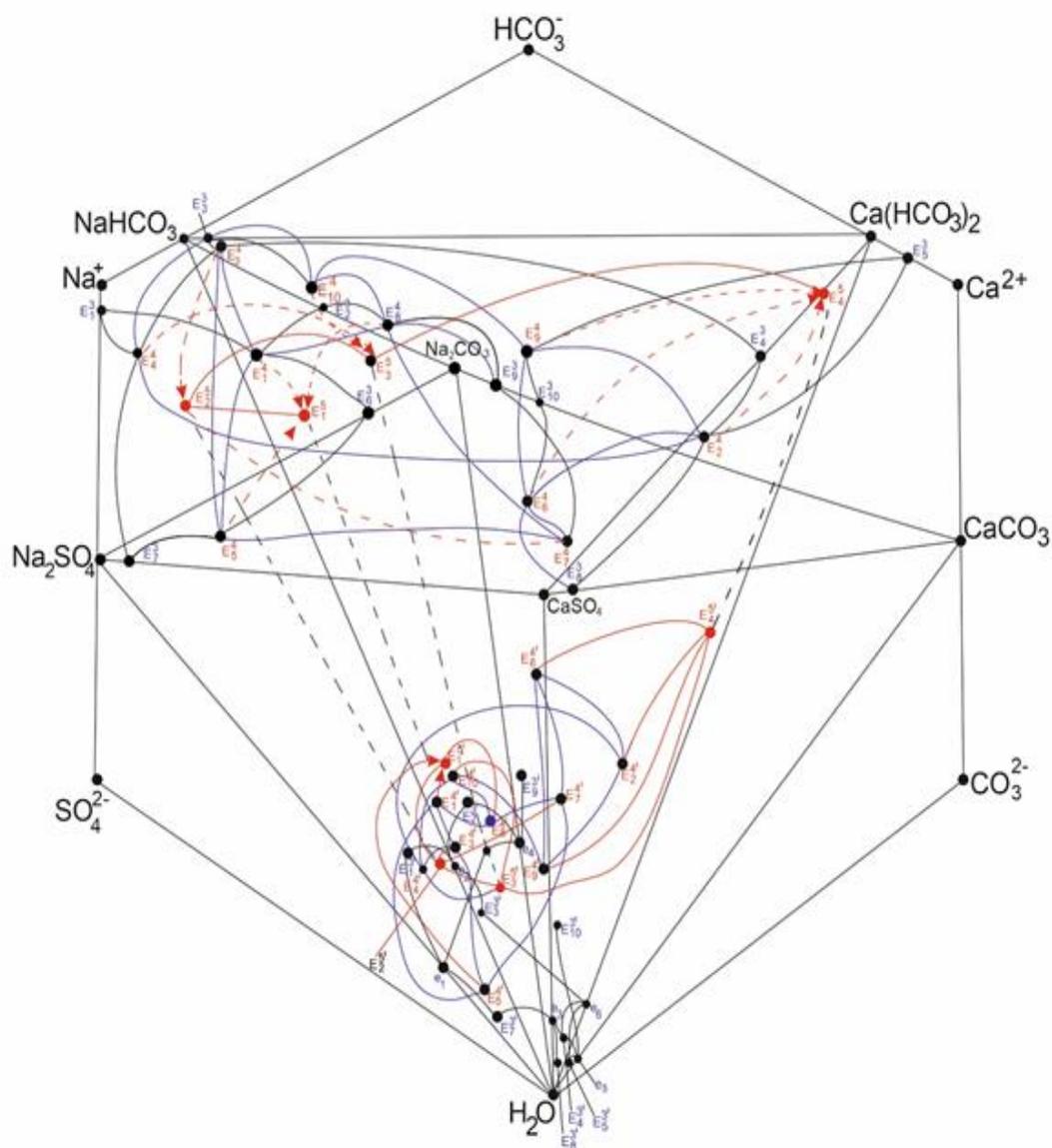
$$E_4^5 \quad \begin{array}{r} \text{CaSO}_4 - \text{CaCO}_3 - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 - \text{H}_2\text{O} \\ 0,265 \quad 0,0047 \quad 6,53 \quad 0,206 \quad 92,9943 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} \text{CaSO}_4 = 0,265 \\ \text{CaCO}_3 = 0,0047 \end{array} \right\} 0,2697 \\ \left. \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{CO}_3 = 6,53 \\ \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 0,206 \end{array} \right\} 6,7997 \\ \left. \begin{array}{l} 0,2697 \\ 6,7997 \end{array} \right\} 7,0057 \\ \left. \begin{array}{l} 7,0057 \\ \text{H}_2\text{O} = 92,9943:5 = 18,59886 \end{array} \right\} 25,6045 \end{array}$$

$$1(\text{CaSO}_4) = \frac{0,265 \cdot 45}{0,2697} = 44,2157$$

$$1(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{6,53 \cdot 46}{7,0057} = 42,87$$

$$1(\text{H}_2\text{O}) = \frac{18,59886 \cdot 46}{25,6045} = 33,41$$



Расми 5.10. – Диаграмма ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$

Тавсифи мундариҷаи шаклҳои геометрӣ (майдон, қачхатта, нуқта)-и расми 5.10 дар ҷадвали 5.7 оварда шудаанд.

Ҷадвали 5.7. – Шарҳи шаклҳои геометрии расми 5.10

Шаклҳои геометрӣ	Рамзкушоии шаклҳои геометрӣ
1	2
e1	Ҳалшавандагии сулфати натрий дар об
e2	Ҳалшавандагии гидрокарбонати натрий дар об
e3	Ҳалшавандагии сулфати калсий дар об
e4	Ҳалшавандагии карбонати натрий дар об
e5	Ҳалшавандагии карбонати калсий дар об

1	2
e <sub>6</sub>	Ҳалшавандагии гидрокарбонати калсий дар об
E <sub>1</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии мирабилит ва нахколит дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии нахколит ва декагидрати карбонати натрий дар системаи H <sub>2</sub> O - Na <sup>+</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>3</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии нахколит ва гидрокарбонати калсий дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> - Ca <sup>2+</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>4</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии гипс ва гидрокарбонати калсий дар системаи H <sub>2</sub> O - Ca <sup>2+</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>5</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии калсит ва гидрокарбонати калсий дар системаи H <sub>2</sub> O - Ca <sup>2+</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>6</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии мирабилит ва декагидрати карбонати калсий дар системаи H <sub>2</sub> O - Na <sup>+</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>7</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии гипс ва мирабилит дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> - Ca <sup>2+</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>8</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии калсит ва гипс дар системаи H <sub>2</sub> O - Ca <sup>2+</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>9</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии гейлюссит ва декагидрати карбонати натрий дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> - Ca <sup>2+</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>10</sub> <sup>3</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии гейлюссит ва декагидрати карбонати натрий дар системаи H <sub>2</sub> O - Na <sup>+</sup> - Ca <sup>2+</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии мирабилит, декагидрати карбонати натрий ва нахколит дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии гипс, калсит ва гидрокарбонати калсий дар системаи H <sub>2</sub> O-Ca <sup>2+</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>

1	2
E <sub>3</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии гипс, мирабилит ва нахколит дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> - Ca <sup>2+</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>4</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии гипс, гидрокарбонати калсий ва нахколит дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> - Ca <sup>2+</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>5</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии мирабилит, гейлюссит ва декагидрати карбонати натрий дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> - Ca <sup>2+</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>6</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии калсит, гейлюссит ва гипс дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> - Ca <sup>2+</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>7</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии мирабилит, гипс ва гейлюссит дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> - Ca <sup>2+</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>8</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии декагидрати карбонати натрий, гейлюссит ва нахколит дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> - Ca <sup>2+</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>9</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии калсит, гейлюссит ва гидрокарбонати калсий дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> - Ca <sup>2+</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>10</sub> <sup>4</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии декагидрокарбонати натрий, гейлюссит ва нахколит дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> - Ca <sup>2+</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>1</sub> <sup>5</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии нахколит, мирабилит, декагидрати карбонати натрий ва гейлюссит дар системаи Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>    SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - H <sub>2</sub> O
E <sub>2</sub> <sup>5</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии нахколит, мирабилит, гипс ва гейлюссит дар системаи Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>    SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - H <sub>2</sub> O
E <sub>3</sub> <sup>5</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии нахколит, гидрокарбонати калсий, гипс ва гейлюссит дар системаи Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>    SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - H <sub>2</sub> O
E <sub>4</sub> <sup>5</sup>	Нуқтаи якҷоя кристаллизатсияшавии гипс, калсит, гидрокарбонати калсий ва гейлюссит дар системаи Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>    SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - H <sub>2</sub> O

1	2
E <sub>1</sub> <sup>3</sup> E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии мирабилит ва нахколит дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>1</sub> <sup>3</sup> E <sub>3</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии мирабилит ва нахколит дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>2</sub> <sup>3</sup> — E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии декагидрати карбонати натрий ва нахколит дар системаи H <sub>2</sub> O - Na <sup>+</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>2</sub> <sup>3</sup> — E <sub>8</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии декагидрати карбонати натрий ва нахколит дар системаи H <sub>2</sub> O - Na <sup>+</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>3</sub> <sup>3</sup> — E <sub>4</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии гидрокарбонати калсий ва нахколит дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> - Ca <sup>2+</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>3</sub> <sup>3</sup> — E <sub>10</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии гидрокарбонати калсий ва нахколит дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> - Ca <sup>2+</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>4</sub> <sup>3</sup> — E <sub>4</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии гидрокарбонати калсий ва гипс дар системаи H <sub>2</sub> O - Ca <sup>2+</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>4</sub> <sup>3</sup> — E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии гидрокарбонати калсий ва гипс дар системаи H <sub>2</sub> O - Ca <sup>2+</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>5</sub> <sup>3</sup> — E <sub>2</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии гидрокарбонати калсий ва калсит дар системаи H <sub>2</sub> O - Ca <sup>2+</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>5</sub> <sup>3</sup> — E <sub>9</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии гидрокарбонати калсий ва калсит дар системаи H <sub>2</sub> O - Ca <sup>2+</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
E <sub>6</sub> <sup>3</sup> — E <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии мирабилит ва декагидрати карбонати натрий дар системаи H <sub>2</sub> O - Na <sup>+</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>6</sub> <sup>3</sup> — E <sub>5</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии мирабилит ва декагидрати карбонати натрий дар системаи H <sub>2</sub> O - Na <sup>+</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>7</sub> <sup>3</sup> — E <sub>3</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии мирабилит ва гипс дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> - Ca <sup>2+</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
E <sub>7</sub> <sup>3</sup> — E <sub>7</sub> <sup>4</sup>	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии мирабилит ва гипс дар системаи H <sub>2</sub> O-Na <sup>+</sup> - Ca <sup>2+</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>

1	2
$E_8^3$ — $E_2^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии калсит ва гипс дар системаи $H_2O - Ca^{2+} - CO_3^{2-} - SO_4^{2-}$
$E_8^3$ — $E_6^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии калсит ва гипс дар системаи $H_2O - Ca^{2+} - CO_3^{2-} - SO_4^{2-}$
$E_9^3$ — $E_5^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии декагидрати карбонати натрий ва гейлюссит дар системаи $H_2O-Na^+ - Ca^{2+} - CO_3^{2-}$
$E_9^3$ — $E_8^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии декагидрати карбонати натрий ва гейлюссит дар системаи $H_2O-Na^+ - Ca^{2+} - CO_3^{2-}$
$E_{10}^3$ — $E_6^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии калсит ва гейлюссит дар системаи $H_2O-Na^+ - Ca^{2+} - CO_3^{2-}$
$E_{10}^3$ — $E_9^4$	Қаҷхати якҷоя кристаллизатсияшавии калсит ва гейлюссит дар системаи $H_2O-Na^+ - Ca^{2+} - CO_3^{2-}$
$E_3^4$ $E_4^4$	Қаҷхати моновариантии якҷоя кристаллизатсияшавии фазаҳои нахколит ва гипс дар системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, HCO_3^- - H_2O$
$E_5^4$ $E_7^4$	Қаҷхати моновариантии якҷоя кристаллизатсияшавии фазаҳои мирабилит ва гейлюссит дар системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
$E_6^4$ $E_7^4$	Қаҷхати моновариантии якҷоя кристаллизатсияшавии фазаҳои гейлюссит ва гипс дар системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
$E_8^4$ $E_{10}^4$	Қаҷхати моновариантии якҷоя кристаллизатсияшавии фазаҳои нахколит ва гейлюссит дар системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel$
	$CO_3^{2-}, HCO_3^- - H_2O$
$E_9^4$ $E_{10}^4$	Қаҷхати моновариантии якҷоя кристаллизатсияшавии фазаҳои гидрокарбонати калсий ва гейлюссит дар системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel CO_3^{2-}, HCO_3^- - H_2O$
$Na_2SO_4E_1^3E_3^4E_7^3E_7^4E_5^4E_6^3E_1^4E_1^3Na_2S$ $O_4$	Майдони кристаллизатсионии мирабилит дар сатҳи таркиби чоркомпонентаи системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, HCO_3^- - H_2O$

1	2
$\text{CaSO}_4\text{E}_4^3\text{E}_2^4\text{E}_8^3\text{E}_6^4\text{E}_7^4\text{E}_7^3$ $\text{E}_3^4\text{E}_4^4\text{E}_4^3\text{CaSO}_4$	Майдони кристаллизатсионии гипс дар сатҳи таркиби чоркомпонентаи системаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$
$\text{CaCO}_3\text{E}_5^3\text{E}_9^4\text{E}_{10}^3\text{E}_6^4\text{E}_8^3\text{E}_2^4$ $\text{E}_5^3\text{CaCO}_3$	Майдони кристаллизатсионии калсит дар сатҳи таркиби чоркомпонентаи системаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$
$\text{Na}_2\text{CO}_3\text{E}_2^3\text{E}_8^4\text{E}_9^3\text{E}_5^4\text{E}_6^3\text{E}_1^4$ $\text{E}_2^3\text{Na}_2\text{CO}_3$	Майдони кристаллизатсионии декагидрати карбонати натрий дар сатҳи таркиби чоркомпонентаи системаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$
$\text{E}_7^4\text{E}_5^4\text{E}_9^3\text{E}_8^4\text{E}_{10}^4\text{E}_9^4\text{E}_{10}^3\text{E}_6^4$ $\text{E}_7^4$	Майдони кристаллизатсионии гейлюссит дар сатҳи таркиби чоркомпонентаи системаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$
$\text{E}_3^3\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2\text{E}_4^3\text{E}_2^4\text{E}_5^3\text{E}_9^4$ $\text{E}_{10}^4\text{E}_3^3$	Майдони кристаллизатсионии гидрокарбонати калсий дар сатҳи таркиби чоркомпонентаи системаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$
$\text{E}_3^3\text{E}_{10}^4\text{E}_8^4\text{E}_2^3\text{E}_1^4\text{E}_1^3\text{E}_3^4\text{E}_4^4\text{E}_3^3$	Майдони кристаллизатсионии гидрокарбонати калсий дар сатҳи таркиби чоркомпонентаи системаи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$
$\text{E}_1^5 \text{—————} \text{E}_2^5$	Қаҷхати моновариантии сатҳи таркиби панҷкомпонентаи системи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ ва ифодагари фазаҳои мувозинатии $\text{Nk} + \text{Mb} + \text{Gl}$
$\text{E}_1^5 \text{—————} \text{E}_2^5$	Қаҷхати моновариантии сатҳи таркиби панҷкомпонентаи системи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ ва ифодагари фазаҳои мувозинатии $\text{Gr} + \text{Nk} + \text{Gl}$
$\text{E}_1^5 \text{—————} \text{E}_2^5$	Қаҷхати моновариантии сатҳи таркиби панҷкомпонентаи системи $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ ва ифодагари фазаҳои мувозинатии $\text{CaH} + \text{Gl} + \text{Gr}$

Ишораҳои рамзгардонии системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  танҳо дар қисми намакии диаграмма ҷойгир буда, дар остовҳои координатии диаграммаи мазкур боз айнан ҳамин миқдор ифодаҳои геометрӣ доранд. Дар диаграмма онҳо бо ишораи штрих (I) дарҷ гардидаанд.

## 5.6. Тарзҳои ҳосилкунии фазаҳои алоҳида аз таркиби партовҳои моеъи истеҳсоли алюминий

Усули ҳосилкунии декагидрати карбонати натрий. Зербоби мазкур ба усулҳои коркарди маъданҳои полеминералии дорои кристаллогидрати карбонати натрий, хусусан барои ба даст овардани декагидрати карбонати натрий аз партовҳои моеъи истеҳсоли алюминий тааллуқ дорад. Усули коркарди маъданҳои полеминералии маълум аст. Мувофиқи он маъдан дар маҳлулҳои ишқорӣ ҳал шуда, ба боқимондаи ҳалнашаванда флотатсия мегардад. Сипас, маҳлули флотатсия ҳал мегардад. Маҳлули ишқорӣ ҳосилшуда бошад, ба сикли кристаллизатсияи пайвастагӣ бармегардад [308]. Камбудии ин усул истихроҷи ками моддаҳо аз боқимондаи ҳалнашаванда ва мураккабии схемаи технологияи он мебошанд.

Мувофиқи моҳияти техникӣ ва самаранокии бадастомада, ба тариқаи пешниҳодшуда - усули коркарди маъданҳои полеминералии дорои пайвастиҳои натрийдор аст. Мувофиқи он маъдан дар маҳлулҳои ишқорӣ гарми сикли ҳал мегардад. Боқимондаи ҳалнашавандаро ҷудо мекунанд. Сипас, маъдан бо маҳлули ишқорӣ партов сард мешавад. Баъдан, барои ҷудо кардани хлориди натрий бо миқдори зиёди об дар ҳарорати 18–25 °C дар давоми 2-3 дақиқа коркард лозим аст [309]. Камбудии ин усул баромади пасти модда ва сарфи зиёди маҳлул мебошанд.

Дар ин қисми кор ба даст овардани декагидрати карбонати натрий аз партовҳои моеъи истеҳсоли ашёи хоми техникӣ таркибашон карбонат, гидрокарбонатҳои, натрий ва калсий доранд, аз ҷумла партовҳои моеъи истеҳсоли алюминий, мақсади ихтироъ мебошад.

Масъалаҳои гузашташуда бо роҳи коркарди маъданҳои полеминералии дорои натрий дар маҳлулҳои ишқорӣ гарми гардишӣ ҳал карда шуда, ба даст оварда мешавад. Пас аз ҷудо кардани боқимондаи ҳалнашаванда бо таносуби м/с 0,61:0,76 дар давоми 40-100 дақиқа ва дар ҳарорати 0-50 °C коркард намудан лозим аст. Илова бар ин, маҳлули ишқорӣ, ки аз коркарди боқимонда пас аз ғафсшавӣ ва тозакунии ба даст омад, барои ҳал кардани маҳлулҳои модарӣ баргардонда мешавад.

Аз диаграммаи ҳолати системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дида мешавад, ки дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$  (расми 4.38-и боби IV) декагидрати карбонати натрий бо фазаҳои гейлюсит ва нахколит ҳамсарҳад аст ва қобилияти ҳамнишастагӣ дар нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонентӣ доранд. Аммо, дар ҳарорати  $25\text{ }^\circ\text{C}$  мувозинати фазавии декагидрати карбонати натрий тағйир меёбад. Бо баланд шудани ҳарорат аз  $0$  то  $50\text{ }^\circ\text{C}$  пайдоиши фазаи нави трона мушоҳида мешавад. Сохтори диаграммаи системаи дар боло зикршударо тағйир меёбад (расми 4.42-и боби IV). Дар натиҷа декагидрати карбонати натрий бо фазаҳои гейлюсит ва трона ҳамсарҳад мешавад. Онҳо метавонанд дар нуқтаҳои таҳшинии сатҳи секомпонента бо ҳам таҳшин шаванд.

Ҳалшавандагӣ дар шаклҳои геометрии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$  нишон дода шудааст. Тағйирёбии маълумотҳои бадастомада нисбат ба изотермаҳои  $0$  ва  $25\text{ }^\circ\text{C}$  дида мешавад. Аз ҷумла, зиёд шудани ҳалшавандагии декагидрати карбонати натрий аз  $6,570$  ва  $22,95\%$  мас. дар  $0$  ва  $25\text{ }^\circ\text{C}$  мутаносибан, то  $32,10\%$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$ . Муқоиса кардани тағйироти ҳалшавии намакхоро дар нуқтаҳои нонвариантие, ки дар он ҷо се фазаи саҳт дар ҳолати мувозинат мебошанд, имконнопазир аст. Зеро бо баланд шудани ҳарорат таркиби фазавии таҳшинҳо тағйир меёбад. Аз ҷумла, дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$  дегидрататсияи декагидрати карбонати натрий ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) ба моногидрати карбонати натрий ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) мегузарад ва фазаҳои нави саҳти мувозинатӣ - гейлюссит ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) ва пирсонит ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) пайдо мешаванд. Аз ин нуқтаи назар, агар маҳлули модарии системаи чоркомпонента карбонат, гидрокарбонатҳои натрий ва калсий иборат аст аз нав кристалл шаванд, аз маҳлули модарӣ  $25,53\text{ г}$  декагидрати карбонати натрийро ҷудо кардан мумкин аст. Зеро ҳалшавии  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  дар  $50\text{ }^\circ\text{C}$   $32,1\text{ г}$ , дар  $25\text{ }^\circ\text{C}$   $22,95\text{ г}$ -ро ташкил медиҳад ва дар  $0\text{ }^\circ\text{C}$  маҳлул  $6,750\text{ г}$   $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  дорад. Дар натиҷаи аз нав кристалл кардани он  $16,38\text{ г}$   $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  таҳшин ва ҷудо мегардад [309].

**Мисоли 1.** 15 кг маҳлули модарии ашёи хоми техникий таркибаш аз карбонат, гидрокарбонатҳои натрий ва калсий иборат аст, дар ҳарорати 0 °C дар тӯли 40 дақиқа бо маҳлулҳои ишқорӣ бо усули маълум коркарадшуда таҳлил мегардад. Маҳлул ғафс мегардад. Маҳлули ишқорӣ сер аз боқимонда тоза карданро талаб мекунад. Боқимондаи гарм ба миқдори 4,8541 кг бо таркиби зерин (ба фоизи мас.):  $\text{Na}^+$  - 12,53053;  $\text{Ca}^{2+}$  - 0,03747;  $\text{CO}_3^{2-}$  - 12,9934;  $\text{HCO}_3^-$  - 6,9274; боқимондаи ҳалнашаванда 10,1459 ва об, дар ҳарорати 50 °C дар тӯли 100 дақиқа коркард мешаванд. Пас аз тоза кардани маҳлул бо маҳлули спирти этил ва филтратсия 4,8541 кг маҳлули ишқорӣ бо таркиби зерин (ба фоизи мас.):  $\text{Na}^+$  - 4,620;  $\text{Ca}^{2+}$  - 0,03676;  $\text{CO}_3^{2-}$  - 3,7206;  $\text{HCO}_3^-$  - 4,8213 ва боқимонда об, инчунин 4,30 кг боқимондаи ҳалнашаванда, ки асосан аз нахколит, трона, калсит ва гидрокарбонати калсий иборат аст, ҳосил мегардад. Филтрат ба сикли истехсолот баргардонида мешавад. Истихроҷи умумии декагидрати карбонати натрий аз маҳлули ишқорӣ 61,02 % -ро ташкил медиҳад (ниг. чадв. 4.26 ва 4.28 – и боби IV).

