

**T.C.**  
**KAFKAS ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**KİMYA ANABİLİM DALI**

**25°C ve 0°C SICAKLIKTA CuSO<sub>4</sub> - CuCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O ÜÇLÜ SU-TUZ SİSTEMİNİN**  
**İZOTERMİK YÖNTEMLE ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNÜN VE FAZ**  
**DENGELERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**ÇAĞLAR SOYTÜRK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN**  
**Prof. Dr. HACALİ NECEFOĞLU**

**HAZİRAN - 2012**  
**KARS**

**T.C.**  
**KAFKAS ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**KİMYA ANABİLİM DALI**

**25°C ve 0°C SICAKLIKTA CuSO<sub>4</sub> - CuCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O ÜÇLÜ SU-TUZ SİSTEMİNİN**  
**İZOTERMİK YÖNTEMLE ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNÜN VE FAZ**  
**DENGELERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**ÇAĞLAR SOYTÜRK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN**  
**Prof. Dr. HACALİ NECEFOĞLU**

**HAZİRAN - 2012**

**KARS**

T.C. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Çağlar SOYTÜRK'ün Prof. Dr. Hacali NECEFOĞLU'nun danışmanlığında yüksek lisans tezi olarak hazırladığı “25°C ve 0°C Sıcaklıkta CuSO<sub>4</sub> - CuCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O Üçlü Su-Tuz Sisteminin İzotermik Yöntemle Çözünürlüğünün ve Faz Dengelerinin Araştırılması” adlı bu çalışma, yapılan tez savunması sınavı sonunda jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Yönetmeliği uyarınca değerlendirilerek oy *bicliji*..... ile kabul edilmiştir.

11 / 06 / 2012

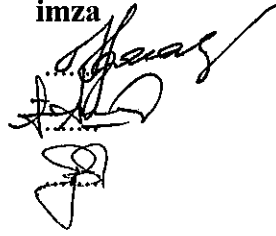
**Adı ve Soyadı**

**Başkan :** Prof. Dr. Hacali NECEFOĞLU

**Üye :** Doç. Dr. Fikret AKDENİZ

**Üye :** Yrd. Doç. Dr. Yusuf ERSAN

**imza**



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 22/06/2012 gün ve 99/.....*ZL*..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.....  
Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezi, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Anorganik Kimya Bilim Dalı yüksek lisans programında yapılmıştır.

Bu tezde;  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  //  $\text{Cl}^-$ ,  $(\text{SO}_4)^{2-}$  //  $\text{H}_2\text{O}$  dörütlü karşılıklı su-tuz sisteminin bünyesinde yer alan  $\text{CuSO}_4\text{-CuCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ , üçlü sisteminin fizikokimyasal analiz yöntemleri kullanılarak  $25^\circ\text{C}$  ve  $0^\circ\text{C}$  sıcaklıkta çözünürlük ve faz dengeleri araştırılmıştır.

Çalışmalarında bana yardım ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam Kimya Bölüm Başkanı Prof. Dr. Hacali NECEFOĞLU'na, çalışmalarımı planlayan çalışmalarımın her aşamasında bana destek olan ve çalışmalarımda beni yalnız bırakmayan Dr. Vedat ADIGÜZEL'e, teşekkürlerimi sunarım.

Desteklerini sürekli arkamda hissettiğim anne ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2012

Çağlar SOYTÜRK

## ÖZET

Bu çalışmada izotermik yöntemle  $\text{CuSO}_4\text{-CuCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  sisteminin  $0^\circ\text{C}$  ve  $25^\circ\text{C}$ 'de çözünürlük, yoğunluk, viskozite, tuzluluk ve iletkenlik özellikleri araştırılmıştır.

$\text{CuSO}_4\text{-CuCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  üçlü sisteminin ötonik nokta bileşimleri  $25^\circ\text{C}$ 'de % 2,60  $\text{CuSO}_4$ , % 42,12  $\text{CuCl}_2$  ve % 55,25  $\text{H}_2\text{O}$ 'dur.

Katı fazda, sıvı faz ile  $\text{CuCl}_2.2\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{CuSO}_4.5\text{H}_2\text{O}$  kristal hidratları dengede bulunmaktadır. Ayrıca sıvı fazın ötonik noktasında yoğunluk:  $1590 \text{ kg/m}^3$ , viskozite:  $7,25 \text{ N.S.}10^3/\text{m}^2$ , elektrik iletkenliği:  $912 \text{ } \mu\text{S/cm}$  ve tuzluluğu:  $510 \text{ g/kg}$  olarak ölçülmüştür.

$\text{CuSO}_4\text{-CuCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  üçlü sisteminin ötonik nokta bileşimleri  $0^\circ\text{C}$ 'de % 0,28  $\text{CuSO}_4$ , % 39,05  $\text{CuCl}_2$  ve % 60,67  $\text{H}_2\text{O}$ 'dur.

Katı fazda, sıvı faz ile  $\text{CuCl}_2.2\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{CuSO}_4.5\text{H}_2\text{O}$  kristal hidratları dengede bulunmaktadır. Ayrıca sıvı fazın ötonik noktasında yoğunluk:  $1440 \text{ kg/m}^3$ , viskozite:  $8,63 \text{ N.S.}10^3/\text{m}^2$ , elektrik iletkenliği:  $905 \text{ } \mu\text{S/cm}$  ve tuzluluğu:  $480 \text{ g/kg}$  olarak ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler: Su-Tuz Sistemi, Üçlü Sistemler, Çözünürlük, Ötonik Nokta, Faz Dengeleri.**

## ABSTRACT

In this study, the solubility, density, viscosity, conductivity, salinity and phases equilibrium of  $\text{CuSO}_4\text{-CuCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  system was investigated using the isothermal method at  $25^\circ\text{C}$  and  $0^\circ\text{C}$  degrees.

The invariant point of  $\text{CuSO}_4\text{-CuCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  ternary system at  $25^\circ\text{C}$  is analysed as 2,60 % mass  $\text{CuSO}_4$ , 42,12 % mass  $\text{CuCl}_2$  and 55,25 % mass  $\text{H}_2\text{O}$ .

It is determined that  $\text{CuCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  crystal hydrates are in equilibrium with liquid phase, the density of invariant point is  $1590\text{ kg/m}^3$ , the viscosity is  $7,25\text{ N.S.}\cdot 10^3/\text{m}^2$ , electrical conductivity is  $912\text{ }\mu\text{S/cm}$  and salinity is  $510\text{ g/Kg}$ .

The invariant point of  $\text{CuSO}_4\text{-CuCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  ternary system at  $0^\circ\text{C}$  is analysed as 0,28 % mass  $\text{CuSO}_4$ , 39,05 % mass  $\text{CuCl}_2$  and 60,67 % mass  $\text{H}_2\text{O}$ .

It is determined that  $\text{CuCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  crystal hydrates are in equilibrium with liquid phase, the density of invariant point is  $1440\text{ kg/m}^3$ , the viscosity is  $8,63\text{ N.S.}\cdot 10^3/\text{m}^2$ , electrical conductivity is  $905\text{ }\mu\text{S/cm}$  and salinity is  $480\text{ g/Kg}$ .

**Keywords: Ternary Systems, Solubility, Invariant Point, Phase Equilibrium.**

Deneysel alışmalar Kafkas Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Blm Fizikokimyasal Analiz Araştırma Laboratuarında yapılmıştır.



**Resim 1:** alışmaların Yapıldığı Laboratuar Ortamı

# İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
<b>ÖNSÖZ</b>	i
<b>ÖZET</b>	ii
<b>ABSTRACT</b>	iii
<b>İÇİNDEKİLER</b>	v
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	viii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b>	x
<b>RESİMLER DİZİNİ</b>	xi
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b>	xii
<b>1. GİRİŞ</b>	1
<b>2. GENEL BİLGİLER</b>	4
2.1. Su-Tuz Sistemlerinin Araştırılmasında Kullanılan Fizikokimyasal Yöntemler	4
2.1.1. İzotermal Yöntem	4
2.1.2. Müşahide-Politermal (MP) Yöntem	5
2.1.3. Diğer Yöntemler	7
2.1.3.1. Termografik Metot	7
2.1.3.2. Elektrik İletkenliği Metodu	7
2.1.3.3. Viskozimetre Yöntemi	7
2.1.3.4. Yoğunluk Tayin Yöntemi	8
2.1.3.5. Tuzluluk Tayin Yöntemi	8
2.2. Çözünürlük Diyagramları	9
2.2.1. İkili Sulu Sistemlerin Çözünürlük Diyagramları	9
2.2.2. Üçlü Sulu Sistemlerin Çözünürlük Diyagramları	10
2.2.2.1. Gibbs Yöntemi	10
2.2.2.2. Rozeboum Yöntemi	11
2.2.2.3. Schreinemakers Yöntemi	12
2.2.2.4. Yeneke Le-Chatelier Yöntemi	13
2.2.2.5. Üçlü Sistemlerin Çözünürlük Politermleri	14



2.3. Üçlü Karşılıklı Sistemlerin Çözünürlük Diyagramları	15
2.3.1. AX-BX-H <sub>2</sub> O Üçlü Su-Tuz Sistemlerin Faz Diyagramları	16
2.3.2. AX – BX - H <sub>2</sub> O Üçlü Su-Tuz Sisteminin Hidratlar ve Çift Tuz Oluşmamış Hali	16
2.3.3. AX – BX - H <sub>2</sub> O Üçlü Su-Tuz Sisteminde b (AX) Tuzunun Hem Hidrat Hem de Hidratsız İki Faz Oluşturmuş Hali	17
2.3.4. AX – BX - H <sub>2</sub> O Üçlü Su-Tuz Sisteminde b (AX) Tuzunun Hidrat Oluşturmuş Hali	18
2.3.5. AX – BX - H <sub>2</sub> O Üçlü Su-Tuz Sisteminde b (AX) ve c (BX) Tuzlarının Çift Tuz Oluşturmuş Halleri	19
2.3.6. AX – BX - H <sub>2</sub> O Üçlü Su-Tuz Sisteminde b (AX) İle c (BX) Tuzlarının Meydana Getirdikleri Çift Tuz Hidrat Oluşturmuş Halleri	20
2.3.7. AX – BX - H <sub>2</sub> O Üçlü Su-Tuz Sisteminde b (AX) İle c (BX) Tuzlarının Meydana Getirdikleri Çift Tuz ve b (AX) Tuzunun Hidratlar Oluşturmuş Halleri	21
2.4. Bakır(II) Tuzlarının Elde Ediliş Yöntemleri ve Özellikleri	22
2.4.1. Bakır(II)Klorür-CuCl <sub>2</sub>	22
2.4.2. Bakır(II)Nitrat-Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	24
2.4.3. Bakır(II)Sülfat-CuSO <sub>4</sub>	25
2.4.4. Bakır(II)Oksit-CuO	26
2.4.5. Bakır(II)Hidroksit-Cu(OH) <sub>2</sub>	27
2.5. Bakır (II)Tuzlarını İhtiva Eden Su-Tuz Sistemleri	27
2.5.1. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .MnO <sub>4</sub> .6H <sub>2</sub> O-(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .CuSO <sub>4</sub> .6H <sub>2</sub> O-H <sub>2</sub> O Üçlü Su-Tuz Sistemi	27
2.5.2. MnSO <sub>4</sub> -CuSO <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> O üçlü Su-Tuz Sistemi	27
2.5.3. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .MnO <sub>4</sub> .6H <sub>2</sub> O-(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .CuSO <sub>4</sub> .6H <sub>2</sub> O-H <sub>2</sub> O Üçlü Su-Tuz Sistemi	28
2.5.4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .MnO <sub>4</sub> .6H <sub>2</sub> O-(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .FeSO <sub>4</sub> .6H <sub>2</sub> O (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .CuSO <sub>4</sub> .6H <sub>2</sub> O-H <sub>2</sub> O Dörtlü Su-Tuz Sistemi	28
2.6. Bakır(II)İyonunun Analiz Yöntemleri	28
2.6.1. Bakırın Etilendiaminle Tayini	28

2.6.2. Suda Çözünen Bileşiklerde Bakır Tayini	29
2.6.3. Bakır(II) İyonunun Kompleksometri Yöntemi ile Tayini	30
2.6.4. İyodometrik Yöntemle Bakır Miktar Tayini	30
2.7. Klor İyonunun Analiz Yöntemleri	32
2.7.1. Volhard Yöntemi İle Klorür İyonunun (Cl <sup>-</sup> ) Analizi	32
2.7.2. Mohr Metodu İle Klorür İyonunun (Cl <sup>-</sup> ) Tayini	34
2.7.3. Fajans Metodu İle Klorür İyonunun (Cl <sup>-</sup> ) Tayini	35
2.8. Kaynak Taraması	37
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b>	41
3.1. Sistemin Araştırılmasında Kullanılan Tuzlar ve Araçlar	41
3.2. Sistemin Araştırılmasında Kullanılan Yöntemler	45
3.2.1. Piknometre ve Viskozimetre Yöntemi	45
3.2.2. İletkenlik ve Tuzluluk Yöntemi	45
3.2.3. Klorür İyonu Tayini	46
3.2.4. Bakır(II) İyonunun EDTA İle Tayini	47
3.2.5. Katı Fazın Schreinemakers'in "Kalıklar" Yöntemiyle Tayin Edilmesi	47
<b>4. BULGULAR</b>	49
4.1. CuSO <sub>4</sub> -CuCl <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O Üçlü Sistemin 25°C Sıcaklıkta Çözünürlüğü, Yoğunluğu, Viskozitesi, İletkenliği, Tuzluluğu ve Faz Dengeleri	49
4.2. CuSO <sub>4</sub> -CuCl <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O Üçlü Sistemin 0°C Sıcaklıkta Çözünürlüğü, Yoğunluğu, Viskozitesi, İletkenliği, Tuzluluğu ve Faz Dengeleri	57
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>	65
<b>6. KAYNAKLAR</b>	70
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	73

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1. Su-tuz sistemin MP yöntemiyle araştırılması için kullanılan düzenek	6
Şekil 2. İkili sistemin çözünürlüğünün politermi	9
Şekil 3. Üçlü sistemin bileşiminin Gibbs yöntemiyle gösterimi	10
Şekil 4. Üçlü sistemin bileşiminin Rozeboum yöntemi ile gösterimi	11
Şekil 5. Üçlü sistemin bileşiminin Schreinemakers yöntemiyle gösterimi	12
Şekil 6. Üçlü sistemin bileşiminin Yeneke yöntemiyle gösterimi	13
Şekil 7. Üçlü sistemin politerminin gösterimi	14
Şekil 8. Üçlü karşılıklı sistemin bileşiminin dörtgen prizma yöntemiyle gösterimi	15
Şekil 9. AX – BX - H <sub>2</sub> O üçlü su-tuz sisteminin hidratlar ve çift tuz oluşmamış halinin diyagramı	17
Şekil 10. AX – BX - H <sub>2</sub> O üçlü su-tuz sisteminde b (AX) tuzu hem hidrat hem de hidratsız iki faz oluşturmuş hali diyagramı	18
Şekil 11. AX-BX-H <sub>2</sub> O üçlü su-tuz sisteminde b(AX) tuzu hidrat oluşturmuş hali diyagramı	19
Şekil 12. AX-BX-H <sub>2</sub> O üçlü su-tuz sisteminde b(AX) ve c(BX) tuzları çift tuz oluşturmuş hallerinin diyagramı	20
Şekil 13. AX-BX-H <sub>2</sub> O üçlü su-tuz sisteminde b(AX) ile c(BX) tuzların meydana getirdikleri çift tuz hidrat oluşturmuş halleri diyagramı	21
Şekil 14. AX-BX-H <sub>2</sub> O üçlü su-tuz sisteminde b(AX) ile c(BX) tuzların meydana getirdikleri çift tuz ve b(AX) tuzu hidratlar oluşturmuş halleri diyagramı	22
Şekil 15. 2Na <sup>+</sup> , Mg <sup>+2</sup> // 2Cl <sup>-</sup> , 2ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - H <sub>2</sub> O Sisteminin 20°C’de çözünürlük diyagramları	39
Şekil 16. 2Na <sup>+</sup> , Mg <sup>+2</sup> // 2Cl <sup>-</sup> , 2ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - H <sub>2</sub> O Sisteminin 100°C’de çözünürlük diyagramları	40
Şekil 17. Katı fazın bileşiminin Schreinemakers’in “kalık” yöntemiyle tayini	48
Şekil 18. Yeneke-Le Chatelier Yöntemiyle CuSO <sub>4</sub> - CuCl <sub>2</sub> - H <sub>2</sub> O üçlü	

sisteminin 25°C’de viskozite ve yoğunluk diyagramı	53
Şekil 19. Yeneke-Le Chatelier Yöntemiyle CuSO <sub>4</sub> - CuCl <sub>2</sub> - H <sub>2</sub> O üçlü sisteminin 25°C’de iletkenlik ve tuzluluk diyagramı	54
Şekil 20. Yeneke-Le Chatelier yöntemiyle CuSO <sub>4</sub> - CuCl <sub>2</sub> - H <sub>2</sub> O üçlü sisteminin 25°C’de çözünürlük dengeleri diyagramı	55
Şekil 21. Rozeboum Yöntemiyle CuSO <sub>4</sub> - CuCl <sub>2</sub> - H <sub>2</sub> O üçlü sisteminin 25°C sıcaklıktaki çözünürlük ve faz dengeleri diyagramı	56
Şekil 22. Yeneke-Le Chatelier Yöntemiyle CuSO <sub>4</sub> - CuCl <sub>2</sub> - H <sub>2</sub> O üçlü sisteminin 0°C’de viskozite ve yoğunluk diyagramı	61
Şekil 23. Yeneke-Le Chatelier Yöntemiyle CuSO <sub>4</sub> - CuCl <sub>2</sub> - H <sub>2</sub> O üçlü sisteminin 0°C’de iletkenlik ve tuzluluk diyagramı	62
Şekil 24. Yeneke-Le Chatelier yöntemiyle CuSO <sub>4</sub> - CuCl <sub>2</sub> - H <sub>2</sub> O üçlü sisteminin 0°C’de çözünürlük dengeleri diyagramı	63
Şekil 25. Rozeboum Yöntemiyle CuSO <sub>4</sub> - CuCl <sub>2</sub> - H <sub>2</sub> O üçlü sisteminin 0°C sıcaklıktaki çözünürlük ve faz dengeleri diyagramı	64

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1. Deneysel ve hesaplamalarla $\text{CuCl}_2 - \text{CuSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ $25^\circ\text{C}$ 'deki sisteme ait üçlü sistemlerin ötonik nokta verileri	37
Çizelge 2. Deneysel ve hesaplamalarla $\text{Li}_2\text{SO}_4 - \text{MgSO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ $-10^\circ\text{C}$ 'deki sisteme ait dörtlü sistemlerin ötonik nokta verileri	38
Çizelge 3. $\text{CuSO}_4 - \text{CuCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ üçlü su-tuz sisteminin $25^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki çözünürlüğü ve dengede bulunan katı fazların bileşimi	50
Çizelge 4. $\text{CuSO}_4 - \text{CuCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ üçlü su-tuz sisteminin $25^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ki 100 mol tuz karışımı ve 100 mol tuza denk gelen $\text{H}_2\text{O}$ 'nun mol sayısı	51
Çizelge 5. $\text{CuSO}_4 - \text{CuCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ üçlü su-tuz sisteminin $25^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki yoğunluğu, viskozitesi, iletkenliği ve tuzluluğu.	52
Çizelge 6. $\text{CuSO}_4 - \text{CuCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ üçlü su-tuz sisteminin $0^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki çözünürlüğü ve dengede bulunan katı fazların bileşimi	58
Çizelge 7. $\text{CuSO}_4 - \text{CuCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ üçlü su-tuz sisteminin $0^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ki 100 mol tuz karışımı ve 100 mol tuza denk gelen $\text{H}_2\text{O}$ 'nun mol sayısı	59
Çizelge 8. $\text{CuSO}_4 - \text{CuCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ üçlü su-tuz sisteminin $0^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki yoğunluğu, viskozitesi, iletkenliği ve tuzluluğu	60

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Resim 1. Çalışmaların yapıldığı laboratuvar ortamı	iv
Resim 2. Sistemin araştırılmasında kullanılan özel cam düzenek	41
Resim 3. Sistemin araştırılmasında kullanılan piknometre	42
Resim 4. Cond 315İ/SET kondüktometri cihazı	42
Resim 5. Ultra termostatik banyolar	43
Resim 6. Otomatik büretler	43
Resim 7. Ostwald viskozimetresi	44

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>%</b>	: Yüzde
<b>°C</b>	: Sıcaklık (Celcius)
<b>T</b>	: Sıcaklık
<b>E</b>	: Ötonik nokta
<b>MP</b>	: Müşahide-Politermal yöntem
<b>EDTA</b>	: Etilendiamintetraasetik asit
<b>µS</b>	: mikrosiemens
<b>cm</b>	: Santimetre
<b>cm<sup>3</sup></b>	: Santimetreküp
<b>d</b>	: Yoğunluk
<b>dak</b>	: Dakika
<b>dm<sup>3</sup></b>	: Desimetreküp
<b>g</b>	: Gram
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>l</b>	: Litre
<b>M</b>	: Molarite
<b>m<sup>3</sup></b>	: Metreküp
<b>meg</b>	: Milieşdeğergram
<b>mg</b>	: Miligram
<b>mL</b>	: Mililitre
<b>mmol</b>	: Milimol
<b>µS</b>	: Mikrosaniye
<b>N</b>	: Normalite
<b>Pa</b>	: Paskal
<b>s</b>	: Saniye
<b>V</b>	: Hacim
<b>µg</b>	: Mikrogram
<b>nm</b>	: Nanometre
<b>µ</b>	: Viskozite
<b>N.S./m<sup>2</sup></b>	: Newton. Saniye/metrekare

## 1. GİRİŞ

Bileşimler ile fizikokimyasal özellikler arasındaki orantılara dayanılarak bir ve polibileşenli sistemlerin içinde yer alan kimyasal dönüşümlerin ve faz dengelerinin araştırılmasını amaçlayan fizikokimyasal analizin esasını 1913 yılında N. S. Kurnakov ve S. F. Jemçujniy ortaya koymuştur [1].

Ayrıca fizikokimyasal analizin teorik esasının geliştirilmesinde Gibbs'in fazlar kuralı, V. F. Alekseyev'in sıvıların karşılıklı çözünürlükleri [2], I.F. Shredder'in katıların erime sıcaklıkları, erime öz ısıları ve sıvılardaki çözünürlükleri arasındaki bağlantılar ve diğer araştırmaların çok büyük rolü olmuştur.

Jeokimya alanında doğal suların, organik kimyada organik moleküler bileşiklerin problemleri, tuz madenlerinin ve doğal minerallerin meydana gelmesinde denge hallerinin araştırılmasında fizikokimyasal analizin kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Van't Hoff [3], V. V. Markovnikov [4], Kablukov ve V. P. İlyinski başta olmak üzere birçok bilim adamının yaptığı çalışmaların tuz yataklarının araştırılmasındaki rolü büyük olmuştur [5].

Fizikokimyasal analiz terimi, sistemin herhangi bir özelliğine dayanılarak (çözünürlük, viskozite, yoğunluk, iletkenlik vb.) söz konusu sistemin bileşenlerinin birbirleri ile karşılıklı etkileşimlerini ortaya çıkarmak için kullanılan araştırma yöntemlerinin bütünüdür ifade eder.

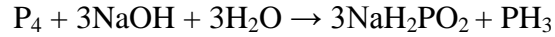
Fizikokimyasal analiz yöntemleriyle birçok göl, deniz ve yeraltı su kaynaklarının ihtiva ettikleri tuzlar esasında kurulmuş olan üçlü, dördü ve beşli su-tuz sistemlerinin araştırılması yapılarak çizilen "Bileşim-Özellik" diyagramları esas alınıp birçok değerli kimyasal maddelerin elde edilmesi, geri kazanılması, karışımlardan ayrılması ve teknolojik üretimi gerçekleştirilmiştir.

Hazar denizi Kara-Boğazgöl sularından mirabilit kristal hidrat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) kristallerinin ayrılması,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  //  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  //  $\text{H}_2\text{O}$  dördü karşılıklı su-tuz sisteminde çözünürlüğün ve denge fazlarının fizikokimyasal yöntemlerle araştırılması sonucu mümkün olmuştur [6].