**Мисоли 2.** 20 кг маҳлули модарии ашёи хоми техникие, ки таркибаш аз карбонат, гидрокарбонатҳои натрий ва калсий иборат аст, дар ҳарорати 25 °C дар тӯли 40 дақиқа бо усули маълум коркард мешавад. Маҳлул ғафс шуда, маҳлули ишқорӣ сер аз боқимонда тоза мегардад. Боқимондаи омехтаи гарм ба миқдори 6,4721 кг бо таркиби зерин (бо ҳиссаи масса):  $\text{Na}^+$  - 13,6741;  $\text{Ca}^{2+}$  - 0,05142;  $\text{CO}_3^{2-}$  - 14,5738;  $\text{HCO}_3^-$  - 7,4251; боқимондаи ҳалнашаванда 13,5278 кг ва об, дар ҳарорати 50 °C дар тӯли 100 дақиқа бо 5,7378 кг об коркард мешавад. Пас аз тоза кардани маҳлул бо маҳлули спирти этил ва филтратсия, 6,4721 кг маҳлули ишқорӣ бо таркиби зерин (бо ҳиссаи масса):  $\text{Na}^+$  - 2,506;  $\text{Ca}^{2+}$  - 0,001174;  $\text{CO}_3^{2-}$  - 2,5986;  $\text{HCO}_3^-$  - 1,3661 ва 8,9386 об, инчунин 1,8908 кг боқимондаи ҳалнашаванда (асосан аз нахколит, трона, калсит ва гидрокарбонати калсий иборат аст) ба даст меояд. Филтрат ба даври истехсолот баргардонида мешавад. Истихроҷи

умумии декагидрати карбонати натрий аз маҳлули ишқорӣ 76,08 %-ро ташкил медиҳад (ниг. чадвалҳои 4.26 ва 4.28 – и боби IV).

**Мисоли 3.** 25 кг маҳлули модарии ашёи хоми техникӣ, ки таркибаш аз карбонат, гидрокарбонатҳои натрий ва калсий иборат аст, дар ҳарорати 50 °C дар тӯли 40 дақиқа бо усули маълум коркард мешавад. Маҳлул ғафс шуда, маҳлули ишқорӣ сер аз боқимонда тоза мегардад. Боқимондаи гарм ба миқдори 11,21 кг бо таркиби зерин (бо ҳиссаи масса):  $\text{Na}^+$  - 17,4072,  $\text{Ca}^{2+}$  - 0,0062;  $\text{CO}_3^{2-}$  - 18,1728;  $\text{HCO}_3^-$  - 9,2352; боқимондаи ҳалнашаванда 13,79 кг ва об, дар ҳарорати 50 °C дар тӯли 100 дақиқа бо 5,7118 кг об коркард мешавад. Пас аз тоза кардани маҳлул бо маҳлули спирти этилӣ ва филтратсия, 11,21 кг маҳлули ишқорӣ бо таркиби зерин (бо ҳиссаи масса):  $\text{Na}^+$  - 4,8769;  $\text{Ca}^{2+}$  - 0,03127;  $\text{CO}_3^{2-}$  - 5,1794;  $\text{HCO}_3^-$  - 2,3078 ва 9,653 об, инчунин 2,9610 кг боқимондаи ҳалнашаванда (асосан аз нахколит, трон, калсит ва гидрокарбонати калсий иборат аст) ба даст меояд. Филтрат ба даври истехсолот баргардонида мешавад. Истихроҷи умумии декагидрати карбонати натрий аз маҳлули ишқорӣ 80,20 %-ро ташкил медиҳад (ниг. чадвали 4.26 ва 4.28 – и боби IV).

Усули пешниҳодшуда раванди коркарди маъданҳои полеминералии дорои натрийро содда мегардонад, зеро раванди хунуккунии боқимондаи ҳалнашаванда бо маҳлули ишқорӣ партов ва шустани нахколит аз таркиби системаи чоркомпонента аз нақша хориҷ мешавад. Афзоиши миқдори декагидрати карбонати натрий аз ҳисоби истихроҷи он аз боқимондаи ҳалнашаванда дар сатҳи 2,295/100 кг маҳлули модарии партовҳои моеъи маҳлули ишқорӣ ба даст меояд. (чадв. ва расмҳои 4.38, 4.42 - и ҳолати системаи чоркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ||  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дида мешавад.

**Усули ҳосилкунии нахколит.** Дар ин бахши таҳқиқот коркарди маъданҳои полеминералии дорои пайвастиҳои натрий, аз ҷумла барои ба даст овардани нахколит ( $\text{NaHCO}_3$ ) аз партовҳои моеъи истехсоли алюминий тааллуқ дорад. Усули коркарди маъданҳои полеминералии

маълум аст, ки мувофиқи он маъдан дар маҳлулҳои ишқорӣ гардишӣ ҳал, боқимондаи ҳалнашаванда флотатсия мегардад. Сипас, флотоконцентрат ҳал шуда маҳлули ишқорӣ ҳосилшуда ба даври кристаллизатсияи пайвастагӣ баргардонида мешавад [310].

Камбудихои ин усул: 1) таркиби пасти компонентҳо дар боқимондаи партовҳои ҳалнашаванда; 2) мураккабии нақшаи технологӣ; 3) фазаҳои мутавозин дар таркиби партовҳо муайян карда нашудаанд.

Мувофиқи моҳияти техникӣ ва самаранокии бадастомада, ба усули пешниҳодшудаи усули коркарди маъданҳои полеминералии дорои натрий наздиктар аст. Дар он маъдан дар маҳлулҳои ишқорӣ гарми гардишӣ ҳал гашта, боқимондаи ҳалнашаванда чудо мешавад. Боқимондаи ҳалнашавандаи маъдан бо маҳлули ишқорӣ партов сард мешавад ва баъдан, барои чудо кардани хлориди натрий бо миқдори зиёди об дар ҳарорати 18-25 °C дар давоми 2–3 дақиқа коркард мешавад [311]. Камбудихои ин усул ҳосили пасти модда ва сарфи зиёди маҳлули ишқорӣ мебошанд.

Мақсади ин ихтироӣ дигар ба даст овардани нахколит аз партовҳои моеъи истехсоли алюминий мебошад, ки таркибашон аз сулфат, карбонат ва гидрокарбонатҳои натрий иборат аст.

Мақсади гузошташуда бо роҳи коркарди маъданҳои полеминералии дорои натрий, ки дар маҳлулҳои ишқорӣ гарми гардишӣ ҳал шудаанд, ба даст овардан мебошад. Пас аз чудо кардани боқимондаи ҳалнашаванда, онро бо таносуби м/с 0.51:0.73 дар давоми 45-100 дақиқа ва дар ҳарорати 0-50 °C коркарди термикӣ мегузaronанд. Маҳлули ишқорӣ бошад, аз коркарди боқимонда пас аз ғафшавӣ ва тозакунии ба даст меояд, ба маҳлули модарии ибтидоӣ гардонида мешавад.

Аз диаграммаи ҳолати системаи  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  дидан мумкин аст, ки дар 0 °C (расми 4.2) нахколит бо фазаҳои мирабилит ва декагидрати карбонати натрий ҳамсарҳад аст ва дар нуктаҳои нонвариантии сатҳи секомпонента қобилияти якҷояшавӣ дорад. Бояд қайд кард, ки дар ҳарорати 25 °C мувозинати фазагии нахколит тағйир меёбад,

бо баланд шудани ҳарорат аз 0 то 50 °C пайдоиши фазаи нави трона мушоҳида мешавад, ки сохтори диаграммаи системаи дар боло зикршударо тағйир медиҳад (расмҳои 4.5, 4.10).

Дар натиҷа, нахколит бо фазаҳои мирабилит ва трона ҳамсарҳад мегардад, ки онҳо имкон доранд дар нуқтаҳои сатҳи секомпонента якҷоя таҳшин шаванд. Ҳалшавӣ дар шаклҳои геометрии системаи  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{--Na}_2\text{CO}_3\text{--NaHCO}_3\text{--H}_2\text{O}$  дар 50 °C нишон дода шудааст. Тағйирёбии маълумоти бадастомада нисбат ба изотермаҳои 0 ва 25 °C дида мешавад. Бо баланд шудани ҳарорат аз 0 то 25 °C ҳалшавии нахколит мутаносибан аз 6,49 то 9,31 % мас. меафзояд, дар ҳоле ки бо баланд шудани ҳарорат то 50 °C ин нишондиҳанда то 12,70 % афзудааст.

Муқоисаи тағйирёбии ҳалшавии намакҳо дар нуқтаҳои нонвариантие, ки дар онҳо се фазаи саҳт дар мувозинат қарор доранд, имконнопазир аст. Зеро таркиби фазавии таҳшинҳо бо баланд шудани ҳарорат тағйир меёбад. Аз ҷумла, дар 50 °C дегидратсияи декагидрати сульфати натрий ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) ва декагидрати карбонати натрий ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) ба тенардит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ва моногидрати карбонати натрий ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) мегузарад, ва фазаҳои нави саҳти мувозинатии: трона ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ва беркеит ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) пайдо мешаванд. Аз ин нуқтаи назар, агар маҳлули модарии системаи чоркомпонента аз сульфат, карбонат ва гидрокарбонатҳои натрий иборат бошад, аз нав кристалл шавад, аз он 6,21 г нахколит ҷудо кардан мумкин аст. Зеро ҳалшавии  $\text{NaHCO}_3$  дар 50 °C мебошад. 25 ва 0 °C мутаносибан 12,7 ва 9,31 г-ро ташкил медиҳад. Дар натиҷаи аз нав кристаллизатсия 3,16 г  $\text{NaHCO}_3$  таҳшин ва ҷудо мешавад.

**Мисоли 1.** 25 кг маҳлули модарии ашёи хоми техникӣ таркибаш аз сульфат, карбонат, гидрокарбонатҳои ва натрий иборат аст, дар ҳарорати тақрибан 0 °C дар тӯли 45 дақиқа бо маҳлулҳои ишқорӣ бо усули маълум коркард мешавад. Маҳлул ғафс шуда, таҳшинҳои сер аз маҳлули ишқорӣ (н.о.) тоза мегардад. Боқимондаи гарм ба миқдори 13,4725 кг бо таркиби

зерин (ба фоизи мас.):  $\text{Na}^+$  - 19,4936;  $\text{SO}_4^{2-}$  - 14,8176;  $\text{CO}_3^{2-}$  - 12,8488;  $\text{HCO}_3^-$  - 6,7608; н.о. 11,5225 ва об, дар ҳарорати аз 25 то 0 °C дар тӯли 100 дақиқа коркард карда мешавад. Пас аз тоза кардани маҳлул бо маҳлули спирти этилӣ ва филтратсия, 13,4775 кг маҳлули ишқорӣ бо таркиби зерин (ба фоизи мас.):  $\text{Na}^+$  - 5,9896,  $\text{SO}_4^{2-}$  - 2,9068,  $\text{CO}_3^{2-}$  - 3,6792,  $\text{HCO}_3^-$  - 4,7128 ва боқимонда об, инчунин 9,155 кг таҳшинҳои ҳалнашаванда, ки асосан аз нахколит, мирабилит ва декагидрати карбонати натрий иборат аст, ба даст оварда мешавад. Филтрат ба даври истеҳсолот баргардонида мешавад. Истихроҷи умумии нахколит аз маҳлули ишқорӣ 51,10%-ро ташкил медиҳад.

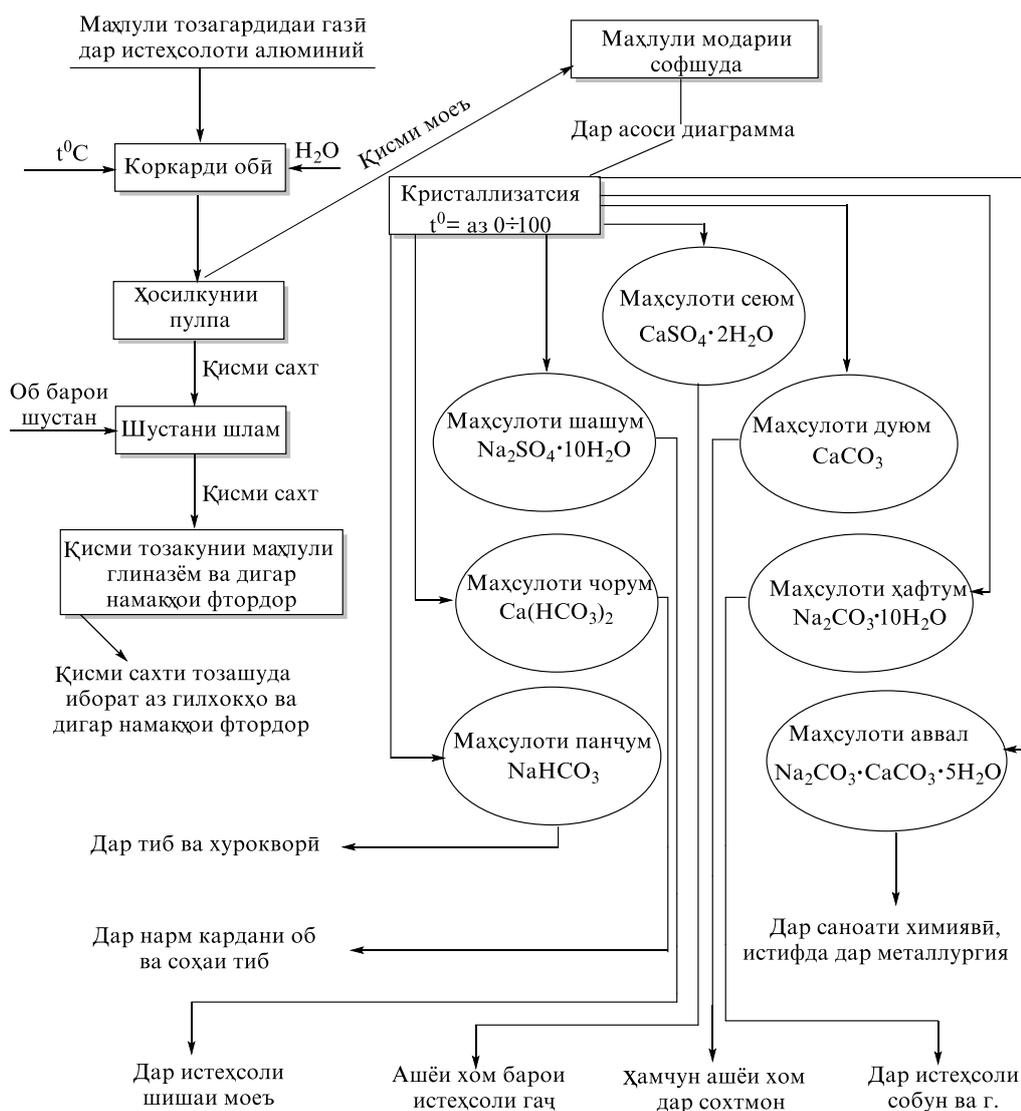
**Мисоли 2.** 25 кг маҳлули модарии ашёи хоми техникий таркибаш аз сулфат, карбонат, гидрокарбонатҳои натрий иборат аст, дар ҳарорати тақрибан 25 °C дар тӯли 45 дақиқа бо усули маълум коркард карда мешавад. Маҳлул ғафс карда шуда, маҳлули ишқорӣ сер аз боқимонда тоза карда мешавад. Боқимондаи гарм ба миқдори 19,15 кг бо таркиби зерин (ба фоизи мас.):  $\text{Na}^+$  27,7084,  $\text{SO}_4^{2-}$  21,4984,  $\text{CO}_3^{2-}$  18,1696,  $\text{HCO}_3^-$  9,2224, боқимондаи ҳалнашаванда 5,85 кг ва об, дар ҳарорати аз 50 то 25 °C дар тӯли 100 дақиқа бо 5,6725 кг об коркард мешавад. Пас аз тоза кардани маҳлул бо маҳлули спирти этилӣ ва филтратсия, 13,4775 кг маҳлули ишқорӣ бо таркиби зерин (ба фоизи мас.):  $\text{Na}^+$  - 19,4936,  $\text{SO}_4^{2-}$  - 14,8176,  $\text{CO}_3^{2-}$  - 12,8488,  $\text{HCO}_3^-$  - 6,7608 ва 5,6725 об, инчунин 5,68 кг таҳшинҳои ҳалнашаванда, ки асосан аз нахколит, трон, мирабилит ва декагидрати карбонати натрий иборат аст, ба даст оварда мешавад. Филтрат ба даври истеҳсолот баргардонида мешавад. Истихроҷи умумии нахколит аз маҳлули ишқорӣ 62,40 % -ро ташкил медиҳад.

**Мисоли 3.** 25 кг маҳлули модарии ашёи хоми техникий ки таркибаш аз сулфат, карбонат, гидрокарбонатҳои ва натрий иборат аст, дар ҳарорати тақрибан 50 °C дар тӯли 45 дақиқа бо усули маълум коркард мешавад. Маҳлул ғафс шуда, маҳлули ишқорӣ сер аз боқимонда тоза мегардад. Боқимондаи гарм ба миқдори 19,15 кг бо таркиби зерин (ба фоизи мас.):

$\text{Na}^+$  - 27,7084,  $\text{SO}_4^{2-}$  - 21,4984,  $\text{CO}_3^{2-}$  - 18,1696,  $\text{HCO}_3^-$  - 9,2224, боқимондаи ҳалнашаванда 5,85 кг ва об, дар ҳарорати аз 50 то 0 °C дар тӯли 100 дақиқа бо 14,8275 кг об коркард карда мешавад. Пас аз тоза кардани маҳлул бо маҳлули спирти этилӣ ва филтратсия, 14,8275 кг маҳлули ишқорӣ бо таркиби зерин (ба фоизи мас.):  $\text{Na}^+$  - 5,9896,  $\text{SO}_4^{2-}$  - 2,9068,  $\text{CO}_3^{2-}$  - 3,6792,  $\text{HCO}_3^-$  - 4,7128 ва 20,6775 об, инчунин 2,9610 кг таҳшини ҳалнашаванда бо табдилоти фазаӣ, ки асосан аз нахколит, мирабилит ва декагидрати карбонати натрий иборат аст, ба даст оварда мешавад. Филтрат ба даври истеҳсолот баргардонида мешавад. Истихроҷи умумии нахколит аз маҳлули ишқорӣ 73,30 %-ро ташкил медиҳад.

Усули пешниҳодшуда раванди коркарди маъданҳои полеминералии дорои натрийро содда мегардонад. Зеро раванди хунуккунии боқимондаи ҳалнашаванда бо маҳлули ишқорӣ партов ва шустани нахколит аз таркиби чоркомпонента аз нақша хориҷ шудааст.

Дар асоси диаграммаи бо усули проексияи ортогоналӣ ва перспективии бо сули транслятсия сохта шуда, схемаи принципалии технологии кристаллизатсияи моддаҳои химияӣ аз партовҳои моеъи саноатии истеҳсоли алюминий комплекси фазагии системаи чоркомпонентаи иборат аз сулфат, карбонат, гидрокарбонатҳои натрий ва об ( $\text{H}_2\text{O}-5\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{HCO}_3^-$ ) ташкил медиҳад, пешниҳод шудааст. Майдон, хат ва нуқтаҳо коркард карда шуда, дар расми 5.11 оварда шудааст. Мувофиқи он ифода гардидааст, ки дар майдонҳои диварианти як фаза, дар хатҳои моноварианти ду фаза ва дар нуқтаҳои нонварианти се фазаҳо дар мувозинат буда, зимни коркард дар шаклҳои номбурда моддаҳо ҳосил мешаванд. Моддаҳои ҳосилшуда метавонанд барои истифодаи дубора баргарданд. Чунки, мирабилит, сода ва нахколит дар саноат тадбиқи васеъ дорад.

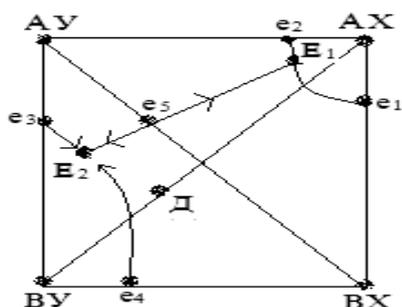


Расми 5.11. – Схемаи принципалии технологияи раванди кристаллизатсияи фазаҳои саҳти алоҳида дар системаи  $\text{H}_2\text{O}-5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^-$

Диаграммаҳои фазагӣ ва сатҳии системаҳои, ки дар онҳо танҳо намақҳои ташкилдиҳанда кристаллизатсия мешаванд. Сохтани диаграммаҳои ҳолатии системаҳои секомпонентаи муовиза аз диаграммаҳои ҳолатиашон фарқ надоранд. Чунки дар ҳарду ҳолат дар тирҳои амудии шакли геометрии квадратӣ бузургии ба ҳарорат тааллуқдор ҷойгир гардида, аз онҳо дар асоси нуқтаҳои ҳосилшуда хатҳои ҳамвори майдонхоро ҷудокунанда гузаронида мешаванд. Бо ҳамин усул сохтани сатҳи диаграммаҳо дар якҷоягӣ бо ҳаҷмҳои байни онҳо диаграммаҳои фазогии системаи химиявиро ташкил медиҳанд, ки аз рӯйи сохтори худ ба диаграммаҳои сохтории системаҳои секомпонентаи муқаррарӣ монанд мебошанд. Аз боло онҳо бо сатҳи ликвидус ва аз поён бо

солидус маҳдуд мешаванд. Сатҳи ликвидус метавонад ба майдонҳои кристаллизатсияи якумини ин ё он фаза, пайвастиҳои дучанда ё маҳлулҳои саҳт тақсим шуда бошад. Байни сатҳи ликвидус ва солидус ҳаҷмҳои кристаллизатсияи якумин ва дуумини аз якдигар ҷудо шудаанд, ҷойгиранд.

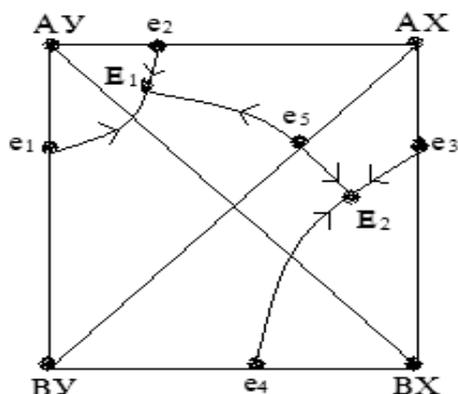
Диаграммаҳои сатҳии бо ин усул ҳосилшуда як қатор хосиятҳои геометрии диаграммаҳои системаҳои секомпонентии муқаррариро дорад мебошанд. Дар он қоидаҳои фашанг, маркази вазн, ҳатти рости пайвастикунандаи Ван Рейн Алкемаде амал мекунанд. Дар чунин диаграммаҳо метавонанд нуқтаҳои нонвариантии эвтоникӣ ва эвтектикӣ ҷой дошта бошанд. Хатҳои сарҳадӣ метавонанд конгруэнтӣ ва инконгруэнтӣ шаванд. Роҳҳои кристаллизатсия монанди системаҳои секомпонентии муқаррарӣ муайян мегарданд.



Расми 5.12. – Диаграммаи ҳолатии муовизаи барнагарданда бо диагонали стабилӣ (устувори) АХ-ВУ

Дар расми 5.12 яке аз чунин диаграммаҳо тасвир гаштааст. Дар он диагонали АУ-ВХ диаграммаро ба ду системаи муқаррарии секомпонента: ВХ-АУ-АХ ва ВХ-АУ-ВУ тақсим менамояд. Дар ҳар қадом диаграммаҳои ин системаҳои секомпонента ҳамаи элементҳои геометрии дахлдор мавҷуд мебошанд: эвтектикаи сечандаи  $E_1$  бо сехатҳои сарҳадии  $E_1e_1$ ,  $E_1e_2$  ва  $E_1e_5$  барои системаи секомпонентии ВХ-АУ-АХ; эвтектикаи сечандаи  $E_2$  бо сехатҳои сарҳадии  $E_2e_3$ ,  $E_2e_4$  ва  $E_2e_5$  барои системаи секомпонентии ВХ-АУ-ВУ. Дар системаи секомпонентии аввала майдонҳои  $AUe_2E_1e_5$  (барои компоненти АУ);  $AXe_2E_1e_1$  (барои компоненти АХ) ва  $BXe_1E_1e_5$  (барои компоненти ВХ). Дар системаи секомпонентии дуум майдонҳои  $BUe_3E_2e_4$  (барои компоненти ВУ);  $BXe_4E_2e_5$  (барои компоненти ВХ) ва  $AUe_3E_2e_5$  (барои компоненти АУ) мавҷуданд. Майдонҳои компоненти АУ дар ҳарду

система бо як майдон пайваст мешаванд. Ҳамин ҳолат барои майдони ВХ  
 чой гирифта, дар диаграммаи овардашуда 4 майдони кристаллизатсия ба  
 вучуд меояд.

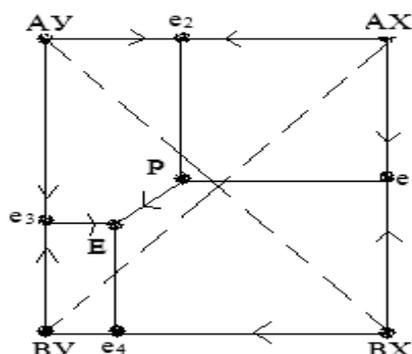


Расми 5.13. – Диаграммаи ҳолатии муовизаи барнагарданда  
 бо диагонали устувори АУ-ВХ

Диагонали АУ-ВХ квадратӣ ном дорад. Дар системаҳои муовиза  
 чунин диагоналҳо нуқтаҳоеро пайваст мекунад, ки дар онҳо пайвастҳо аз  
 гудохтаҳои омехтаҳои худ дар ҳолати холис, ё дар шакли моддаи ҳар  
 чорашро дошта таҳшин мешаванд, яъне бе реаксияи муовиза. Хатҳои  
 диагоналии устувор хатти сарҳадии ду эвтоника пайвасткунандаро бурида  
 нуқтаи зинагиро ( $e_3$ ) ҳосил мекунад. Вай нуқтаи эвтектикии ин буриш ва  
 максималии хатти қачи сарҳадӣ мебошад. Ҳамин тавр диагонали устувор  
 гуфта хатти буриши квазибинариро меноманд. Дар эвтоникаҳои сечандаи  
 системаи дар расми 5.12 овардашуда омехтаи намакҳои АУ-ВХ-АХ  
 (эвтоникаи  $E_1$ ) ва ВУ+АУ+ВХ (эвтоникаи  $E_2$ ) кристаллизатсия мешаванд.  
 Ҷуфти намакҳое, ки дар таркиби маҳсулоти охирини саҳтшавии гудохтаи  
 эвтоникӣ ҳастанд ҷуфти стабилӣ ном доранд. Буриши дигар диагонал (АХ-  
 ВУ) системаи дучандаро намедихад. Масалан, агар мо омехтаи ин ду  
 намакро (нуқтаи Д) гудохта ин гудохтаро хунук намоем, онгоҳ дар  
 кристаллизатсияи аввала на намаки АХ ва на намаки АУ – ро ҳосил  
 накарда, балки намаки ВХ ба вучуд меояд. Вай маҳсулоти реаксияи  
 боҳамтаъсиркунии АХ ва ВУ мебошад. Дар зинаи дуҷоми кристаллизатсия  
 намакҳои ВХ+ВУ ва дар зинаи сеҷоми кристаллизатсия маҷмӯи намакҳои  
 ВХ, ВУ ва АУ – ро, ки диаганали стабилро ташкил медиҳанд, ба даст

меоянд. Дар расми 5.13 диаграммаи системаи секомпонентаи муовизаи А, В // X, У бо диагонали стабилӣи АХ-ВУ оварда шудааст. Дар он мавқеи майдонҳои кристаллизатсия аз диаграммаи дар расми 5.12 оварда шуда фарқ мекунад.

Ҳамзамон чунин системаҳое шуданаш мумкин, ки хатти буриши (сечение) квазибинарӣ надоранд. Чунин системаҳоро одатан баргарданда-муовиза меноманд. Мисоли сохтори чунин диаграмма дар расми 5.14 оварда шудааст:



Расми 5.14. – Диаграммаи ҳолатии системаи секомпонентаи муовизаи баргарданда

Дар расми 5.13 нуқтаи Р ба мувозинати се фазаи саҳти АХ+АУ+ВХ бо маҳлули сер мувофиқ омада, аммо аз эвтектикаи Е<sub>1</sub> (рас. 5.11) бо он фарқ мекунад, ки ба ҷои кристаллизатсияи якҷояи се фазаи саҳти дар мувозинатбуда раванди инконгруэнтӣ ҷой дорад: намаки АХ ҳал шуда, намакҳои АУ ва ВХ ҷудо мешаванд. Агар дар омехтаи гирифташуда миқдори зарурии компоненти ВУ барои пурра табдилёбии намакҳои АХ ва АУ набошад, онгоҳ кристаллизатсия дар нуқта перитектикӣ (Р) ба охир мерасад. Дар ҳолати дигар кристаллизатсия дар нуқтаи эвтектикӣ, бо ҳосилшавии маҷмӯи намакҳои АХ, ВХ, ВУ ба охир мерасад. Дар чунин диаграммаҳои муовиза - баргарданда нуқтаҳои нонварианти дар як тарафи диагонали ҷуфт намакҳои системаро ташкилкунанда, ҷойгир мебошанд.

Ҷуфти намакҳо (дар мисоли мо АХ+АУ) дар ҳарду нуқтаҳои нонварианти ҷудо шуда, ҷуфти системаҳои стабилро ташкил медиҳанд. Ҳамин тавр, дар системаҳои муовизаи баргарданда, гарчанде диагоналҳои стабилӣ набошад ҳам, ҷуфти стабилӣи намакҳое ҳастанд, ки ба таркиби ҳамагуна омехтаи гудохтаи система дохиланд.

## ХУЛОСАҲОИ УМУМӢ

1. Усули такмилёфтаи таҳқиқот, ки барои омӯзиши системаҳои бисёркомпонентаи обӣ-намакӣ пешниҳод шудааст, аз инҳо иборат аст: а) пешгӯии мувозинати фазагӣ дар системаҳои бисёркомпонента, ки ба интиқоли ифодаҳои сохтори системаҳои ҷузъии иборат аз  $n$  компонент ба минтақаи системаи умумии иборат аз  $n+1$  компонент асос ёфтааст; б) сохтани диаграммаҳои комплекси фазагии системаҳои бисёркомпонента, ки дар онҳо ҳамаи мувозинатҳои фазагии имконпазир дар шаклҳои геометрӣ ва ҷойгиршавии мутақобилаи онҳо нишон дода шудааст [11-М], [13-М], [15-М], [19-М], [29-М], [30-М], [36-М], [37-М], [38-М], [46-М], [68-М], [82-М], [85-М], [86-М], [99-М], [101-М].

2. Истифодаи усули мазкур бо таҳқиқоти назариявӣ ва таҷрибавии 25 изотермаи комплексҳои фазавии системаҳои чоркомпонента:  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $3\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  ва 5 изотермаи системаи панҷкомпонентӣ  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  тасдиқ карда шудааст [5-М], [6-М], [7-М], [9-М], [10-М], [12-М], [47-М], [50-М], [51-М], [55-М], [57-М], [63-М], [64-М], [70-М], [80-М], [81-М], [90-М], [93-М], [96-М], [97-М].

3. Аввалин нишон дода шудааст, ки афзоиши шумораи тасвирҳои геометрӣ бо баланд шудани ҳарорат аз 0 то 100 °C аломатҳои табодули мубодилаи химиявӣ бо пайдоиши фазаҳои нави мувозинатӣ алоқаманд аст, ки инро принципҳои асосии асосҳои таҳлили физико-химиявӣ ва қоидаи фазаҳои Гиббс мувофиқат мекунад [8-М], [31-М], [32-М], [39-М], [40-М], [41-М], [49-М], [54-М], [67-М], [74-М], [83-М], [92-М], [102-М].

4. Ҳамаи диаграммаҳои комплекси фазагии системаи иборат аз катионҳои натрий ва калсий, анионҳои сулфат, карбонат ва гидрокарбонат, ки бо усули транслятсия таҳқиқ гардида, сохта шудаанд, аз рӯйи минтақаҳои кристаллизатсияи фазаҳои сахти алоҳидаи сатҳи таркиби чоркомпонента ва кристаллизатсияи муштаракӣ ду фазаи сатҳи таркиби

панҷкомпонента фрагментатсия карда шудаанд. Дар натиҷаи он фрагментҳои худуди як фаза барои сатҳи таркиби чоркомпонентагӣ ва ду фаза дар сатҳи таркиби панҷкомпонентагӣ муқаррар гардидааст [33-М], [35-М], [43-М], [44-М], [45-М], [46-М], [53-М], [84-М], [87-М], [100-М], [103-М], [112-М].

5. Қонуниятҳои умумии сохтори диаграммаҳои комплекси фазагии системаҳои бисёркомпонентаи обӣ-намакӣ: а) нуқтаҳои нонвариантии системаи умумӣ асосан аз буриши қачхатҳои моновариантӣ, ки аз нуқтаҳои нонвариантии фазаҳои якхела сарчашма мегиранд, ҳосил мешаванд (*транслятсияи сетарафа*). Дар ҳолатҳои камтар, онҳо аз буриши қачхатҳои моновариантӣ, ки аз нуқтаи нонвариантии системаҳои ҷузъӣ сарчашма мегирад, бо қачхатҳои моновариантӣ, ки аз байни нуқтаҳои нонвариантии системаи умумӣ мегузаранд, ба вучуд меоянд (*транслятсияи яктарафа*). Нуқтаҳои нонварианта, инчунин аз буриши қачхатҳои моновариантӣ, ки танҳо аз байни нуқтаҳои нонвариантии системаи умумӣ мегузаранд, ба вучуд меоянд (*нуқтаҳои мобайнӣ*). б) қачхатҳои моновариантӣ асосан дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии системаҳои ҷузъӣ ба минтақаи таркиби умумӣ ба вучуд меоянд ва дар ҳолатҳои камтар дар натиҷаи буриши майдонҳои дивариантӣ дар минтақаи таркиби умумии система пайдо мешаванд; в) майдонҳои дивариантӣ асосан дар натиҷаи транслятсияи қачхатҳои моновариантии системаҳои ҷузъӣ ба минтақаи таркиби умумӣ ба вучуд меоянд. Баъзан, онҳо ҳангоми транслятсияи қачхатҳои моновариантӣ, ки аз байни нуқтаҳои нонвариантии системаҳои ҷузъии якхела мегузаранд. Инчунин, дар натиҷаи бо қачхатҳои моновариантӣ, ки танҳо дар минтақаи таркиби умумӣ  $(n+1)$  мегузаранд, ба вучуд меоянд [1-М], [2-М], [3-М], [22-М], [23-М], [48-М], [58-М], [60-М], [65-М], [66-М], [69-М], [71-М], [98-М], [104-М], [108-М], [111-М], [117-М].

6. Дар асоси маълумот дар бораи сохтори изотермаҳои мувозинати фазавӣ ва роҳҳои кристаллизатсия дар таҳқиқоти системаҳои обӣ-намакӣ,

инчунин маълумоти тавсифи риёзии чараёни моделии раванд, усулҳои зерини оптимизатсияи ҷузъҳои технологияи коркарди маъдани полиминералӣ (партовҳои истехсоли) таҳия карда шудаанд: усули ба даст овардани декагидрати карбонати натрий аз партовҳои моеъи истехсоли алюминий; усули ба даст овардани нахколит аз партовҳои моеъи истехсоли алюминий; усули ба даст овардани виломит аз партовҳои моеъи истехсоли алюминий пешниҳод карда шудаанд [4-М], [56-М], [61-М], [72-М], [73-М], [75-М], [76-М], [77-М], [78-М], [79-М], [94-М], [107-М], [113-М], [115-М], [116-М], [118-М].

7. Бо усули ҳалшавандагӣ, диаграммаҳои ҳолати системаҳои чоркомпонентаи зерин дар диапазонаи 0-100 °С таҳқиқ ва сохта шудаанд:  $5\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $3\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - 2\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ , инчунин, диаграммаи системаи панҷкомпонентаи  $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  дар 0 °С. Маълумоти таҷрибавии бадастомада, ки дурустии онҳо бо усулҳои таҳлили химиявӣ, кристаллооптикӣ ва рентгенофазавай тасдиқ шудааст, бо маълумоте, ки бо усули транслятсия ба даст омадаанд, пурра мувофиқат мекунанд [14-М], [16-М], [17-М], [18-М], [20-М], [21-М], [24-М], [25-М], [26-М], [27-М], [28-М], [33-М], [38-М], [42-М], [52-М], [59-М], [62-М], [88-М], [89-М], [91-М], [95-М], [105-М], [106-М], [109-М], [110-М], [113-М], [114-М].

## Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаи таҳқиқот

Тараққиёти саноати химия, ки коркарди ашёи хоми минералӣ ва истехсоли маводҳои навро талаб менамояд, ба омӯзиши системаҳои дахлдор алоқаманд мебошад. Системаи химиявии  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  қисми таркибии системаи шашкомпонентаи мураккабтари  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  мебошад, ки комплексҳои фазагии дар он ҷойдошта шароитҳои утилизатсияи партовҳои моеъи истехсоли алюминийро муайян мекунад. Партовҳои моеъи регенератсияи криолити заводи алюминий фторидҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳо ва сульфатҳои натрий ва калсий доранд. Равандҳои кристаллизатсия ва ҳалшавандагии намакҳо дар маҳлулҳои обии ин партовҳо бо қонуниятҳои мувозинатҳои фазагӣ дар шакли системаи бисёркомпонента, системаҳои панҷ- ва чоркомпонентаи онро ташкилкунанда муайян карда мешаванд. Натиҷаҳои таҳқиқи политермаи ҳалшавандагӣ ва комплекси фазагӣ дар системаи бисёркомпонентаи обӣ-намакии муовизаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  ва сохтори диаграммаи он имконият медиҳад, ки майдони кристаллизатсияи алоҳидаи 15 фаза, дар шароити додашуда фрагментатсия карда шуда, хосиятҳои топологии ифодаҳои геометрии хоси қисмҳои таркибии системаро ташкилкунанда муайян гардида, вобаста ба онҳо, зимни коркард дар майдонҳои сатҳи чоркомпонента як фаза ва дар сатҳи панҷкомпонента ду фаза ҷудо карда шавад. Концентратсияи мувозинатӣ дар фазаҳои моеъ зимни кристаллизатсияи алоҳида барои майдон ва кристаллизатсияи якҷоя барои хатҳо ва нуқтаҳо муқаррар карда шавад.

Дар асоси маълумот дар бораи сохтори изотермаҳои мувозинати фазаӣ ва роҳҳои кристаллизатсия дар таҳқиқоти системаҳои обӣ-намакӣ, инчунин маълумоти тавсифи чараёни риёзии раванд, усулҳои зерини оптимизатсияи ҷузъҳои технологии коркарди маъдани полиминералӣ (партовҳои истехсоли) таҳия карда шудаанд: усулҳои ба даст овардани декагидрати карбонати натрий, нахколит ва виломит аз партовҳои моеъи истехсоли алюминий истифода бурдан мумкин аст.

## Рӯйхати адабиёт

1. Курнаков, Н.С. Введение в физико-химический анализ / Н.С. Курнаков. -М.:, -Л.: Изд-во АН СССР. -1940. -562 с.
2. Аносов, В.Я. Основные начала физико-химического анализа / В.Я. Аносов, С.А. Погодин. -М.:, -Л.: Изд-во АН СССР. -1947. 876 с.
3. Радищев В.П. Многокомпонентные системы / В.П. Радищев. -М.: Изд-во АН СССР. -1964. -502 с.
4. Бергман, А.Г. Об обменном разложении в отсутствие растворителя / А.Г. Бергман, В.П. Радищев, Н.С. Домбровская // Докл. АН СССР. - 1951. -№77. -С. 811-813.
5. Домбровская, Н.С. Реакции обмена в пятерной взаимной системе из девяти солей. Автореф. дисс... доктор хим. наук / Н.С. Домбровская. - М.: ИОНХ АН СССР. -1955. -52 с.
6. Перельман, Ф.М. Изображение химических систем с любым числом компонентов / Ф.М. Перельман. -М.: Наука. -1965. -504 с.
7. Посыпайко, В.И. Рациональные пути и методы исследования многокомпонентных взаимных систем. Дисс. докт. хим. наук / В.И. Посыпайко. -М.: -1964. -420 с.
8. Лупейко, Т.Г. Фактор фазы в параметрическом дизайне поверхностей первичных кристаллизаций двойных и тройных взаимных систем / Т.Г. Лупейко, Н.И. Тарасов, В.Н. Зяблин // Журн. неорганической химии. -2001. -Т. 46. -№ 7. -С. 1195-1197.
9. Бухалова, Г.А. Сингулярное разбиение пятерной взаимной системы из 8 солей  $1л. Ca, Ba // B, Cl$ . / Г.А. Бухалова, З.А. Матейко // В кн. Диаграммы плавления некоторых солевых систем: Сб. науч. тр. Ростов н/Д: РГУ. -1964. -С. 24-32.
10. Кистанова, Н.С. Новый подход к изучению фазовых равновесий в многокомпонентных водно-солевых системах. Автореф. дисс... канд хим. наук / Н.С. Кистанова. -Пермь: -2011. -23 с.

- 11.Первикова, В.Н. Теория обратимых отображений многомерного пространства. Дисс. докт. техн. Наук / В.Н. Первикова. -М.: МАИ, -1975. -58 с.
- 12.Ламбин, Л.Н. Сб. Вычислительная техника в машиностроении. –Минск. Изд-во Института технической кибернетики АН БССР. -1960. -21 с.
- 13.Димитриенко, Г.Е. Сб. Прикладная геометрия и инженерная графика. -- Киев: Будивельник. -1964. -426 с.
- 14.Домбровская, Н.С. Методы разбиения диаграмм состава многокомпонентных безводных солевых взаимных систем для призм II рода – 3|3 / Н.С. Домбровская, Е.А. Алексеева // Журнал неорганическая химия. -1961. -Т. 6. -№ 3. -С. 702- 709.
- 15.Краева, А.Г. Определение комплексов триангуляции n - мерных полиэдров / А.Г. Краева // Прикладная многомерная геометрия. Тр. МАИ. Вып. 178, -М.: -1969. -С. 76-82.
- 16.Warfield, J. Binary matrices in system modeling / J. Warfield // Trans. Syst. Man a. Cybern. -1972. -№ 3. -PP. 441-449.
- 17.Бергман, А.Г. Об обменном разложении в отсутствие растворителя / А.Г. Бергман, Н.С. Домбровская // ЖРФХО. Сер. Хим. -1929. -Т. LXI, -Вып.8. -С. 1451-1478.
- 18.Посыпайко, В.И. Диаграммы плавкости солевых систем / В.И. Посыпайко, Е.А. Алексеева, Н.А. Васина // -М.: Металлургия, -1979. -204 с.
- 19.Грызлова, Е.С. Моделирование коньюрссионных химических процессов в многокомпонентных взаимных солевых системах / Е.С. Грызлова, Н.А. Козырева // Журнал Успехи химии. -2004. –Т. 73. -№ 10. С. 1088.
- 20.Бергман, А.Г. Изображение стабильного комплекса взаимной системы из девяти солей на развёртках / А.Г. Бергман, В.А. Очертный // -Журнал неорганической химии. -1962. –Т. 7. -№10. -С. 2466.
- 21.Бергман, А.Г. Изображение лабильного комплекса системы из десяти солей на развёртках / А.Г. Бергман, А.И. Кислова, В.И. Посыпайко // Журнал общей химии. -1955. -№25. -С. 2044.

- 22.Посыпайко, В.И. Реакции обмена в пятерной взаимной системе из восьми солей с двумя двойными соединениями / В.И. Посыпайко, В.С. Домбровская // Журнал неорганической химии. -1962. –Т. 7. -№3. -С. 645.
- 23.Посыпайко, В.И. Реальные представители пятерных взаимных систем из 9 солей типа D и E / В.И. Посыпайко // -Журнал неорганической химии. -1964. –Т. 9. -№7. -С. 1707.
- 24.Зыков, А.А. Теория конечных графов. –Новосибирск: Наука. -1969. 253с.
- 25.Грызлова, Е.С. Определение симплексов взаимных систем на основании фигур конверсии матричным методом / Е.С. Грызлова, Н.А. Васина, Г.Е. Штер, А.С. Трунин // Журнал неорганической химии. -1982. -Т. 27. -№5. -С. 1281.
- 26.Васина, Н.А. Практическое применение матриц взаимных пар солей при изучении реакций обмена в четверных взаимных системах / Н.А. Васина, В.И. Посыпайко, Е.С. Грызлова // Журнал неорганической химии. -1987. -Т. 20. -С. 2437.
- 27.Посыпайко, В.И. Прогнозирование химического взаимодействия в системах из многих компонентов / В.И. Посыпайко, С.А. Тарасевич, Е.А. Алексеева, Н.А. Васина, Е.С. Грызлова, А.С. Трунин, Г.Е. Штер, А.С. Космынин, Л.М. Васильченко // Монография. -Москва, -1984. 431 с.
- 28.Посыпайко, В.И. Конверсионной метод исследования многокомпонентных взаимных солевых систем / В.И. Посыпайко, Н.А. Васина, Е.С. Грызлова // Доклады АН СССР. -1975. -Т. 233. -№5. -С. 1191.
- 29.Курнаков, Н.С. Некоторые вопросы теории физико-химического анализа / Н.С. Курнаков // Доклады АН СССР. -1939. –Т. 9. -№3. -С. 726-730.
- 30.Посыпайко, В.И., Трунин А.С. Штер Г.Е. Сборник материалов Всесоюзных семинаров по развитию теории и рациональных методов

- исследования многокомпонентных систем. -М.: Изд. ВЗПИ, -1975. -С. 63.
- 31.Базаров, Б.Г. Фазообразование в системах  $K_2MoO_4-NaMoO_4-Hf(MoO_4)_2$  и свойства тройного молибдата состава  $K_5(A_{0.5}R_{1.5})(MoO_4)_6$  ( $R = Zr, HF$ ) / Б.Г. Базаров, С.Ф. Солодовников, Ж.Г. Базарова // Журн. неорганич. хим. 2003. -Т.48. -№1. -С. 134-137.
- 32.Кузьмичева, Г.М. Рентгенографическое изучение фаз в системе  $CaYb_2S_3(0-50 \text{ мол. \% } Yb_2S_3)$  / Г.М. Кузьмичева, О.В. Андреев, Э. Абдрахманов // Журн. неорганич. хим. -2003. -Т.48. -№2. -С. 320-325.
- 33.Остроушко, А.А. Фазовые соотношения и физико-химические свойства системы паравольфрамат аммония-поливиниловый спирт-вода / А.А. Остроушко, Д.С. Михалев // Журн. неорганич. хим. -2003. -Т.48. -№3. -С. 503-507.
- 34.Мирная, Т.А. Фазовые диаграммы жидкокристаллических бинарных систем пальмитата натрия с бутиратом, изобутиратом и метилбутиратом натрия / Т.А. Мирная, Л.С. Судовцова, С.В. Волков // Журн. неорганич. хим. -2003. -Т.48. -№3. -С. 525-631.
- 35.Сафонов, В.В. Фазовые равновесия и стеклообразование в системе  $Li_2OGeO_2-TeO_2$  / В.В. Сафонов // Журн. неорганич. хим. -2003. -Т.48. -№4. -С. 650-654.
- 36.Асрян, Н.А. РТ X-фазовая диаграмма системы  $Bi_2O_3-SnO_2$  / Н.А. Асрян, А.С. Алиханян, Г.Д. Нипан // Журн. неорганич. хим. -2003. -Т 48. -№4. -С. 661-664.
- 37.Базаров, Б.Г. Фазовая диаграмма системы  $Tb_2(MoO_4)_3-Zr(MoO_4)_2$  и свойства двойных молибдатов  $Ln_2Zr_3(MoO_4)_9$  / Б.Г. Базаров, Ю.Л. Тушинова, Ж.Г. Базарова, К.Н. Федоров // Журн. неорганич. хим. 2003. -Т.48. -№9. -С. 1551-1553.
- 38.Румянцев, А.В. Фазовые диаграммы подсистем четверной взаимной системы  $K^+, NH_4^+ \parallel Cl^-, Br^- - H_2O$  при 25 °С / А.В. Румянцев, Н.А. Чарыков, М.В. Заморянская, О.В. Арапов, М.В. Чарыкова, Б.А. Шахматкин // Журн. неорганич. хим. -2003. -Т.48. -№11. -С. 1887-1897.