Ayrıca, kimya endüstrisinde Solvay teknolojik süreci adı ile bilinen sodanın  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  üretiminde son ürünün verimini yükseltebilmek için  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+ / \text{Cl}^-$ ,  $(\text{HCO}_3)^- // \text{H}_2\text{O}$  dörtlü karşılıklı su-tuz sistemi üzerinde fizikokimyasal yöntemler kullanılarak bir araştırma gerçekleştirilmiştir [7, 8].

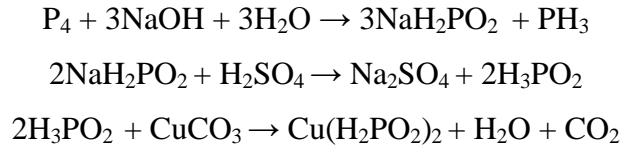
Son araştırmalar fizikokimyasal analiz yöntemlerinin bir başka yönde de kullanıldığını ortaya çıkarmıştır. Bilindiği gibi Anorganik Kimya'da bazı elementlerin bazı kimyasal bileşiklerinin elde edilişi çok basamaklıdır ve bundan dolayı da pahalı olduklarından kullanım alanları pek gelişmemiştir. Hipofosfitler de böyle bileşiklerdendir. Hipofosfitler, hipofosforöz asidin tuzları olmak üzere kuvvetli bazların sıcak çözeltileri ile fosforun karşılıklı etkileşmesi sonucu elde edilmektedir [9].



Bu yöntem hidroksitleri suda çözünebilir diğer elementler için de geçerlidir:

$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_2$  ve  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_2$  gibi [10, 11].

$\text{Mn}(\text{OH})_2$  veya  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  gibi hidroksitleri suda çözünmeyen elementlerin hipofosfitlerinin elde edilişi genel olarak çok basamaklı yöntemle gerçekleştirilir [12].



Bu şekilde, çok basamaklı yöntemlerle elde edilen hipofosfitler pahalı olup, kullanım alanları pek gelişmiş değildir. Bu sorunun ortadan kaldırılabilmesi için, daha kolay ve pratik olabilecek bir yöntemin hazırlanması gerekmektedir. Bunun için,  $\text{NaH}_2\text{PO}_2$  veya  $\text{KH}_2\text{PO}_2$  gibi ucuz hipofosfitler ile  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{CuCl}_2$  ve  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  gibi bakırın iyi çözünebilir ve ucuz olan tuzları arasındaki yer değiştirme tepkimelerine dayanan, daha kolay ve pratik olabilecek bir yöntem hazırlanabilir. Böyle bir yöntemin fizikokimyasal esaslarının hazırlanabilmesi için üçlü karşılıklı  $\text{A}^+$ ,  $\text{Cu}^{+2} // \text{X}^-$ ,  $(\text{H}_2\text{PO}_2)^- // \text{H}_2\text{O}$  su-tuz sistemleri

üzerinde fizikokimyasal analiz yöntemleri kullanılarak faz dengeleri araştırılmıştır.

Önerilen bu tez çalışmasında  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cu}^{++}$  /  $\text{Cl}^-$ ,  $(\text{H}_2\text{PO}_2)^- // \text{H}_2\text{O}$  dördü karşılıklı su-tuz sisteminin bünyesinde yer alan  $\text{CuSO}_4$  -  $\text{CuCl}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  üçlü sisteminin, fizikokimyasal yöntemlerle çözünürlüğü ve faz dengeleri, sıvı fazların yoğunluğu, viskozitesi, iletkenliği ve tuzluluğunun araştırılması amaçlanmıştır.

Elde edilen sonuçlara ait diyagramların sistemdeki tuzların daha kısa sürede ve daha ekonomik olarak elde edilmesi amacıyla ve ayrıca bu tuzları içeren atık suların arıtılmasında, sanayi atıklarına ait katı ve sıvı atıklarının arıtılmasında, bahsi geçen tuzların geri kazanımında kullanılabileceği öngörülmüştür.

## **2.GENEL BİLGİLER**

### **2.1. Su-Tuz Sistemlerinin Araştırılmasında Kullanılan Fizikokimyasal Yöntemler**

Denge halinde bulunan su-tuz sistemlerinde çözünürlüğün, sıvı fazın viskozite, yoğunluk, iletkenlik ve tuzluluk gibi özelliklerini, dengede bulunan katı fazların bileşimini ve fazların sınırlarını araştırmak için aşağıdaki fizikokimyasal yöntemler kullanılmaktadır.

#### **2.1.1. İzotermal Yöntem**

İzotermal yöntem Rozeboum'un, Schreinemakers ve Van't Hoff'un yaptıkları çalışmaların sonucu olarak meydana gelmiştir. Bu yöntem N. S. Kurnakov'un, S. F. Jemchujnaya'nın ve diğerlerinin çalışmaları ve araştırmaları esasında daha da geliştirilerek geniş sıcaklık aralığında uygulanmıştır [2, 13].

Çözünürlüğün bu yöntemle tayini için, elektro termostat ve söz konusu su-tuz sistemi içeren cam malzemelerden hazırlanmış olan özel bir düzenek kullanılır.

Çözeltinin, katı faz ile denge haline daha kısa bir süre içerisinde getirilebilmesi için 600-900 devir/dakika hızla dönen elektro-karıştırıcı ile karıştırılması gerekir.

Sıcaklığı sürekli olarak sabit tutabilmek için sisteme ısı verilerek/alınarak çözelti karıştırılır.

Termostat genel olarak düşük sıcaklıklar için su ile yüksek sıcaklıklar için ise mineral yağ ile doldurulur. Su-tuz sisteminin araştırılmasında kullanılan cam kabın iki kısmı vardır; 100 - 150 ml hacminde olan alt kısmına araştırılan su-tuz karışımı konulur ve üst kısmına çözeltinin hava ile temasını kaldırmak için civa veya mineral yağ konulur.

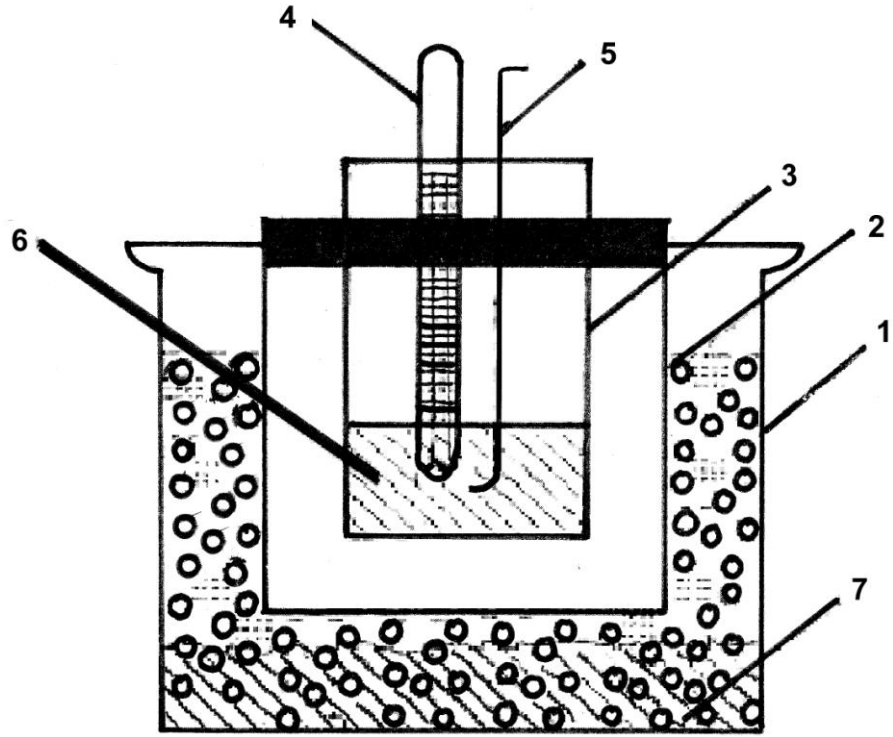
Çözünürlüğün tayininde karıştırma süresi, tuzların fizikokimyasal özelliklerine ve sistemin denge haline varma süresine bağlı olarak değişir. Genel olarak karıştırma süresi birkaç saat, bazen birkaç gün veya hafta olabilir. Su-tuz sisteminin araştırılması genel olarak aşağıdaki gibi yapılır, kabın alt kısmına 50-70 ml saf su konulur ve sonra iki tuzdan birinin kristalleri ilave edilerek, sistem denge haline varana kadar karıştırılır.

Belli bir süre sonra tuzun çözünürlüğünün tayini için kaptaki çözeltilerden numune alınır, üzerinde gereken tayinler ve ölçümler yapıldıktan sonra kaptaki çözeltilere ikinci tuzun

kristalleri ilave edilip, sabit sıcaklıkta sistem denge haline gelene kadar karıştırılır ve katı fazın sıvı fazdan ayrılıp çökebilmesi için 20-30 dakika bekletilir. Sonra kaptaki sıvı fazdan pipetle 2-3 ml numune alınıp uygun analitik yöntemlerle çözeltinin bileşimi tayin edilir. Bununla beraber elektro termostatta aynı sıcaklıkta bulunan söz konusu sıvı fazın viskozite, yoğunluk, iletkenlik ve tuzluluk ölçümleri de gerçekleştirilir. Daha sonra sıvı faz ile dengede bulunan katı fazdan bir miktar numune alınıp, süzgeç kağıdı arasında kurutulup tartıldıktan sonra kimyasal analizi yapılarak bileşimi tayin edilir. Bu işlemlerden sonra, sisteme ikinci bileşenin kristallerinden bir miktarı ilave edilip kullanılan analiz, ölçüm ve tayinler yeniden tekrarlanır. Bu işlemler sistemin sıvı fazının her iki bileşenle doyum hale gelmesiyle yani ötonik noktaya ulaşmasıyla son bulur.

### **2.1.2. Müşahide-Politermal (MP) Yöntem**

MP yöntemi çözeltinin soğutulması sırasında çözünmüş olan tuzun ilk kristallerinin meydana gelmesinin ve çözeltinin ısıtılması sırasında ise son kristallerinin kaybolmasının gözlenmesine dayanmaktadır. MP yönteminin gerçekleştirilmesi için aşağıda gösterilen düzenek kullanılır (Şekil 1).



**Şekil 1:** Su-tuz sistemin MP yöntemiyle araştırılması için kullanılan düzenek

Burada, 1- Termostat, 2- Çözelti konulan kabın dış tüpü, 3- Çözelti konulan kabın iç tüpü, 4- Termometre, 5- Cam veya platinden hazırlanmış karıştırıcı, 6- Araştırılan su-tuz sistemi, 7- Soğutucu karışımıdır.

İç-içe yerleştirilmiş olan iki tüpten (tüpler arasındaki hava tabakası, soğuma ve ısınma sürecinin yavaş ve sabit bir hızla yürümesini sağlar) oluşturulan çözelti kabının iç tüpüne cam karıştırıcı ile 0,1 – 0,2°C hassasiyetinde bir termometre yerleştirilir. Cihaz soğutulmak üzere soğutucu karışım ile doldurulmuş olan termostata yerleştirilir.

Sıcaklığı  $-15^{\circ}\text{C}$  ye kadar düşürebilmek için soğutucu karışım olarak “buz + sodyum klorür kristalleri” ve daha düşük sıcaklıklar elde edebilmek için ise hava, sıvı azot, “aseton + katı karbondioksit” ve diğer soğutucu karışımlar kullanılmaktadır. Çözeltinin hazırlanması sırasında gereken su ve tuz miktarları 0,0001 g hassaslığı ile analitik terazilerde tartılır. Çözelti devamlı olarak soğutulduğunda ve sürekli olarak karıştırıldığında çok küçük kristallerin meydana gelmesi sonucu denge haline kısa bir

zamanda varılabilir. Bu tür kristaller denge veya sıcaklık değişimine daha hassas olduklarından dolayı bir deneysel noktanın tayini 20-30 dakikadan fazla sürmez. Buna göre MP yöntemin kullanılmasıyla araştırma için harcanacak olan süre “izotermal” yönteme göre 10-15 defa kısaltılabilir.

MP yöntemle elde edilmiş deneysel sonuçlar (ilk kristallerin meydana gelmesi veya son kristallerin kayıp olması sıcaklıkları) çözeltinin derişimlerine uygun bir şekilde milimetrik kağıt üzerine aktarılarak bir “Bileşim-Özellik” diyagramı kurulabilir [13].

### **2.1.3. Diğer Yöntemler**

#### **2.1.3.1. Termografik Metot**

Bu metotla katı-katı sistemlerin eriyiklerinin soğuma eğrileri elde edilir. Bu eğriler üzerindeki ötektik ve geçiş noktalarında sıcaklık durakları meydana gelir. Daha sonra, elde edilmiş soğuma veya ısınma eğrilerine dayanarak sistemin bileşim-sıcaklık diyagramı kurulur [14].

#### **2.1.3.2. Elektrik İletkenliği Metodu**

Bu metot çözeltinin elektrik iletkenliğinin veya elektrik direncinin ölçümüne dayanır.

#### **2.1.3.3. Viskozimetre Yöntemi**

Bu yöntem ile derişimin ve bileşimin değişimine bağlı olarak dengede bulunan çözeltilerin viskoziteleri tayin edilir. Genel olarak Ostwald viskozimetresi kullanılır. Tayini yapmak için viskozimetre araştırılan çözelti ile aynı sıcaklıkta bulunan termostata yerleştirilir. Aynı sıcaklıkta önce saf suyun sonrada numunenin akış süresi tayin edilir. Hesaplama Poise formülüne dayanarak yapılır:

$$N_x = \frac{N_{H_2O} \cdot t_x \cdot d_x}{t_{H_2O} \cdot d_{H_2O}}$$

burada

N= viskozite katsayısı (santipuaaz)

t= akma süresi (saniye)

d= yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)

#### 2.1.3.4. Yoğunluk Tayin Yöntemi

Bu metot dengedeki çözeltinin yoğunluğu tayinine dayanmaktadır. Tayini yapmak için 5-10 ml hacmi olan piknometre kullanılır. Piknometreye hacminden az fazla saf su alınıp çalışılan sıcaklığa getirilerek hacim çizgisine kadar ayarlandıktan sonra tartılır. Daha sonra aynı işlem çözelti için gerçekleştirilir. Hesaplama aşağıdaki formüle göre yapılır.

$$d_{\text{çöz}}^{(t)} = \left( \frac{m_{\text{çöz}} - m_0}{m_{\text{H}_2\text{O}} - m_0} \right) \cdot d_{\text{H}_2\text{O}}^{(t)}$$

$m_{\text{çöz}}$  = çözelti ile dolu piknometrenin tartısı

$m_{\text{H}_2\text{O}}$  = distile su ile dolu piknometrenin tartısı

$m_0$  = boş piknometrenin tartısı

$$d_{\text{H}_2\text{O}}^{(t)} = \text{(t) sıcaklığındaki suyun yoğunluğu (g/ml)}$$

#### 2.1.3.5. Tuzluluk Tayin Yöntemi

Bu metod çözeltinin tuzluluğunun ölçülmesine dayanır.

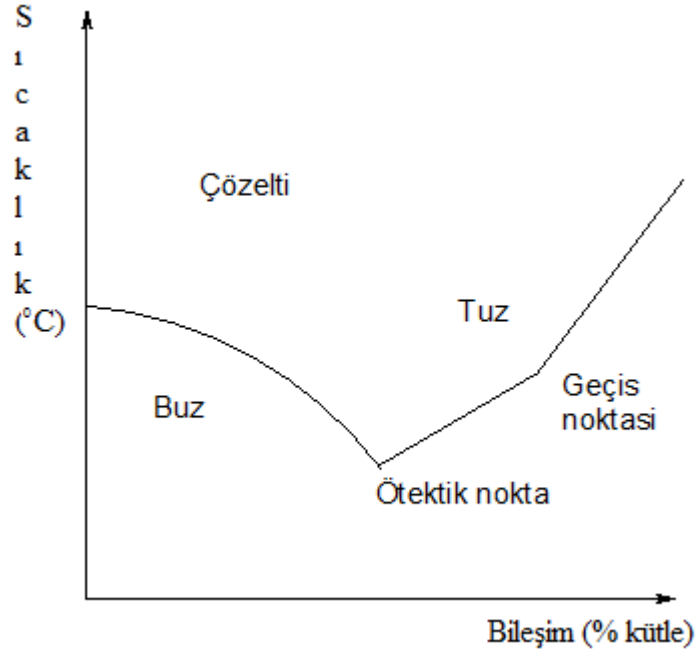
Tuzluluk: 1 kilogram numunedeki tüm karbonatlar okside, bromür ve iyodürler klorüre dönüştürüldükten, maddeler yükseltgendikten sonra geriye kalan maddenin 480 °C'de sabit tartıma getirilerek sonra elde edilen kütlesi gram olarak ağırlığıdır [15].

## 2.2. Çözünürlük Diyagramları

Sulu çözeltilerde tuzların meydana getirdikleri katı fazların denge halleri ile ilgili çalışmalar en iyi diyagramlar ile gösterilebilmektedir. Bileşim-özellik diyagramları aşağıda belirtilen yöntemlerle grafiğe aktarılır.

### 2.2.1. İkili Sulu Sistemlerin Çözünürlük Diyagramları

İkili sistemlerin denge halleri düzlem üzerinde; apsis oku üzerinde % bileşim, ordinat oku üzerinde ise sıcaklık gösterilerek çizilir (Şekil 2).



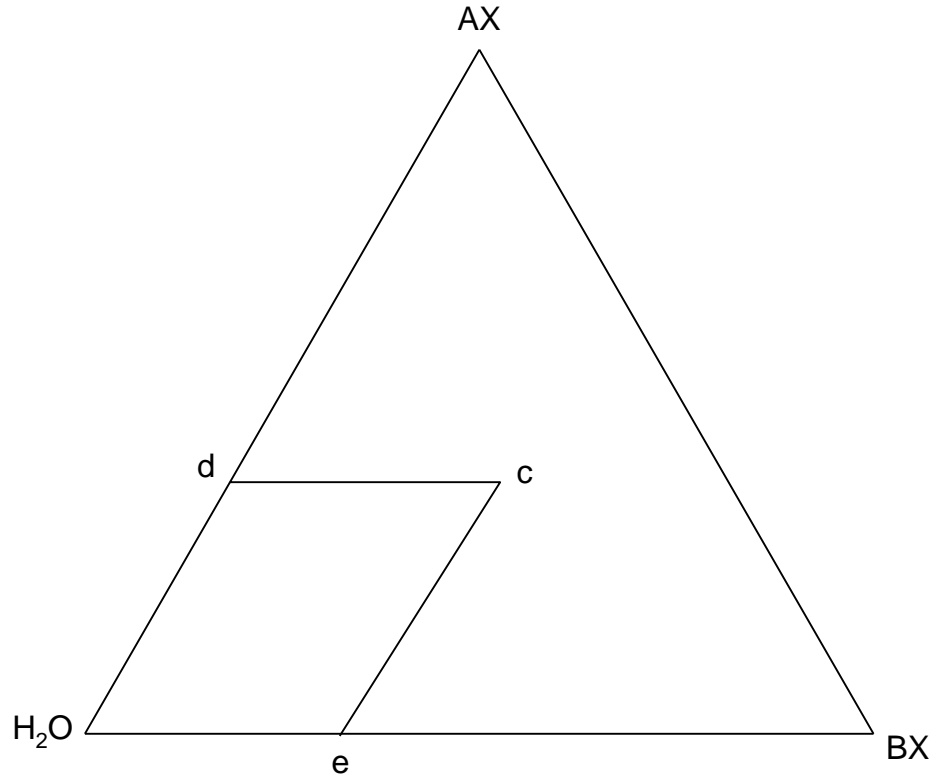
Şekil 2: İkili sistemin çözünürlüğünün politermi



## 2.2.2. Üçlü Sulu Sistemlerin Çözünürlük Diyagramları

### 2.2.2.1. Gibbs Yöntemi

Sistemin çözünürlüğünü Gibbs yöntemi ile gösterebilmek için  $H_2O$  ve iki tuz (AX ve BX) yer alan eşkenar üçgen kullanılır (Şekil 3). AX tuzunun miktarı  $H_2O$  - AX kenarı üzerindeki **d** ile BX tuzunun miktarı ise  $H_2O$  - BX kenarına paralel olan ve diyagram üzerinde yer almış olan **d** noktasından başlayan doğru hat üzerindeki **e** ile gösterilir. Üçgen içinde verilmiş olan her hangi bir **c** test noktasına uygun gelen sistemin bileşimini gösterebilmek için bu noktadan sistemin kenarlarına paralel hatlar çizilir ve elde edilen kesişme noktaları olan **d** noktası AX tuzunun **e** noktası ise BX tuzunun çözünürlüklerini gösterir.

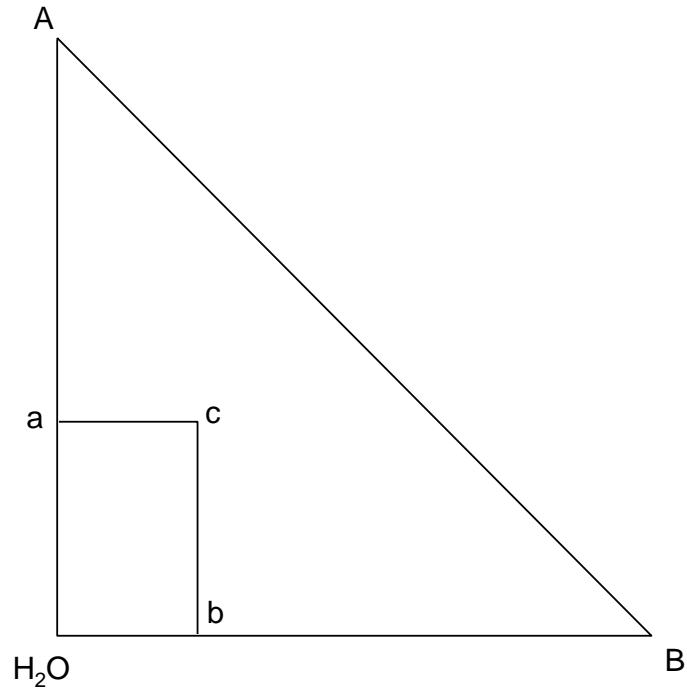


**Şekil 3:** Üçlü sistemin bileşiminin Gibbs yöntemiyle gösterimi

### 2.2.2.2. Rozeboum Yöntemi

Sistemin çözünürlüğünü Rozeboum yöntemi ile gösterebilmek için, eşkenar üçgen değil dik üçgen kullanılır. Diyagramın  $90^\circ$  olan köşesinde  $H_2O$  yer almakta,  $H_2O - AX$  ve  $H_2O - BX$  kenarları üzerinde ise sırasıyla  $AX$  ve  $BX$  tuzlarının saf sudaki çözünürlükleri yer almaktadır (Şekil 4).

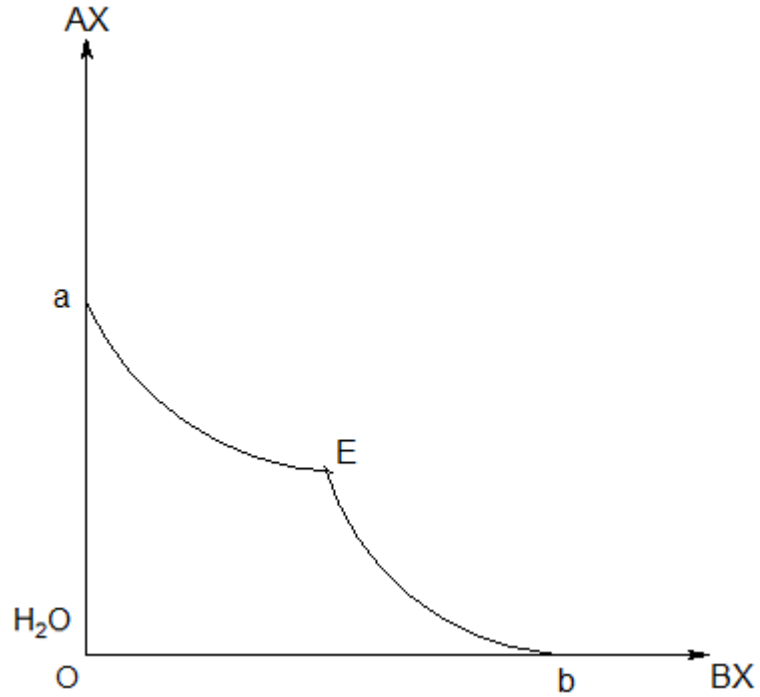
$AX$  tuzunun miktarı  $H_2O - AX$  kenarı üzerindeki **a** ile  $BX$  tuzunun miktarı ise  $H_2O - BX$  kenarı üzerindeki **b** noktası ile üçgen içindeki **c** noktası ise  $AX - BX - H_2O$  sisteminin bileşimini göstermektedir [13].