39. Данилушкина, Е.Г. Фазовый комплекс пятикомпонентной системы LiBr-NaBr-KBr-RbBr-CsBr / Е.Г. Данилушкина, И.М. Кондратюк, И.К. Гаркушин, Е.М. Дворянова // Журн. неорган. хим. -2003. -Т. -48, №.11. - С. 1898-1901.
40. Солиев, Л. Прогнозирование строения диаграмм фазовых равновесий многокомпонентных водно-солевых систем методом трансляции. М.: 1987. 28 с. Деп. В ВИНТИ 20.12.87 г. №8990- В87.
41. Солиев, Л. Прогнозирование фазовых равновесий в многокомпонентных водно-солевых системах. -Автореферат дисс. док. хим. наук. / Л. Солиев. -Киев: -1988. -50 с.
42. Солиев, Л. Прогнозировании фазовых равновесий в многокомпонентной системе морского типа методом трансляции (Книга 1) / Л. Солиев -ТГПУ. -Душанбе: -2000. -247 с.
43. Горощенко, Я.Г. Система Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-TiO<sub>2</sub>-SO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O при 125 °С / Я.Г. Горощенко, М.И. Фролова, Р.А. Попова // Журн. неорган. химии. -1981. -Т.26. -№ 12. -С. 3367-3370.
44. Бережной, А.С. Многокомпонентные системы окислов / А.С. Бережной -Киев: Наукова думка. -1970. -544 с.
45. Горощенко, Я.Г. Массцентрический метод изображения многокомпонентных систем / -Я.Г. Горощенко -Киев: Наукова думка. -1982. -264 с.
46. Солиев, Л. Система K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 25 °С / Л. Солиев, Я.Г. Горощенко // Журнал неорганической химии. -1985. -Т. 30. -№ 1. - С. 238-241.
47. Тошов, А. Прогнозирование фазовых равновесий в системе K, Mg, Ca || SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O методом трансляции. Автореф. дисс. канд. хим. наук. / А. Тошов. -Душанбе: -2000. -25 с.
48. Горощенко, Я.Г. Основные направления в методологии физико-химического анализа сложных и многокомпонентных систем (к 125-летию Н.С.Курнакова) / Я.Г. Горощенко, Л. Солиев // Журнал неорганической химии АН СССР. -1987. -Т.32. -№ 7. -С. 1676-1681.

49. Горощенко, Я.Г. Политерма растворимости солевой системы морского типа / Я.Г. Горощенко, Л. Солиев, М.А. Горникова, Н.М. Потриляк - Душанбе: Дониш. -1992. -162 с.
50. Солиев, Л. Прогнозируемые фазовых равновесий в многокомпонентной системе морского типа методом трансляции / Л. Солиев. Кн. 2. -Душанбе: Шучоён. -2011. -147 с.
51. Солиев, Л. Прогнозирование фазовых равновесий в многокомпонентной системе морского типа методом трансляции / Л. Солиев. Кн. 3. -Душанбе: Эр-Граф. -2019. -232 с.
52. Авлоев, Ш.Х. Фазовые равновесия и растворимость в системе Na,K//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,F-H<sub>2</sub>O при 0 и 25 °С. Автореф. дисс... канд. хим. наук / Ш.Х. Авлоев. -Душанбе: ТГПУ. -2007. -22 с.
53. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, K // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 25 °С / Л. Солиев, Ш.Х. Авлоев // Журн. неорганической химии РАН. -2007. - Т.52. -№ 10. -С. 1714-1718.
54. Avloev, Sh.Kh. Phase Equilibria in the Na, K // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O System at 25 °С / Sh.Kh. Avloev, L. Soliev // Zhurnal Neorganicheskoi Khimii. -2007. - Vol. 52. -No 10. -PP. 1714-1418.
55. Авлоев, Ш.Х. Фазовые равновесия системы Na, K // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 0 °С / Ш.Х. Авлоев, Л. Солиев // Журн. неорганической химии РАН. -2009. -Т.54. -№ 6. -С. 1046-1051.
56. Avloev, Sh.Kh. Phase Equilibria in the Na, K // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O System at 0 °С / Sh.Kh. Avloev, L. Soliev // Zhurnal Neorganicheskoi Khimii. -2009. - Vol. 54. -№ 6. -PP. 983-988.
57. Низомов, И.М. Фазовые равновесия и растворимость в системе Na,K//CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>,F-H<sub>2</sub>O при 0 и 25 °С. Автореф. дисс... канд. хим. наук / И.М. Низомов -Душанбе: ТГПУ. -2009. -23 с.
58. Soliev, L. Phas Equilibria in the Na, K // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O system at 0 °С / L. Soliev, I. Nizomov // Russian Journal of inorganic chemistry. -2011. -V. 56. -№ 2. -PP. 293-297.

59. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, K // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 0 °C / Л. Солиев, И.М. Низомов // Журн. неорган. химии РАН. - 2011. -Т.56. -№ 2. -С. 332-336.
60. Soliev, L. Phas Eqilibria in the Na, K // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O system at 25 °C / L. Soliev, I.M. Nizomov // Russian Journal of inorganic chemistry. -2012. – -V. 57. -№ 5. -PP. 727-731.
61. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, K // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, И.М. Низомов // Журн. неорган. химии РАН. – 2012. -Т.57. -№ 5. -С. 795-799.
62. Турсунбадалов, Ш. Фазовые равновесия и растворимость в системе Na, K // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 0 и 25 °C. Автореф. дисс... канд. хим. наук / Ш. Турсунбадалов -Душанбе: ТГПУ, -2010. -24 с.
63. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, K // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, Ш. Турсунбадалов // Журн. неорган. химии РАН. -2008. -Т.53. -№ 5. -С. 869-875.
64. Soliev, L. Phas Eqilibria in the Na, K // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O system at 25 °C / L. Soliev, Sh. Tursunbadalov // Russian Journal of inorganic chemistry. - 2008. -V. 53. -№ 5. -PP. 869-875.
65. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, K // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 0 °C / Л. Солиев, Ш. Турсунбадалов // Журн. неорган. химии РАН. - 2010. -Т.55. -№ 8. -С. 1373-1378.
66. Soliev, L. Phas Eqilibria in the Na, K // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O system at 0 °C / L. Soliev, Sh. Tursunbadalov // Russian Journal of inorganic chemistry. - 2010. -V. 55. -№ 8. -PP. 1295-1300.
67. Мусоджонова, Дж. Фазовые равновесия и растворимость системе Na, K // SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 0 и 25 °C. Автореф. дисс... канд. хим. наук / Дж. Мусоджонова –Душанбе: ТГПУ. -2011. -23 с.
68. Soliev, L. Phas Eqilibria in the Na, K // SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O system at 25 °C / L. Soliev, J. Musojonova // Russian Journal of inorganic chemistry. -2009. - V. 54. -№ 11. -PP. 1844-1848.

69. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, K // SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 0 °C / Л. Солиев, Дж. Мусоджонова // Журн. неорган. химии РАН. - 2011. -Т.56, -№ 7. -С. 1187-1191.
70. Soliev, L. Phas Equilibria in the Na, K // SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O system at 0 °C / L. Soliev, J. Musojonova // Russian Journal of inorganic chemistry. -2011. – Vol. 56. -№ 7. -PP. 1123-1127.
71. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, K // SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 0 °C / Л. Солиев, Дж. Мусоджонова // Журн. неорган. химии РАН. - 2011. -Т.56. -№ 7. -С. 1187-1191.
72. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-NaHCO<sub>3</sub>-NaF-H<sub>2</sub>O при 0 °C / Л. Солиев, Дж. Рузиев, С. Холмуродов // Докл. АН Республики Таджикистан. -2008. -Т.51. -№ 6. -С. 447-452.
73. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-NaHCO<sub>3</sub>-NaF-H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, Дж. Рузиев, С. Холмуродов // Докл. АН Республики Таджикистан. -2009. -Т.52. -№ 7. -С. 526-532.
74. Усмонов, М. Фазовые равновесия и растворимость системе Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 0 и 25 °C. Автореф. дисс... канд. хим. наук / М. Усмонов –Душанбе: ТГПУ им. С.Айни, -2015. -24 с.
75. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, М. Усмонов // Журн. неорган. химии РАН. -2012. -Т.57. -№ 3. -С. 510-515.
76. Soliev, L. Phas Equilibria in the Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O system at 25 °C / L. Soliev, M. Usmonov // Russian Journal of inorganic chemistry. -2012. – Vol. 57. -№ 3. -PP. 452-457.
77. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 0 °C / Л. Солиев, М.Б. Усмонов // Журн. неорган. химии РАН. -2013. -Т.58. -№ 4. -С. 530-534.
78. Soliev, L. Phas Equilibria in the Na, K // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O system at 0 °C / L. Soliev, M. Usmonov // Russian Journal of inorganic chemistry. -2013. –Vol. 58. -№ 4. -PP. 530-534.

79. Нури, В. Фазовые равновесия и растворимость в системе Na, Ca // SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 0 и 25 °C. Автореф. дисс... канд. хим. наук / В. Нури – Душанбе: ТГПУ. -2017. -23 с.
80. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, Ca // SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, В. Нури // Журн. неорганической химии РАН. -2014. - Т.59. -№ 3. -С. 421-425.
81. Soliev, L. Phas Equilibria in the Na, Ca // SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O system at 0 °C / L. Soliev, J. Musojonova // Russian Journal of inorganic chemistry. -2014. – Vol. 59. -№ 3. -PP. 274-278.
82. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, Ca // SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, В. Нури // Вестник педагогического университета. -2014. -№ 153. -С. 195-199.
83. Гуломикбол, Г. Фазовые равновесия и растворимость в системе Na, Ca // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 0 и 25 °C. Автореф. дисс... канд. хим. наук. / Г. Гуломикбол – Душанбе: ТГПУ, -2018. -24 с.
84. Низомов, И.М. Фазовые равновесия системы Na, Ca // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 25 °C / И.М. Низомов, Г. Гуломикбол, Л. Солиев // Вестник педагогического университета. -2014. -№ 153. -С. 195-199.
85. Васина, Н.А. Теплофизические свойства многокомпонентных солевых систем / Н.А. Васина, Е.С. Грызлова, С.Г. Шапошникова. – М.: Химия, 1984. -112 с.
86. Гаркушин, И.К. Фазовые равновесия и химическое взаимодействие в многокомпонентных системах из фторидов, бромидов, молибдатов и вольфраматов лития и калия / И.К. Гаркушин, М.А. Радзиховская, Е.Г. Данилушкина. – Екатеринбург: РИО УрО РАН, -2013. -С. 4-13.
87. Уэндландт, У. Термические методы анализа – Thermal Methods of Analysis / У. Уэндландт. Пер. с англ. Под ред. В.А. Степанова и В.А. Берштейна. – М.: Мир, -1978. -526 с.
88. Трунин А.С. Визуально-политермический метод / А.С. Трунин, Д.Г. Петрова // Куйбышевский политехн. Инс-т. -Куйбышев: -1977, -С. 94 Деп. в ВИНТИ № 584-78.

89. Toghasharov, A.S. Study of the solubility of the system  $\text{Mg}(\text{ClO}_3)_2\text{-}2\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}\cdot\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{-H}_2\text{O}$  / A.S. Toghasharov, S. Tukhtaev // Journal of Inorganic Chemistry. -2013. -Vol. 58. -№5. -PP. 658-662.
90. Kodirova, D.T. Issledovanie sistemi xlorat magniya – fosfat trietanolammoniya – voda / D.T. Kodirova, M.A. Abidova // Universum: Texnicheskie nauki. -2019. -№ 11(68). -PP. 215-219.
91. Худойбердиев, Ф.И. Растворимость в системе хлорат-хлорид магния- 3-оксипиридазонат-6 моноэтаноламмония-вода / Ф.И. Худойбердиев, Ф.Э. Умиров // Universum: Химия и биология. -2018. -№ 8(50).
92. Умиров, Ф.Э. Изучение растворимости взаимной системы хлорат магния -3-оксипиридазонат -6- моноэтаноламмония –вода / Ф.Э. Умиров, Ф.И. Худойбердиев, Ш.Р. Қурбонова // Известия СамГУ. -2017. -№3. -С. 58-63.
93. Тураев, К.А. Политерма растворимости системы тетракарбамидохлората кальция – монохлората моноэтаноламина - воды / К.А. Тураев, О.О. Рахмонов, А.С. Тогашиаров, С. Тухтаев // Universum: технические науки. -2021. -№10. -С. 91-96.
94. Toghasharov, A.S. Study of the Solubility of Components in the System  $\text{Ca}(\text{ClO}_3)_2\text{-}2\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}\cdot\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{-H}_2\text{O}$  / A.S. Toghasharov, S. Tukhtaev // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. -2015. №5. –PP. 144-148.
95. Шукуров, Ж.С. Политерма растворимости системы уксусная кислота - диэтаноламин – вода / Ж.С. Шукуров // Узб. хим. журн. -2010. -№ 3. -С. 37-40.
96. Shukurov, Zh.S. Component Solubilities in the acetic acid–monoethanolamine–water system / Zh.S. Shukurov, E.S. Khusanov, M.S. Mukhitdinova, A.S. Togasharov // Russ. J. Inorg. Chem. -Vol. 66. -№6, -2021. -PP. 807-813.
97. Toghasharov, A.S. Studying of the solubility of components in the system  $\text{Mg}(\text{ClO}_3)_2\text{-CH}_3\text{COOH}\cdot\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}\text{-H}_2\text{O}$  / A.S. Toghasharov, M.K.

- Askarova, S. Tukhtaev // East European Scientific Journal. -2016. -№12. - PP. 56-63.
98. Xamdamova, Sh.Sh. Vzaimodeystvie komponentov v sisteme  $Mg(ClO_3)_2 - N(C_2H_4OH)_3 - H_2O$  / Sh.Sh. Xamdamova, N.A. Mirzaev // Universum: Ximiya i biologiya. -2020. -№ 1(67). PP. 312-316.
99. Yakubov, Sh.Sh. Polytherm of Solubility of System  $Mg(ClO_3)_2 - [21 \% ClCH_2CH_2PO(OH)_2 \cdot NH_3 + 11 \% ClCH_2CH_2PO(OH)_2 \cdot 2NH_3 + 12 \% NH_4H_2PO_4 + 56 \% H_2O] - H_2O$  / Sh.Sh. Yakubov, D.O. Obidjonov, M.Sh. Adilovab, B.Kh. Kucharova, and B.S. Zakirova // Russian Journal of Inorganic Chemistry. -2023. -Vol.68. -№12. -PP. 1811-1815.
100. Умиров, Ф.Э. Исследование водных систем, включающих карбамид содержащих нитрат гуанидина, хлоратов натрия, магния и кальция / Ф.Э. Умиров, Б.С. Закиров, Г.Р. Номозова // Композитные материалы. - 2019. -№2. -С. 151-157.
101. Shukurov, Zh. S. Component Solubilities in the Acetic Acid–Monoethanolamine–Water System / Zh.S. Shukurov, E.S. Khusanov, M.Sh. Mukhitdinova, A.S. Togasharov. // Russian Journal of Inorganic Chemistry. -2021. -Vol. 66, -No. 6, -PP. 902-908.
102. Хусанов, Э.С. Изучение реологических свойств системы уксусная кислота, триэтаноламин и вода / Э.С. Хусанов, Ж.С. Шукуров, А.С. Тоғашаров. // Материалы научно-практической конференции с участием зарубежных ученых «Инновационные технологии производства одинарных, комплексных и органоминеральных удобрений». Ташкент: -2022. -С. 301-303.
103. Бобожонов, Ж.Ш. Изучение растворимости системы  $CH_3COOH - NH_3 - H_2O$  / Ж.Ш. Бобожонов, Ж.С. Шукуров, А.С. Тоғашаров, Н.К. Олимов // Узбекский химический журнал. -2022. -№3. -С. 15-20.
104. Bobozhonov, Zh.Sh. Study of solubility of  $CH_3COOH - CO(NH_2)_2 - H_2O$  system / Zh.Sh. Bobozhonov, A.A. Sidikov, Zh.S. Shukurov // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. -2023. -Т. 58. -№2. -С.310-316.

105. Шукуров, Ж.С. Исследование политермической растворимости системы  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{CO}(\text{NH}_2)_2 - \text{H}_2\text{O}$  / Ж.С. Шукуров, Б.Б. Ахмедов, А.О. Насруллаев // Узбекский химический журнал. -2022, -№3. -С. 33-38.
106. Akhmedov, B. Study of solubility of  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 - \text{HOOC} - \text{COOH} \cdot \text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH} - \text{H}_2\text{O}$  system / B. Akhmedov, Zh. Shukhurov, I. Abdurakhmanov, R. Begmatov // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. -2024. -Vol. 59. -№3. -С. 957-961.
107. Toghasharov, A.S. Study of the Solubility of Components in the System  $\text{Ca}(\text{ClO}_3)_2 \cdot 2\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH} \cdot \text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 - \text{H}_2\text{O}$  / A.S. Toghasharov // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. -2016. -№6. -PP. 164-168.
108. Экспериментальные данные по растворимости многокомпонентных систем: Справочник. В 2-х томах, 4-х книгах, 3-е изд. перераб. и доп. – СПб.: ХИМИЗДАТ, -2003. -Т. I, кн. 1. -608 с.
109. Экспериментальные данные по растворимости многокомпонентных систем: Справочник. В 2-х томах, 4-х книгах, 3-е изд. перераб. и доп. – СПб.: ХИМИЗДАТ, -2003. –Т. I, кн. 2. -609-1152 с.
110. Экспериментальные данные по растворимости многокомпонентных систем: Справочник. В 2-х томах, 4-х книгах, 3-е изд. перераб. и доп. – СПб.: ХИМИЗДАТ, -2003. –Т. II, кн. 1. -640 с.
111. Экспериментальные данные по растворимости многокомпонентных систем: Справочник. В 2-х томах, 4-х книгах, 3-е изд. перераб. и доп. – СПб.: ХИМИЗДАТ, -2003. –Т. II, кн. 2. -641-1248 с.
112. Солиев, Л. Прогнозирование фазовых равновесий в многокомпонентной системе морского типа методом трансляции / Л. Солиев. -Душанбе: –ТГПУ. Кн. 1. -2000. -246 с.
113. Солиев, Л. Прогнозирование фазовых равновесий в многокомпонентной системе морского типа методом трансляции / Л. Солиев. -Душанбе: Шучоён. Кн. 2, -2011. -147 с.
114. Солиев, Л. Прогнозирование фазовых равновесий в многокомпонентной системе морского типа методом трансляции / Л. Солиев, –Душанбе: Эр-граф, Кн. 3, -2019. -232 с.

115. Жумаев, М.Т. Структура фазового комплекса и растворимость водно-солевой системы из сульфатов карбонатов, гидрокарбонатов натрия и кальция / М.Т. Жумаев, Л. Солиев. – Душанбе: Балоғат, Кн. 1., -2020. - 212 с.
116. Жумаев, М.Т. Структура фазового комплекса и растворимость водно-солевой системы из сульфатов карбонатов, карбонатов, гидрокарбонатов натрия и кальция / М.Т. Жумаев, Л. Солиев. – Душанбе: ТГПУ, Кн. 2., -2023. -213 с.
117. Горощенко, Я.Г. Физико-химический анализ гомогенных и гетерогенных систем / Я.Г. Горощенко. -Киев: Наукова думка, -1978. - 432 с.
118. Посыпайко, В.И. Методы исследования многокомпонентных солевых систем / В.И. Посыпайко. –М.: Наука, -1978. -256 с.
119. Горощенко, Я.Г. Массцентрический метод изображения многокомпонентных систем / Я.Г. Горощенко. -Киев: Наукова думка, -1982. -264 с.
120. Маҳмадов, Ҳ.Р. Политермаи комплекси фазагӣ ва ҳалшавандагии системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар фосилаи ҳароратҳои  $0 \div 100$  °C / Ҳ.Р. Маҳмадов, М.Т. Жумаев, Л. Солиев. –Душанбе: Шоҳин-С, -2025. -152 с.
121. Жумаев, М.Т. Фазовые равновесия и растворимость системе  $\text{Na}$ ,  $\text{Ca} \parallel \text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при 0 и 25 °C. Канд. дисс... / М.Т. Жумаев – Душанбе: -2018. -141 с.
122. Жумаев, М.Т. Фазовые равновесия и растворимость системе  $\text{Na}$ ,  $\text{Ca} \parallel \text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при 0 и 25 °C. Автореф. дисс... канд. хим. наук / М.Т. Жумаев –Душанбе: Эр-Граф, -2018. -24 с.
123. Солиев, Л. Структура фазового комплекса системы  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Ca} \parallel \text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при 50 °C в области кристаллизации  $2\text{MgCl}_2 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CaCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  / Л. Солиев // Журнал неорганической химии РАН. -2018. -Т.63. -№7. -С. 897-902.

124. Soliev, L. Phase complex of the system Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O at 50 °C in the 2MgCl<sub>2</sub>·CaCl<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O and CaCl<sub>2</sub>·7H<sub>2</sub>O crystallization fields / L. Soliev // Russian Journal of Inorganic Chemistry. -2018. -Vol. 63. -№. 7. -PP. 938-943.
125. Солиев, Л. Фазовый комплекс системы Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 50 °C в области кристаллизации тенардита (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) / Л. Солиев // Вестник Воронежского государственного университета. Серия химия. - 2019. -№2. -С. 25-30.
126. Солиев, Л. Фазовый комплекс системы Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-NaHCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O при 50 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Р.О. Тураев // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана». -Душанбе: -2017. -С. 81-83.
127. Солиев, Л. Строения фазового комплекса шестикомпонентной системы Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 50 °C в области кристаллизации сакиита (MgSO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O) / Л. Солиев // Докл. АН Республики Таджикистан. -2014. -Т.60. -№ 10. -С. 527-532.
128. Жумаев, М.Т. Фазовые равновесия и растворимость в системе Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-NaHCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O при 75 °C / Л. Солиев, Н.В. Олимджонова, Х.Р. Махмадов // Материалы всероссийской научной конференции с международным участием. IV Байкальский материаловедческий форум. -2022. -Улан-Уде. -С. 136-137.
129. Солиев, Л. Фазовые равновесия в системе Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 50 °C в области кристаллизации солвина / Л. Солиев // Журнал физической химии РАН. -2015. -Т.60. -№ 8. -С. 1110-1116.
130. Soliev, L. Phase Equilibria in the Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O System at 50 °C in the sylvine crystallization region / L. Soliev // Russian Journal of Physical chemistry. -2015. -V.60. -№ 4. -PP. 1008-1014.
131. Жумаев, М.Т. Таҳлили муқоисавии сохтори комплекси фазагии системаи Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-NaHCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O дар ҳарорати 75 ва 100 °C / М.Т. Жумаев, Л. Солиев, Р.О. Тураев, Х.Р. Махмадов // Паёми

- донишгоҳи милли Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. -2019. -№2. -С. 179-184.
132. Солиев, Л. Фазовые равновесия в системе Na, K, Mg, Ca || SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 50 °С в области кристаллизации полигалита / Л. Солиев // Журнал физической химии РАН. -2016. -Т.61. -№ 4. -С. 534-540.
133. Soliev, L. Phase Equilibria in the Na, K, Mg, Ca || SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O System at 50 °C in the polihalite crystallization region / L. Soliev // Russian Journal of Physical chemistry. -2016. -V.61. -№ 4. -PP. 511-517.
134. Жумаев, М.Т. Фазовые равновесия системы CaSO<sub>4</sub>-CaCO<sub>3</sub>-Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O при 0 °С / М.Т. Жумаев, Л. Солиев, Ш.Х. Авлоев // ДАН Республики Таджикистан. -2014. -Т.57. -№ 8. -С. 671-675.
135. Жумаев, М.Т. Фазовые комплекс системы CaSO<sub>4</sub>-CaCO<sub>3</sub>-Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O при 0 °С / М.Т. Жумаев, Л. Солиев, Ш.Х. Авлоев // Известия ТО МАН ВШ. -2015. -№ 1. -С. 103-107.
136. Жумаев, М.Т. Изотерма фазообразования и растворимость системы CaSO<sub>4</sub>-CaCO<sub>3</sub>-Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O при 50 °С / М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Известия НАН Таджикистана. -2023. -№ 4 (192). -С. 97-103.
137. Жумаев, М.Т. Параметрҳои консентратсионии элементҳои геометрӣ дар системаи CaSO<sub>4</sub>-CaCO<sub>3</sub>-Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O барои ҳарорати 75 °С / М.Т. Жумаев, Х.Р. Махмадов, Л. Солиев // Маҷмӯаи маводҳои Хонишҳои XIX Нӯъмоновӣ дар мавзӯи “Рушди кимиёи бунёди ва амалӣ ва сахми он дар саноаткунонии кишвар”. -2024. -С. 59-63.
138. Жумаев, М.Т. Параметрҳои консентратсионии ҳосилшавии фазаҳои сахти мувозинатии системаи Ca<sup>2+</sup>-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>-2HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-H<sub>2</sub>O дар ҳарорати 75 °С / М.Т. Жумаев, Ҷ. Мусочонзода, Л. Солиев // Паёми донишгоҳи технологии Тоҷикистон. -Душанбе: -2024. -№2(57). -С. 22-29.
139. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, K, Mg, Ca || SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 50 °С в области кристаллизации леонита / Л. Солиев // Доклады АН Республики Таджикистан. -2016. -Т.59. -№ 11-12. -С. 489-504.
140. Солиев, Л. Муайянсозии мувозинатҳои фазагии системаи Na, Ca || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O дар ҳарорати 0 °С / Л. Солиев, Ш.Х., Авлоев, М.Т. Жумаев //

- Конференсияи Ҷумҳуриявии олимони ҷавони Ҷумҳурии Тоҷикистон (бахшида ба 60-солагии таъсисёбии АИ ҶТ), -Душанбе: -2011. -С. 7-9.
141. Солиев, Л. Фазовые равновесия в системе Na, K, Mg, Ca || SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 50 °С в области кристаллизации глазерита / Л. Солиев // Журнал физической химии РАН. -2013. -Т.87. -№ 9. -С. 1455-1461.
142. Soliev, L. Phase Equilibria in the Na, K, Mg, Ca || SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O System at 50 °C in the glazerite crystallization region / L. Soliev // Russian Journal of Physical chemistry. -2013. -V.87. -№ 9. -PP. 1442-1447.
143. Солиев, Л. Фазовые равновесия в невариантных точках системы Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>,F-H<sub>2</sub>O при 25 °С на уровне четырёхкомпонентного состава / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М. Усмонов, В. Нури, Г. Икбол // Материалы VI международной конференции «Современные проблемы физической химии». -2013. –Донецк: -С. 199-200.
144. Жумаев, М.Т. Таҳлили муқоисавии диаграммаи ҳалшавандагии системаи Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O дар ҳароратҳои 0, 25 ва 50 °С / М.Т. Жумаев, Х.Р. Махмадов, Д.З. Музафарова, Л.Солиев // Паёми донишгоҳи омӯзгорӣ. Бахши илмҳои табиӣ. -2021. -№ 1(10-11). -С. 257-265.
145. Жумаев, М.Т. Комплекси фазаҳои саҳти нуқтаҳои невариантии сатҳи чоркомпонента дар системаи Na,Ca||SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O барои изотермаи 50°С / М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Маҷмӯи мақолаҳои конференсияи V илмӣ-байналмилалӣ дар мавзӯи «Масъалаҳои химияи физикӣ ва координатсионӣ» бахшида ба гиромидошти хотираи докторони илмҳои химия, профессорон Ҳомид Мухсинович Якубов ва Зухуриддин Нуриддинович Юсуфов. -2021. –Душанбе: Сино, -С. 96-99.
146. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, K, Mg, Ca || SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 50 °С в области кристаллизации глауберита / Л. Солиев // Доклады АН Республики Таджикистан. -2011. -Т.54. -№ 11. -С. 906-911.
147. Солиев, Л. Фазовые равновесия в четырёхкомпонентной системе Na, Ca || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 75 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М. Усмонов,

- Х.Р. Махмадов // Материалы IV международной научной конференции «Вопросы физической и координационной химии», -Душанбе: -2019. -С. 359-364.
148. Жумаев, М.Т. Фазовый комплекс системы Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при температурах 75 и 100 °С / М.Т. Жумаев, Х.Р. Махмадов, Д.З. Музафарова, Н.В. Олимджонова // Материалы международной научно-практической конференции на тему: «Современные проблемы металлургической промышленности», посвященной провозглашению четвертой общенациональной цели-индустриализации страны и 25-летию кафедры «Металлургия». - 2021. -Душанбе: -С. 150-154.
149. Солиев, Л. Фазовые равновесия в системе Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 50 °С в области кристаллизации галита / Л. Солиев // Журнал неорганической химии РАН. -2014. -Т.59. -№ 9. -С. 1263-1270.
150. Soliev, L. Phase Equilibria in the Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O System at 50 °C in the astrakhanite crystallization region / L. Soliev // Russian Journal of Inorganic chemistry. -2014. -V.59. -№ 9. -PP. 1030-1037.
151. Жумаев, М.Т. Диаграммаи комплекси фазагии системаи Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O дар ҳарорати 100 °С / М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Маҷмӯаи маводҳои хонишҳои XVII Нӯймоновӣ. «Натиҷаи таҳқиқоти инноватсионӣ дар соҳаи илмҳои кимиёвӣ ва техникаӣ дар асри XXI». - 2021. -Душанбе: -С. 34-38.
152. Солиев, Л. Фазовые равновесия в системе Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 50 °С в области кристаллизации астраханита / Л. Солиев // Журнал неорганической химии РАН. -2013. -Т.58. -№ 5. -С. 663-667.
153. Soliev, L. Phase Equilibria in the Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O System at 50 °C in the astrakhanite crystallization region / L. Soliev // Russian Journal of Inorganic chemistry. -2013. -V.58. -№ 5. -PP. 585-589.
154. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, Ca // SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 0 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, В. Нури, Ш.Х. Авлоев // Доклады АН Республики Таджикистан. -2013. -Т.56. -№ 2. -С. 906-911.

155. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, Ca // SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, В. Нури, Ш.Х. Авлоев // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. -2012. -№ 1/3(85). -С. 202-205.
156. Солиев, Л. Определение фазовых равновесий в системе Na, Ca // SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, В. Нури, Ш.Х. Авлоев / Маводҳои конференсияи Ҷумҳуриявии комплексҳои силкунӣ дар маҳлулоҳо». –Душанбе: -2012. -С. 46-49.
157. Солиев, Л. Муайянсозии мувозинатҳои фазагии системаи Na, Ca // SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O дар ҳарорати 25 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Ш.Х. Авлоев // Маводҳои конференсияи Ҷумҳуриявии «Саҳми биология ва химия дар амнияти озуқаворӣ ва рушди технологияҳои инноватсионӣ дар Тоҷикистон». – Хучанд: -2012. –С.260-261.
158. Солиев, Л. Фазовые равновесия в невариантных точках системы Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 50 °C / Л. Солиев // Доклады АН Республики Таджикистан. -2009. -Т.52. -№ 8. -С. 613-618.
159. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 50 °C в области кристаллизации вантгоффита / Л. Солиев // Доклады АН Республики Таджикистан. -2010. -Т.53. -№ 12. -С. 921-927.
160. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, Ca // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 0 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Г. Икбол // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. -2013. -№1/1 (102). -С. 151-154.
161. Солиев, Л. Равновесные твердые фазы четверных невариантных точек системы Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>,F-H<sub>2</sub>O при 0 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М.Усмонов, С.Холмуродов, В. Нури // Материалы всероссийской научной конференции с международным участием «II Байкальский материаловедческий форум». -Улан-Уде. -2015. -С. 111-112.
162. Солиев, Л. Равновесные твердые фазы четверных невариантных точек системы Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 0 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М.Усмонов, С.Холмуродов, В. Нури // Материалы

- всероссийской научной конференции с международным участием «II Байкальский материаловедческий форум». -Улан-Уде. -2015. -С. 111-112.
- 163.Солиев, Л. Муайянсозии мувозинатҳои фазагӣ дар системаи Na, Ca//CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Г. Икбол, И.М. Низомов // Маводҳои конференсияи Ҷумҳуриявии комплексҳои силкунӣ дар маҳлулҳо». –Душанбе: -2012. -С. 47-49.
- 164.Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, Ca // CO<sub>3</sub> - HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Г.Икбол // ДАН Республики Таджикистан. -2012. -Т.55. -№ 3. -С. 220-224.
- 165.Солиев, Л. Строение диаграмм фазовых равновесий четырёхкомпонентных взаимных систем, составляющих шестикомпонентную систему Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л.Солиев, М.Т. Жумаев, М. Усмонов, В. Нури, Г. Икбол // Вестник национального университета. Серия естественных наук. -2014. -№ 1/4 (153). -С. 195-199.
- 166.Солиев, Л. Определение строение фазовых диаграмм четырёхкомпонентных взаимных систем, составляющих шестикомпонентную систему Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 25 °C. / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М. Усмонов, В. Нури, Г. Икбол // Сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 1150-летию персидского-таджикского ученого – энциклопедиста, врача, алхимика и философа Абу Бакра Мухаммада Ибн Закария Рози. –Душанбе: -2015. -С. 21-23.
- 167.Солиев, Л. Определение фазовых равновесий системы Na, Ca // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, -H<sub>2</sub>O при 0 и 25 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Г. Икбол, Ш.Х. Авлоев // Вестник педагогического университета. -2013. -№3(52). -С.60-64.
- 168.Солиев, Л. Строение диаграммы фазовых равновесий системы Na, Ca // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 0 и 25 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Г. Икбол // Материалы III Всероссийской молодежной научной конференции с

- международным участием «Экологобезопасные ресурсосберегающие технологии, материалы». -Улан-Удэ. -2017. -С. 146-149.
- 169.Солиев, Л. Сравнительный анализ диаграммы фазовых равновесий системы Na, Ca // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 0 и 25 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Б.Б. Джабборов // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана». –Душанбе: -2017. -С. 63-66.
- 170.Soliev, L. Phase balans in The Na, Ca // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O System at 50 °С / L. Soliev, M.T. Jumaev, B. Dzhabborov // East European Science Journal. -2018. -Vol. 1. -№ 5(33). -PP. 55-57.
- 171.Солиев, Л. Сохтори диаграммаи комплекси фазагии системаи Na, Ca // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O дар 50 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Н.З. Ноибова, Х.Р. Махмадов // Маҷмӯи мақолаҳои конференсияи Ҷумҳуриявии илмию амалӣ дар мавзӯи «Заминаҳои рушд ва дурнамои илми химия дар Ҷумҳурии Тоҷикистон». –Душанбе: -2020. -С. 56-58.
- 172.Солиев, Л. Фазовые равновесия в системе Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 50 °С в области кристаллизации ангидрита / Л. Солиев // Журнал неорганической химии РАН. -2011. -Т.56. -№ 10. -С. 1739-1745.
- 173.Soliev, L. Phase Equilibria in the Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O System at 50 °С in the anhydrite crystallization region / L. Soliev // Russian Journal of Inorganic chemistry. -2011. -V.56. -№ 10. -С. 1659-1665.
- 174.Жумаев, М.Т. Фазаҳосилшавӣ дар системаи Na<sup>+</sup>,Ca<sup>2+</sup>//CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>,HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-H<sub>2</sub>O барои 348 К / М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Паёми донишгоҳи омӯзгорӣ. Бахши илмҳои табиӣ. -2024. -№1(21). -С. 42-48.
- 175.Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 50 °С в области кристаллизации глауберита / Л. Солиев // Доклады АН Республики Таджикистан. -2011. -Т.54. -№ 11. -С. 906-911.
- 176.Солиев, Л. Прогнозирование строения диаграмм фазовых равновесий многокомпонентных водно-солевых систем методом трансляции. -М., -1987, -28 с. Деп в ВИНТИ АН СССР 20.12.87г. № 8990-В87.

177. Солиев, Л. Схематические диаграммы фазовых равновесий многокомпонентных систем / Л. Солиев // Журнал неорганической химии. -1988. -Т.33. -№ 5. -С. 1305-1310.
178. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 50 °С в области кристаллизации пентасоли / Л. Солиев // Вестник национального университета. Серия естественных наук. -2014. №1/4(153). -С. 126-131.
179. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, K // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 0 °С в области кристаллизации виломита / Л. Солиев, И. Низомов, М.Т. Жумаев, Г. Икбол // Вестник национального университета. Серия естественных наук. -2015. -№1/1(156). -С. 132-136.
180. Солиев, Л. Диаграмма фазовых равновесий системы Na, K // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 0 °С в области кристаллизации вильомита / Л. Солиев, И. Низомов, М.Т. Жумаев, Г. Икбол // Сборник тезисов докладов научной конференции «Актуальные проблемы современной науки». –Душанбе: -2015. -С.11-12.
181. Soliev, L. Phas balance in system Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O at 0 °С / L. Soliev, M.T. Jumaev, Sh.Kh. Avloev // European Science and Technology Materials of the VII International research and practice conference. -Vol. 1. -Munich (Germany): -2014. -PP. 112-118.
182. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, Ca // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 0 °С / Л. Солиев, Г. Икбол, И. Низомов, М.Т. Жумаев // Вестник национального университета. -2015. -№1/1(156). -С. 136-142.
183. Soliev, L. Phase equilibria in the System Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O at 0 °С / L. Soliev, M.T. Jumaev // Chimica Techno Acta. -2019. -Vol.6. -№1. -PP. 24-30.
184. Жумаев, М.Т. Равновесные твёрдые фазы четверных невариантных точек системы Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 0 °С / М.Т. Жумаев, Х.Р. Махмадов, Л. Солиев // Всероссийский симпозиум и школа – конференция молодых ученых “Физико-химические методы в

- междисциплинарных экологических исследованиях”. -2021. –Москва: - С. 262-263.
185. Жумаев, М.Т. Прогнозирование фазовый комплекс системы Na, Mg, Ca || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 0 °C / М.Т. Жумаев, Б. Джабборзода, Л. Солиев // Вестник педагогического университета. Серия естественных наук. - 2021. -№ 1(10-11). -С. 242-247.
186. Жумаев, М.Т. Строение фазового комплекса системы Na, K, Mg, Ca || SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 0 °C в области кристаллизации мирабилита (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O) / М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Вестник педагогического университета. Серия естественных наук. -2021. -№ 1(10-11). -С. 51-61.
187. Солиев, Л. Строение фазового комплекса системы K, Mg, Ca || SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 0 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, И.О. Фрицкий // Химический журнал Казахстана. -2021. -№ 1 (73). -С. 142-150.
188. Солиев, Л. Мувозинатҳои фазагии системаи K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-KHCO<sub>3</sub>-KF-H<sub>2</sub>O дар ҳарорати 0 °C / Л. Солиев, Б.М. Ибрагимова, М.Т. Жумаев // Паёми донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. -2020. -№ 4. -С. 277-285.
189. Жумаев, М.Т. Сохтори комплекси фазагии системаи KCl-MgCl<sub>2</sub>-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O дар ҳарорати 0 °C / М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Маҷмӯи мақолаҳои конференсияи якуми байналмилалӣ дар мавзӯи «Дурнамои рушди таҳқиқи химияи пайвастаҳои координатсионӣ ва истифодаи амалии онҳо». Душанбе: -2022. -С. 109-114.
190. Жумаев, М.Т. Строение фазового комплекса системы Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-MgSO<sub>4</sub>-CaSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O при 0 °C / М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Материалы международной научно-методической конференции на тему «Роль естественно-математических наук и методики их преподавания в процессе ускорения индустриализации страны». -2022. –Душанбе: -С. 316-319.
191. Olimjonova, N.V. Concentrated parameters of the formation of modern solid phases of Na, Ca, Al || SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O systems at 273 K / N. Olimjonova, M.T. Jumaev, L. Soliev // Collection articles by participants of

- the international scientific and practical conference «Chemical Science and Education, problems and prospects of development». -2024. -Makhachkala: - PP. 61-66.
- 192.Olimjonova, N.V. Phase formation in the system Na, Ca, Al // SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O at 273 K / N.V. Olimjonova, M.T. Jumaev, Kh.R. Makhmadov, I.M. Jumaev // Open Journal Systems (OJS). E<sub>3</sub>S Web of Conferences 592, 03020 (2024). EMMFT-2024. doi.org/10.1051/e3sconf/202459203020.
- 193.Олимджонова, Н.В. Концентрационные параметры образования равновесных твёрдых фаз системы Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> || SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – H<sub>2</sub>O при 273 К / Н.В. Олимджонова, М.Т. Жумаев, Л.Солиев / XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Сборник тезисов. Сириус: -Том 6. -2024. -С. 64.
- 194.Olimjonova N.V. Consentratsion parametrs of the formation of equilibrium solid phases of the system Na, Ca, Al || SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O at 273 K / N.V. Olimjonova, M.T. Jumaev, L. Soliev // XXII Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry. Book of Abstracts. October -2024. -PP. 57.
- 195.Жумаев, М.Т. Строение фазового комплекса системы Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-MgSO<sub>4</sub>-CaSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O при 0 °С / М.Т. Жумаев, Дж. Мусоджонзода, Л. Солиев // Доклады НАН РТ. -2024. -Т.67. -№3-4. -С. 204-210.
- 196.Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, K, Mg, Ca || SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 50 °С в области кристаллизации каинита. Доклады АН Республики Таджикистан. -2013. -Т.56. -№ 12. -С. 971-978.
- 197.Солиев, Л. Фазовый состав невариантных точек изотермы 50 °С системы Na, K, Mg, Ca || SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O. Сборник докладов III международной научной конференции «Химическая термодинамика и кинетика». -Великий Новгород. -2013. -С. 156-158.
- 198.Солиев, Л. Фазовый комплекс системы Na, Ca || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 25 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев // Химический журнал Казахстана. - 2020. -№1 (69). -С. 72-82.
- 199.Jumaev, M. Phase equilibriums of Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O system at 25 degrees celsius / M. Dzhumaev, L. Soliev, Sh. Avloev // «Global Science

- and Innovation» Materials of the III international scientific conference. - Chicago(USA): -2014. -PP. 17-22.
200. Солиев, Л. Диаграммы фазовых равновесий пятикомпонентных взаимных систем, составляющих шестикомпонентную систему Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М. Усмонов, В. Нури, Г. Икбол // Сборник материалов XII Нумановских чтений. -Душанбе: -2015. -С. 139-143.
201. Солиев, Л. Диаграммы фазовых равновесий четырёхкомпонентных взаимных систем, составляющих шестикомпонентную систему Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М. Усмонов, В. Нури, Г. Икбол // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. -2016. -№ ¼. -С. 213-216.
202. Олимджонова, Н.В. Фазообразование в системе Na, Ca, Al // SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 298 К / Н.В. Олимджонова, М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Материалы международной научно-практической конференции на тему: «Использование современных методов обучения в образовательных учреждениях: проблемы и перспективы» посвященной 2020-2040 годы двадцатилетия изучения естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования. –Душанбе: -2023. -С. 243-247.
203. Soliev, L. Phase equilibrium of Na,Ca||SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O systems at 50 °C / L. Soliev, M.T. Jumaev // Applied solid state chemistry. -2018. -№ 4(5). - PP. 192-198.
204. Жумаев, М.Т. Диаграмма фазового комплекса системы Na, Ca || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 50 °C / М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Известия НАН РТ. -2020. -№ 3(180). -С. 104-113.
205. Жумаев, М.Т. Таҳлили муқоисавии диаграммаи ҳалшавандагии системаи Na,Ca||SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O дар ҳароратҳои 0, 25 ва 50 °C / М.Т. Жумаев, Х.Р. Маҳмадов, Д.З. Музафарова, Н.В. Олимҷонова // Паёми донишгоҳи омӯзгорӣ. Бахши илмҳои табиатшиносӣ. -2021. -№ 1(10-11). - С. 253-257.