**Şekil 4:** Üçlü sistemin bileşiminin Rozeboum yöntemi ile gösterimi

### 2.2.2.3. Schreinemakers Yöntemi

Sistemin çözünürlüğünü Schreinemakers yöntemi ile gösterebilmek için, apsis-ordinat koordinat sistemi kullanılır. Apsis oku üzerindeki **b** noktası BX tuzunun derişimini, ordinat oku üzerindeki **a** noktası ise AX tuzunun derişimini göstermektedir. Bu yöntemde AX ve BX tuzlarının miktarları 100 mol suya denk gelen tuzların mol sayıları şeklinde ifade edilmektedir (Şekil 5).



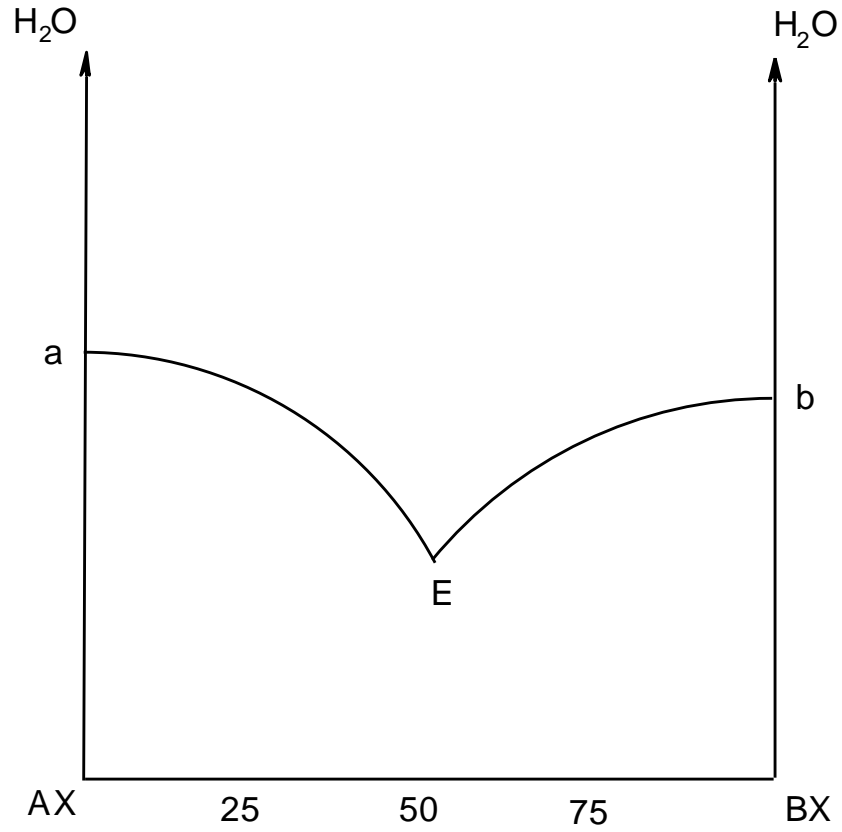
**Şekil 5:** Üçlü sistemin bileşiminin Schreinemakers yöntemiyle gösterimi

Bu diyagramda ötonik nokta olarak belirtilen E noktası, sistemin sıvı fazının, AX ve BX tuzlarının her ikisi ile de doygun durumda olduğunu gösterirken, her iki tuzun katı faz ile de dengede bulunduğunu göstermektedir [13].

#### 2.2.2.4. Yeneke Le-Chatelier Yöntemi

Yeneke-Le Chatelier yönteminde araştırılan AX – BX - H<sub>2</sub>O sisteminin bileşimi apsis oku üzerinde çözülmüş tuzların toplam miktarı 100 mol alınarak belirlenir. Bunun için AX noktasından BX noktasına doğru BX tuzunun miktarı, BX noktasından AX noktasına doğru ise AX tuzunun miktarı gösterilir.

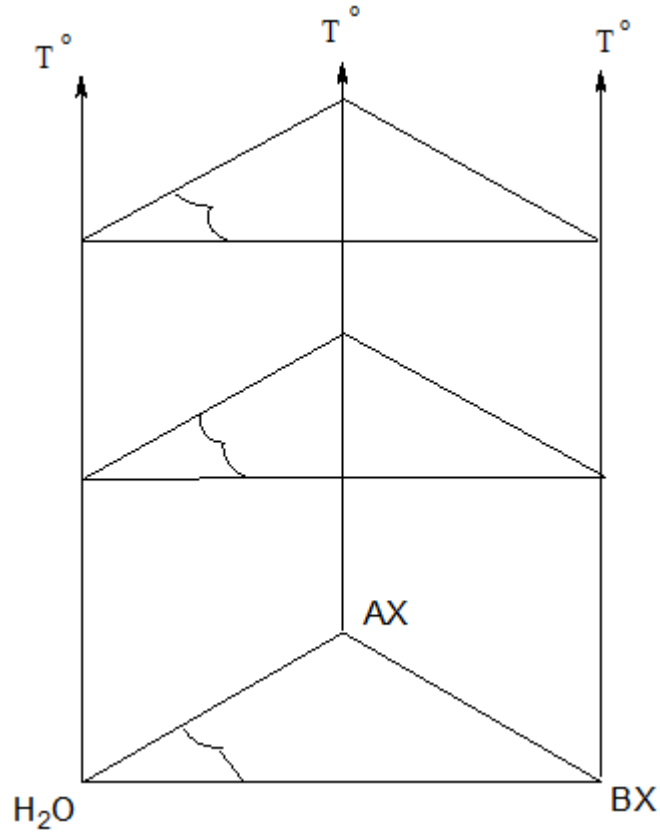
Ordinat oku üzerinde sistemin her bir test noktası 100 mol tuz karışımına uygun gelen suyun mol sayısını, a-E-b çözünürlük eğrisi ile apsis oku arasındaki saha katı faz ile dengede bulunan çözeltileri, a-E-b çözünürlük eğrisinin yukarı kısmında kalan alan ise tuzlarla doymayan çözeltilerini göstermektedir (Şekil 6) [13].



**Şekil 6:** Üçlü sistemin bileşiminin Yeneke yöntemiyle gösterimi

### 2.2.2.5. Üçlü Sistemlerin Çözünürlük Politermleri

Bu tür politermlerin düzlem üzerinde gösterilmesi olanaksızlığından dolayı, değişik sıcaklıklarda iki tuzun oluşturdukları sulu çözeltilerde denge halini gösterebilmek için uzay diyagramlarından yararlanmak gerekir. Bunun için mevcut iki ok üzerine sıcaklığı gösteren üçüncü bir ok da ilave edilmelidir. Sonuçta bir üç kenarlı prizma elde edilir. Bu prizmanın tabanı bileşimi dikey oklar ise sıcaklık oklarını ifade eder (Şekil 7).



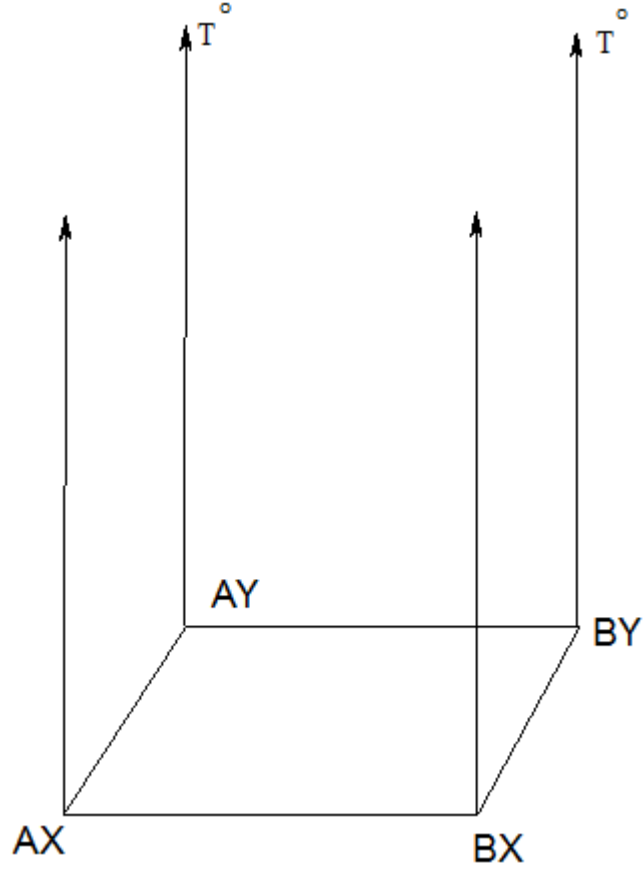
**Şekil 7:** Üçlü sistemin politerminin gösterimi

Üçlü sistemin belli sıcaklık aralıklarındaki izotermi araştırarak ve elde edilen bu izotermi prizma içerisinde yerleştirerek üç boyutlu bir diyagram oluşturulur.

Ancak kolaylık sağlamak açısından genellikle çözünürlük eğrilerinin kristallenme alanlarının ve geçiş noktalarının prizmanın tabanı üzerine yapılan izdüşümleri kullanılır,

### 2.3. Üçlü Karşılıklı Sistemlerin Çözünürlük Diyagramları

$AX+BY$  ve  $AY+BX$  karşılıklı çift tuzların bileşenlerinin karşılıklı etkileşmesini yansıtan üçlü karşılıklı sistemler dörtgen prizma şeklinde gösterilir (Şekil 8).



**Şekil 8:** Üçlü karşılıklı sistemin bileşiminin dörtgen prizma yöntemiyle gösterimi

Bu prizmanın tabanı karşılıklı sistemin bileşimini, dikey oklar ise sıcaklığı göstermektedir .

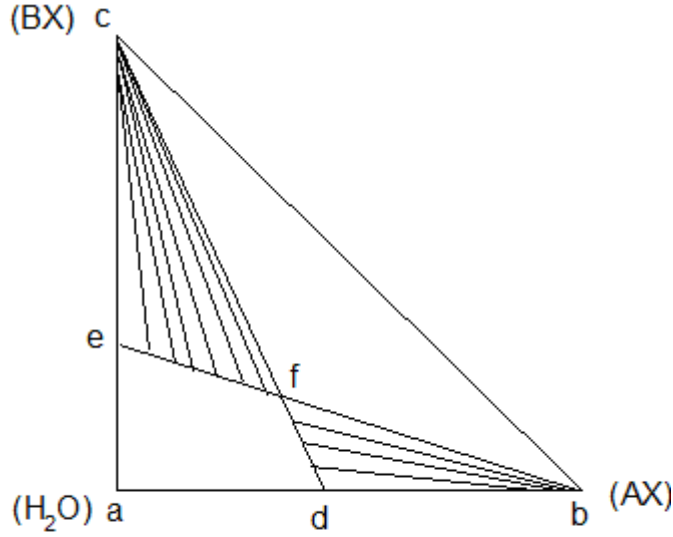
### 2.3.1. AX-BX-H<sub>2</sub>O Üçlü Su-Tuz Sistemlerin Faz Diyagramları

Her tuz doygunluk derişimine ulaşıncaya kadar az veya çok su içinde çözüdür. Çözünürlük adı verilen doygunluk derişimine ulaşıldığında daha fazla eklenen tuz çözünmeyerek saf katı faz olarak kabın dibine çöker. Sabit sıcaklık ve sabit basınçta çözeltildeki tuzun kimyasal potansiyeli saf katı tuzun kimyasal potansiyeline eşit olduğunda çözünürlük dengesi kurulur. Karışıma eklenen ikinci bir tuz birinci tuzun sudaki çözünürlüğünü etkilemektedir. Birinci tuz ile doygun bir çözeltilye ikinci tuz eklenmeye devam edildiğinde belli bir süre sonra çözeltil ikinci tuz ile doygun hale gelir. Tersine, karışıma eklenen birinci tuz da ikinci tuzun sudaki çözünürlüğünü değiştirmektedir. Tuzlardan biri ile doygun çözeltil yalnız bu tuzun kristalleri ile termodinamik denge halinde bulunduğu halde, tuzlardan ikisi ile de doygun çözeltil iki tuzun kristalleri ile termodinamik denge halindedir. Karışan tuzların anyon ve kationlarının benzerlik ya da farklılıklarına bağlı olarak karışımın bazı bileşimlerinde hidrat, çift tuz ve hidrat halindeki çift tuz oluşumlarına rastlanır. Hidrat, tuzlardan biri ile su arasındaki bir kimyasal bileşik; çift tuz, iki tuz arasındaki bir kimyasal bileşik; hidrat halindeki çift tuz ise çift tuz ile su arasındaki bir kimyasal bileşiktir. Özellikleri yukarıda sıralanan bu türden bazı üçlü su-tuz sistemlerin diyagram türleri aşağıda gösterilmiştir. Bu faz diyagramlarında **a** suyu (H<sub>2</sub>O) **b** ve **c** ise (AX) ve (BX) tuzlarını simgelemektedir. Aynı diyagramlardaki **h** noktaları oluşan hidratları, **k** noktası oluşan çift tuzu, **m** noktası ise hidrat halindeki çift tuzları göstermektedir [16]. Diyagramların sırasıyla daha ayrıntılı bir şekilde incelemesi aşağıda verilmiştir.

### 2.3.2. AX – BX - H<sub>2</sub>O Üçlü Su-Tuz Sisteminin Hidratlar ve Çift Tuz Oluşmamış Hali

Bu faz diyagramında görülen **d** noktası saf **b** (AX) tuzunun sudaki çözünürlüğünü, **e** noktası ise saf **c** (BX) tuzunun sudaki çözünürlüğünü göstermektedir. Diyagramdaki **df** eğrisi **b** tuzu ile doygun çözeltilyi, **ef** eğrisi **c** tuzu ile doygun çözeltilyi, **f** noktası ise her iki tuz ile doygun çözeltilyi göstermektedir. Buna göre **bdfb** bölgesinde saf **b** tuzu ve bu tuz ile doygun çözeltil olmak üzere iki faz, **cefc** bölgesinde ise saf **c** tuzu ve bu tuz ile doygun çözeltil olmak üzere yine iki faz bulunmaktadır. Bu iki faz arasındaki denge

doğruları bir yelpaze görünümündedir. Diyagramdaki **fbcf** bölgesinde her iki tuz ile doymun olan **f** çözeltisi ile saf **b** ve saf **c** tuzlarının heterojen karışımı bulunmaktadır. Su oranının yüksek olduğu **adfea** bölgesinde ne **b** tuzu ne de **c** tuzu ile henüz doymamış çözelti bulunmaktadır.



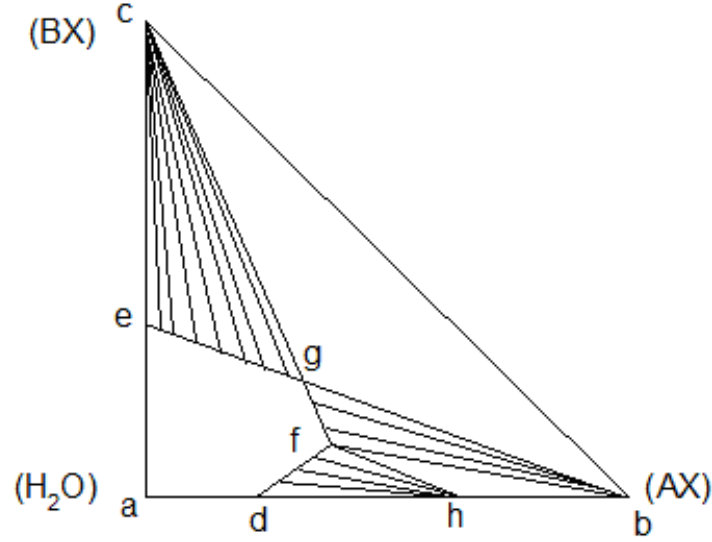
**Şekil 9:** AX – BX - H<sub>2</sub>O üçlü su-tuz sisteminin hidratlar ve çift tuz oluşmamış halinin diyagramı

### 2.3.3. AX – BX - H<sub>2</sub>O Üçlü Su-Tuz Sisteminde b (AX) Tuzunun Hem Hidrat Hem de Hidratsız İki Faz Oluşturmuş Hali

Diyagramın **ab** kenarı üzerindeki **h** kutup noktası **b** tuzunun su ile hidrat oluşturduğunu gösterir. Bu noktadan okunan su ve tuz miktarlarından sabit oranlar yasası uyarınca **h** hidratının kimyasal formülü bulunur. Buna göre **d** noktası saf hidratın sudaki çözünürlüğünü, **e** noktası ise saf **c** tuzunun sudaki çözünürlüğünü göstermektedir. Diyagramdaki **df** eğrisi yalnızca **h** hidratı ile doymun çözeltiyi, **fg** eğrisi yalnızca **b** tuzu ile doymun çözeltiyi, **eg** eğrisi yalnızca **c** tuzu ile doymun çözeltiyi, **f** noktası hem **h** hidratı ve hem de **b** tuzu ile doymun çözeltiyi, **g** noktası ise hem **b** tuzu ve hem de **c** tuzu ile doymun çözeltiyi göstermektedir. Su oranının yüksek olduğu **adfg** bölgesinde ne **h** hidratı; ne **b** tuzu ve ne de **c** tuzu ile henüz doymamış çözelti bulunmaktadır. İki fazlı olan **hdfh** bölgesinde **h** hidratı ve yalnızca bu hidratla doymun olan **df** çözeltisi, **bfgh**



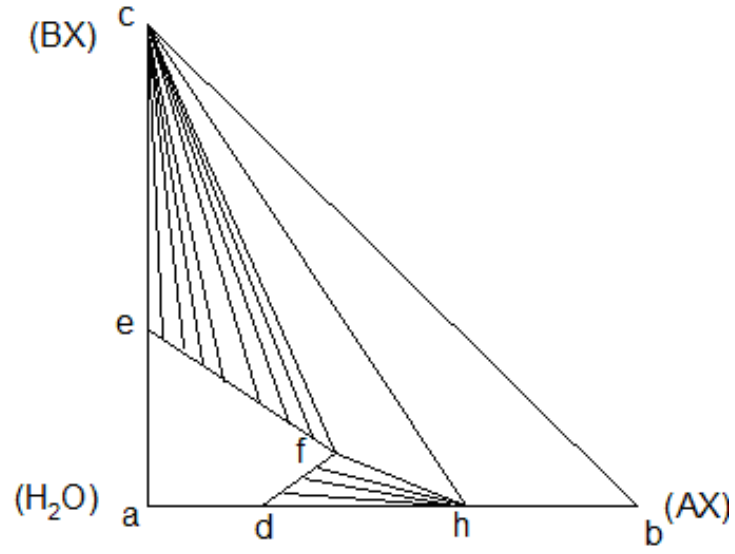
bölgesinde saf **b** tuzu ve yalnızca bu tuz ile doymun olan **fg** çözeltisi, **cegc** bölgesinde ise saf **c** tuzu ve yalnızca bu tuz ile doymun olan **eg** çözeltisi bulunmaktadır. Üç fazlı olan **bhfb** bölgesinde saf **b** tuzu, saf **h** hidratı ve bunların ikisi ile de doymun olan **f** çözeltisi, **bcgb** bölgesinde ise saf **b** tuzu, saf **c** tuzu ve bunların ikisi ile de doymun olan **g** çözeltisi bulunmaktadır.



**Şekil 10:** AX – BX - H<sub>2</sub>O üçlü su-tuz sisteminde b (AX) tuzu hem hidrat hem de hidratsız iki faz oluşturmuş hali diyagramı

#### 2.3.4. AX – BX - H<sub>2</sub>O Üçlü Su-Tuz Sisteminde b (AX) Tuzunun Hidrat Oluşturmuş Hali

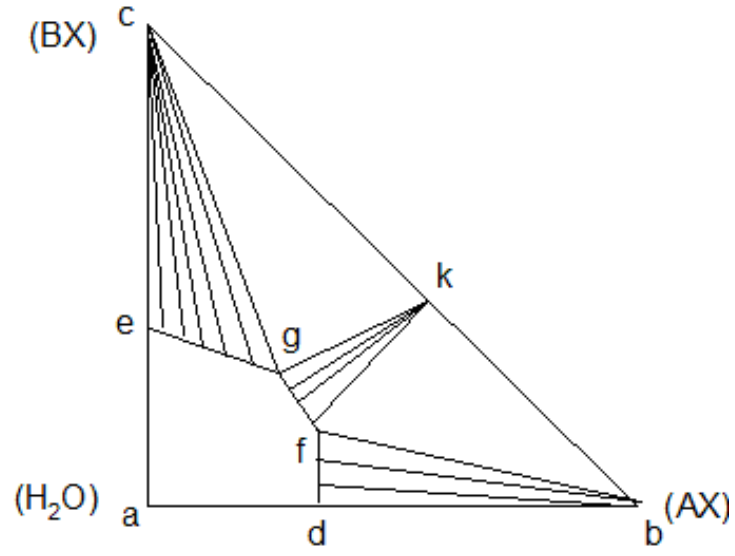
Bir önkeline çok benzeyen bu diyagramdaki **f** noktası hem **h** hidratı ve hem de **c** tuzu ile doymun çözeltiyi göstermektedir. Diğer bölgeleri önkeli diyagramlardaki gibi değerlendirilen bu diyagramın önkelerde bulunmayan **fhcf** bölgesinde saf **h** hidratı, saf **c** katısı ve bunların ikisi ile doymun **f** çözeltisi, **hbch** bölgesinde ise saf **h** hidratı, saf **b** katısı ve saf **c** katısının heterojen karışımı bulunmaktadır.



**Şekil 11:** AX – BX - H<sub>2</sub>O üçlü su-tuz sisteminde b (AX) tuzunun hidrat oluşturmuş hali diyagramı

### 2.3.5. AX – BX - H<sub>2</sub>O Üçlü Su-Tuz Sisteminde b (AX) ve c (BX) Tuzlarının Çift Tuz Oluşturmuş Halleri

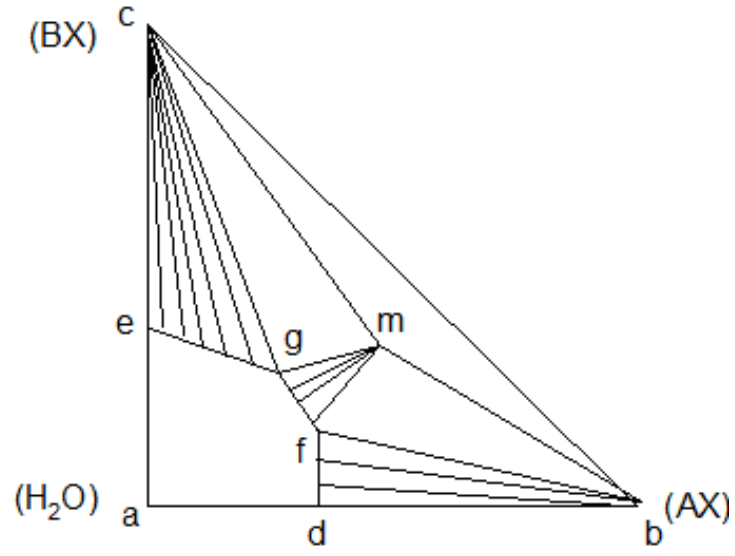
Diyagramın **bc** ekseninde görülen **k** noktasındaki kutuptan **b** ve **c** tuzları arasında çift tuz adı verilen yeni bir kimyasal bileşiğin oluştuğu anlaşılmaktadır. Tuzların kütlelerinin birbirine oranı **k** noktasından okunarak sabit oranlar yasası uyarınca çift tuzun formülü bulunur. Önceki faz diyagramlarından farklı olarak ortaya çıkan iki fazlı **kfgk** bölgesindeki saf **k** çift tuzu bunların ikisi ile de doymun olan **f** çözeltisi, diğer üç fazlı **gkcg** bölgesinde ise saf **k** çift tuzu, saf **c** tuzu ve bunların ikisi ile de doymun olan **g** çözeltisi bulunmaktadır.