206. Солиев, Л. Фазовый комплекс системы Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 75 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев // Узбекский химический журнал. - 2020. - № 2. - С. 16-24.
207. Soliev, L. Phase complex of the system Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O at 100 °C / L. Soliev, M.T. Jumaev // Chimica Techno Acta. -2020. -Vol.7. -№2. -PP. 71-80.
208. Солиев, Л. Сохтори диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаи Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O дар ҳарорати 100 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев // Паёми политехникӣ. Бахши таҳқиқотҳои муҳандисӣ. -2021. - № 2(54). -С. 49-56.
209. Жумаев, М.Т. Уточнение фазовой диаграммы в многокомпонентной системе Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 100 °C / М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Материалы V Байкальского материаловедческого форум. - 2025. -Улан-Уде. -С. 78-79
210. Мирсаидов, У.М. Комплексная переработка отходов производства алюминия с местным минеральным сырьем. / У.М. Мирсаидов, Б.С. Азизов, Х.С. Сафиев, Д.Р. Рузиев // Цветные металлы. --2003. -№ 4. -С. 49-51.
211. Азизов, Б.С. Комплексная переработка отходов производства алюминия / Б.С. Азизов, Х.С. Сафиев, Д.Р. Рузиев -Душанбе: Эр-Граф. - 2005. -150 с.
212. Азизов, Б.С. Физико-химические и технологические основы комплексной переработки жидких и твердых отходов производства алюминия / Б.С. Азизов // Автореф. дисс... док. тех. наук. -Душанбе: - 2002. -51 с.
213. Рузиев, Дж.Р. Физико-химические и технологические основы комплексной переработки отходов алюминиевого производства и алюмосиликатного сырья / Дж.Р. Рузиев // Автореф. дис... док. тех. наук. -Душанбе: -2009. -50 с.
214. Абдуллоев, М.М. Конверсия сульфатов, полученных из растворов шламовых полей производства алюминия / М.М. Абдуллоев, Б.С.

- Азизов, Х.С. Сафиев, Д.С. Лангариева, Д.Р. Рузиев // Докл. АН РТ. - Душанбе: -2000. -Т.43. -№ 1. -С. 31-35.
- 215.Солиев, Л. Ҳалшавандагӣ дар системаи  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-K}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $50\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Ш.Х. Авлоев // Паёми донишгоҳи омӯзгорӣ. Бахши илмҳои табиӣ. -2009. -№ 2(34). -С.155-157.
- 216.Солиев, Л. Фазовые равновесия системы  $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-Ca}(\text{HCO}_3)_2\text{-H}_2\text{O}$  при  $25\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Ш.Х. Авлоев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2013. -№1/2(106). -С. 178-181.
- 217.Солиев, Л. Строение диаграммы фазовых равновесий в системе  $\text{Na, Ca // SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  при  $0$  и  $25\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Ш.Х. Авлоев // Материалы II Всероссийской молодёжной научной конференции с международным участием «Экологобезопасные ресурсосберегающие технологии и материалы». -Улан-Уде: -2014. -С. 226-228.
- 218.Солиев, Л. Фазовые равновесия системы  $\text{Na, Ca // SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  при  $50\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М. Усмонов // Вестник национального университета. Серия естественных наук. -2014. -№ ¼ (153). -С. 190-195.
- 219.Жумаев, М.Т. Мувозинатҳои фазагии системаи  $\text{K}_2\text{SO}_4\text{-MgSO}_4\text{-CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $25\text{ }^\circ\text{C}$  / М.Т. Жумаев, Б. Салимов, Л. Солиев // Ахбороти ШТ АИБ МО. -2015. -№ 1. -С.107-111.
- 220.Жумаев, М.Т. Определение фазовых равновесий в системе  $\text{Na, Ca // SO}_4, \text{HCO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  при  $0\text{ }^\circ\text{C}$  / М.Т. Жумаев, А.Ф. Тошов, Л. Солиев // Сборник научных трудов по материалам VI Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития науки и технологии». -Белгород: -2015. -С. 78-81.
- 221.Боголицын, К.Г. Физико-химические методы анализа / К.Г. Боголицын. -Архангельск: САФУ. -2018. -118 с.
- 222.Васильев, В.П. Аналитическая химия / В.П. Васильев. -М.: Дрофа, - 2003. -384 с.
- 223.Золотов, Ю.А. Основы аналитической химии / Ю.А. Золотов, Е.Н. Дорохова, В.И. Фадеева. Кн. 1. -М.: -2004. -361 с.

- 224.Золотов, Ю.А. Основы аналитической химии / Ю.А. Золотов, Е.Н. Дорохова, В.И. Фадеева. Кн. 2. -М.: -2004. -503 с.
- 225.Лебедев, М.И. Аналитическая химия / М.И. Лебедев. -Тамбов: -2008. -160 с.
- 226.Крешков, А.П. Основы аналитической химии / А.П. Крешков. -Л.: Химия. -1970. -Т. 2. -456 с.
- 227.Анализ минерального сырья / Под общ. ред. Книпович Ю.Н., Морачевского Ю. В. –Л.: Госхимиздат. -1959. -947 с.
- 228.Резников, А.А. Методы анализа природных вод / А.А. Резников, Е.П. Муликовская, И.Ю. Соколов // М.: Недра, -1970. -488 с.
- 229.Балюнис, Л.Е. Кристаллооптическое и кристаллографическое исследования фазовых переходов в кристалле / Л.Е. Балюнис, В.Ю. Тополов, А.В. Турик, О.Е. Фесенко // Кристаллография. -1990. -Т. 35. -№ 1. -С. 98-103.
- 230.Кристаллооптические данные для микроскопически прозрачных минералов и неорганических соединений: Справочник / под. ред. И.А. Порошина. -Новосибирск: НГПУ. -2016. -199 с.
- 231.Пунин, Ю.О. Аномальная кристаллооптика гетерогенных кристаллов / Ю.О. Пунин, А.Г. Штукенберг // Кристаллография. -2005. -Т. 50. -№ 2. -С. 332-343.
- 232.Филатова, Л.К. Основы кристаллооптических исследований и диагностика породообразующих минералов / Л.К. Филатова. -М.: Российский университет дружбы народов. -2016. -180 с.
- 233.Дмитриев, С.Д. Методы кристаллооптических исследований / С.Д. Дмитриев. -Якутск: -1978. -107 с.
- 234.Коржаков, А.В. Результаты экспериментальных исследований эффективности процесса акусто-магнитной обработки жидкости с помощью кристаллооптического способа / А.В. Коржаков, С.А. Коржакова // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. -2020. -№ 1(256). -С. 69-74.

235. Солиев, Л. Диаграмма растворимости системы  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при  $0\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Р.О. Тураев // Материалы III Всероссийской молодёжной научной конференции с международным участием «Экологобезопасные ресурсосберегающие технологии материалы». -Улан-Удэ: -2017. -С. 152-154.
236. Солиев, Л. Растворимость системы  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при  $0\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Р.О. Тураев // ДАН Республики Таджикистан. -2017. -Т.60. -№ 9. -С. 430-435.
237. Солиев, Л. Сохтори диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаи  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-K}_2\text{SO}_4\text{-Ca SO}_4\text{-H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $0^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Ч. Тупалангова, Н. Юсупова // Паёми Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. -2018. -№ 1. -С.120-124.
238. Солиев, Л. Растворимости системы  $\text{K}_2\text{SO}_4\text{-K}_2\text{CO}_3\text{-KHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при  $0\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Б. Ибрагимова // Химический журнал Казахстана. -2018. -№3(63). -С. 107-113.
239. Ибрагимова, Б.М. Определение фазовых равновесий и растворимость в системе  $\text{K}_2\text{SO}_4\text{-KHCO}_3\text{-KF-H}_2\text{O}$  при  $0\text{ }^\circ\text{C}$  / Б.М. Ибрагимова, Н.З. Ноибова, М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Материалы международной научно практической конференции на тему: «Современные проблемы металлургической промышленности», посвященной провозглашению четвертой общенациональной цели-индустриализации страны и 25-летию кафедры «Металлургия». -2021. -Душанбе: -С. 150-154.
240. Ибрагимова, Б. Растворимость в системе  $\text{K}_2\text{SO}_4\text{-KHCO}_3\text{-KF-H}_2\text{O}$  при  $0\text{ }^\circ\text{C}$  / Б.М. Ибрагимова, М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Доклады национальной академии наук Таджикистана. -2022. -Т. 65. -№ 5-6. -С. 366-372.
241. Солиев, Л. Строение диаграммы растворимости системы  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при  $25\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, И.М. Низомов // Символ науки. --Т. 4. -№ 4. -С. 35-40.
242. Солиев, Л. Исследование растворимости в системе  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при  $25\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Р.О. Тураев, Х.Р.

- Махмадов // Материалы Международной научно-практической конференции «Пути и направления рационального использования водных ресурсов Таджикистана, посвященная достижениям «Вода для устойчивого развития» -Душанбе: - 2017. -С. 171-176.
- 243.Ковба, Л.М. Рентгенофазовый анализ / Л.М. Ковба, В.К. Трунов. – М.: Издательство Московского университета. -1976. -230 с.
- 244.Ивашкевич, Л.С. Рентгенографические методы в химических исследованиях / Л.С. Ивашкевич, Т.П. Каратаева, А.С. Ляхов. – Минск.: Изд-во БГУ. -2001. -131 с.
- 245.Лаврушина, С.С. Рентгенография в неорганической химии: учеб. пособ. для ВУЗов / С.С. Лаврушина, О.В. Артамонова. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т. -2006. -39 с.
- 246.Гоулдстейн, Дж. Растровая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ. / Дж. Гоулдстейн. – М.: Мир, 1984. Ч. 1. -296с.; Ч. 2. -348 с.
- 247.Гиллер, Я.Л. Таблицы межплоскостных расстояний / Я.Л. Гиллер // -Т. II. –Изд. Недра. Москва: -1966. –С.95-153.
- 248.Михеева В.И. Ренгенометрический определитель минералов / В.И. Михеева // -Изд. Госгеолтехиздат. –М.: -1975. -478 с.
- 249.Жумаев, М.Т. Концентрационные параметры образования равновесных твёрдых фаз системы  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -  $\text{NaHCO}_3$ -  $\text{H}_2\text{O}$  при 50 °С / М.Т. Жумаев, Б.Б. Джабборов, З.П. Худоёрбекова, Л. Солиев. // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «III Байкальский материаловедческий форум. -Улан-Уде: - 2018. Часть 1. -С. 116-117.
- 250.Soliev, L. Structure of the solubility diagram in the  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ - $\text{Na}_2\text{CO}_3$ - $\text{NaHCO}_3$ - $\text{H}_2\text{O}$  system at 0, 25 and 50 °C / L. Soliev, M.T. Jumaev, Kh.M. Makhmadov // *Chimica Techno Acta*. -2018. -Vol. 5. -№ 2. -PP. 104-108.
- 251.Солиев, Л. Растворимость системы  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ - $\text{Na}_2\text{CO}_3$ - $\text{NaHCO}_3$ - $\text{H}_2\text{O}$  при 75 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Р.О. Тураев // Известия АН Республики Таджикистан. -2021. -№ 1(182). -С. 82-89.

252. Жумаев, М.Т. Растворимость системы  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при  $75\text{ }^\circ\text{C}$  / М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Материалы Международной научно-практической конференции посвященной памяти академика НАНТ Сафиева Х.С. на тему: «Развитие новых направлений в химии и химической технологии». – Душанбе: -2023. -С. 151-153.
253. Солиев, Л. Диаграмма растворимости системы  $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-Ca(HCO}_3)_2\text{-H}_2\text{O}$  при  $0\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, А.Ф. Тошов, З. Худоёрбекова // Сборник научных трудов по материалам VI Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития науки и технологии». – Белгород. -2015. -Часть III. -С. 28-31.
254. Солиев, Л. Растворимость системы  $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-Ca(HCO}_3)_2\text{-H}_2\text{O}$  при  $0\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Ш.Х. Авлоев // ДАН Республики Таджикистан. -2015. -Т.58. -№2. -С. 139-144.
255. Солиев, Л. Растворимость системы  $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-Ca(HCO}_3)_2\text{-H}_2\text{O}$  при  $25\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Ш.Х. Авлоев // Вестник национального университета. Серия естественных наук. -2015. -№1/6 (19). -С. 110-116.
256. Солиев, Л. Исследование растворимости в системе  $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-Ca(HCO}_3)_2\text{-H}_2\text{O}$  при  $25\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, З. Худоёрбекова // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Научные исследования и разработки в эпоху глобализации». Часть 3. -2016. – Киров: АЭТЕРНА. -С. 26-30.
257. Soliev, L. Solubility in the Quaternary  $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$  System at  $50\text{ }^\circ\text{C}$  / L. Soliev, P. Mukhtorov, M. Usmonov, Sh. Tursunbadalov, M.T. Jumaev // Inorganic Chemistry–An Indian Journal. -2018. -PP. 11-15.
258. Жумаев, М.Т. Изотермы растворимости и фазовых равновесий системы  $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-Ca(HCO}_3)_2\text{-H}_2\text{O}$  при  $50\text{ }^\circ\text{C}$  / М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Сборник научных статей по итогам Международной конференции «Химическая наука и образование, проблемы и перспективы развития». -Махачкала: -2024. -С. 29-34.

259. Жумаев, М.Т. Параметрҳои консентратсионии ҳосилшавии фазаҳои сахти мувозинатии системаи  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{CO}_3^{2-}$ - $2\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $75\text{ }^\circ\text{C}$  / М.Т. Жумаев, Ҷ. Мусочонзода, Л. Солиев // Паёми донишгоҳи технологии Тоҷикистон. -2024. -№2(57). -С. 22-29.
260. Солиев, Л. Строеие диаграммы растворимости системы Na, Ca //  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при  $0\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М. Усмонов, И.М. Низомов // Материалы XI Международного Курнаковского совещания по физико-химическому анализу в рамках XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. –Воронеж: -2016. -С. 217-221.
261. Солиев, Л. Растворимость в системе Na, Ca //  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при  $0\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М. Усмонов // Журнал неорганической химии РАН. -2016. -Т 61. -№ 8. -С. 1093-1099.
262. Soliev, L. Solubility in the Na, Ca //  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  system at  $0\text{ }^\circ\text{C}$  / L. Soliev, M.T. Jumaev, M. Usmonov // Russian Journal at Inфorganic Chemistry. -2016. -Vol.61. -№ 8. -PP. 1041-1046.
263. Солиев, Л. Диаграмма растворимости в системе Na, Ca //  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при температуре  $0\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Х.Р. Махмадов // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана». –Душанбе: -2017. -С. 69-71.
264. Soliev, L. Structure of solubility diagram of the quaternary Na, Ca //  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  water-salt system at  $25\text{ }^\circ\text{C}$  / L. Soliev, M. Jumaev, Sh.Kh. Avloev // Austrian journal of Technical and Natural Sciences. -2016. -№ 9-10. -PP. 83-90.
265. Жумаев, М.Т. Растворимость системы Na, Ca //  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при 273 и 298 К / М.Т. Жумаев, Х.Р. Махмадов, Д.З. Музафарова, Л. Солиев / Сборник материалов XIX Нумановского чтения на тему «Развитие фундаментальной и прикладной химии и её вклад в индустриализацию страны». –Душанбе: -2024. -С. 63-66.

266. Солиев, Л. Растворимость в системе Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М. Усмонов, И.М. Низомов // Журнал неорганической химии РАН. -2016. -Т 61. -№ 5. -С. 683-688.
267. Soliev, L. Solubility in the Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O system at 25 °C / L. Soliev, M.T. Jumayev, M. Usmonov, I. M. Nizomov // Russian Journal of Inorganic Chemistry. -2016. -Vol.61. -№ 5. -PP. 651-655.
268. Солиев, Л. О фазовых равновесиях в системе Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М. Шолитодов // Материалы II Всероссийской молодежной конференции с международным участием. –Уфа: -2016. -С. 31-36.
269. Солиев, Л. Изотерма растворимости и фазовых равновесий системы Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 0 и 25 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М. Усмонов, И.М. Низомов // Материалы Международной конференции «Термический анализ и калориметрии (RTAC-2016). Часть II. -Санкт-Петербург: -2016. -С. 322-324.
270. Солиев, Л. Растворимость в системе Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 50 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Х.Р. Махмадов // Журнал неорганической химии РАН. -2019. -Т.64. -№2, С. 216-221.
271. Soliev, L. Solubility in the system Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O at 50 °C / L. Soliev, M.T. Jumayev, Kh.R. Mahmudov // Russian Journal of Inorganic Chemistry. -2019. -Vol.64. -№ 2. -PP. 270-276.
272. Солиев, Л. Растворимость в системе Na, Ca // SO<sub>4</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 50 °C / Л. Солиев, М. Усмонов, П. Мухторов, М.Т. Жумаев // Узбекский химический журнал. -2019. -№5. -С. 15-21.
273. Солиев, Л. Растворимость системы Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 50 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Х.Р. Махмадов // Сборник тезисов XXI Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. -Санкт-Петербург: -2019. -Т. 3. -С. 146.
274. Soliev, L. Solubility of the system Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O at 50 °C / L. Soliev, M.T. Jumayev. Kh.R. Makhmadov / XXI Mendeleev Congress on general and applied Chemistry. -2019. -Saint Petersburg: -Vol.3. -PP. 143.

275. Жумаев, М.Т. Изучение растворимости системы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при  $75\text{ }^\circ\text{C}$  / М.Т. Жумаев, Х.Р. Махмадов, Д.З. Музафарова, Л.Солиев // XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Сборник тезисов. -Сириус: -2024. -Том 6. -С. 36.
276. Jumaev, M. Study of the solubility of the  $\text{Ca}$ ,  $\text{Na} \parallel \text{CO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  -  $\text{H}_2\text{O}$  system at  $75\text{ }^\circ\text{C}$  / М.Т. Jumaev, Kh.R. Makhmadov, D. Muzafarova, L. Soliev // XXII Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry. Book of Abstracts. -Sirius: -2024. -P. 35.
277. Жумаев, М.Т. Изотерма фазообразования в четырёхкомпонентной системе  $\text{Na}$ ,  $\text{Ca} \parallel \text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при  $273\text{ K}$  / М.Т. Жумаев, Н.В. Олимджонова, Н.З. Ноибова, Л. Солиев // Всероссийской симпозиум и школа-конференции молодых учёных «Физико-химические методы в междисциплинарных исследованиях». -2023г. –Севастополь: -С.167-168.
278. Солиев, Л. Растворимость в системе  $\text{Na}$ ,  $\text{Ca} \parallel \text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при  $0\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Джумаев, А. Варкаева, Д. Музафарова // Доклады Академии наук Республики Таджикистан, -2018. -Т. 61. -№ 11-12. -С. 862-868.
279. Soliev, L. Solubility in the  $\text{Na}$ ,  $\text{Ca} \parallel \text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  system at  $25\text{ }^\circ\text{C}$  / L. Soliev, M.T. Jumaev, A. Varkaeva // Chimica Techno Acta, -2019. -Vol.6. - №4. -PP. 130-137.
280. Soliev, L. Solubility and phase equilibria in the  $\text{Na}$ ,  $\text{Ca} \parallel \text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  system at  $0\text{ }^\circ\text{C}$  / L. Soliev, M.T. Jumaev, B.B. Jabborov // Chimica Techno Acta. -2017. -Vol.4. -№ 3. -PP. 191-201.
281. Солиев, Л. Таҳлили муқоисавии сохтори диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаи  $\text{Na}$ ,  $\text{Ca} \parallel \text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  дар ҳароратҳои  $0$  ва  $25\text{ }^\circ\text{C}$  / Л.Солиев, М.Т. Жумаев, М. Бобохоҷаева // Ахбороти ШТ АИБ МО. - 2016. -№ 2. -С. 34-38.
282. Солиев, Л. Растворимость в системе  $\text{Na}$ ,  $\text{Ca} \parallel \text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при  $25\text{ }^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Б.Б. Джабборов // Журнал неорганической химии РАН. -2017. -Т 62. -№ 9. –С. 1254-1259.

283. Soliev, L. Solubility in the Na, Ca // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O system at 25 °C / L. Soliev, M.T. Jumaev, B.B. Jabborov // Russian Journal at Inorganic Chemistry. -2017. -Vol.62. -№ 9. -PP. 1245-1251.
284. Солиев, Л. Изучение растворимости системы Na, Ca // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Б.Б. Джабборов, З. Худоёрбекова // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «III Байкальский материаловедческий форум». -Улан-Уде: Часть 1. -2018. -С. 106-108.
285. Аносов, В.Я. Основы физико-химического анализа / В.Я. Аносов, М.И. Озерова, Ю.Я. Фиалков. -М.: Наука. -1976. -504 с.
286. Горощенко, Я.Г. Основные направления в методологии физико-химического анализа сложных и многокомпонентных систем (К 125-летию Н.С.Курнакова) / Я.Г. Горощенко, Л. Солиев // Журнал неорганической химии АН СССР. -1987. -Т.32. -№ 7. -С.1676-1681.
287. Soliev, L. Phase Equilibria in the Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O system at 50 °C in the astrakhanite Crystallization region / L. Soliev // Russ. J. Inorg. Chem. -2013. -V. 58. -№ 5. -PP. 585-589.
288. Солиев, Л. Фазовые равновесия в системе Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 50 °C в области кристаллизации астраханита / Л. Солиев // Журн. неорганической химии. -2013. -Т. 58. -№ 5. -С. 663-667.
289. Soliev, L. Phase Equilibria in the Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O system at 50 °C in the glazerita Crystallization region / L. Soliev // Russ. J. Phys. Chem. -2013. -V. 87. -№ 9. -PP. 1442-1447.
290. Солиев, Л. Фазовые равновесия в системе Na, K, Mg, Ca // SO<sub>4</sub>, Cl - H<sub>2</sub>O при 50 °C в области кристаллизации глазерита / Л. Солиев // Журн. физич. химии. -2013. -Т. 87. -№ 9. -С. 1455-1461.
291. Pitser, K.S. Thermodynamics of electrolytes I. Theoretical basic and general equations / K.S. Pitser // J. Phys. Chem. -1973. -V.77. -№ 2. -PP. 268-277.
292. Pitser, K.S. Thermodynamics of electrolytes II. Activity and osmotic coefficients of strong electrolytes with only both ions univalent / K.S. Pitser, G. Mayarga // J. Phys. Chem. -1973. -V.77. -№ 19. -PP. 2300-2308.

293. Pitser, K.S. Thermodynamics of electrolytes III. Activity and osmotic coefficients of 2-2 electrolytes / K.S. Pitser, G. Mayarga // *J. Solutions Chem.* - 1974. -V.3. -№ 7. -PP. 359-366.
294. Pitser K.S. Thermodynamics of electrolytes IV. Activity and osmotic coefficients for mixed electrolytes / K.S. Pitser, J. Kim // *J. Amer. Chem. Soc.* -1974. -V.96. -№ 18. -PP. 5701-5707.
295. Harvie, C.F. The prediction of mineral solubilities natural water the Na-K-Mg-Ca-Cl-SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O / C.F. Harvie, J.H. Weare // *Geochem at Cosmochim Acta.* -1980. -V. 44. -№ 7. -PP. 981-987.
296. Wood, J.R. Thermodynamics of brine-Salt equilibria the systems NaCl-KCl-MgCl<sub>2</sub>-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O and NaCl-MgSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O at 25 °C / J.R. Wood // *Geochem at Cosmochim Acta.* -1975. -V. 39. -№ 8. -PP. 1147-1163.
297. Eugster, H.P. Mineral equilibria in the six-component seawater system Na-K-Mg-Ca-SO<sub>4</sub>-Cl at 0 °C / H.P. Eugster, C.F. Harvie, J.H. Weare // *Geochem at Cosmochim Acta.* -1980. -V. 44. -№ 9. -PP. 1335-1347.
298. Harvie, C.F. Mineral equilibria in the six-component seawater system Na-K-Mg-Ca-SO<sub>4</sub>-Cl at 25 °C / C.F. Harvie, H.P. Eugster, J.H. Weare // *Geochem at Cosmochim Acta.* -1982. -V. 46. -№ 9. -PP. 1603-1618.
299. Jumaev, M. Phase balance in system Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O at 0 °C / M. Dzhumaev, L. Soliev, Sh. Avloev // *European Science and Technology Materials of the VII international research and practice conference. Munich, Germany* -2014. -PP. 112-118.
300. Солиев Л. Инвариантные равновесия в многокомпонентных системах / Л. Солиев // *Журнал неорганической химии РАН.* -2019. -Т.64, -№7. -С. 741-745.
301. Soliev L. Invariant Equilibria multicomponent systems / L. Soliev // *Russian Journal of Inorganic Chemistry,* -2019. -Vol.64, -№ 7. -PP. 894-898.
302. Солиев Л. Моновариантные равновесия в многокомпонентных системах / Л. Солиев // *Журнал неорганической химии РАН.* -2020, -Т.65. -№2. -С. 212-217.

- 303.Soliev L. Monovariant Equilibria in Multinary Systems. Russian Journal of Inorganic Chemistry. -2020. -Vol.65. -№2. -PP. 212-216.
- 304.Soliev L. Formation of invariant equilibrium in multicomponent systems and determination of solid phase crystallization pathway / M.T. Jumaev, I.M. Nizomov, Kh.R. Makhmadov // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. -2022. -№4-5. -PP. 35-43.
- 305.Солиев, Л. Дивариантные равновесия в многокомпонентных системах / Л. Солиев, М.Т. Жумаев // Химический журнал Казахстана. -2021. -№ 4(76). -С. 59-71.
- 306.Олимджонова Н.В. Растворимость и фазообразование системы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  ||  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при 273 и 298 К. PhD. дисс... / Н.В. Олимджонова –Душанбе: -2025. -147 с.
- 307.Олимджонова Н.В. Растворимость и фазообразование системы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  ||  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при 273 и 298 К. Автореф. PhD. дисс... / Н.В. Олимджонова –Душанбе: Эр-Граф, -2025. -25 с.
- 308.Здановский А.Б. Галлургия. Л.: Химия. -1972. -С. 501.
- 309.Малый патент № ТЈ 1341 РТ. Способ получения декагидрата карбоната натрия из жидких отходов алюминиевого производства / М.Т. Жумаев, И.М. Низомов, Х.Р. Махмадов, Н.В. Олимджонова, Д.М. Музафарова; патентообладатель – Жумаев М.Т. -№ 2201674. Дата подачи заявки 05.05.2022. Зарегистрировано 30.01.2023.
- 310.Авторское свидетельство СССР № 523870, кл. С01D 5/00. -1974.
- 311.Малый патент № ТЈ 1454 РТ. Способ получения нахколита из жидких отходов алюминиевого производства / М.Т. Жумаев, М. Рахимова, Х.Р. Махмадов, Н.В. Олимджонова, Д.З. Музафарова; патентообладатель – Жумаев М.Т. -№ 2301862. Дата подачи заявки 17.07.2023. Зарегистрировано 04.12.2023.

## ИНТИШОРОТ АЗ РҶӢИ МАВЗУИ ДИССЕРТАТСИЯ

### Монографияҳо:

[1-М]. Солиев, Л. Строеение фазового комплекса и растворимость водно-солевой системы из сульфатов, карбонатов, гидрокарбонатов натрия и кальция / Л. Солиев, М.Т. Жумаев. Монография (Книга 1). -Душанбе: Балогат, -2020. -212 с. ISBN 978-99975-79-12-6.

[2-М]. Солиев, Л. Строеение фазового комплекса и растворимость водно-солевой системы из сульфатов, карбонатов, гидрокарбонатов натрия и кальция / Л. Солиев, М.Т. Жумаев. Монография (Книга 2). --Душанбе: ТГПУ. -2023. -213 с. ISBN 978-99985-53-04-0.

[3-М]. Махмадов, Х.Р. Политерма фазового комплекса и растворимости системы Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 0 ÷ 100 °С / Х.Р. Махмадов, М.Т. Жумаев, Л. Солиев. Монография. -Душанбе: Эр-Граф. -2025. -151 с. ISBN 978-99985-852-5-6.

### Мақолаҳо дар маҷаллаҳои илмӣ тақризшавандаи тавсиянамудаи Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва дигар маҷаллаҳои тахассусии илмӣ пойгоҳи байналхалқӣ:

[4-М]. Солиев, Л. Ҳалшавандагӣ дар системаи Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O дар ҳарорати 50 °С / Л. Солиев, Ш.Х. Авлоев, М.Т. Жумаев // Паёми донишгоҳи омӯзгорӣ. Бахши илмҳои табиӣ. -2009. -№ 2(34). -С.155-157.

[5-М]. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, Ca // SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 25 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Ш.Х. Авлоев, В. Нури // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук -2012. -№ 1/3 (85). -С. 202-205.

[6-М]. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, Ca // CO<sub>3</sub> - HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 25 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Г. Икбол, И.М. Низомов // ДАН Республики Таджикистан. -2012. -Т.55. -№ 3. -С. 220-224.

[7-М]. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, Ca // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 0 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Ш.Х. Авлоев, Г. Икбол // Вестник

Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2013. -№ 1/1 (102). -С. 151-154.

[8-М]. Солиев, Л. Определение фазовых равновесий системы Na, Ca //  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{CO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при 0 и 25 °С / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, Ш.Х. Авлоев, Г. Икбол. Вестник педагогического университета. Серия естественных наук. - 2013. -№ 3 (52). -С. 60-64.

[9-М]. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы  $\text{CaSO}_4$ - $\text{CaCO}_3$ - $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ - $\text{H}_2\text{O}$  при 25 °С / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, Ш.Х. Авлоев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. -2013. -№1/2 (106). -С. 178-181.

[10-М]. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, Ca //  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при 50 °С / Л.Солиев, **М.Т. Жумаев**, М.Б. Усмонов // Вестник национального университета. Серия естественных наук. -2014. -№ ¼ (153). - С. 190-195.

[11-М]. Солиев, Л. Строение диаграмм фазовых равновесий четырёхкомпонентных взаимных систем, составляющих шестикомпонентную систему Na, Ca //  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$ , F -  $\text{H}_2\text{O}$  при 25 °С / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, М.Б. Усмонов, В. Нури, И. Гулом // Вестник национального университета. Серия естественных наук. -2014. -№ ¼ (153). - С. 195-199.

[12-М]. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы  $\text{CaSO}_4$ - $\text{CaCO}_3$ - $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ - $\text{H}_2\text{O}$  при 0 °С / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, Ш.Х. Авлоев // ДАН Республики Таджикистан. -2014. -Т.57. -№ 8. -С. 671-675.

[13-М]. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, K //  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$ , F- $\text{H}_2\text{O}$  при 0 °С в области кристаллизации виломита / Л. Солиев, И.М. Низомов, **М.Т. Жумаев**, Гулом И. // Вестник национального университета. Серия естественных наук. -2015. -№1/1(156). -С. 132-136.

[14-М]. Солиев, Л. Растворимость системы  $\text{CaSO}_4$ - $\text{CaCO}_3$ - $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ - $\text{H}_2\text{O}$  при 0 °С / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, Ш.Х. Авлоев // ДАН Республики Таджикистан. -2015. -Т.58. -№2. -С. 139-144.

[15-М]. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, Ca // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 0 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, И.М. Низомов, И. Гулом // Вестник национального университета. Серия естественных наук. -2015. - №1/1(156). -С. 136-142.

[16-М]. Солиев, Л. Растворимость системы CaSO<sub>4</sub>-CaCO<sub>3</sub>-Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Ш.Х. Авлоев // Вестник национального университета. Серия естественных наук. -2015. -№1/6 (19). - С. 110-116.

[17-М]. Солиев, Л. Растворимость в системе Na, Ca //SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М.Б. Усмонов, И.М. Низомов // Журнал неорганической химии РАН. -2016. -Т 61. -№ 5. -С. 683-688.

[18-М]. Soliev, L. Solubility in the Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O system at 25 °C / L. Soliev, М.Т. Jumaev, M.B. Usmonov, I.M. Nizomov // Russian Journal at Inorganic Chemistry. -2016. -Vol. 61. -№ 5. -PP. 651-655.

[19-М]. Солиев, Л. Диаграммы фазовых равновесий четырёхкомпонентных взаимных систем, составляющих шестикомпонентную систему Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F-H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М. Усмонов, В. Нури, И. Гулом // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2016. -№ 1/4(2016). -С. 213-216.

[20-М]. Солиев, Л. Растворимость в системе Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 0 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М.Б. Усмонов // Журнал неорганической химии РАН. -2016. -Т. 61. -№ 8. -С. 1093-1099.

[21-М]. Soliev, L. Solubility in the Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O system at 0 °C / L. Soliev, М.Т. Jumaev, M. Usmonov // Russian Journal at Inorganic Chemistry. -2016. -Vol.61. -№ 8. -PP. 1041-1046.

[22-М]. Soliev, L. Structure of solubility diagram of the quaternary Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O water-salt system at 25 °C / L. Soliev, М.Т. Jumaev, Sh. Tursunbadalov, M. Usmonov, Sh. Avloev // Austrian journal of Technical and Natural Sciences. -2016. -№ 9-10. -PP. 83-90.

[23-М]. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы  $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$  при 50 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М. Усмонов, П. Мухторов // Международный научный журнал «Символ науки». -2017. -№ 10. -С. 9-12.

[24-М]. Солиев, Л. Растворимость системы  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при 50 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Р.О. Тураев, Х.Р. Махмадов // Химический журнал Казахстана. -2017. -№ 4 (60). -С. 29-35.

[25-М]. Солиев, Л. Растворимость в системе  $\text{Na, Ca // CO}_3, \text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при 25 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, И. Гулом, Б.Б.Джабборов // Журнал неорганической химии РАН. -2017. –Т. 62. -№ 9. -С. 1254-1259.

[26-М]. Soliev, L. Solubility in the  $\text{Na, Ca // CO}_3, \text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  system at 25 °С / L. Soliev, М.Т. Jumaev, I. Gulom, B. Dzhabborov // Russian Journal at Inorganic Chemistry. -2017. -Vol.62. -№ 9. -PP. 1245-1251.

[27-М]. Солиев, Л. Растворимость системы  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при 0 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Р.О. Тураев // ДАН Республики Таджикистан. -2017. -Т.60. -№ 9. -С. 430-435.

[28-М]. Soliev, L. Solubility and phase equilibria in the  $\text{Na, Ca // CO}_3, \text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  system at 0 °С / L. Soliev, М.Т. Jumaev, B. Dzhabborov // Chimica Techno Acta. -2017. -Vol.4. -№ 3. -PP. 191-201.

[29-М]. Солиев, Л. Фазовые равновесия в системе  $\text{Na, Ca // SO}_4, \text{Cl -H}_2\text{O}$  при 25 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, А. Тошов, А. Холмуродов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. -2017. -№ 1/3. -С. 218-221.

[30-М]. Солиев, Л. Растворимости системы  $\text{K}_2\text{SO}_4\text{-K}_2\text{CO}_3\text{-KHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при 0 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Б.М. Иброгимова // Химический журнал Казахстана. -2018. -№3(63). -С. 107-113.

[31-М]. Soliev, L. Structure of the solubility diagram in the  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  system at 0, 25 and 50 °С / L. Soliev, М.Т. Jumaev, H.R. Makhmadov, B.B. Dzabborov // Chimica Techno Acta. -2018. -Vol. 5. -№ 2. -PP. 104-108.

[32-М]. Soliev, L. Solubility in the Quaternary  $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$  System at 50 °С / L. Soliev, М.Т. Jumaev, P. Mukhtorov, Sh. Tursunbadalov,

M. Usmonov // Inorganic Chemistry – An Indian Journal. -2018. -Vol. 13. -№ 1. -PP. 124-128.

[33-М]. Солиев, Л. Растворимость в системе Na, Ca || SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 0 °C / Л. Солиев, М.Т. Джумаев, А. Варкаева, Д. Музафарова // Доклады Академии наук Республики Таджикистан, -2018. -Т. 61. -№ 11-12. -С. 862-868.

[34-М]. Soliev, L. Phase equilibrium of Na, Ca || SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O systems at 0 °C / L. Soliev, M.T. Jumaev, B.B. Jabborov, R.O. Turaev // East European Science Journal. -2018. Vol. 33. -№5-2. PP. 55-57.

[35-М]. Soliev, L. Phase equilibrium of Na, Ca || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O systems at 50 °C / L. Soliev, M.T. Jumaev // Applied Solid State Chemistry. -2018. -№ 4(5). -PP. 192-198.

[36-М]. Soliev, L. Phase equilibria in the System Na, Ca || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> – H<sub>2</sub>O at 0 °C / L. Soliev, M.T. Jumaev // Chimica Techno Acta. -2019. -Vol.6. -№1. -PP. 24-30.

[37-М]. Солиев, Л. Растворимость в системе Na, Ca || SO<sub>4</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 50 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М.Б. Усмонов, П.А. Мухторов // Узбекский химический журнал. -2019. -№5. -С. 15-21.

[38-М]. Soliev, L. Solubility in the system Na, Ca || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O at 50 °C / L. Soliev, M.T. Jumaev, H.R. Makhmadov // Russian Journal of Inorganic Chemistry. -2019. -Vol.64. -№ 2. -PP. 270-276.

[39-М]. Солиев, Л. Растворимость в системе K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-KHCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Б.М. Иброгимова // Политехнический вестник. Серия инженерные исследования. -2019. -№1(45). -С. 121-126.

[40-М]. Soliev, L. Comparative analysis of phase complex systems Na, Ca || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> – H<sub>2</sub>O about 50 and 75 °C / L. Soliev, M.T. Jumaev, Kh.R. Makhmadov, D. Muzafarova // American Scientific Journal. -2019. -Vol, 28. -№ 2. -PP. 49-55.

[41-М]. Солиев, Л. Тахлили муқоисавии сохтори комплекси фазагии системаи Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-NaHCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O дар ҳарорати 75 ва 100 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Р.О. Тураев, Ҳ.Р. Махмадов, Н.В. Олимҷонова //

Паёми донишгоҳи милли Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. -2019. -№2. -С. 179-184.

[42-М]. Soliev, L. Solubility in the Na, Ca || SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O system at 25 °C / L. Soliev, **М.Т. Жумаев**, М. Varkaeva, Н.Р. Makhmadov // *Chimica Techno Acta*. -2019. -Vol.6. -№ 4. -PP. 130-137.

[43-М]. Солиев, Л. Фазовый комплекс системы Na, Ca || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> – H<sub>2</sub>O при 25 °C / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев** // *Химический журнал Казахстана*. -2020. -№1(69). -С. 72-82.

[44-М]. Солиев, Л. Фазовый комплекс системы Na, Ca || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 75 °C / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, И.М. Низомов // *Узбекский химический журнал*. -2020. -№ 5. -С. 16-24.

[45-М]. Soliev, L. Phase complex of the system Na, Ca || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>–H<sub>2</sub>O at 100 °C / L. Soliev, **М.Т. Жумаев** // *Chimica Techno Acta*. -2020. -Vol.7. -№2. -PP. 71-80.

[46-М]. Солиев, Л. Фазовый комплекс системы Na, Mg, Ca || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 0 °C / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, Б. Джабборзода // *Химический журнал Казахстана*. -2020. -№ 4(72). -С. 97-104.

[47-М]. Солиев, Л. Строение фазового комплекса системы Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-MgSO<sub>4</sub>-CaSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O при 0 °C / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев** // *ДАН Республики Таджикистан*. -2020. –Т. 63. -№1-2. -С. 89-97.

[48-М]. Солиев, Л. Диаграмма фазовый комплекс системы Na, Ca || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 50 °C / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев** // *Известия НАН Республики Таджикистан*. -2020. -№ 3(180). -С. 104-113.

[49-М]. Солиев, Л. Фазовый комплекс взаимной системы Na, Ca || SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 75 и 100 °C / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, Х.Р. Махмадов, Д.З. Музафарова // *ДАН Республики Таджикистан*. -2020. -Т.63. -№ 9-10. -С. 618-625.

[50-М]. Солиев, Л. Мувозиратҳои фазагии системаи K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-KHCO<sub>3</sub>-KF-H<sub>2</sub>O дар ҳарорати 0 °C / Л. Солиев, **М.Т. Б.М. Ибрагимова, Жумаев**, И.М. Низомов // *Паёми донишгоҳи милли Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ*. -2020. -№ 4. -С. 277-285.

[51-М]. Солиев, Л. Структура фазового комплекса системы  $K, Mg, Ca \parallel SO_4, Cl - H_2O$  при  $0\text{ }^\circ C$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, И.О. Фрицкий // Химический журнал Казахстана. -2021. -№ 1(73). -С. 142-150.

[52-М]. Солиев, Л. Растворимость системы  $Na_2SO_4-Na_2CO_3-NaHCO_3-H_2O$  при  $75\text{ }^\circ C$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Р.О. Тураев // Известия НАН Республики Таджикистан. -2021. -№ 1(182). -С. 82-89.

[53-М]. Солиев, Л. Сохтори диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаи  $Na, Ca \parallel SO_4, CO_3, HCO_3 - H_2O$  дар ҳарорати  $100\text{ }^\circ C$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев // Паёми политехникӣ. Бахши таҳқиқотҳои муҳандисӣ. -2021. -№ 2(54). -С. 49-56.

[54-М]. Солиев, Л. Таҳлили муқоисавии диаграммаи ҳалшавандагии системаи  $Na, Ca \parallel SO_4, CO_3 - H_2O$  дар ҳароратҳои  $0, 25$  ва  $50\text{ }^\circ C$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Ҳ.Р. Маҳмадов, Д.З. Музаффарова. Паёми донишгоҳи омӯзгорӣ. Бахши илмҳои табиӣ). -2021. -№ 1 (10-11). -С. 253-257.

[55-М]. Солиев, Л. Структура фазового комплекса системы  $Na, K, Mg, Ca \parallel SO_4, Cl - H_2O$  при  $0\text{ }^\circ C$  в области кристаллизации мирабилита ( $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ) / Л. Солиев, М.Т. Жумаев // Вестник педагогического университета. Серия естественных наук. -2021. -№ 1 (10-11). -С. 51-61.

[56-М]. Солиев, Л. Дивариантныя равновесия в многокомпонентных системах / Л. Солиев, М.Т. Жумаев // Химический журнал Казахстана. -2021. -№ 4(76). -С. 59-71.

[57-М]. Солиев, Л. Прогнозирование фазового комплекса системы  $Na, Mg, Ca \parallel SO_4, CO_3 - H_2O$  при  $0\text{ }^\circ C$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Б. Джабборзода // Вестник педагогического университета. Серия естественных наук. -2021. -№ 1(10-11). -С. 242-247.

[58-М]. Солиев, Л. Фазовый комплекс системы  $Na_2SO_4-CaSO_4-Al_2(SO_4)_3-H_2O$  при изотерме  $298\text{ K}$  / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Д.З. Музаффарова // Политехнический вестник. Серия инженерная исследования. -2021. -№ 3(55). -С. 45-49.

[59-М]. Солиев, Л. Растворимость в системе  $K_2SO_4-KHCO_3-KF-H_2O$  при  $0\text{ }^\circ C$  / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, Б.М. Ибрагимова. Доклады НАН Таджикистана. -2022. -Т. 65. -№ 5-6. -С. 366-372.

[60-М]. Солиев, Л. Комплекси фазагии системаи  $K_2SO_4-K_2CO_3-KHCO_3-KF-H_2O$  дар харорати  $25\text{ }^\circ C$  / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, Б.М. Ибрагимова // Паёми донишгоҳи омӯзгорӣ. Бахши илмҳои табиатшиносӣ. -2021. -№ 1(10-11). -С. 247-253.

[61-М]. Soliev, L. Formation of invariant equilibrium in multicomponent systems and determination of solid phase crystallization pathway / L. Soliev, **М.Т. Jumaev**, I.M. Nizomov, Kh.R. Makhmadov, N.V. Olimjonova, D.V. Muzafarova // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. -2022. -PP.35-43.

[62-М]. Солиев, Л. Изотерма растворимости системы Na, Ca //  $SO_4, CO_3 - H_2O$  при  $50\text{ }^\circ C$  / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, Х.Р. Махмадов, Д. Музафарова // Вестник таджикского национального университета. Серия естественных наук. -2022. -№ 3. -С. 123-130.

[63-М]. Солиев, Л. Строение фазового комплекса системы  $KCl-MgCl_2-CaCl_2-H_2O$  при  $0\text{ }^\circ C$  / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев** // Вестник технологического университета. -2022. -№ 2(49). -С. 30-35.

[64-М]. Солиев, Л. Фазовый комплекс системы  $Na_2SO_4-CaSO_4-Al_2(SO_4)_3-H_2O$  при  $25\text{ }^\circ C$  / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, Д. Музафарова // Известия НАН Таджикистана. -2023. -№ 1(190). -С. 40-46.

[65-М]. Музафарова, Д.З. Фазообразование в системе Na, Ca, Al //  $SO_4, CO_3 - H_2O$  при  $273\text{ K}$  / Д.З. Музафарова, **М.Т. Жумаев**, Л. Солиев // Доклады НАН Таджикистана. -2023. -Т. 66. -№ 3-4. -С. 223-230.

[66-М]. Олимҷонова, Н.В. Фазообразование в системе Na, Ca, Al //  $SO_4, HCO_3 - H_2O$  при  $298\text{ K}$  / Н.В. Олимҷонова, **М.Т. Жумаев**, Л. Солиев // Известия НАН Таджикистана. -2023. -№ 2(191). -С. 223-230.

[67-М]. Олимджонова, Н.В. Сравнение фазовых равновесий в системе  $Na_2SO_4-CaSO_4-Al_2(SO_4)_3-H_2O$  при температурах  $273$  и  $298\text{ K}$  / Н.В. Олимджонова, Д.З. Музафарова, **М.Т. Жумаев**, Л. Солиев // Вестник

филиала московского государственного университета им. М.В.Ломоносова в городе Душанбе. Серия естественных наук. -2023. -Т.1. -№3(33). -С. 53-61.

[68-М]. Олимджонова, Н.В. Изотерма фазообразования в системе  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  //  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  –  $\text{H}_2\text{O}$  при 298 К / Н.В. Олимджонова, **М.Т. Жумаев**, Л. Солиев // Политехнический вестник. Серия инженерные исследования. -2024. -№1(65). -С. 108-111.

[69-М]. Olimjonova, N.V. Phase formation in the system Na, Ca, Al //  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  at 273 K / N.V. Olimjonova, D.Z. Muzafarova, **М.Т. Jumaev**, Kh.R. Makhmadov, S. Sherzodi, I.M. Nizomov / Open Journal Systems (OJS). E3S Web of Conferences 592, 03020 (2024). EMMFT-2024.

[70-М]. **Жумаев, М.Т.** Фазаҳосилшавӣ дар системаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ||  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  –  $\text{H}_2\text{O}$  барои 348 К / **М.Т. Жумаев**, Л. Солиев // Паёми донишгоҳи омӯзгорӣ. Бахши илмҳои табиӣ. -2024. -№1(21). -С. 42-48.