**Şekil 12:** AX – BX - H<sub>2</sub>O üçlü su-tuz sisteminde b (AX) ve c (BX) tuzları çift tuz oluşturmuş hallerinin diyagramı

### 2.3.6. AX – BX - H<sub>2</sub>O Üçlü Su-Tuz Sisteminde b (AX) İle c (BX) Tuzlarının Meydana Getirdikleri Çift Tuz Hidrat Oluşturmuş Halleri

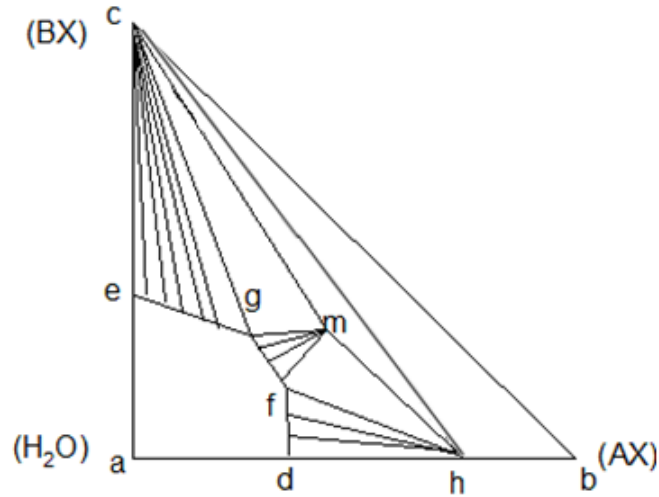
Üçgenin içindeki **m** noktası hidratı halinde bir çift tuzun oluştuğunu göstermektedir. İncelenen diyagramlardakilerden farklı görünen iki fazlı **mfgm** bölgesinde saf **m** çift tuz hidratı ve yalnızca bununla doymun olan **fg** çözeltisi vardır. Üç fazlı olan **fbmf** bölgesinde saf **b** katısı, saf **m** çift tuz hidratı, saf **c** tuz ve bunların ikisi ile de doymun olan **f** çözeltisi; **gmcg** bölgesinde saf **m** çift tuz hidratı, saf **c** tuzu ve bunların ikisi ile de doymun olan **g** çözeltisi; **mbcm** bölgesinde ise saf **m** çift tuz hidratı, saf **b** tuzu ve saf **c** tuzu bulunmaktadır. Diyagramda **m** ile simgelenen çift tuz hidratının bileşen analizinden sabit oranlar yasası ile kimyasal formülüne gidilebilir.



**Şekil 13:** AX – BX - H<sub>2</sub>O üçlü su-tuz sisteminde b (AX) ile c (BX) tuzlarının meydana getirdikleri çift tuz hidrat oluşturmuş halleri diyagramı

### 2.3.7. AX – BX - H<sub>2</sub>O Üçlü Su-Tuz Sisteminde b (AX) İle c (BX) Tuzlarının Meydana Getirdikleri Çift Tuz ve b (AX) Tuzunun Hidratlar Oluşturmuş Halleri

Diyagramdaki **h** ve **m** noktaları yukarıda değinildiği gibi sırayla **b** tuz ve çift tuzun hidratlarının oluştuğunu göstermektedir. Diğerlerinden biraz farklı görülen **mhcm** bölgesinde saf **m** çift tuz hidratı, saf **h** ve saf **c** tuzu, **f** bölgesinde ise saf **h** hidratı ve saf **m** çift tuz hidratı ile bunların ikisi ile de doymuş olan **f** çözeltisi bulunmaktadır. Çözünürlük sıcaklığa bağlı olduğundan sıcaklık değiştiğinde faz diyagramında görülen **d**, **e**, **f** ve **g** noktalarının yerleri de değişir. Değişen sıcaklıkla hidrat, çift tuz, çift tuz hidratları oluşmayabilir ya da ortadan kalkabilir. Bu nedenle faz diyagramlarının hangi sıcaklıkta çizildiği kesin olarak belirtilmelidir. Bu tür sistemlerde basıncın önemli bir etkisi olmamaktadır.



**Şekil 14:** AX – BX - H<sub>2</sub>O üçlü su tuz sisteminde b (AX) ile c (BX) tuzlarının meydana getirdikleri çift tuz ve b (AX) tuzu hidratlar oluşturmuş halleri diyagramı

## 2.4. Bakır(II) Tuzlarının Elde Ediliş Yöntemleri ve Özellikleri

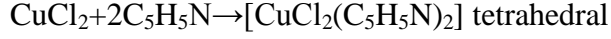
### 2.4.1. Bakır(II)Klorür-CuCl<sub>2</sub>

Bakır(II)Klorür'ün susuz formu kahverengi-sarı monoklinik kristaller şeklindedir. Nemli havada ışığa maruz kaldığında dihidrat formuna dönüşür. Yoğunluğu 3,40 g/mL ve erime noktası bozunmayla 630°C civarında olan bakır(II)klorür sulu çözeltilerde çözünebilen iyonik bir katıdır. Suda, etanolde ve asetonda çözünmektedir. Dihidrat formu ise yeşile yakın mavi ortorombik kristal olarak bulunmaktadır. Yoğunluğu 2,51 g/mL olup 100°C de bozunmaktadır. Suda ve etanolde susuz formundan daha fazla olmak üzere çok iyi çözünmektedir. Asetonda da çözünmekte fakat eterde çözünmemektedir.

Cu<sup>+2</sup>'ye klorun koordinasyonu kısmen meydana gelir. Bu demektir ki, yeşil renkli bakır(II)klorürün derişik çözeltilisinin, mavi renkli[Cu(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub>]<sup>+2</sup> kombinasyonu ile yeşil veya kırmızı renkli halojen kompleksleri oluşur. CuCl<sub>2</sub> lewis asidi olarak zayıftır. Örneğin bakır(II)klorürün HCl ile reaksiyonundan CuCl<sub>3</sub><sup>-</sup> ve CuCl<sub>4</sub><sup>-2</sup> kompleksi oluşur [17].



Bakır(II)klorür piridin veya trifenilfosfin oksit gibi ligandlarla diğer koordinasyon komplekslerinin çeşitli türlerini oluşturur [18].



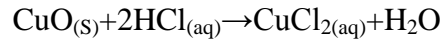
Bazı tersiyer aminler ve trifenilfosfin gibi fosfinler olarak adlandırılan diğer ligandlarla etkileştiğinde ve yaklaşık 1000°C yüksek sıcaklıkta ısıtıldığında bakır(I)klorüre indirgenir. İndirgenme reaksiyonu aşağıdaki gibidir.



$\text{CuCl}_2$  genellikle sulu çözeltilerdeki reaksiyonlara daha çok uygundur ve kükürt dioksit gibi bir indirgeyici kullanılarak  $\text{CuCl}$  elde edilir.

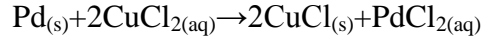


Bakır(II)klorürün eldesi; bakır(II)oksit, bakır(II)hidroksit veya bakır(II)karbonatın hidroklorik asit ile muamelesi sonucu olur.



Susuz bakır(II)klorür bakır ve klor elementlerinin etkileşmesi sonucu elde edilir.  $\text{CuCl}_2$ 'nin buz banyosunda soğutulmasıyla sıcak seyreltik  $\text{HCl}$  içinde kristallendirilmesi ile saflaştırılabilir.

Bakır(II)klorürün endüstrideki esaslı Wacker prosesinde paladyum(II)klorür ile beraber katalizör olarak kullanılır. Bu proseste etilen, su ve hava kullanarak asetaldehite dönüştürülür. Paladyum(II)klorür paladyuma indirgenir ve  $\text{CuCl}_2$   $\text{PdCl}_2$ 'yi yeniden yükseltgemeye yarar. Hava  $\text{CuCl}$ 'yi  $\text{CuCl}_2$ 'ye çevirir.



Bakır(II)klorür organik sentezlerde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir [19]. Aromatik hidrokarbonların klorlanması etkilidir. Bu işlem sıklıkla alüminyum oksidin varlığında yapılır.  $\text{CuCl}_2$  karbonil bileşiklerinin alfa pozisyonlarında etkilidir [20].

Bakır(II)klorür, kumaş baskı ve boyamada renk sabitleyici ve kriting katalizörü ve izomerizasyonda koku giderici, petrol endüstrisinde koku giderici ve kükürtün uzaklaştırılmasında kullanılır. Diğer önemli uygulamaları; alüminyumun bakır kaplamasında, demir ve kalay için renk banyosunda, seramik ve camların pigmentlerinde, fotoğrafçılıkta sabitleştirici ilaç olarak, maden cevherinden civa ekstraksiyonunda, görünmez mürekkeplerde ve çeşitli bakır tuzlarının elde edilmesinde kullanılır [21].

#### 2.4.2. Bakır(II)Nitrat- $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$

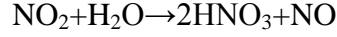
Kimyasal bileşimi  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  olan bakır(II)nitrat susuz formda katı ve mavi renkli kristaller şeklinde olup, sulu formda da mavi renklidir. Bakır nitratın hidrat formu genellikle kimyasal galvanik hücre reaksiyonlarını oluşturduğundan okul laboratuvarlarında kullanılır.

Bakır nitratın sulu ve susuz formları olağanüstü farklı özelliklere sahiptirler. Susuz bakır nitrat parlak mavi renkli bir madde olup uçucu bir katıdır. Gaz fazında kare düzlemdir. Bakır atomu dört oksijen atomu tarafından çevrelenir.

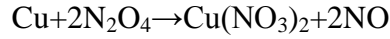
Sulu bakır nitrat  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_{2,5}$  kristali şeklindedir. Su ve nitrat anyonu tarafından çevrelenen bakır oktahedral bir yapıdadır [22]. Bu hidrat yapısı  $170^\circ\text{C}$ 'de bozunarak bakır(II)oksit, azot dioksit ve oksijene dönüşür.



Bakır nitratın yüksek sıcaklıkta bozunmasıyla ve çıkan azot dioksit gazının su içerisinden geçirilmesi ile nitrik asit oluşmaktadır. Kimyasal denklem aşağıdaki gibidir.



Eğer bakır etil etanoat (asetat) da diazot tetraoksit çözeltisi ile muamele edilirse mavi renkli bir çözelti elde edilir. Buharlaştırıldığında mavi renkli bir katı oluşur, bu katı  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{N}_2\text{O}_4$  olup ve ısıtıldığında  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 'a dönüşür. Bu bileşik kovalenttir, uçucudur, kolaylıkla süblimleşir ve mavi renkli buhar ortaya çıkar [23].



Bakır(II)oksit veya karbonat, nitrik asitte çözüldüğünde su eklenmesi ile  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  genel formüllü hidratlaşmış nitrat elde edilir. Bu hidratlaşmış nitrat vakum altında ısıtıldığında dehidratlaşır ve ürün susuz tuz değil, bazik nitrat olur. Bakır nitratın asetik anhidrat ile bileşimi aromatik bileşiklerde etkili bir ayıraçtır [24].

#### 2.4.3. Bakır(II)Sülfat- $\text{CuSO}_4$

Bakır(II)sülfat ticari olarak üretilmediğinden beri satın alınır, laboratuarda hazırlanmaz. Bakır(II)sülfat farklı bakır(II) bileşiklerinin sülfürik asit ile reaksiyonu sonucu elde edilir.

Bakır sülfat doğada pentahidrat,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , olarak bulunmaktadır ve kalkantit minerali olarak bilinmektedir, mavi renkli bir kristaldir. Bu kristalde her bir  $\text{Cu}^{+2}$  iyonu karenin köşelerindeki dört su molekülü ile çevrelenmiştir ve beşinci su molekülü hidrojen bağları ile bağlıdır.

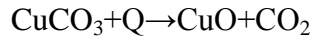
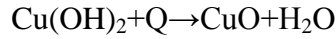
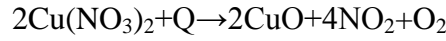
Bakır(II)sülfat çözüldükten sonra ısıtılır, pentahidratın tamamı kurutulduğunda  $150^\circ\text{C}$ 'de beş tane su molekülü,  $110^\circ\text{C}$ 'de de dört tane su molekülü zarar görür.  $650^\circ\text{C}$ 'de bakır(II)sülfat, bakır(II)oksit ve sülfür trioksit parçalanır.



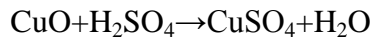
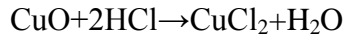
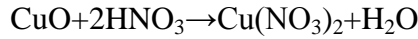
Bakır(II)sülfat susuz formdayken beyaz renklidir su ile muamele edildiğinde mavi renge döner. Bazı kimyasal deneylerde  $\text{CuSO}_4$  indikatör olarak kullanılır. Alev deneylerinde  $\text{CuSO}_4$ 'ün bakır iyonları şiddetli mavi renkte bir ışık yaymaktadır.

#### 2.4.4. Bakır(II)Oksit-CuO

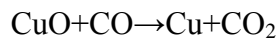
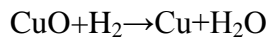
Bakır(II)oksit  $1200^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde eriyerek iyonik yapıya geçen siyah renkli bir katıdır. Suda çözünmez, yarı iletkenidir.  $\text{CuO}$  havada bakırın ısıtılması ile oluşabilir, bu durum bakır(II)oksidin bakır(I)oksit ile oluşmasıdır.  $\text{CuO}$ ; bakır(II)nitrat, bakır(II)hidroksit ve bakır(II)karbonatın ısıtılması ile daha iyi hazırlanır.



Bakır(II)oksit bazik oksittir, bu yüzden hidroklorik asit, sülfürik asit ve nitrik asit gibi mineral asitlerinde çözünerek benzer bakır(II)tuzları verir.



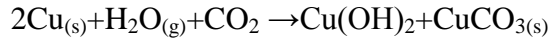
Bakır(II)oksit, hidrojen ve karbon monoksit ile etkileşerek bakır metaline indirgenir.



Bakır(II)oksit, seramikte pigment olarak ve kuru pil bataryalarının üretiminde kullanılır.

#### **2.4.5. Bakır(II)Hidroksit-Cu(OH)<sub>2</sub>**

Bakır(II)hidroksit metal bakır atomunun hidroksit tuzudur. Formül kütlesi yaklaşık 97,561 olup rengi mavidir, suda çözünmez. Bakır(II)hidroksit, bakır(II)sülfatın seyreltik çözeltisine, çok küçük miktarda sodyum hidroksitin ilave edilmesi ile hazırlanabilir. Bakırın, nemli hava ile yavaş bir şekilde muamele edilmesi sonucu açık yeşil renkli bir tabaka meydana gelir. Bu yeşil madde 1:1 oranında Cu(OH)<sub>2</sub> ve CuCO<sub>3</sub> karışımıdır [25].



#### **2.5. Bakır (II)Tuzlarını İhtiva Eden Su-Tuz Sistemleri**

##### **2.5.1. (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.MnO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O-(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.CuSO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>O Üçlü Su-Tuz Sistemi**

(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.MnO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O-(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.CuSO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>O üçlü sistemi, Bertschowza B. tarafından araştırılmıştır [26]. Araştırma sırasında sistemin sıvı fazının yoğunluğu tayin edilmiştir. Söz konusu sistemin araştırılması izotermik yöntemle 7°C'de gerçekleştirilmiştir.

##### **2.5.2.MnSO<sub>4</sub>-CuSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O üçlü Su-Tuz Sistemi**

MnSO<sub>4</sub>-CuSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O üçlü sistemi Stortenbecker W. tarafından araştırılmıştır [27]. Söz konusu sistemin araştırılması izotermik yöntemle 18°C'de araştırılmıştır.

Sonuç olarak sıvı faz ile dengede bulunan iki katı tespit edilmiştir: CuSO<sub>4</sub>. MnSO<sub>4</sub>. 5H<sub>2</sub>O ve CuSO<sub>4</sub>. MnSO<sub>4</sub>. 7H<sub>2</sub>O.

CuSO<sub>4</sub>. MnSO<sub>4</sub>. 5H<sub>2</sub>O katı fazının bileşimi aşağıda verilen (% mol) sıvı faz ile dengede bulunduğu saptanmıştır: CuSO<sub>4</sub> - 2,23, MnSO<sub>4</sub> - 0,00'dan başlayarak CuSO<sub>4</sub> - 0,995 ve MnSO<sub>4</sub> - 5,23'e kadar sistemin bu bileşim değişimi aralığında sıvı fazdan CuSO<sub>4</sub>. MnSO<sub>4</sub>.5 H<sub>2</sub>O kristallerinin çöktüğü incelenmiştir.

Sıvı fazdan  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ikili tuzun kristallerinin çökmesi ise sıvı fazın aşağıdaki bileşim değişimi aralığında gerçekleşmiştir:  $\text{CuSO}_4$ -0,995 ve  $\text{MnSO}_4$ -5,23 den,  $\text{CuSO}_4$ -0,00 ve  $\text{MnSO}_4$ -6,87 ye kadar.

### **2.5.3. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{MnO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{CuSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - \text{H}_2\text{O}$ Üçlü Su-Tuz Sistemi**

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{MnO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{CuSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - \text{H}_2\text{O}$  üçlü sistemi Trethakov Y. D. ve Simakova L. K. tarafından araştırılmıştır [28]. Söz konusu sistemin araştırılması izotermik yöntemle  $40^\circ\text{C}$ 'de yapılmıştır.

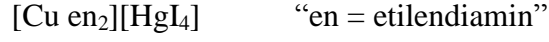
### **2.5.4. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{MnO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{CuSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - \text{H}_2\text{O}$ Dörtlü Su-Tuz Sistemi**

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{MnO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{CuSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - \text{H}_2\text{O}$  dörtlü sistemi Trethakov Y.D ve Simakova L.K tarafından araştırılmıştır [28]. Söz konusu sistemin araştırılması izotermik yöntemle  $40^\circ\text{C}$ 'de yapılmıştır.

## **2.6. Bakır(II) İyonunun Analiz Yöntemleri**

### **2.6.1. Bakırın Etilendiaminle Tayini**

0,1 gramdan daha az bakır ihtiva eden çözeltinin hacmi 100 ml ye tamamlanır. Daha sonra, üzerine karıştırılarak damla damla %5 lik etilendiamin çözeltisi konur. Rengin daha fazla koyulaşmadığı andan itibaren birkaç damla daha çözelti ilave edilir. Bundan sonra çözeltiye 2 gram amonyum nitrat ve 2 gram da potasyum iyodür konup kaynayana kadar ısıtılır. Üzerine derişik sıcak potasyum civa(II) iyodür kompleksi damla damla ilave edilir. Meydana gelen çökelek bir süre kendi haline bırakılarak soğutulur. Soğuk çökelek süzülür ve 100 ml'sinde üç damla etilendiamin çözeltisi, 0,1 gram civa(II)klorür, 1 gram amonyum nitrat ve 2 gram potasyum iyodür ihtiva eden bir çözelti ile birkaç defa yıkanır. Bundan sonra çökelek % 95'lik alkolle, onu takiben de susuz eterle yıkanır ve sabit tartıma getirilir. Sabit tartıma getirilen madde,

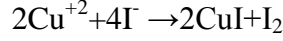


Bu çökelek içindeki bakır miktarı, çökeleği 0,0714 ile çarparak bulunur.

### 2.6.2. Suda Çözünen Bileşiklerde Bakır Tayini

Bakır tayininde ortam nötr veya zayıfça asidik olmalıdır. Bunun için bakır çözeltisine, bazik bakır karbonat çökünceye kadar sodyum karbonat konur. Daha sonra 1-2 ml asetik asit ilavesi ile çökelek çözülür.

Bakır tayini,



reaksiyonuna dayanır. Açığa çıkan iyot, ortama konan potasyum iyodürün fazlasında çözünür ve potasyum triiyodür iyonunu verir.

Yaklaşık 2 gram bakır tuzu bir miktar suda çözünüp hacmi 250 ml'ye tamamlanır. Numuneden 50 ml alınarak hafif yeşilimsi bir çökelek meydana gelinceye kadar derişik sodyum karbonat çözeltisi damlatılır. Sonra 1-2 ml asetik asit ilave edilerek çökelek çözülür. Asetik asitli çözeltiye, yaklaşık 1 gram katı potasyum iyodür konur ve bekletilir. Açığa çıkan iyot nedeniyle çözeltinin rengi koyu kahve renkli olur. Bu renk hafif sarıya dönene kadar ayarlı tiyosülfat çözeltisi ile titre edilir. Bu anda 2 ml nişasta çözeltisi konur ve çözeltinin mavi rengi kaybolana kadar titre edilir. Daha sonra 1 gram potasyum veya amonyum sülfosiyonür ilave edilir, renk tekrar koyulaşır. Koyu mavi renk tamamen kaybolana kadar ayarlı tiyosülfatla titre edilir.

Titrasyon sonuna doğru sülfosiyonür ilave edilmesinin nedeni, bakır iyodürün adsorbe ettiği iyodu serbest bırakmasını sağlamaktır. Sülfosiyonür ilavesi ile bakır iyodür yerine, ondan daha az çözünen bakır sülfosiyonür meydana gelir ve bakır iyodür tarafından adsorplanmış olan iyot serbest hale geçer.

Elde edilen sonuçlara dayanılarak bakır iyonunun miktarı (%kütle) aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$\%Cu = \frac{N \cdot V \cdot \text{meg} \cdot 5.100}{T}$$

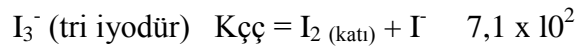
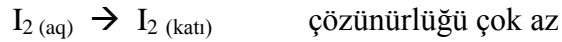
- N** : tiyosülfat çözeltisinin normalitesi,  
**V** : tiyosülfat çözeltisinin titrasyon sırasında harcanmış olan hacmi(ml),  
**meg** : Cu iyonunun mili eşdeğer gramı(0,06354 gram),  
**T** : Bakır iyonu bulunduran numunenin tartımı(gram olarak).

### 2.6.3. Bakır(II) İyonunun Kompleksometri Yöntemi ile Tayini

Cu(II) içeren çözeltiden 10 ml örnek alınıp 250 ml'lik bir erlene aktarılır. Üzerine koyu mavi renk oluşuncaya kadar piridin ilave edilir ve birkaç damla Pyrocatecol Violet konduktan sonra standart 0,02 M EDTA çözeltisi ile renk koyu maviden yeşile dönünceye kadar titre edilir [29].

### 2.6.4. İyodometrik Yöntemle Bakır Miktar Tayini

Standart iyot çözeltisi,  $I_{2(aq)}$  kullanarak yapılan titrasyonlara “iyodometrik”, bir kimyasal reaksiyon sonunda açığa çıkan iyodun titrasyonuna ise “iyodometrik” yöntemler denir.

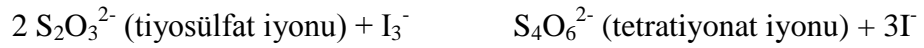


Katı haldeki iyodun saf sudaki çözünürlüğü en fazla 0,001 g kadarken, ortamda iyodür iyonu varsa tri iyodür ( $I_3^-$ ) oluşumu ile çözünürlüğü çok artar. Tri iyodür çözeltisi, ( $I_2 + I^-$ ) şeklinde düşünülür ve iyot çözeltisi olarak da ifade edilebilir.



Standart indirgenme potansiyeli fazla büyük olmadığı için çözeltide var olan her iyonu yükseltgeyemez. Doğrudan iyot çözeltisinin titrant olarak kullanıldığı; iyodimetrik yöntemlerin, uygulama alanında fazla değildir.  $\text{As}^{3+} / \text{As}^{5+}$ ,  $\text{Sb}^{3+} / \text{Sb}^{5+}$ ,  $\text{Sn}^{2+} / \text{Sn}^{4+}$ ,  $\text{H}_2\text{S} / \text{S}$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-} / \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$  yükseltgemedeki kullanılır [30].

İndirekt yöntem olarak adlandırılan iyodometrik uygulamanın önemi daha fazladır.



Ortamda fazla miktarda iyodür anyonu varsa,  $\text{A}(\text{n})^+$  gibi bir iyonu indirger, stokiyometrik oranda triiyodür açığa çıkar. Oluşan  $\text{I}_3^-$  ise, standart tiyosülfat çözeltisi gibi bir başka indirgen çözeltiyle titre edilir. Triiyodürün başlangıçtaki kahverengi rengi giderek kaybolur ve dönüm noktasında  $\text{I}^-$ 'un sarı rengi izlenir. Ancak dönüm noktasının hatasız izlenebilmesi için indikatör kullanılır. İyodometrik yöntemle çözeltideki  $\text{IO}_3^-$ ,  $\text{BrO}_3^-$ ,  $\text{ClO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ ,  $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  ve organik peroksitler tayin edilebilir.

İyodometrik titrasyonlarda dönüm noktasını gösteren, eklenen titrant fazlası triiyodürün kahverengi rengidir. Ancak titre edilen çözelti ortamının renksiz olduğu ( $\text{Sn}^{2+} / \text{Sn}^{4+}$  gibi) koşullar da geçerlidir. Aksi halde ortama dönüm noktasını belirlemek amacı ile nişasta veya su ile karışmayan organik bir çözücü eklenmelidir.  $\text{CCl}_4$  veya  $\text{CHCl}_3$  gibi organik çözücülerde  $\text{I}_2$ 'nin tipik menekşe rengi izlenir. Dönüm noktasına yakın eklenen organik faz, şiddetlice çalkalanmalı ve ilk kalıcı menekşe rengin izlendiği anda titrasyon durdurulmalıdır [30].

Diğer seçenek ise suda nişasta süspansiyonunun kullanılmasıdır. Bu indikatör de dönüm noktasına doğru eklenmelidir. Triiyodür ile nişasta tipik koyu mavi renk verir ancak

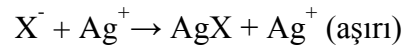
ortam kuvvetli asidikse nişasta hidrolizle bozunur ve bu renklenme izlenmez. Mavi renk oluşumu heliks halka yapısına giren I<sub>2</sub>'un özellikle Beta-amilaz yapısındaki nişastalarda glikoz bilimleri arasına adsorpsiyonu nedeniyledir. Nişasta bir adsorpsiyon (yüzey tutulma) indikatörüdür. Nişasta yapısında elde edildiği köke göre Beta-amylose dışında, Alfa-amylose (amylopectin) de vardır ve I<sub>2</sub> ile kırmızı-pembe renk verir. Diğer yapılan renksizdir.

Patates, pirinç veya mısır nişastasında hem Beta, hem de Alfa formu olmasına rağmen ticari nişastalarda Alfa formu çok az, suda çözünen Beta formu fazladır. Titrasyonlarda ticari nişastalar tercih edilir. Yukarıdaki titrasyon için (pirinç nişastasından) hazırlanan indikatör çözeltisine, bir kaç gün olan kararlılığını uzatmak ve bakteriyel etkilerini önlemek için, bir kaç damla kloroform veya HgI<sub>2</sub> eklenmelidir [30].

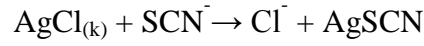
## 2.7. Klor İyonunun Analiz Yöntemleri

### 2.7.1. Volhard Yöntemi İle Klorür İyonunun (Cl<sup>-</sup>) Analizi

Volhard yöntemi bazı halojenür iyonlarının analizini sağlayan dolaylı bir titrasyondur. Bunun belirli miktarında aşırı AgNO<sub>3</sub> çözeltisi analiz çözeltisine eklenir, aşırı Ag<sup>+</sup> standart SCN<sup>-</sup> çözeltisi ile geri titre edilir.



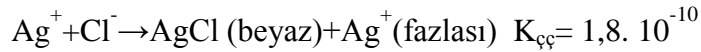
Volhard yönteminin dolaylı kullanımında tepkime ortamında oluşan AgI, AgBr, AgSCN çökeleklerinin, geri titrasyondan önce ortamdan uzaklaştırılmasına gerek yoktur. Fakat AgCl çökeleğinin geri titrasyondan önce ortamdan uzaklaştırılması gerekir; çünkü AgCl, AgSCN'den daha çok çözünür. Dolayısıyla geri titrasyon sırasında aşağıdaki tepkime gerçekleşir.



AgCl geri titrasyondan önce ya ortamdan süzülerek ayrılır ya da çökeleğin üzeri bir organik madde ile örtülerek çözeltiyle teması önlenir. Bu amaçla en çok nitrobenzen ve karbon tetraklorür kullanılır, organik faz geri titrasyondan önce birkaç ml olarak ortama ilave edilir.

Eğer analiz yapılacak madde katı ise 100 - 110°C'de bir saat kadar kurutulur ve 0,5 - 0,6 g arasında 0,1 mg duyarlıkta tartılır. Dikkatle erlene alınır ve yaklaşık 100 ml saf suda çözülür. Eğer örnek sıvı ise analizi yapılacak numuneden 10 ml alınır 5 ml HNO<sub>3</sub> ilave edilir. Daha sonra çözeltiye hacmi tam olarak V<sub>Ag</sub> (yaklaşık 15 ml) bilinen ayarlı AgNO<sub>3</sub> çözeltisi, 5 ml demir (III) amonyum sülfat belirteci ve 5 ml klorsuz nitrobenzen eklenir. Çözelti kuvvetlice çalkalanır. Ortamdaki Ag<sup>+</sup> iyonunun fazlası ayarlı KSCN çözeltisi ile dönüm noktasında oluşan FeSCN<sup>+2</sup> kompleksinin kırmızı-kahverengi rengi bir dakika kalıcı olana kadar titre edilir. Harcanan titrant hacmi (V<sub>KSCN</sub>) not edilir [31].

Titrasyondan önce;



Titrasyon tepkimesi



Dönüm noktasında



Elde edilen sonuçlara dayanılarak klorür iyonunun miktarı (% kütle) aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$\% \text{Cl}^- = (V_{\text{Ag}} \cdot N_{\text{Ag}} - V_{\text{KSCN}} \cdot N_{\text{KSCN}}) \cdot \text{meg. } 100/T$$



$N_{Ag}$  : ayarlı  $AgNO_3$  çözeltisinin normalitesi,

$N_{KSCN}$  : ayarlı  $KSCN$  çözeltisinin normalitesi,

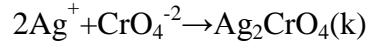
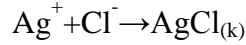
$V_{Ag}$  : eklenen  $AgNO_3$  hacmi, ml

**meg** : klorür iyonunun mili eşdeğer gramı (0,003547),

**T** : klorür iyonu bulunduran numunenin tartımı (gram olarak)

### 2.7.2. Mohr Metodu İle Klorür İyonunun ( $Cl^-$ ) Tayini

Bu yöntem en çok  $Cl^-$  ve  $Br^-$  iyonlarının analizinde kullanılır, eşdeğer nokta titrant ( $AgNO_3$ ) ile indikatör ( $CrO_4^{2-}$ ) arasında oluşan tuğla kırmızısı renkli  $Ag_2CrO_4$  çökeleğinin oluşumu ile belirlenir.

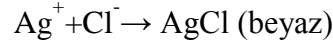


Titrasyon işleminde analiz çözeltisine  $K_2CrO_4$  eklendiğinde, çözeltinin rengi sarı olur. Titrasyon başladığında tuğla renkli  $Ag_2CrO_4$  çökeleği oluşsa bile çabucak kaybolur, çünkü  $Ag$ ,  $Ag_2CrO_4$ 'dan daha az çözünen  $AgCl$  haline döner. Eşdeğer noktada ise ortamda  $Cl^-$  bulunmadığından  $Ag_2CrO_4$  oluşumu gözlenir.

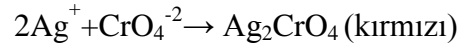
Bu titrasyonda iki önemli faktör vardır. Bunlardan biri  $CrO_4^{2-}$  derişimi, ikincisi ise çözelti pH'sıdır. Analizi yapılacak katı numune, 100 - 110°C da bir saat kadar kurutulur ve 0,20 – 0,25 g arasında 0,1 mg duyarlıkla tartılır. Dikkatle erlene aktarılır ve yaklaşık 50 ml damıtık suda çözülür. % 5'lik  $K_2CrO_4$  çözeltisinden 1,0 ml eklenir. Çözelti ayarlı 0,1 N  $AgNO_3$  çözeltisi ile  $Ag_2CrO_4$ 'ın kırmızı rengi kalıcı olana kadar titre edilir. Dönüm noktasına yaklaşılrken titrant çok yavaş eklenmelidir. Öncelikle çözeltide oluşan kırmızı renk gidene kadar çözelti çalkalanmalı daha sonra titrant damla damla eklenmelidir. Harcanan titrant hacmi ( $V_{Ag}$ ) not edilir.

Verilen numune çözelti halinde ise, % 5'lik  $K_2CrO_4$  çözeltisinden 1,0 ml eklenir ve doğrudan  $AgNO_3$  ile yukarıda anlatıldığı şekilde titre edilir.

Titrasyon tepkimesi



Dönüm noktasında



Elde edilen sonuçlara dayanılarak klorür iyonunun miktarı (% kütle) aşağıdaki formüle göre hesaplanır [31].

$$\%Cl^- = N.V.meg.100/T$$

$N_{Ag}$  : gümüş nitrat çözeltisinin normalitesi,

$V_{Ag}$  : gümüş nitrat çözeltisinin titrasyon sırasında harcanmış olan hacmi (ml),

**meg** : klorür iyonunun mili eşdeğer gramı (0,03547)

**T** : klorür iyonu bulunduran numunenin tartımı (gram olarak)

### 2.7.3. Fajans Metodu İle Klorür İyonunun ( $Cl^-$ ) Tayini

Adsorpsiyon indikatörleri kullanılarak yapılan titrasyon yöntemine Fajans yöntemi denir. Adsorpsiyon indikatörü, organik bir bileşik olup çökelme titrasyonunda oluşan katının yüzeyinde adsorplanma eğilimi gösterir. İdeal olarak adsorpsiyon, eşdeğer noktada oluşur ve renk, çözeltinin renginden farklı bir renge dönüşür. Tipik bir adsorpsiyon indikatörü flüoressein'dir ve  $Cl^-$  nin  $AgNO_3$  ile titrasyonunda kullanılır.

% 0,2'lik Flüoressein İndikatör Çözeltisi: 0,2 g flüoressein bir miktar % 70'lik alkol içerisinde çözüldükten sonra son hacim 100 ml'ye % 70'lik alkol ile tamamlanır. Eğer analiz edilecek örnek katı ise 100 - 110°C da bir saat kadar kurutulur ve 0,20 – 0,25 g arasında dördüncü hanesine kadar hassas olarak tartılır. Üzerine 50 ml saf su ilave

edilir. Eğer örnek sıvı ise üzerine bir miktar saf su eklenerek deneye başlanır. Çözeltinin pH'sı 7 oluncaya kadar duruma göre klorsuz nitrik asit veya klorsuz kalsiyum karbonat eklenir. pH'sı ayarlanan çözeltiye flüoressein indikatör çözeltisinden 6-7 damla ve dekstrin çözeltisinden 4-5 damla eklenir. Erlendeki çözeltinin rengi kırmızı olduğu ana kadar 0,1 N ayarlı gümüş nitrat ile titre edilir. Titrasyon sırasında harcanan gümüş nitrat hacmi not edilir (V) [31].

$$\%Cl^- = N.V.meg.100/T$$

**N<sub>Ag</sub>** : ayarlı AgNO<sub>3</sub> çözeltisinin normalitesi

**V<sub>Ag</sub>** : harcanan AgNO<sub>3</sub> hacmi, ml

**meg** : klorür iyonunun mili eşdeğer gramı (0,003547)

**T** : klorür iyonunu bulunduran numunenin tartımı (gram olarak)

## 2.8. Kaynak Taraması

Christov yaptığı bir çalışmada fizikokimyasal analiz metodunu kullanarak, 25°C’de  $\text{CuCl}_2 - \text{CuSO}_4$  doymun çözeltisini çalışmıştır. Katı fazda  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  tespit etmiştir. Sonuçlar çizelge 1’deki gibidir [32].

**Çizelge 1:** Deneysel ve hesaplamalarla  $\text{CuCl}_2 - \text{CuSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  25°C’deki sisteme ait üçlü sistemlerin ötonik nokta verileri [32].

	Sıvı Faz	Sıvı Faz	Katı Faz	Katı Faz	Katı Faz
	m $\text{CuCl}_2$ / mol.kg <sup>-1</sup>	m $\text{CuSO}_4$ / mol.kg <sup>-1</sup>	m $\text{CuCl}_2$ / mol.kg <sup>-1</sup>	m $\text{CuSO}_4$ / mol.kg <sup>-1</sup>	
Hesaplanmış	24,0	6,44	4,82	51,8	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Hesaplanmış	30,1	4,25	7,51	50,0	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Hesaplanmış	42,1	2,58	2,58	35,4	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} +$ $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Hesaplanmış	43,0	1,52	66,2	0,92	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Wollmann ve Voigt 40°C’de  $\text{K}_2\text{SO}_4 - \text{MnSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  üçlü sistemini çalışmışlardır. 25°C’de katı fazda  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (ikili) tuzları görülmüştür. Fakat 40°C’de katı fazda  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MnSO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MnSO}_4 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  ve  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  tespit edilmiştir [33].

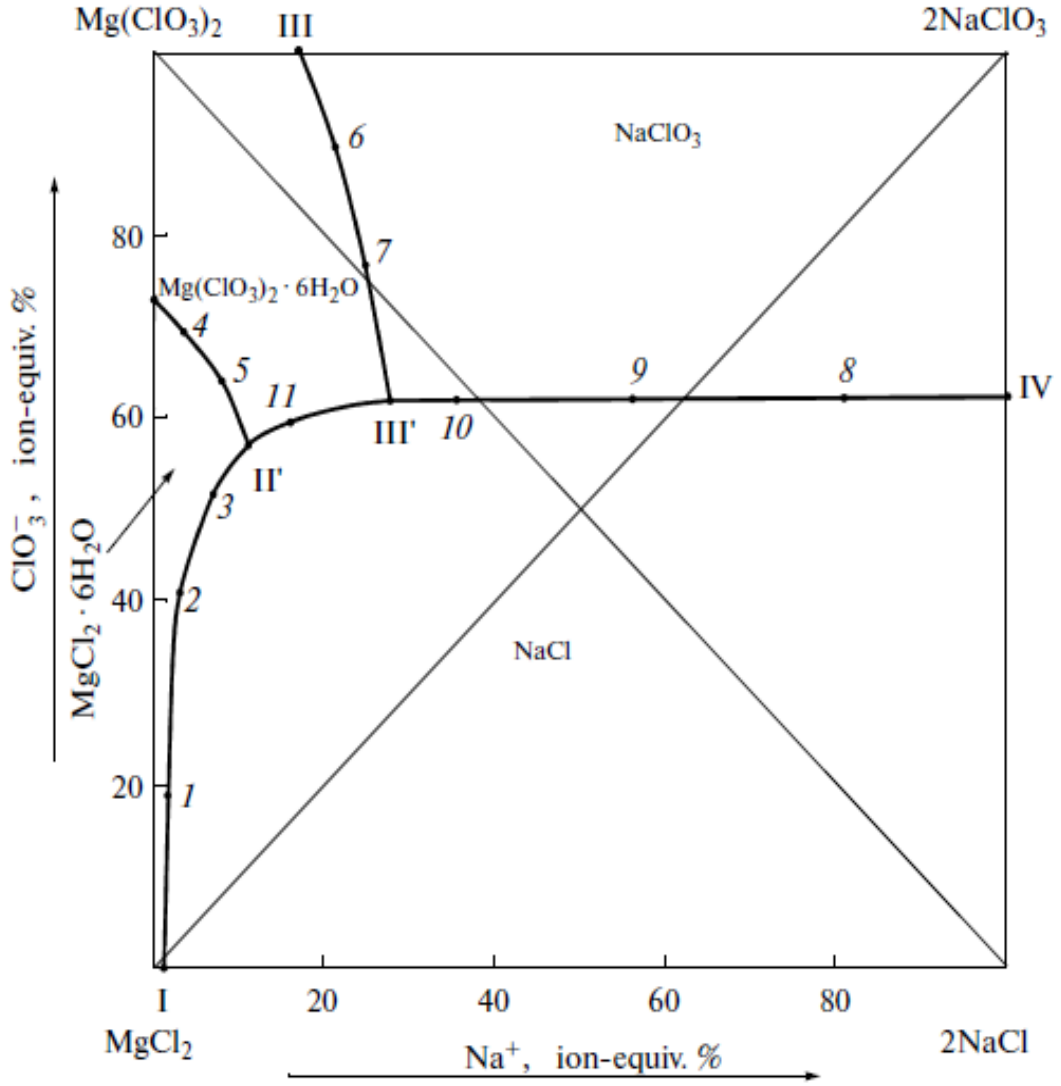
Li ve arkadaşları  $\text{Li}_2\text{SO}_4 - \text{MgSO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  dörütlü sistemini -10°C’de izotermal yöntemi kullanarak çalışmışlardır. Deneysel verilerden de yararlanarak kuru tuz fazı ve su faz diyagramlarını çizmişlerdir. Çalışılan sistemlerin katı fazlarında  $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  tespit edilmiştir [34].

**Çizelge 2:** Deneysel ve hesaplamalarla  $\text{Li}_2\text{SO}_4 - \text{MgSO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O} - 10^\circ\text{C}$ 'deki sisteme ait dörütlü sistemlerin ötonik nokta verileri [34].

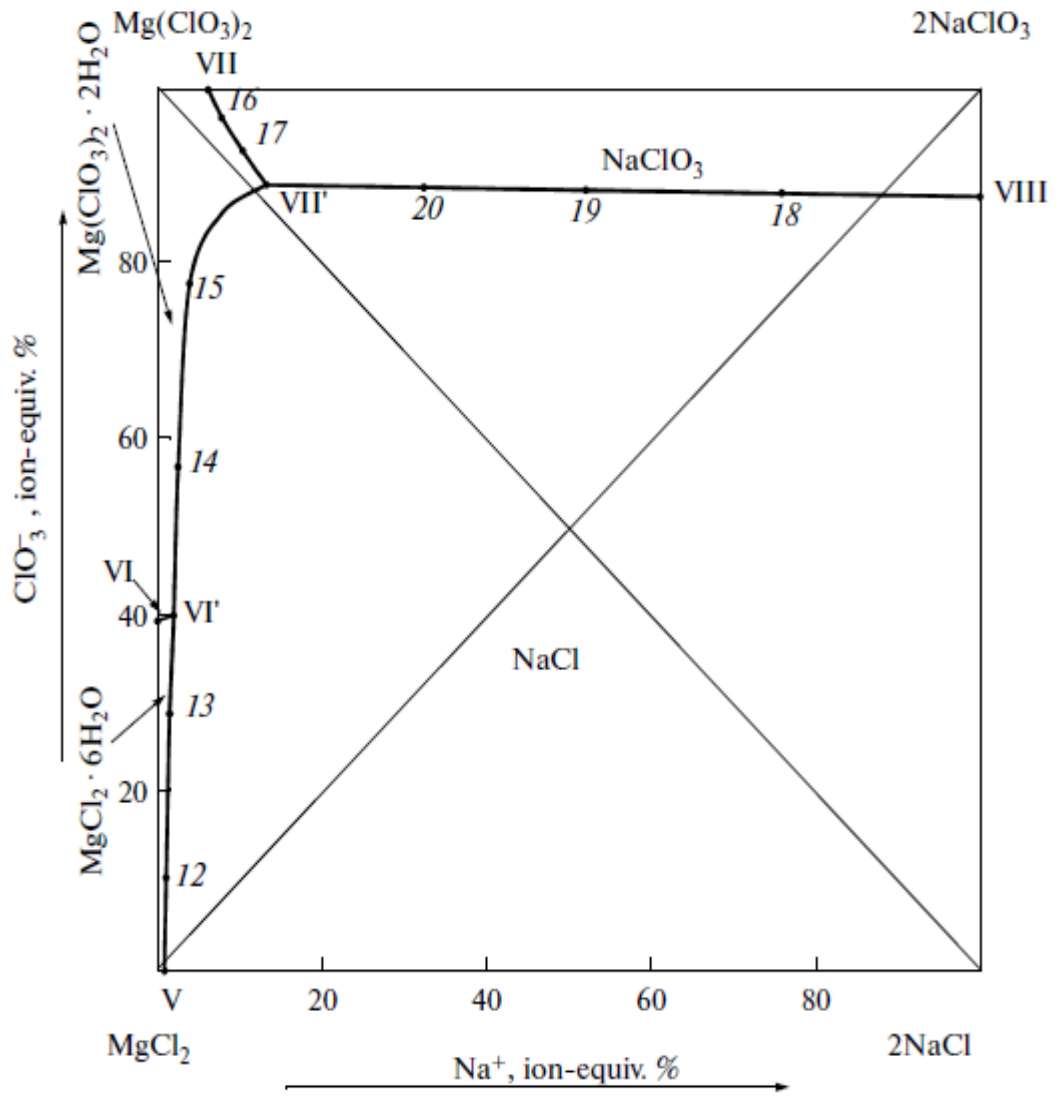
No	Sıvı Faz	Sıvı Faz	Sıvı Faz	Sıvı Faz	Sıvı Faz	Sıvı Faz	Sıvı Faz	Katı Faz
	g/100gS	g/100gS	g/100gS	g/100gS	g/100gS	g/100gS	g/100gS	
	MgSO <sub>4</sub>	Li <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	Li <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	
1	7,87	22,77	0,00	25,69	74,31	0,00	226,37	Ls + Eps
2	7,95	22,40	1,21	25,20	70,96	3,84	216,86	Ls + Eps
3	8,34	22,73	1,39	25,68	70,04	4,28	208,12	Ls + Eps
4	8,09	22,01	2,36	25,00	68,01	6,99	209,00	Ls + Eps
5	7,72	21,79	2,64	24,01	67,77	8,22	210,98	Ls + Eps
6	7,84	21,65	3,18	23,99	66,28	9,73	206,18	Ls + Eps
7	7,60	20,76	3,35	23,97	65,47	10,56	215,44	Ls + Eps
8	8,16	20,72	4,35	24,56	62,35	13,08	200,92	Ls + Eps + Ns
9	8,49	19,23	4,41	26,42	59,84	13,74	211,20	Eps + Ns
10	9,08	17,52	4,04	29,64	57,16	13,20	226,34	Eps + Ns
11	9,90	16,18	4,22	32,68	53,40	13,92	229,98	Eps + Ns
12	1,11	14,56	4,13	37,28	48,86	13,86	235,63	Eps + Ns
13	11,05	11,20	3,61	42,73	43,31	13,96	286,75	Eps + Ns
14	8,16	20,72	4,35	24,56	62,35	13,08	200,92	Ls + Eps + Ns
15	7,53	19,64	4,65	23,68	61,72	14,60	214,26	Ls + Ns
16	6,93	21,64	5,11	20,57	64,25	15,18	196,93	Ls + Ns
17	4,49	22,48	4,29	14,36	71,91	13,73	219,91	Ls + Ns
18	3,99	23,39	5,46	12,16	71,22	16,62	204,51	Ls + Ns
19	3,21	23,10	4,96	10,25	73,90	15,85	219,83	Ls + Ns
20	2,35	23,56	5,06	7,58	76,09	16,33	222,94	Ls + Ns
21	1,97	25,55	3,69	6,33	81,85	11,82	220,38	Ls + Ns
22	0,00	26,75	3,45	0,00	88,57	11,43	231,08	Ls + Ns

(Ls:  $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , Eps:  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , Ns:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )

Azlarov ve arkadaşları 20°C ve 100°C'de  $2\text{Na}^+, \text{Mg}^{+2} // 2\text{Cl}^-, 2\text{ClO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  sisteminin çözünürlüğünü çalışmışlardır ve sonuçlarını Şekil 15'te değerlendirmişlerdir [35].



Şekil 15:  $2\text{Na}^+, \text{Mg}^{+2} // 2\text{Cl}^-, 2\text{ClO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  Sisteminin 20°C'de Çözünürlük Diyagramları [35].



Şekil 16:  $2\text{Na}^+, \text{Mg}^{+2} // 2\text{Cl}^-, 2\text{ClO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  Sisteminin  $100^\circ\text{C}$ 'de Çözünürlük Diyagramları [35].

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Sistemin Araştırılmasında Kullanılan Tuzlar ve Araçlar

Sistemde çözünürlüğün, yoğunluğun, iletkenliğin ve dengede bulunan fazların araştırılması için elektro- termostata yerleştirilmiş özel cam kap kullanıldı.



**Resim 2:** Sistemin Araştırılmasında Kullanılan Özel Cam Düzenek



Sistemin sıvı fazının yoğunluğunun tayini için 5 mL hacmi olan piknometre kullanıldı.



**Resim 3:** Sistemin Araştırılmasında Kullanılan Piknometre

İletkenlik ve tuzluluk ise “Cond 315İ/SET” kondüktometri cihazı kullanılarak tayin edilmiştir.