[71-М]. **Жумаев, М.Т.** Структура фазового комплекса системы  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ – $\text{K}_2\text{SO}_4$ – $\text{MgSO}_4$ – $\text{CaSO}_4$ – $\text{H}_2\text{O}$  при 0 °С/ **М.Т. Жумаев**, Дж.М. Мусоджонзода, Л. Солиев // -2024. -Доклады НАН Республики Таджикистан. -2024. -Т.67. -№3-4. -С. 204-210.

[72-М]. **Жумаев, М.Т.** Параметрҳои консентратсионии ҳосилшавии фазаҳои сахти мувозинати системаи  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{CO}_3^{2-}$ - $2\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$  дар ҳарорати 75 °С / **М.Т. Жумаев**, Ҷ.М. Мусочонзода, Л. Солиев // Паёми донишгоҳи технологии Тоҷикистон. -2024. -№2(57). -С.22-29.

[73-М]. Низомов, И.М. Фазовые равновесия системы Na, K ||  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$ , F -  $\text{H}_2\text{O}$  в области кристаллизации виломита / И.М. Низомов, **М.Т. Жумаев**, Л. Солиев // Вестник педагогического университета. Серия естественных наук. -2024. -№ 2-3 (22-23). -С.72-78.

[74-М]. **Жумаев, М.Т.** Сравнение растворимости в системе Na, Ca ||  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при 273 и 298 К / **М.Т. Жумаев**, Н.В. Олимджонова, Д.З. Музафарова, Л. Солиев // Известия НАН Республики Таджикистан. -2024, -№4(197). –С. 85-92.

[75-М]. Жумаев, М.Т. Фазовый комплекс системы  $\text{CaCO}_3\text{-CaF}_2\text{-Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8\text{-TiO}_2$ . / М.Т. Жумаев, А.Ш. Муродиён, Н.Х. Шарифов // Известия НАН Республики Таджикистан. -2025. -№2 (199). -С. 103-109.

[76-М]. Жумаев, М.Т. Таҳлили фазаҳои кристаллизатсионии системаи  $\text{H}_2\text{O-2Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-2Al-(SO}_4^{2-})_5$  барои 273 К / М.Т. Жумаев, Д.З. Музафарова, М. Раҳимова, Л. Солиев // Паёми донишгоҳи омӯзгорӣ. Бахши илмҳои табиӣ. -2025. -№4(28). -С. 143-151.

#### **Нахустпатент ба ихтироот:**

[77-М]. Малый патент № ТЈ 1341 РТ. Способ получения декагидрата карбоната натрия из жидких отходов алюминиевого производства / М.Т. Жумаев, И.М. Низомов, Х.Р. Махмадова, Н.В. Олимджонова, Д.М. Музафарова; патентообладатель – Жумаев М.Т. -№ 2201674. Дата подачи заявки 05.05.2022. Зарегистрировано 30.01.2023.

[78-М]. Малый патент № ТЈ 1454 РТ. Способ получения нахколита из жидких отходов алюминиевого производства / М.Т. Жумаев, М. Раҳимова, Х.Р. Махмадов, Н.В. Олимджонова, Д.З. Музафарова; патентообладатель – Жумаев М.Т. -№ 2301862. Дата подачи заявки 17.07.2023. Зарегистрировано 04.12.2023.

[79-М]. Малый патент № ТЈ 1649 РТ. Способ получения очищенного оксида кремния (кварца) и борной кислоты / Э.Дж. Маматова, С.Г. Назарзода, Х.Р. Махмадов, И.М. Низомова, М.Т. Жумаева; патентообладатель – Маматов Э.Дж. -№ 2502091. Дата подачи заявки 22.04.2025. Зарегистрировано 14.11.2025.

#### **Фишурдаҳои мақолаҳо дар маводди конференсияҳои илмӣ:**

[80-М]. Жумаев, М. Фазовые равновесия системы Na, Ca //  $\text{SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  при 0 °С / М.Т. Жумаев, Ш. Авлоев, Л. Солиев // Матер. Междунар. науч. теорет. конф, посвященная 60 – летию АН Респ. Таджикистан. -Душанбе. -2011. -С. 7-9.

[81-М]. Солиев, Л. Определение фазовых равновесий в системе Na, Ca // CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, И. Гулом, И. Низомов // Матер. Республ. конф. «Комплексообразование в растворах». —Душанбе. -2012. -С. 46-49.

[82-М]. Солиев, Л. Фазовые равновесия в невариантных точках системы Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 25 °С на уровне четырёхкомпонентного состава / Л. Солиев, М. Усмонов, М. Жумаев, Н. Валентино, И. Гулом // Матер. III Междунар. конф. «Современные проблемы физической химии». -Донецк. -2013. -С. 199-200.

[83-М]. Солиев, Л. Строение диаграммы фазовых равновесий системы Na, Ca // SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O при 0 и 25 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Ш.Х. Авлоев // Матер. Междунар. конф. «Экологически безопасные и ресурсосберегающие технологии и материалы». -Улан-Уде. -2014. -С. 226-228.

[84-М]. Jumaev, M.T. Phase balance in system Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O at 0 °С / M.T. Jumaev, L. Soliev, Sh. Avloev // «European Science and Technology» Materials of the VII international research and practice conference. -Germany (Munich). -2014. -PP. 112-118.

[85-М]. Солиев, Л. Строение диаграмм фазовых равновесий четырёхкомпонентных систем с общим ионом, составляющих шестикомпонентную систему Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O (изотерма 25 °С) / Л. Солиев, М. Усмонов, М. Джумаев, Н. Валентино, И. Гулом // Матер. Междунар. конф. «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий». —Душанбе-Тамбов. -2014. -С.390-393.

[86-М]. Солиев, Л. Равновесные твёрдые фазы четверных невариантных точек системы Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, F - H<sub>2</sub>O при 25 °С / Л. Солиев, М. Усмонов, М. Джумаев, С. Холмуродов, В. Нури, Г. Икбол // Матер. Всероссийской науч. конф. с международным участием «II Байкальский материаловедческий форум». -Улан-Уде. -2015. -С. 111-112.

[87-М]. Jumaev, M.T. Phase equilibriums of Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O system at 25 degrees celsius / M.T. Jumaev, L. Soliev, Sh. Avloev // «Global

Science and Innovation» Materials of the III international scientific conference. - USA (Chicago). -2014. -PP. 17-22.

[88-М]. Солиев, Л. Растворимости системы  $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-Ca(HCO}_3\text{)-H}_2\text{O}$  при 0 °С / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, А.Ф. Тошов, З.П. Худоёрбекова // Сборник научных трудов по материалам VI Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития науки и технологий». - Белгород. -2015. -С. 28-31.

[89-М]. Солиев, Л. Растворимости системы  $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-Ca(HCO}_3\text{)-H}_2\text{O}$  при 25 °С / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, З.П. Худоёрбекова // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Научные исследования и разработки в эпоху глобализации», -Киров. -2016. -С. 26-30.

[90-М]. Солиев, Л. О фазовых равновесиях в системе  $\text{Na, Ca // SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  при 25 °С/ И. Борисов, М. Шолитодов, **М. Джумаев**, А. Набиев // Материалы II Всероссийской молодёжной конференции – школы с международным участием. «Достижения химии в агропромышленном комплексе». –Уфа. -2016. -С. 31-36.

[91-М]. Солиев, Л. Строение диаграммы растворимости системы  $\text{Na, Ca // SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  при 0 °С. / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, М. Усмонов, И. Низомов // Материалы XI Международного Курнаковского совещания по физико-химическому анализу в рамках XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. -Воронеж. -2016. -С. 217-221.

[92-М]. Солиев, Л. Изотермы растворимости и фазовых равновесий системы  $\text{Na, Ca // SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  при 0 и 25 °С. / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, М. Усмонов, И. Низомов // Материалы Международной конференции «Термический анализ и калориметрии (RTAC). -Санкт-Петербург. -2016. -С. 322-324.

[93-М]. Солиев, Л. Строение диаграммы фазовых равновесий в системе  $\text{Na, Ca // CO}_3, \text{HCO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  при 25 °С / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, Б. Джабборов // Матер. III Всероссийской науч. конф. с международным участием «II Байкальский материаловедческий форум». -Улан-Уде. -2017. -С. 149-152.

[94-М]. Солиев, Л. Концентрационные параметры образования равновесных твёрдых фаз системы  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при  $50^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, Р.О. Тураев, Х.Р. Махмадов // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «III Байкальский материаловедческий форум». -Улан-Уде. -2018. -С. 106-108.

[95-М]. Солиев, Л. Растворимость системы  $\text{Na, Ca} \parallel \text{SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  при  $50^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, Х.Р. Махмадов, М.Б. Усмонов // Сборник тезисов XXI Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. -Санкт-Петербург. -2019. -Т.3. -С. 146.

[96-М]. Солиев, Л. Фазовые равновесия в четырёхкомпонентной системе  $\text{Na, Ca} \parallel \text{SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  при  $75^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, М.Б. Усмонов, Х.Р. Махмадов // Материалы IV-международной научной конференции «Вопросы физической и координационной химии». – Душанбе. -2019. -С. 359.

[97-М]. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы  $\text{Na, Ca} \parallel \text{SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  при  $0^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев** // Материалы XV Нумоновского чтения «Современное состояние химической науки и использование её достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан». –Душанбе. - 2019. -С. 18.

[98-М]. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы  $\text{Na, Mg} \parallel \text{SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  при  $25^\circ\text{C}$  / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев**, Б. Джабборзода // Сборник статей по итогам междун. науч. практ. конф. –Стерлитамак. -2020. -С.118.

[99-М]. Солиев, Л. Строение фазового комплекса системы  $\text{Na, K, Mg, Ca} \parallel \text{SO}_4, \text{Cl} - \text{H}_2\text{O}$  при  $0^\circ\text{C}$  в области кристаллизации мирабилита ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) / Л. Солиев, **М.Т. Жумаев** // Сборник статей Респуб. науч. практ. конф. «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа». -Душанбе. -2021. -С. 51-61.

[100-М]. **Жумаев, М.Т.** Равновесные твёрдые фазы четверных неинвариантных точек системы  $\text{Na, Ca} \parallel \text{SO}_4, \text{CO}_3, \text{HCO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  при  $0^\circ\text{C}$  / **М.Т. Жумаев**, Л. Солиев, Х.Р. Махмадов, Н.В. Олимджонова // Всероссийский симпозиум и школа – конференция молодых ученых

«Физико-химические методы в междисциплинарных экологических исследованиях». -Москва. -2021. -С. 262.

[101-М]. **Жумаев М.Т.** Определение фазовых равновесий в системе  $K_2SO_4$ - $KHCO_3$ - $KF$ - $H_2O$  при 0 °С / **М.Т. Жумаев**, Л. Солиев, Б.М. Ибрагимова, Н.З.Ноибова // Матер. Междун. науч. прак. конф. «Современные проблемы металлургической промышленности» -Душанбе. -2021. -С. 150.

[102-М]. **Жумаев М.Т.** Строение диаграммы фазовых равновесий в системе  $Na, Ca \parallel SO_4, CO_3, HCO_3 - H_2O$  при 0, 25, 50 °С / **М.Т. Жумаев**, Х.Р. Махмадов, Л. Солиев // Материалы всероссийской научной конференции с международным участием IV-Байкальский материаловедческий форум. - Улан Уде. -2022. -С. 75-76.

[103-М]. **Жумаев, М.Т.** Строение диаграм фазового комплекса системы  $Na, Ca \parallel SO_4, CO_3, HCO_3 - H_2O$  при 100 °С / **М.Т. Жумаев**, Л. Солиев // Материалы Республиканской конференции «Современное состояние и перспективы физико-химические анализа». -Душанбе. -2023. - С. 200-205.

[104-М]. **Жумаев, М.Т.** Прогнозирование строения диаграмм фазового комплекса многокомпонентных систем / **М.Т. Жумаев**, Н.В. Олимджонова, Х.Р. Махмадов // Всероссийской симпозиум и школа-конференции молодых учёных «Физико-химические методы в междисциплинарных исследованиях». -Севастополь. -2023. -С. 278-280.

[105-М]. **Жумаев, М.Т.** Растворимость системы  $Na_2SO_4$ - $Na_2CO_3$ - $NaHCO_3$ - $H_2O$  при 75 °С / **М.Т. Жумаев**, Л. Солиев Л. // Материалы Междун. науч. прак. конф. «Развитие новых направлений в химии и химической технологии». -Душанбе. -2023. -С. 151-153.

[106-М]. **Жумаев, М.Т.** Изотермы растворимости и фазовых равновесий системы  $CaSO_4$ - $CaCO_3$ - $Ca(HCO_3)_2$ - $H_2O$  при 50 °С / **М.Т. Жумаев**, М. Рахимова, Л. Солиев // Сборник научных статей по итогам международной конференции «Химическая наука и образование, проблемы и перспективы развития». –Махачкала. -2024. -С.29-34.

[107-М]. Жумаев, М.Т. Сохтори диаграммаи системаи  $3\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{O}_3^{2-}-2\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  дар ҳарорати  $75\text{ }^\circ\text{C}$  / М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Маводи конференсияи байналмилалии илмӣ-амалӣ дар мавзуи «Нақши химия ва саноати химиявӣ дар саноатикунонии Тоҷикистон». –Душанбе. -2024. С. 64-69.

[108-М]. Жумаев, М.Т. Прогнозирование фазовых равновесий в системе Na, Ca, Al ||  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при 298 К / М.Т. Жумаев, Н.В. Олимджонова, Л. Солиев // Материалы IV Международной научной конференции «Вопросы физической и координационной химии». – Душанбе. -2024. -С. 349-353.

[109-М]. Жумаев, М.Т. Изучение растворимости системы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  ||  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  –  $\text{H}_2\text{O}$  при  $75\text{ }^\circ\text{C}$  / М.Т. Жумаев, Х.Р. Махмадов, Д.Музафарова, Л. Солиев // XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Сборник тезисов. –Сириус. -2024. -Том 6. -С.36.

[110-М]. Олимджонова, Н.В. Растворимость системы Na, Ca ||  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при 273 и 298 К / Н.В.Олимджонова, Д.З. Музафарова, М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Сборник материалов XIX Нумановского чтения на тему: «Развитие фундаментальной и прикладной химии и её вклад в индустриализацию страны». –Душанбе. -2024. -С.63-66.

[111-М]. Жумаев, М.Т. Исследование многокомпонентных систем: проблемы и пути их решения. / М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Материалы науч. прак. конф. «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа». -Душанбе. -2025. -С.41-50.

[112-М]. Олимджонова, Н.В. Сравнение фазообразований в системе Na, Al ||  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при 273 и 298 К / Н.В. Олимджонова, М.Т. Жумаев, Л. Солиев // IX Междун. науч. прак. конф. «Булатовские чтения». –Красноярск. -2025. -С.173.

[113-М]. Жумаев, М.Т. Растворимость системы  $3\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{O}_3^{2-}-2\text{HCO}_3^--\text{H}_2\text{O}$  при  $75\text{ }^\circ\text{C}$  / М.Т. Жумаев, Л.Солиев // Материалы Междун. науч. практ. конф. «Комплексные соединения и аспекты их применения». - Душанбе. -2025. -С. 17-20.

[114-М]. Жумаев М.Т. Анализ кристаллизующих фаз в многокомпонентной системе  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при  $75\text{ }^\circ\text{C}$  / М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы современной химии, решения и перспективы развития». 15.05.2025. Денав. -С. 82-84.

[115-М]. Жумаев, М.Т. Мувозинатҳои дивариантӣ дар системаи бисёркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  / М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Хонишҳои ХХ Нӯъмоновӣ дар мавзӯи: «Марҳилаҳои муосири рушди илмҳои кимиёвӣ ва техникӣ: масъалаҳои мубрами назария ва амалия». -Душанбе. -2025. -С. 70-74.

[116-М]. Жумаев, М.Т. Сохтори диаграммаи системаи  $\text{CaCO}_3$ - $\text{CaF}_2$ - $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ - $\text{TiO}_2$  / М.Т. Жумаев, А.Ш. Муродиён, Л.Солиев // Маводи конференсияи байналхалқии илмӣ-назариявии «Марҳилаҳои ҳозираи инкишофи илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илм ва маориф: масъалаҳои актуалӣ, назария ва амалия». -Душанбе. -2025. -С. 114-117.

[117-М]. Жумаев, М.Т. Уточнение фазовой диаграммы в многокомпонентной системе  $\text{Na}$ ,  $\text{Ca} \parallel \text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при  $100\text{ }^\circ\text{C}$  / М.Т. Жумаев, Л. Солиев // «V-Байкальском материаловедческом форуме». - Улан-Уде. -2025. -С. 78-79.

[118-М]. Жумаев, М.Т. Мувозинати нонвариантӣ дар системаи бисёркомпонентаи  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{H}_2\text{O}$  / М.Т. Жумаев, Л. Солиев // Маводи конференсияи II-юми байналхалқии илмӣ-амалии «Масъалаҳои мубрами соҳаи металлургия дар шароити саноатикунонии босуръати кишвар». –Душанбе. -2025. -С. 130-136.

# ЗАМИМАҲО

ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

## ШАҲОДАТНОМА

Шахрванд Жумаев М.Т.

муаллифи ихтирои *Тарзи ҳосил намудани декагидрати карбонати натрий аз партовҳои моеъи саноатии алюминий*

Ба ихтироӣ нахустпатенти № ТҶ 1341 дода шудааст.

Дорандаи нахустпатент Жумаев М.Т.

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Ҳаммуаллиф(он) Джураев Т.Дж., Низомов И.М., Маҳмадов Х.Р., Олимҷонова Н.В., Музафарова Д.З., Маматов Э.Ҷ., Амирзода О.Х.

Аввалияти ихтироӣ 05.05.2022

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 05.05.2022

Аризаи № 2201674

Дар Феҳристи давлатии ихтироӣҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

30 январи с. 2023 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент

этибор дорад аз 5 майи с. 2022 то 5 майи 2032 с.

Ин шаҳодатнома ҳангоми амали гардонидани ҳукуку имтиёзҳои, ки барои муаллифони ихтироот бо конунгузории ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.



REPUBLIC OF TAJIKISTAN  
PATENT OFFICE

CERTIFICATE

Citizen

is the author of invention

Petty patent № TJ

is granted for the invention

Patent owner

Country

Co-author (s)

Invention priority

Date of application

Application №

Recorded in the State register of patents  
for inventions of the Republic of Tajikistan

Petty patent is valid from

till

The present certificate is submitted on realization of the rights and privileges determined by the  
legislation currently in force for authors of inventions

РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН  
ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Гражданин **Жумаев М.Т.**

Является автором изобретения **Способ получения декагидрата карбоната натрия из жидких отходов алюминиевого производства**

На изобретение выдан малый патент №ТJ **1341**

Патентообладатель **Жумаев М.Т.**

Страна **Республика Таджикистан**

Соавторы **Джураев Т.Дж., Низомов И.М., Махмадов Х.Р.,  
Олимджонова Н.В., Музафарова Д.З., Маматов Э.Дж.,  
Амирзода О.Х.**

Приоритет изобретения **05.05.2022**

Дата подачи заявления **05.05.2022**

Заявление № **2201674**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан **30 января 2023**

Малый действителен с **5 мая 2022** г. по **5 мая 2032** г.

Настоящее удостоверение предьявляется при реализации прав и льгот, установленных действующим законодательством



*Жумаев М.Т.*

ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

## ШАҲОДАТНОМА

Шаҳрванд Жумаев М.Т.

муаллифи ихтирои *Тарзи ҳосил намудани нахколит аз партовҳои  
моёби саноати алюминий*

Ба ихтироӣ  
нахустпатенти № ТҶ 1454 дода шудааст.

Дорандаи  
нахустпатент Жумаев Маъруфҷон Тағоймуротович

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Ҳаммуаллиф(он) Раҳимова М., Маҳмадов Х.Р., Олимҷонова Н.В.,  
Музафарова Д.З.

Аввалияти ихтироӣ 17.07.2023

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 17.07.2023

Аризаи № 2301862

Дар Феҳристи давлатии ихтироӣҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

04 декабри с. 2023 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент

этибор дорад аз 17 июли с. 2023 то 17 июли 2033с.

Ин шаҳодатнома ҳангоми амали гардонидани ҳукуку  
имтиёзҳое, ки барои муаллифони ихтироот бо қонунгузори  
ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.

REPUBLIC OF TAJIKISTAN  
PATENT OFFICE

CERTIFICATE

Citizen

is the author of invention

Petty patent № TJ

is granted for the invention

Patent owner

Country

Co-author (s)

Invention priority

Date of application

Application №

Recorded in the State register of patents  
for inventions of the Republic of Tajikistan

Petty patent is valid from

till

The present certificate is submitted on realization of the rights and privileges determined by the  
legislation currently in force for authors of inventions

РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН  
ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Гражданин **Жумаев М.Т.**

Является автором изобретения **Способ получения нахколита из жидких отходов  
алюминиевого производства**

На изобретение выдан малый патент №TJ **1454**

Патентообладатель **Жумаев Маъруфжон Тагоймуротович**

Страна **Республика Таджикистан**

Соавторы **Рахимова М., Махмадов Х. Р., Олимджонова Н.В.,  
Музафарова Д.З.**

Приоритет изобретения **17.07.2023**

Дата подачи заявления **17.07.2023**

Заявление № **2301862**

Зарегистрировано в Государственном реестре  
изобретений Республики Таджикистан

**04 декабря 2023**

Малый действителен с **17 июля 2023** г. по **17 июля 2033** г.  
Патент

Настоящее удостоверение предъявляется при реализации прав и льгот,  
установленных действующим законодательством



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТИ

## ШАҲОДАТНОМА

Шахрванди **Жумаев М.Т.**

муаллифи ихтирои *Тарзи ҳосил намудани оксиди силитсийи ҳолис (квартс)  
ва кислотаи борат*

Ба ихтирои **№ Т.Э. 1649** дода шудааст.

Дорандаи **Маматов Эргаш Чумаевич**  
нахустпатент

Сарзамини **Ҷумҳурии Тоҷикистон**  
Ҳаммуаллиф(он) **Маматов Э.Ч., Назарзода С.Г., Назаров А.О., Расулзода  
С.Н., Шерзода С., Махмалов Х.Р., Низомов И.М.**

Аввалияти ихтирои **22.04.2025**

Таърихи рузи пешниҳоди ариза **22.04.2025**

Аризаи № **2502091**

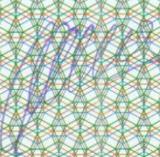
Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

14 ноябри **с. 2025** ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент  
этибор дорад аз **22 апрели** **с. 2025** то **22 апрели 2035 с.**

Ин шаҳодатнома ҳангоми амали гардонидани ҳукуку  
имтиёзхое, ки барои муаллифони ихтироот ба конуңгузории  
ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

  
Исмоилзода М.Х.

**REPUBLIC OF TAJIKISTAN**  
**PATENT OFFICE**

**CERTIFICATE**

Citizen

is the author of invention

Petty patent № TJ

is granted for the invention

Patent owner

Country

Co-author (s)

Invention priority

Date of application

Application №

Recorded in the State register of patents  
for inventions of the Republic of Tajikistan

Petty patent is valid from

till

The present certificate is submitted on realization of the rights and privileges determined by the  
legislation currently in force for authors of inventions