**Resim 4:** Cond 315İ/SET Kondüktometri Cihazı

Çalışmalarda izotermik ortam oluşturmak için ultra termostatik banyolar kullanıldı.



**Resim 5:** Ultra Termostatik Banyolar

Sistemde bulunan katyon ve anyonların analitik olarak analizini yapmak için otomatik bütretler kullanıldı.



**Resim 6:** Otomatik Bütretler

Sistemlerdeki sıvı fazların viskozite değerleri Ostwald viskozimetresi ile ölçüldü.



**Resim 7:** Ostwald Viskozimetresi

$\text{CuSO}_4$  -  $\text{CuCl}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  üçlü su-tuz sisteminin oluşturulması için; Riedel-de Haen ve Fluka'nın tuzları kullanılmıştır.

## 3.2. Sistemin Araştırılmasında Kullanılan Yöntemler

### 3.2.1. Piknometre ve Viskozimetre Yöntemi

Piknometrik yöntem denge halinde bulunan çözeltinin (sıvı fazın) yoğunluğunun tayinine dayanmaktadır. Yoğunluk ölçümünü gerçekleştirmek için 5-10 mL hacmi olan piknometre kullanılır. Pipet ile araştırılan sistemin sıvı fazından numune alınıp piknometreye aktarılır (gereken hacimden biraz fazlası alınır) ve termostatta çözeltinin bulunduğu aynı sıcaklıkta 15-20 dakika bekletilir. Daha sonra süzgeç kağıdının küçük bir parçası kullanılarak piknometredeki çözelti tam olarak çizgiye kadar getirilir.

Piknometre bir süzgeç kağıdı arasında kurutulduktan sonra tartılıp aşağıdaki formüle göre hesaplama yapılır:

$$d^{(t)}_{\text{çöz}} = [(m_{\text{çöz}} - m_0) : (m_{\text{H}_2\text{O}} - m_0)] \times D^{(t)}_{\text{H}_2\text{O}}$$

burada;

$m_{\text{çöz}}$  - piknometrenin çözelti ile tartısı,

$m_{\text{H}_2\text{O}}$  - piknometrenin destile su ile tartısı,

$m_0$  - boş piknometrenin tartısı,

$$d^{(t)}_{\text{H}_2\text{O}} = (t) \text{ sıcaklığındaki suyun yoğunluğu (g/ml)}$$

Viskozimetre yöntemiyle tayini yapmak için viskozimetre araştırılan çözelti ile aynı sıcaklık da bulunan termostata yerleştirilir. Aynı sıcaklıkta önce saf suyun sonrada numunenin akış süresi tayin edilir. Hesaplama Poise formülüne göre yapılır.

### 3.2.2. İletkenlik ve Tuzluluk Yöntemi

Bir çözeltinin iletkenliği, çözeltinin iyon konsantrasyonuna, çözücünün cinsine ve sıcaklığa bağlıdır.

Tuzluluk ise 1 kilogram numunedeki tüm karbonatlar okside bromür ve iyodürler

klorüre dönüştürüldükten, maddeler yükseltgendikten sonra geriye kalan maddenin 480°C’de sabit tartıma getirildikten sonra elde edilen miktarın gram olarak kütlesidir.

Bu yöntem ile çözeltinin sabit sıcaklıkta farklı iyon konsantrasyonlarında iletkenlik ve tuzluluk ölçümü yapılmıştır. İletkenlik ve tuzluluk ölçümleri “Cond 315İ/SET” kondüktometri cihazı kullanılarak yapılmıştır.

İletkenlik ve tuzluluk ölçümünü gerçekleştirmek için 1 mL araştırılan çözeltilerden alınarak saf su ile 100 mL’ye tamamlanır. Daha sonra iletkenlik ve tuzluluk ölçümünün yapılacağı kaba hazırlanmış olan çözeltilerden konular ve termostat içerisinde soğutulur. Soğutma işlemi istenen değere ulaştığında kondüktometri ile iletkenlik ve tuzluluk değerleri ölçülür.

Bulunan değerler, çözelti 100 mL’ye tamamlandığı için 100 ile çarpılır.

### **3.2.3. Klorür İyonu Tayini**

Klorür iyonu Mohr yöntemiyle tayin edilir. İndikatör olarak kromat indikatörü ve ayarlı gümüş nitrat çözeltisi kullanılır. Dönüm noktası, koyu kırmızı renkli  $Ag_2CrO_4$  çökeleğinin meydana gelmesi ile anlaşılır.

Tayin yapmak için, doymuş çözeltilerden numune alınarak tartılır, bir balon jöje’de 100 mL’lik bir çözelti hazırlanır. Bu çözeltilerden pipetle alınan 10 mL’lik numune, 1 mL % 5’lik potasyum kromat ilave edilerek titre edilir.

Titration çözeltinin devamlı karıştırılması ve damla damla gümüş nitrat çözeltisinin ilave edilmesiyle gerçekleştirilir. Tepkimenin sonuna doğru damlanın düştüğü yerde teşekkül eden kırmızı çökeleğinin kaybolması çok yavaş olur. Onun için kap iyice çalkalanır ve ikinci damla düşmeden kırmızı çökeleğinin gözden kaybolması beklenir. Renk değişikliğinin devamlı ve hafif farklı olduğu ana kadar titrasyona devam edilir. Elde edilen sonuçlara dayanılarak klorür iyonunun miktarı (% kütle) hesaplanır.

### 3.2.4. Bakır(II) İyonunun EDTA İle Tayini

0,2 M EDTA çözeltisinin hazırlanması için bu maddenin sodyum tuzundan  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  7,4448 gram tartılarak oda sıcaklığında bir miktar suda çözünür ve daha sonra çözeltinin hacmi 1 litreye tamamlanır.

İndikatör olarak Pyrocatechol Violet indikatörü kullanılır. Bir miktar Pyrocatechol Violet indikatörü alınıp su içerisinde çözülerek kullanılır.

$\text{Cu}^{2+}$  iyonunun tayinini yapmak için, analizi yapılacak olan karışımdan belli miktarda bir numune alınarak tartılır ve bir miktar suda çözülerek 100 ml ye tamamlanır. Bu çözeltiden pipetle 10 mL alınıp koyu mavi renk oluncaya kadar piridin eklenir. Bundan sonra çözeltiye 1-2 damla Pyrocatechol Violet eklendikten sonra ayarlı EDTA çözeltisi ile titrasyona başlanır, renk koyu maviden yeşile dönünceye kadar titre edilir ve harcanan hacim kaydedilir. Elde edilen sonuçlara dayanılarak bakır (II) iyonunun miktarı (% kütle olarak) aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$\% \text{Cu(II)} = \frac{M \cdot V \cdot \text{meg} \cdot 100}{T}$$

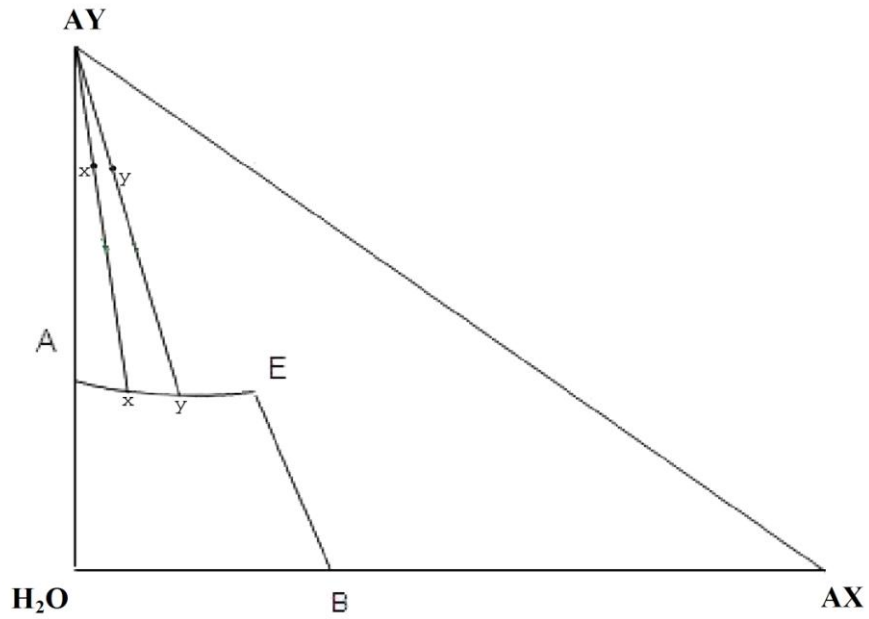
- M** : EDTA çözeltisinin molarite cinsinden derişimi,  
**V** : titrasyon sırasında harcanmış olan EDTA çözeltisinin hacmi (ml),  
**meg** : bakır (II) iyonunu mili eşdeğer gramı (0,06354 gram),  
**T** : bakır (II) iyonu ihtiva eden numunenin tartımı (gram olarak).

### 3.2.5. Katı Fazın Schreinemakers'in "Kalıklar" Yöntemiyle Tayin Edilmesi

Bu yöntemin esası "kaldıraç" kuralına dayanmaktadır. Söz konusu kurala göre, iki üçlü karışımın (sistemin) karıştırılmasıyla meydana gelen üçüncü bir sistemin test noktası, kullanılan iki üçlü sistemlerin test noktalarını birleştiren doğru hat üzerinde yer almaktadır.

Bu yaklaşımdan yola çıkarak, aynı katı faz ile dengede bulunan doygun çözeltilerin bileşimleri tayin edilir sonra, onlarla dengede bulunan katı fazdan da bir miktar alınıp süzgeç kağıdı arasında kurutulup tartıldıktan sonra uygun analitik yöntemler uygulanarak bileşimleri analiz edilir. Bundan sonra, elde edilen deneysel sonuçlar diyagram üzerine aktarılıp, söz konusu katı fazın kimyasal formülünü gösteren test

noktası saptanabilir. Bunun için, doymun çözeltilinin ve “kalığın” bileşimlerini gösteren test noktalarından geçen hat (Schreinemakers ışını) çizilir. Katı fazla dengede bulunan iki çözelti üzerinde aynı işlemler yapılarak iki Schreinemakers ışını çizilir. Elde edilen bu iki hattın kesişme noktası, sıvı faz ile dengede bulunan katı fazın bileşimini veya başka bir ifade ile kimyasal formülünü gösteren test noktasını belirtmiş olur.



**Şekil 17:** Katı fazın bileşiminin Schreinemakers'ın “kalık” yöntemiyle tayini.

Şekil 17'de alttaki x ve y test noktaları sıvı fazın bileşimlerini, üstteki x ve y test noktaları söz konusu sıvı faz ile dengede bulunan katı fazın Schreinemakers'ın “kalık” yöntemiyle tayin edilmiş bileşimlerini, AY noktası ise xx ve yy hatlarının (Schreinemakers ışınlarının) kesişme noktası olup, katı fazın kimyasal formülüne uygun gelen test noktasını göstermektedir.

Katı fazın bileşiminin tayininde Schreinemakers'ın “kalık” yöntemi uygulandığında, katı fazı oluşturan kristaller karışımından numune alınırken daha az miktarda çözeltilinin sürüklenmesine özen göstermek gerekir.

## 4. BULGULAR

### 4.1. $\text{CuSO}_4$ - $\text{CuCl}_2$ - $\text{H}_2\text{O}$ Üçlü Sistemin $25^\circ\text{C}$ Sıcaklıkta Çözünürlüğü, Yoğunluğu, Viskozitesi, İletkenliği, Tuzluluğu ve Faz Dengeleri

$\text{CuSO}_4$  -  $\text{CuCl}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  üçlü sistemin  $25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta çözünürlüğü, yoğunluğu, viskozitesi, iletkenliği, tuzluluğu ve faz dengelerinin araştırılması sırasında sistemin  $\text{CuSO}_4$  -  $\text{H}_2\text{O}$  tarafından  $\text{CuCl}_2$  yönünde ötonik noktaya ulaşana kadar 9 deneysel nokta ve  $\text{CuCl}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  tarafından  $\text{CuSO}_4$  yönünde ise ötonik noktaya varılana kadar 3 deneysel nokta tayin edilmiştir. Sistemin sıvı fazın ve dengede bulunan katı fazın bileşimleri ile ilgili elde edilen deneysel sonuçlar Çizelge 3-5'te verilmiştir.

Çizelgelerde verilmiş olan bilgilere dayanılarak  $\text{CuSO}_4$  -  $\text{CuCl}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  üçlü sistemin Yeneke-Le Chatelier Yöntemine göre viskozite, yoğunluk, iletkenlik, tuzluluk diyagramları çizilmiş ve Yeneke-Le Chatelier Yöntemi ve Rozeboum Yöntemlerine göre de çözünürlük ve faz dengeleri diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 18-21).



**Çizelge 3.** CuSO<sub>4</sub> - CuCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O üçlü su-tuz sisteminin 25°C sıcaklıktaki çözünürlüğü ve dengede bulunan katı fazların bileşimi.

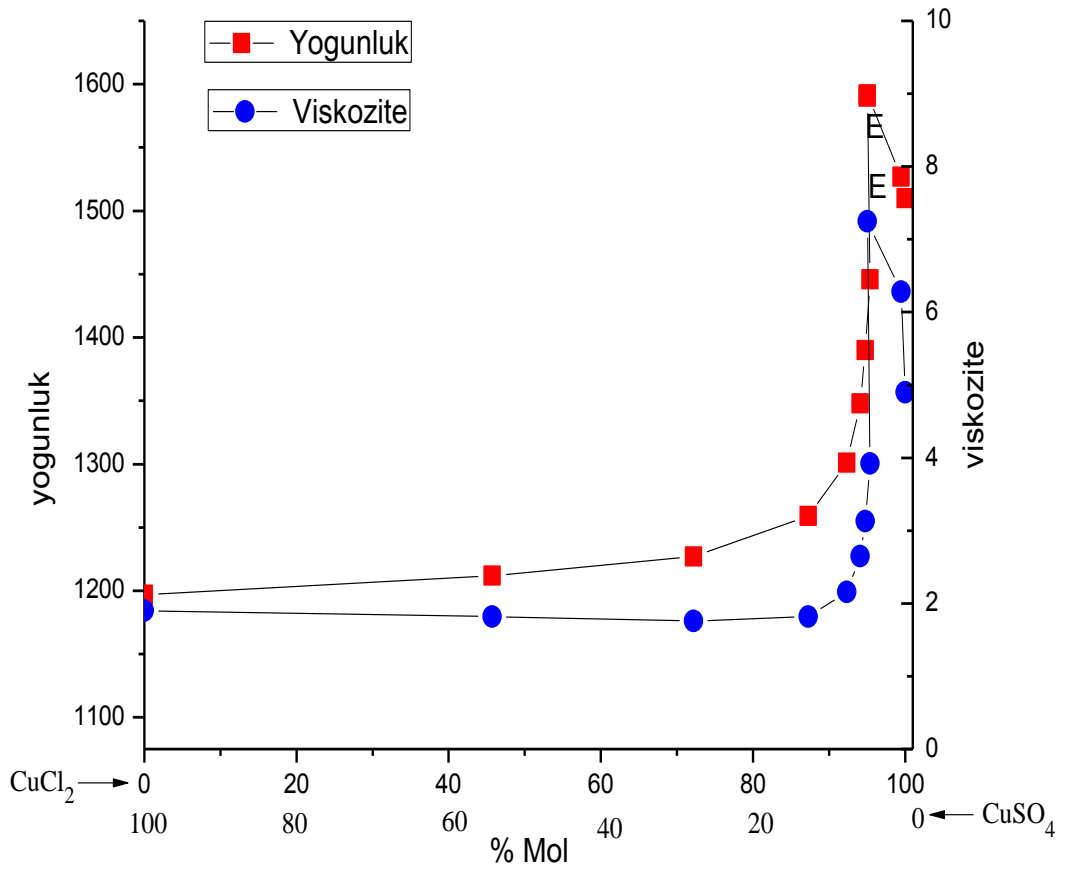
No	Sıvı Faz			Katı Faz		Katı Faz Kimyasal Bileşim
	Bileşim % Kütle			Bileşim % Kütle		
	CuCl <sub>2</sub>	CuSO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	CuCl <sub>2</sub>	CuSO <sub>4</sub>	
1	0,00	13,40	86,60	0,00	59,40	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O
2	6,56	9,25	84,19	0,48	58,91	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O
3	12,14	5,56	82,30	1,14	57,80	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O
4	17,58	3,05	79,37	2,05	57,08	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O
5	22,94	2,26	74,80	2,76	56,32	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O
6	28,06	2,09	69,85	3,48	55,98	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O
7	31,26	2,04	66,70	4,22	55,58	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O
8	34,64	1,99	63,37	5,01	55,03	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O
<b>9 (E)</b>	<b>42,12</b>	<b>2,60</b>	<b>55,28</b>	<b>26,30</b>	<b>49,52</b>	<b>CuCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O+CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O</b>
<b>10 (E)</b>	<b>42,12</b>	<b>2,60</b>	<b>55,28</b>	<b>54,12</b>	<b>21,15</b>	<b>CuCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O+CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O</b>
11	43,74	0,28	55,98	66,47	0,11	CuCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O
12	44,00	0,00	56,00	68,56	0,00	CuCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O

**Çizelge 4.** CuSO<sub>4</sub> - CuCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O üçlü su-tuz sisteminin 25°C sıcaklıkta ki 100 mol tuz karışımı ve 100 mol tuza denk gelen H<sub>2</sub>O'nun mol sayısı.

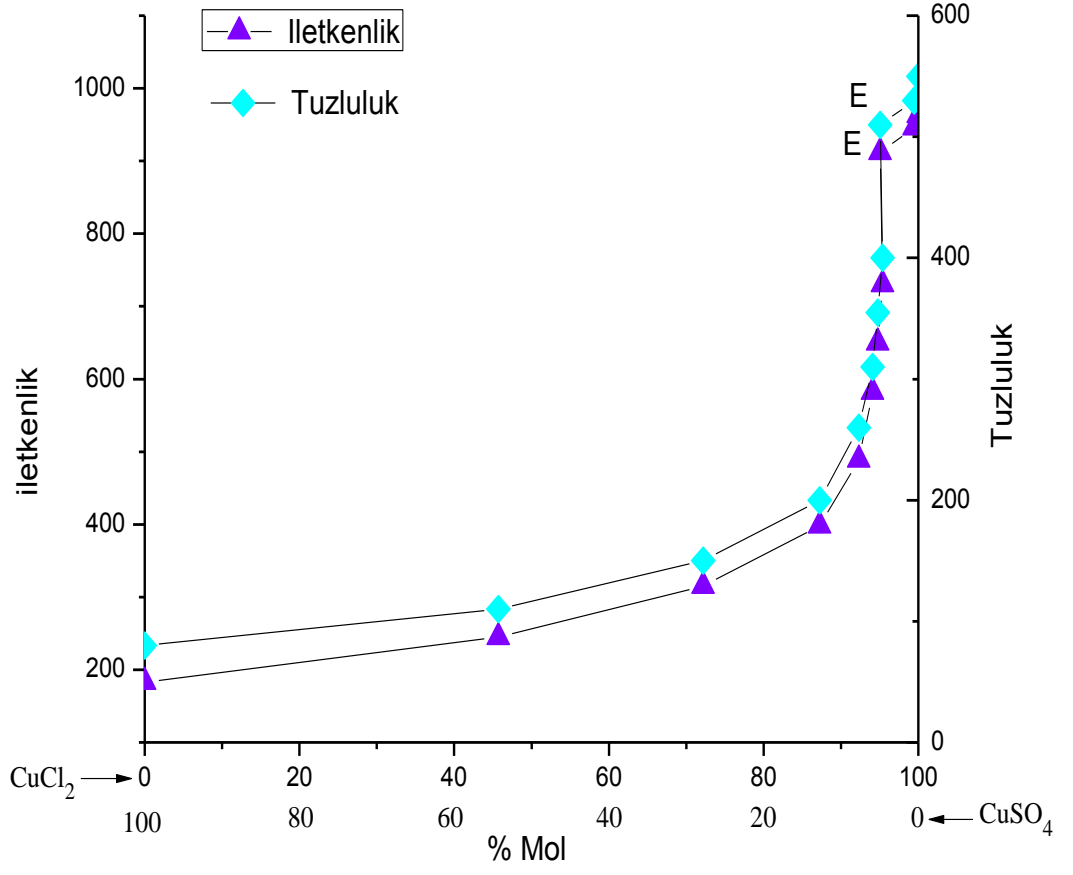
No	Sıvı Faz Bileşim % Kütle			100 Mol Tuz Karışımı		100 Mol Tuza Denk Gelen H <sub>2</sub> O'nun Mol Sayısı
	CuCl <sub>2</sub>	CuSO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	CuCl <sub>2</sub>	CuSO <sub>4</sub>	
1	0,00	13,40	86,60	0,00	100,00	5730
2	6,56	9,25	84,19	45,73	54,27	4383
3	12,14	5,56	82,30	72,18	27,82	3655
4	17,58	3,05	79,37	87,26	12,74	2942
5	22,94	2,26	74,80	92,32	7,68	2249
6	28,06	2,09	69,85	94,10	5,90	1750
7	31,26	2,04	66,70	94,78	5,22	1511
8	34,64	1,99	63,37	95,37	4,63	1303
<b>9 (E)</b>	<b>42,12</b>	<b>2,60</b>	<b>55,28</b>	<b>95,05</b>	<b>4,95</b>	<b>932</b>
<b>10 (E)</b>	<b>42,12</b>	<b>2,60</b>	<b>55,28</b>	<b>95,05</b>	<b>4,95</b>	<b>932</b>
11	43,74	0,28	55,98	99,48	0,52	951
12	44,00	0,00	56,00	100,00	0,00	950

**Çizelge 5.** CuSO<sub>4</sub> - CuCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O üçlü su-tuz sistemin 25°C sıcaklıktaki yoğunluğu, viskozitesi, iletkenliği ve tuzluluğu.

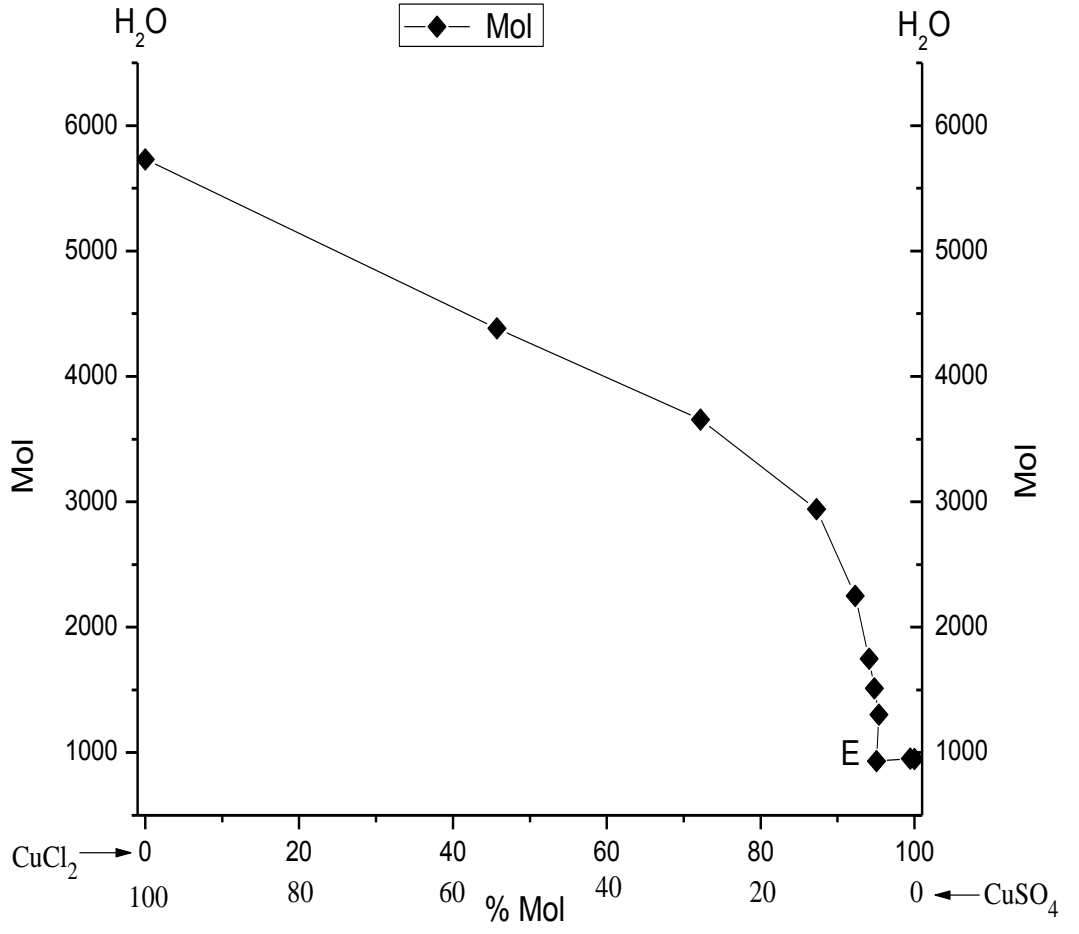
No	Sıvı Faz (%Kütle)			Yoğunluk d (kg/m <sup>3</sup> )	Viskozite η.(N.S.10 <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	İletkenlik (μS/cm)	Tuzluluk g/Kg
	CuCl <sub>2</sub>	CuSO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O				
1	0,00	13,40	86,60	1197	1,90	183	80
2	6,56	9,25	84,19	1212	1,82	245	110
3	12,14	5,56	82,30	1227	1,76	315	150
4	17,58	3,05	79,37	1259	1,82	398	200
5	22,94	2,26	74,80	1301	2,16	489	260
6	28,06	2,09	69,85	1348	2,65	582	310
7	31,26	2,04	66,70	1390	3,13	650	355
8	34,64	1,99	63,37	1446	3,92	730	400
<b>9 (E)</b>	<b>42,12</b>	<b>2,60</b>	<b>55,28</b>	<b>1590</b>	<b>7,25</b>	<b>912</b>	<b>510</b>
<b>10 (E)</b>	<b>42,12</b>	<b>2,60</b>	<b>55,28</b>	<b>1592</b>	<b>7,25</b>	<b>912</b>	<b>510</b>
11	43,74	0,28	55,98	1527	6,28	946	530
12	44,00	0,00	56,00	1510	4,9	963	550



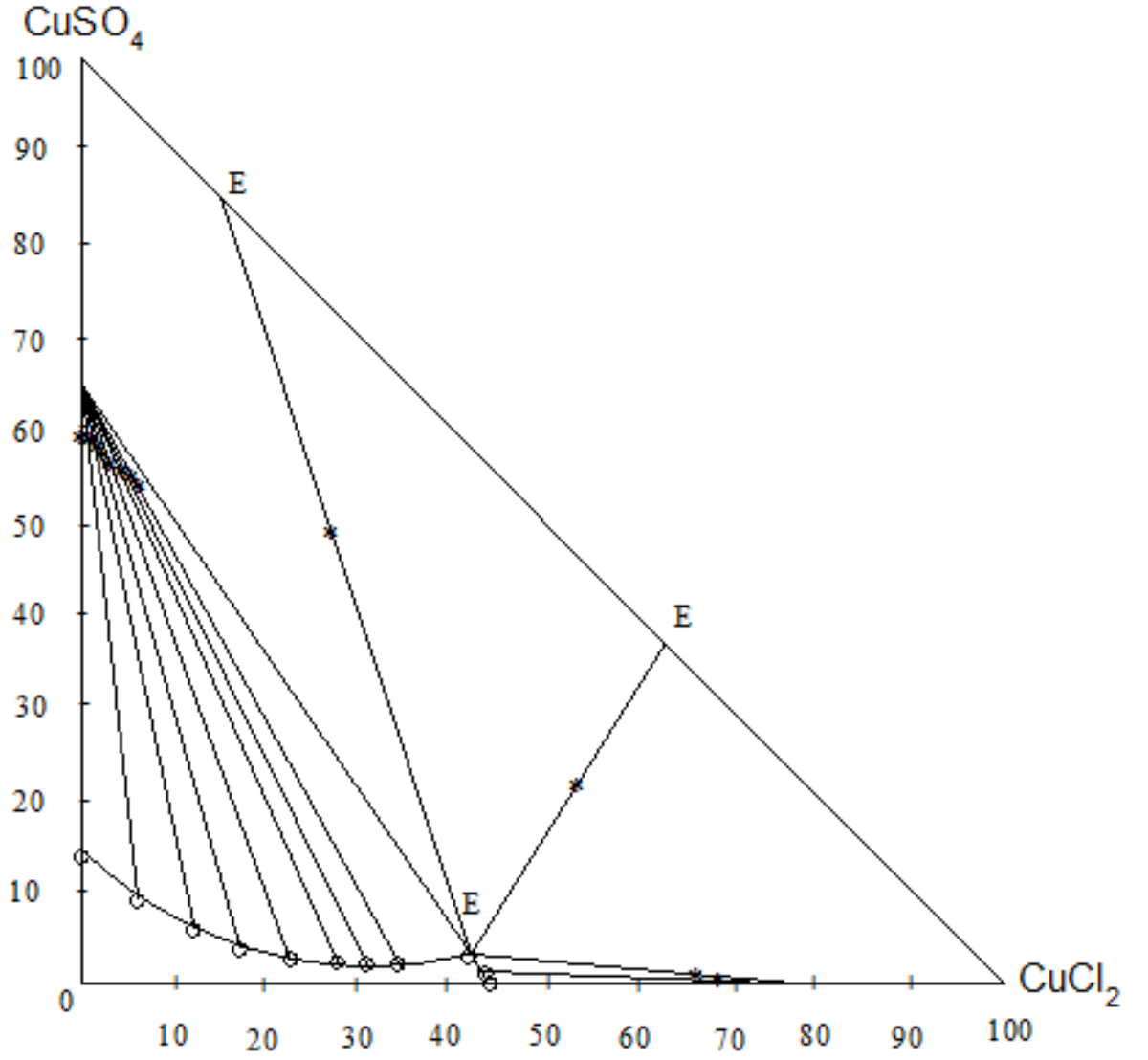
**Şekil 18:** Yeneke-Le Chatelier Yöntemiyle CuSO<sub>4</sub> - CuCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O üçlü sisteminin 25°C’de viskozite ve yoğunluk diyagramı.



**Şekil 19:** Yeneke-Le Chatelier Yöntemiyle CuSO<sub>4</sub> - CuCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O üçlü sisteminin 25°C’de iletkenlik ve tuzluluk diyagramı.



**Şekil 20:** Yeneke-Le Chatelier yöntemiyle  $\text{CuSO}_4$  -  $\text{CuCl}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  üçlü sisteminin  $25^\circ\text{C}$ 'de çözünürlük dengeleri diyagramı.



**Şekil 21:** Rozeboom Yöntemiyle  $\text{CuSO}_4$  -  $\text{CuCl}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  üçlü sisteminin  $25^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki çözünürlük ve faz dengeleri diyagramı.

#### **4.2. CuSO<sub>4</sub> - CuCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O Üçlü Sistemin 0° C Sıcaklıkta Çözünürlüğü, Yoğunluğu, Viskozitesi, İletkenliği, Tuzluluğu ve Faz Dengeleri**

CuSO<sub>4</sub> - CuCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O üçlü sistemin 0° C sıcaklıkta çözünürlüğü, yoğunluğu, viskozitesi, iletkenliği, tuzluluğu ve faz dengelerinin araştırılması sırasında sistemin CuSO<sub>4</sub> - H<sub>2</sub>O tarafından CuCl<sub>2</sub> yönünde ötonik noktaya ulaşana kadar 8 deneysel nokta ve CuCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O tarafından CuSO<sub>4</sub> yönünde ise ötonik noktaya varılana kadar 2 deneysel nokta tayin edilmiştir. Sistemin sıvı fazın ve dengede bulunan katı fazın bileşimleri ile ilgili elde edilen deneysel sonuçlar Çizelge 6-8’de verilmiştir.

Çizelgelerde verilmiş olan bilgilere dayanılarak CuSO<sub>4</sub> - CuCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O üçlü sistemin Yeneke-Le Chatelier Yöntemine göre viskozite, yoğunluk, iletkenlik, tuzluluk diyagramları çizilmiş ve Yeneke-Le Chatelier Yöntemi ve Rozeboom Yöntemlerine göre de çözünürlük ve faz dengeleri diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 22-25).



**Çizelge 6.** CuSO<sub>4</sub> - CuCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O üçlü su-tuz sisteminin 0°C sıcaklıktaki çözünürlüğü ve dengede bulunan katı fazların bileşimi.

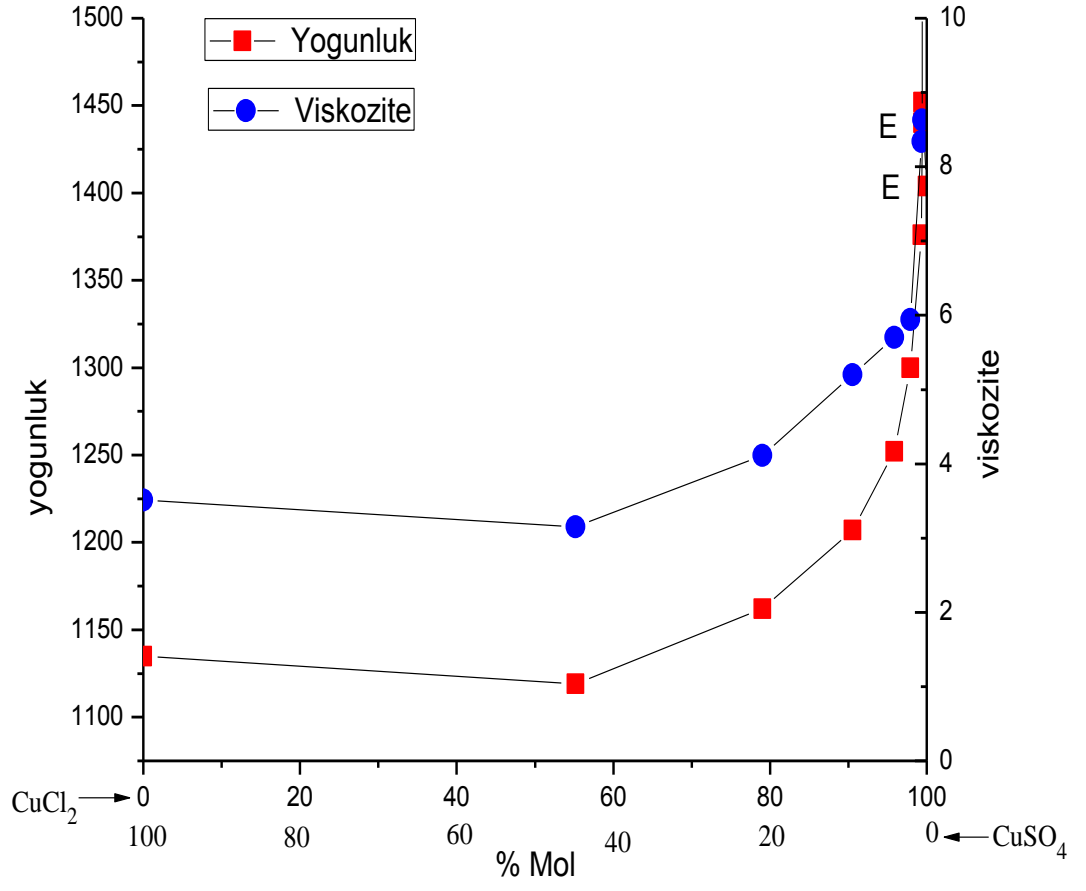
No	Sıvı Faz			Katı Faz		Katı Faz Kimyasal Bileşim
	Bileşim % Kütle			Bileşim % Kütle		
	CuCl <sub>2</sub>	CuSO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	CuCl <sub>2</sub>	CuSO <sub>4</sub>	
1	0,00	12,94	87,06	0,00	58,32	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O
2	7,24	6,98	85,78	0,98	57,75	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O
3	13,47	4,25	82,28	1,51	56,97	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O
4	19,20	2,38	78,42	2,25	56,48	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O
5	24,00	1,23	74,77	3,04	55,72	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O
6	29,10	0,74	70,16	4,06	55,07	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O
7	35,30	0,29	64,41	5,32	54,32	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O
<b>8 (E)</b>	<b>39,05</b>	<b>0,28</b>	<b>60,67</b>	<b>34,03</b>	<b>35,42</b>	<b>CuCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O+CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O</b>
<b>9 (E)</b>	<b>39,05</b>	<b>0,28</b>	<b>60,67</b>	<b>67,24</b>	<b>14,05</b>	<b>CuCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O+CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O</b>
10	40,05	0,00	78,87	78,87	0,00	CuCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O

**Çizelge 7.** CuSO<sub>4</sub> - CuCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O üçlü su-tuz sisteminin 0°C sıcaklıkta ki 100 mol tuz karışımı ve 100 mol tuza denk gelen H<sub>2</sub>O'nun mol sayısı.

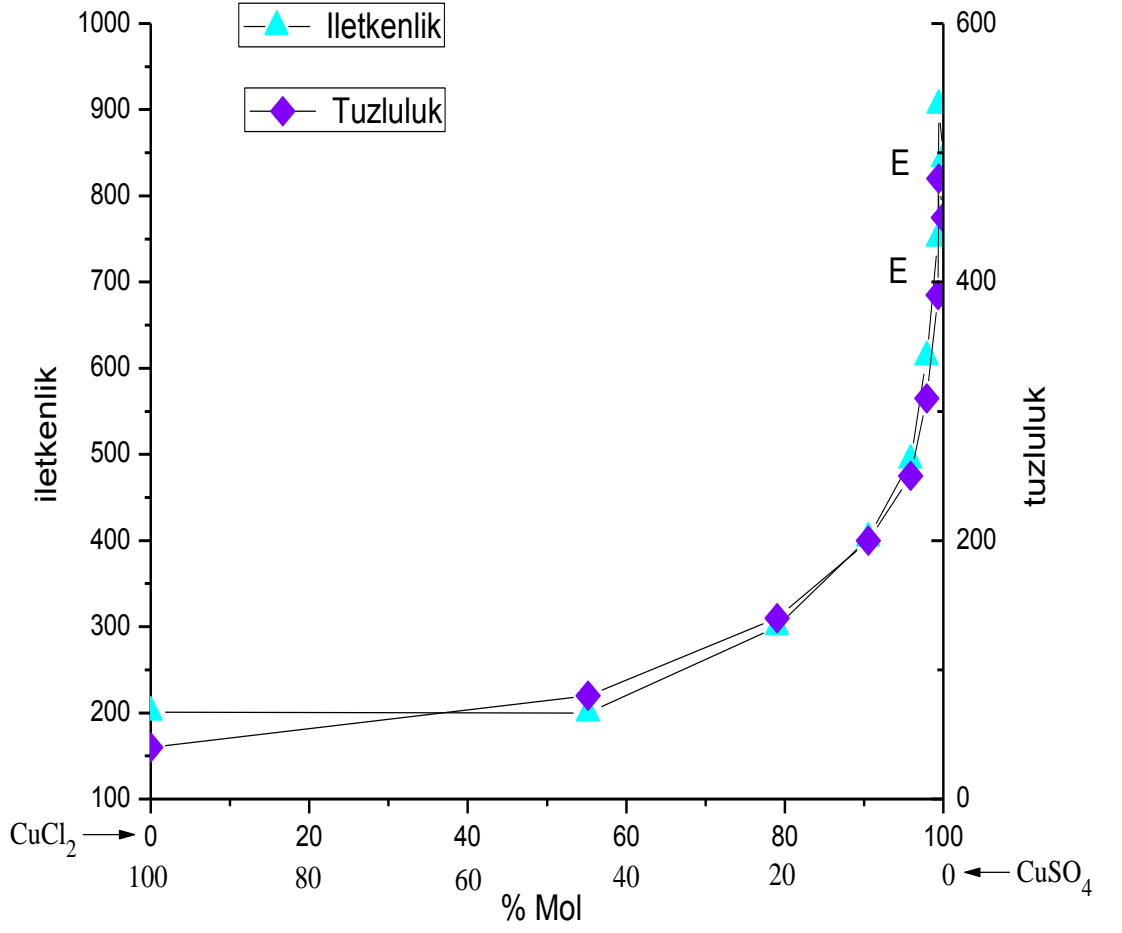
No	Sıvı Faz Bileşim % Kütle			100 Mol Tuz Karışımı		100 Mol Tuza Denk Gelen H <sub>2</sub> O'nun Mol Sayısı
	CuCl <sub>2</sub>	CuSO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	CuCl <sub>2</sub>	CuSO <sub>4</sub>	
1	0,00	12,94	87,06	0,00	100	5963
2	7,24	6,98	85,78	55,18	44,82	4887
3	13,47	4,25	82,28	79,02	20,98	3605
4	19,20	2,38	78,42	90,55	9,45	2762
5	24,00	1,23	74,77	95,86	4,14	2231
6	29,10	0,74	70,16	97,92	2,08	1763
7	35,30	0,29	64,41	99,32	0,68	1353
<b>8 (E)</b>	<b>39,05</b>	<b>0,28</b>	<b>60,67</b>	<b>99,42</b>	<b>0,58</b>	<b>1154</b>
<b>9 (E)</b>	<b>39,05</b>	<b>0,28</b>	<b>60,67</b>	<b>99,42</b>	<b>0,58</b>	<b>1154</b>
10	40,05	0,00	78,87	100	0,00	1118

**Çizelge 8.** CuSO<sub>4</sub> - CuCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O üçlü su-tuz sistemin 0° C sıcaklıktaki yoğunluğu, viskozitesi, iletkenliği ve tuzluluğu.

No	Sıvı Faz (%Kütle)			Yoğunluk d (kg/m <sup>3</sup> )	Viskozite η.(N.S.10 <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	İletkenlik (μS/cm)	Tuzluluk g/Kg
	CuCl <sub>2</sub>	CuSO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O				
1	0,00	12,94	87,06	1135	3,51	201	40
2	7,24	6,98	85,78	1119	3,15	200	80
3	13,47	4,25	82,28	1162	4,11	300	140
4	19,20	2,38	78,42	1207	5,2	403	200
5	24,00	1,23	74,77	1252	5,7	493	250
6	29,10	0,74	70,16	1300	5,94	613	310
7	35,30	0,29	64,41	1376	8,34	751	390
<b>8 (E)</b>	<b>39,05</b>	<b>0,28</b>	<b>60,67</b>	<b>1440</b>	<b>8,63</b>	<b>905</b>	<b>480</b>
<b>9 (E)</b>	<b>39,05</b>	<b>0,28</b>	<b>60,67</b>	<b>1452</b>	<b>10,18</b>	<b>905</b>	<b>480</b>
10	40,05	0,00	78,87	1404	11,42	843	450

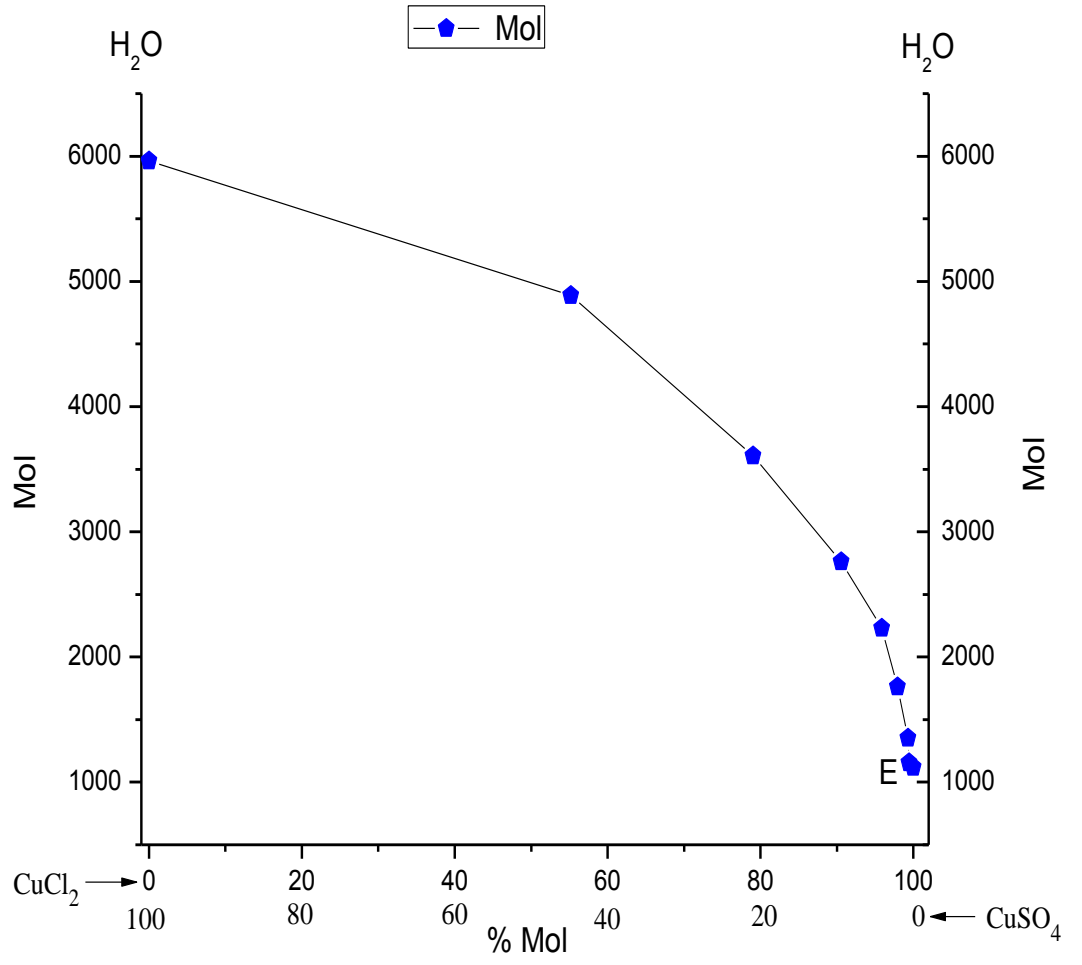


**Şekil 22:** Yeneke-Le Chatelier Yöntemiyle CuSO<sub>4</sub> - CuCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O üçlü sisteminin 0°C’de viskozite ve yoğunluk diyagramı.

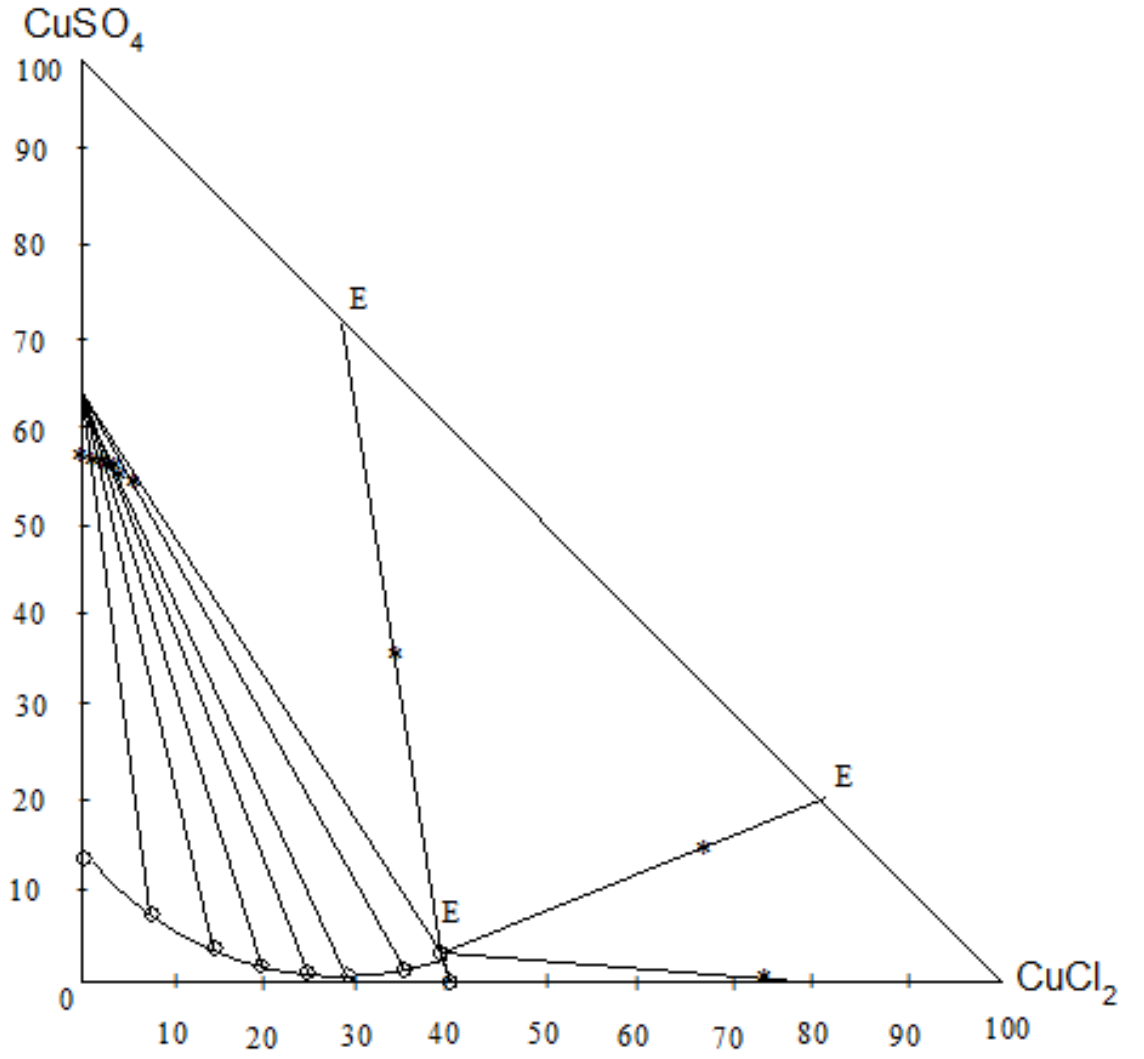


**Şekil 23:** Yeneke-Le Chatelier Yöntemiyle CuSO<sub>4</sub> - CuCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O üçlü sisteminin

0°C’de iletkenlik ve tuzluluk diyagramı.



**Şekil 24:** Yeneke-Le Chatelier yöntemiyle  $\text{CuSO}_4 - \text{CuCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$  üçlü sisteminin  $0^\circ\text{C}$ 'de çözünürlük dengeleri diyagramı.



**Şekil 25:** Rozeboom Yöntemiyle  $\text{CuSO}_4 - \text{CuCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$  üçlü sisteminin  $0^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki çözünürlük ve faz dengeleri diyagramı.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

$\text{Na}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  /  $\text{Cl}^-$ ,  $(\text{H}_2\text{PO}_2)^-$  //  $\text{H}_2\text{O}$  dörütlü karşılıklı su - tuz sisteminin bünyesinde yer alan  $\text{CuSO}_4$  -  $\text{CuCl}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  üçlü sistemlerinin fizikokimyasal yöntemlerle çözünlük, viskozite, yoğunluk, iletkenlik, tuzluluk ve faz dengeleri araştırılmıştır.

Elde edilen deneysel sonuçlara göre  $\text{CuSO}_4$  -  $\text{CuCl}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  üçlü sistemlerinin basit ötonik sistemler türüne ait olduğu saptanmıştır.

Söz konusu  $25^\circ\text{C}$ 'de sistemin ötonik noktasının bileşimi (% kütle); % 2,60  $\text{CuSO}_4$ , % 42,12  $\text{CuCl}_2$  ve % 55,28  $\text{H}_2\text{O}$  olarak tespit edilmiştir. Bu ötonik noktada sistemin sıvı fazı ile  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  kristal hidratının dengede olduğu saptanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar Çizelge 3-5 ve Şekil 21'de gösterilmiştir.

$25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta sistemin araştırılması sırasında  $\text{CuSO}_4$  tuzunun saf sudaki çözünlüğü % 13,40'tan ötonik noktadaki değer olan % 2,60'a düştüğü gözlemlenmiştir.  $\text{CuCl}_2$  'nin ise % 44,00'dan ötonik noktadaki değer olan % 42,12'ye düştüğü gözlemlenmiştir (Çizelge 4) [36].

$25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta sistemin araştırılması sırasında  $\text{CuSO}_4$  tuzunun yoğunluğu  $1197 \text{ kg/m}^3$  'den ( $\text{CuSO}_4$  tuzun doygun çözeltilisinin yoğunluğu) sisteme  $\text{CuCl}_2$  tuzunun ilave edilmesi sonucu değişerek  $1590 \text{ kg/m}^3$  'e kadar (sistemin sıvı fazın ötonik noktadaki yoğunluğu) yükseldiği tespit edilmiştir.

$25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta sistemin araştırılması sırasında  $\text{CuCl}_2$  tuzunun yoğunluğu  $1510 \text{ kg/m}^3$  'den ( $\text{CuCl}_2$  tuzun doygun çözeltilisinin yoğunluğu) sisteme  $\text{CuSO}_4$  tuzunun ilave edilmesi sonucu değişerek  $1592 \text{ kg/m}^3$  'e kadar (sistemin sıvı fazın ötonik noktadaki yoğunluğu) yükseldiği tespit edilmiştir.

$25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta sisteminin araştırılması sırasında sıvı fazın viskozitesi  $1,90 \text{ N.S.}10^3/\text{m}^2$  değerinden ( $\text{CuSO}_4$  tuzunun doygun çözeltilisinin viskozitesi) sisteme  $\text{CuCl}_2$  tuzunun



ilave edilmesi sonucu değişerek  $7,25 \text{ N.S.}10^3/\text{m}^2$  değerine kadar (sistemin sıvı fazın ötonik noktadaki viskozitesi) arttığı tespit edilmiştir.

$25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta sisteminin araştırılması sırasında sıvı fazın viskozitesi  $4,90 \text{ N.S.}10^3/\text{m}^2$  değerinden ( $\text{CuCl}_2$  tuzunun doygun çözeltisinin viskozitesi) sisteme  $\text{CuSO}_4$  tuzunun ilave edilmesi sonucu değişerek  $7,25 \text{ N.S.}10^3/\text{m}^2$  değerine kadar (sistemin sıvı fazın ötonik noktadaki viskozitesi) arttığı tespit edilmiştir.

$25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta sisteminin araştırılması sırasında sıvı fazın iletkenliğinin  $183 \mu\text{S}/\text{cm}$  değerinden ( $\text{CuSO}_4$  tuzunun doygun çözeltisinin iletkenliği) sisteme  $\text{CuCl}_2$  tuzunun ilave edilmesi sonucu değişerek  $912 \mu\text{S}/\text{cm}$  değerine kadar (sistemin sıvı fazın ötonik noktadaki iletkenliği) arttığı tespit edilmiştir.

$25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta sisteminin araştırılması sırasında sıvı fazın iletkenliğinin  $963 \mu\text{S}/\text{cm}$  değerinden ( $\text{CuCl}_2$  tuzunun doygun çözeltisinin iletkenliği) sisteme  $\text{CuSO}_4$  tuzunun ilave edilmesi sonucu değişerek  $912 \mu\text{S}/\text{cm}$  değerine kadar (sistemin sıvı fazın ötonik noktadaki iletkenliği) azaldığı tespit edilmiştir.

$25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta sisteminin araştırılması sırasında sıvı fazın tuzluluğu  $80 \text{ g}/\text{Kg}$  değerinden ( $\text{CuSO}_4$  tuzunun doygun çözeltisinin tuzluluğu) sisteme  $\text{CuCl}_2$  tuzunun ilave edilmesi sonucu değişerek  $510 \text{ g}/\text{Kg}$  değerine kadar (sistemin sıvı fazın ötonik noktadaki tuzluluğu) arttığı tespit edilmiştir.

$25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta sisteminin araştırılması sırasında sıvı fazın tuzluluğu  $550 \text{ g}/\text{Kg}$  değerinden ( $\text{CuCl}_2$  tuzunun doygun çözeltisinin tuzluluğu) sisteme  $\text{CuSO}_4$  tuzunun ilave edilmesi sonucu değişerek  $510 \text{ g}/\text{Kg}$  değerine kadar (sistemin sıvı fazın ötonik noktadaki tuzluluğu) azaldığı tespit edilmiştir.

$\text{CuSO}_4 - \text{CuCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$  üçlü su-tuz sistemin  $25^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki yoğunluğu, viskozitesi, iletkenliği ve tuzluluğu Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Söz konusu 0°C’de sistemin ötonik noktasının bileşimi (% kütle); % 0,28 CuSO<sub>4</sub>, % 39,05 CuCl<sub>2</sub> ve % 60,67 H<sub>2</sub>O olarak tespit edilmiştir. Bu ötonik noktada sistemin sıvı fazı ile CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O ve CuCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O kristal hidratının dengede olduğu saptanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar Çizelge 6-8 ve Şekil 25’de gösterilmiştir.

0°C sıcaklıkta sistemin araştırılması sırasında CuSO<sub>4</sub> tuzunun saf çözünürlüğü % 12,94’tan ötonik noktadaki değer olan % 0,28’e düştüğü gözlemlenmiştir. CuCl<sub>2</sub> ‘nin ise % 40,05’den ötonik noktadaki değer olan % 39,05’e düştüğü gözlemlenmiştir (Çizelge 7).

0°C sıcaklıkta sistemin araştırılması sırasında CuSO<sub>4</sub> tuzunun yoğunluğu 1135 kg/m<sup>3</sup> ‘den (CuSO<sub>4</sub> tuzun doymuş çözeltisinin yoğunluğu) sisteme CuCl<sub>2</sub> tuzunun ilave edilmesi sonucu değişerek 1440 kg/m<sup>3</sup> ‘e kadar (sistemin sıvı fazın ötonik noktadaki yoğunluğu) yükseldiği tespit edilmiştir.

0°C sıcaklıkta sistemin araştırılması sırasında CuCl<sub>2</sub> tuzunun yoğunluğu 1404 kg/m<sup>3</sup> ‘den (CuCl<sub>2</sub> tuzun doymuş çözeltisinin yoğunluğu) sisteme CuSO<sub>4</sub> tuzunun ilave edilmesi sonucu değişerek 1452 kg/m<sup>3</sup> ‘e kadar (sistemin sıvı fazın ötonik noktadaki yoğunluğu) yükseldiği tespit edilmiştir.

0°C sıcaklıkta sisteminin araştırılması sırasında sıvı fazın viskozitesi 3,51 N.S.10<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> değerinden (CuSO<sub>4</sub> tuzunun doymuş çözeltisinin viskozitesi) sisteme CuCl<sub>2</sub> tuzunun ilave edilmesi sonucu değişerek 8,63 N.S.10<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> değerine kadar (sistemin sıvı fazın ötonik noktadaki viskozitesi) arttığı tespit edilmiştir.

0°C sıcaklıkta sisteminin araştırılması sırasında sıvı fazın viskozitesi 11,42 N.S.10<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> değerinden (CuCl<sub>2</sub> tuzunun doymuş çözeltisinin viskozitesi) sisteme CuSO<sub>4</sub> tuzunun ilave edilmesi sonucu değişerek 10,18 N.S.10<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> değerine kadar (sistemin sıvı fazın ötonik noktadaki viskozitesi) azaldığı tespit edilmiştir.

0°C sıcaklıkta sisteminin araştırılması sırasında sıvı fazın iletkenliğinin 201  $\mu\text{S}/\text{cm}$  değerinden ( $\text{CuSO}_4$  tuzunun doymuş çözeltisinin iletkenliği) sisteme  $\text{CuCl}_2$  tuzunun ilave edilmesi sonucu değişerek 905  $\mu\text{S}/\text{cm}$  değerine kadar (sistemin sıvı fazın ötonik noktadaki iletkenliği) arttığı tespit edilmiştir.

0°C sıcaklıkta sisteminin araştırılması sırasında sıvı fazın iletkenliğinin 843  $\mu\text{S}/\text{cm}$  değerinden ( $\text{CuCl}_2$  tuzunun doymuş çözeltisinin iletkenliği) sisteme  $\text{CuSO}_4$  tuzunun ilave edilmesi sonucu değişerek 905  $\mu\text{S}/\text{cm}$  değerine kadar (sistemin sıvı fazın ötonik noktadaki iletkenliği) arttığı tespit edilmiştir.

0°C sıcaklıkta sisteminin araştırılması sırasında sıvı fazın tuzluluğu 40 g/Kg değerinden ( $\text{CuSO}_4$  tuzunun doymuş çözeltisinin tuzluluğu) sisteme  $\text{CuCl}_2$  tuzunun ilave edilmesi sonucu değişerek 480 g/Kg değerine kadar (sistemin sıvı fazın ötonik noktadaki tuzluluğu) arttığı tespit edilmiştir.

0°C sıcaklıkta sisteminin araştırılması sırasında sıvı fazın tuzluluğu 450 g/Kg değerinden ( $\text{CuCl}_2$  tuzunun doymuş çözeltisinin tuzluluğu) sisteme  $\text{CuSO}_4$  tuzunun ilave edilmesi sonucu değişerek 480 g/Kg değerine kadar (sistemin sıvı fazın ötonik noktadaki tuzluluğu) arttığı tespit edilmiştir.

$\text{CuSO}_4$  -  $\text{CuCl}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  üçlü su-tuz sistemin 0°C sıcaklıktaki yoğunluğu, viskozitesi, iletkenliği ve tuzluluğu Çizelge 8'de gösterilmiştir.

Bu değerlendirmeler sonucu,  $\text{CuSO}_4$  -  $\text{CuCl}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  üçlü su-tuz sistemlerin araştırılmasında kullanılan fizikokimyasal yöntemlerin, sıvı ve katı fazların bileşimlerinin analizinde uygulanan analitik yöntemlerin ve diğer deneysel çalışmaların doğru ve mümkün olduğu kadarıyla hatasız bir şekilde gerçekleştirildiği ve elde edilen sonuçların yüksek derecede sağlam ve güvenilir oldukları düşünülebilir.

25°C ve 0°C'de sıcaklıkta  $\text{CuSO}_4$  -  $\text{CuCl}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  üçlü su-tuz sistemin fizikokimyasal yöntemlerle çözünürlüğü, yoğunluğu, viskozitesi, iletkenliği, tuzluluğu ve faz

dengelerinin araştırılması sırasında elde edilen deneysel sonuçların ve bunlara dayanarak kurulan ve çizilen diyagramların “ Hallurji” tuz endüstrisinde uygulanabilecek  $\text{CuSO}_4$  ve  $\text{CuCl}_2$  tuzlarının doğal tuz karışımlarından ve sanayi atıklarında bulunan tuz karışımlarından ayrılması yöntemlerinin fizikokimyasal esaslarının hazırlanmasında kullanılması mümkündür.

$25^\circ\text{C}$  ve  $0^\circ\text{C}$ 'deki sıvı fazların bileşimleri karşılaştırıldığı zaman,  $\text{CuCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$  ikili sisteminde ( $\text{CuCl}_2$ 'nin tek çözünürlüğü)  $0^\circ\text{C}$ 'de % 40,05 ve  $25^\circ\text{C}$ 'de % 44,00 olduğu tespit edilmiştir. % 3,95'lik bir çözünürlük farkı olduğu anlaşılmıştır. Aynı şekilde  $\text{CuSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  ikili sisteminde ( $\text{CuSO}_4$ 'ün tek çözünürlüğü)  $0^\circ\text{C}$ 'de % 12,94 ve  $25^\circ\text{C}$ 'de % 13,40 olduğu tespit edilmiştir. % 0,46'lık bir çözünürlük farkı olduğu anlaşılmıştır. Bu sonuçlara göre  $\text{CuSO}_4$ 'ün çözünürlüğü  $25^\circ\text{C}$ 'lik sıcaklık farkında pek değişmediği, ama  $\text{CuCl}_2$ 'nin ise çözünürlüğünün sıcaklıkla değişiminin daha belirgin olduğu anlaşılmıştır.

Ötonik noktada ise  $\text{CuCl}_2$ 'nin  $0^\circ\text{C}$ 'deki çözünürlüğü % 39,05 iken  $25^\circ\text{C}$ 'de % 42,12 olduğu yine  $25^\circ\text{C}$  sıcaklık farkında % 3,07'lik çözünürlük farkı olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde  $\text{CuSO}_4$ 'ün sırasıyla % 0,28 ve % 2,60 olduğu, çözünürlük farkının % 2,32 olduğu tespit edilmiştir.

Bu değerler bize bu iki tuzun birbirinden ayrılması için kurulabilecek sistem hakkında yol göstermektedir.  $25^\circ\text{C}$ 'deki doygun  $\text{CuSO}_4 - \text{CuCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$  sistemi soğutulduğunda hemen hemen  $\text{CuSO}_4$ 'ün hepsinin katı faza geçmesi beklenebilir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Kurnakov, N.S., Jemçujny S.F., “Davleniye isteçeniya i tvyordost plastiçeskikh tel”, Sborn. 1, 324-385, (1913).
- [2] Alişoğlu, V., “Potasyum ve Manganın Bromür ve Sülfatlarını İhtiva Eden Karşılıklı Su-Tuz Sisteminin Fizikokimyasal Araştırılması”, Doktora Tezi. Bakü, (1973).
- [3] Van't Hoff., “Okeaniçeskiye Solyaniye Otlojeniya Khimteoret”. İzd. İnost. Lit. M., pp. 17-23, (1936).
- [4] Solovyov, Y.İ., “Oçerki İ istoriyi fizikokhimiçeskogo analiza”, İzd. AN SSSR, M., (1955).
- [5] Gruşvitskiy, V.E., “Fizikokhimiçeskiy analiz v gallurğiyi”, ONTİ, Khim. Teoret., L., (1937).
- [6] Anosov, V.Y., İ Pogodin S.A., “Osnovniye naçala fizikokhimiçeskogo analiza”, M., (1948).
- [7] Bergman, A.G., Vlasov, N.A., Dok. Akad. Nauk. SSSR, 36, No: 2, 64, (1942).
- [8] Bergman, A.G., Vlasov, N.A., Dok. Akad. Nauk. SSSR, 35, 308, (1942).
- [9] Alisoğlu, V., “Analyse Physico-chimique du Systeme Quaternaire  $Na^+$ ,  $Mn^{2+}$ /  $Cl^-$ ,  $(H_2PO_2)^-//H_2O$ ”, C. R., Chimie 5, 547-549, (2002).
- [10] Karyagin, Y.V., “Chistye Khimicheskie Reaktivy”, İzd.-vo. Khim. Lit., M.L., 290, (1947).
- [11] Yantsiyeva, S.K.H., Namazov, S.H.S., Korotkova, E.G., Kucharov, K.H., Zr. Neorg. Khim., t. 37, No6, pp. 1371-1375, (1992).
- [12] Beglov, B.M., Tukhtayev, S., Yugay, M.R., Zr. Neorg. Khim., t. 25, No8, pp. 2283-2287, (1980).
- [13] Erge, H., “Sodyum ve Baryum Klorürleri ve Hipofosfitlerini İçeren Dörtlü Karşılıklı Su-Tuz Sisteminin İzotermik Yöntemle Fizikokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, 100.Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, (2009).
- [14] Pozin, M.E., “Tekhnologiya Mineralnıkh Soley”. İzd. L., pp. 3-15, (1961).
- [15] Egemen, Ö., Sunlu, U., Su Kalitesi ders kitabı, Ege üniversitesi Su ürünleri Fakültesi Yayın no: 14 4, S: 67, İzmir, (2003).

- [16] Anosov, V.Y., Ozerova, M.I., Fialkov, V.Y., “Osnovy Fizikokhimicheskogo Analiza”, İzd.Nauka M. pp. 175-193, (1987).
- [17] Greenwood N.N.; Earnshaw A., 1997, “Chemistry of the Elements”, 2nd. Edition, Oxford, Butterword-Heineman.
- [18] Nicholls D., 1973, “Complexes and Firs-Row Transition Elements”, Macmillan, London.
- [19] Wells A.F., 1984, “Structural Inorganic Chemistry”, 5 th edition, Oxford University, Oxford, UK.
- [20] March J., 1992, “Advanced Organic Chemistry”, 4 th, Wiley, New York, pp. 723.
- [21] Patnaik, Pradyot, 2002, “Handbook of Inorganic Chemicals”, McGraw-Hill, Two Penn Plaza, New York, pp. 262-263.
- [22] Wells A.F., 1984, “Structural Inorganic Chemistry”, Oxford Clarendon.
- [23] Jolly W.L., 1983, “The Synthesis an Characterization of Inorganic Compounds”, Prentice Hall, London, pp. 197.
- [24] Menke J.B., 1925, Nitration with Nitrates, Recueil des Travaux Chimiques des Payes-Bas, pp. 44-141.
- [25] Masterson W.L.; Hurley C. N., 2004, “Chemistry: Principles and Reactions”, 5 th Ed., Thomson Learning, Inc., pp. 498.
- [26] Bertschowza B., 1926, “Rocrn Chemistry”, N° 6, pp. 705.
- [27] Stortenbecker W., 1900, Z. Physik. Chemistry, N° 34, pp. 109.
- [28] Trethakov Y.D.; Simakova L.K., 1961, Zr. Neorg. Khim., 6, N° 9, pp. 2203.
- [29] Gündüz T., 1997, “Kantitatif Analiz Laboratuar Kitabı”, 7, pp. 145-175.
- [30] <http://www.kursunkalem.com/yukseltgenme-indirgenme-titrasyonlari.html>, (08.05.2012).
- [31] Gündüz T., Kantitatif Analiz Laboratuar Kitabı, Gazi Kitabevi, Ankara, (1999).
- [32] Christov, C., “Thermodynamic study of the Na-Cu-Cl-SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O system at the temperature 298.15 K”, J. Chem. Thermodynamics, 32, 285–295, (2000).
- [33] Wollmann, G., Voigt, W., “Solid–liquid phase equilibria in the system K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>–MnSO<sub>4</sub>–H<sub>2</sub>O at 298 K and 313 K”, Fluid Phase Equilibria, 291, s. 76–80, (2010).
- [34] Li, Z., Deng, T. and Liao, M., “Solid–liquid metastable equilibria in the quaternary system Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> +MgSO<sub>4</sub>+Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>O at 263.15 K”, Fluid Phase Equilibria 293,

s. 42–46, (2010).

- [35] Azlarov, A.B., Polvonov, Kh. M., Askarova, M.K., and Tukhtaev, S., “Isothermal Solubility Diagram of the  $2\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}||2\text{Cl}^-$ ,  $-\text{H}_2\text{O}$  Quaternary System at 20 and  $100^\circ\text{C}$ ”, Russian Journal of Inorganic Chemistry, Vol. 56, No. 1, pp. 124–127, (2011).
- [36] Soytürk, Ç., Aktaş, V., “ $25^\circ\text{C}$  Sıcaklıkta  $\text{NaCl-CuCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  Üçlü Su-Tuz Sisteminin İzotermik Yöntemle Çözünürlüğünün ve Faz Dengelerinin Araştırılması”, Lisans Bitirme Tezi, Kars, 2010.

## ÖZGEÇMİŞ

**ADI SOYADI** : ÇAĞLAR SOYTÜRK  
**DOĞUM YERİ** : GEMEREK/SİVAS  
**DOĞUM TARİHİ** : 10.09.1985  
**MEDENİ HALİ** : BEKAR  
**YABANCI DİLİ** : İNGİLİZCE

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

**Lise** : ATATÜRK ÇOK PROGRAMLI LİSESİ  
GEMEREK/SİVAS-2004  
**Lisans** : KAFKAS ÜNİVERSİTESİ FEN-EDEBİYAT  
FAKÜLTESİ/KİMYA BÖLÜMÜ KARS-2010  
**Yüksek Lisans** : KAFKAS ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA ANABİLİM DALI ANORGANİK KİMYA BİLİM  
DALI-2012

### Ulusal Hakemli Dergilerde yayımlanan yayınlar

- 1- Soytürk, Ç., Erge, H., Adıgüzel, V., Kul, A.R., Aktaş, V., “25°C Sıcaklıkta NaCl - CuCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O Üçlü Su-Tuz Sisteminin İzotermik Yöntemle Çözünürlüğünün ve Faz Dengelerinin Araştırılması”, 100. Yıl üniv. Fen Bil. Enst. Dergisi, Cilt:15, Sayı:1, sayfa:11-16, 2010.

### Sertifikalar

- 1- 14001 Çevre Yönetim Sistemi [Türkçe-İngilizce].
- 2- ISO 9001:2008 KYS (Kalite Yönetim Sistemi) [Türkçe-İngilizce].
- 3- ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi [Türkçe-İngilizce].
- 4- Stratejik Yönetim [Türkçe-İngilizce].
- 5- OHSAS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği [Türkçe-İngilizce].
- 6- ISO 9001:2008 İç Tetikçi [Türkçe-İngilizce].
- 7- Entegre Yönetim Sistemi.
- 8- Beden Dili ve Sözsüz İletişim Katılım Belgesi.
- 9- İngilizce Sertifikası [Intermediate].