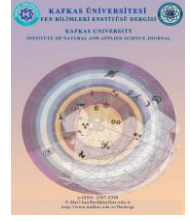




## Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Institute of Natural and Applied Science Journal

Dergi ana sayfası/ Journal home page: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kujs>



E-ISSN: 2587-2389

### Sodyumbromür-Baryumhipofosfit-Su Üçlü Su- Tuz Sistemindeki Yoğunluğun Farklı Sıcaklıklarda İncelenmesi

Hasan ERGE<sup>1\*</sup>, Ali Rıza KUL<sup>1</sup>, Vedat ADIGÜZEL<sup>2</sup>, Resul Fırat KAHRAMANER<sup>3</sup> & Benay YENİCE<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi Kimya Bölümü, Van, Türkiye

<sup>2</sup> Kafkas Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Kars, Türkiye

<sup>3</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Van, Türkiye

(İlk Gönderim / Received: 25. 08. 2023, Kabul / Accepted: 12. 12. 2024, Online Yayın / Published Online: 24.12.2024)

#### Anahtar Kelimeler:

Yoğunluk,  
Üçlü sistem,  
Çözünürlük,  
Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>.

**Özet:** Bu çalışmaya göre; fizikokimyasal analiz yöntemleri uygulanarak; Ba<sup>2+</sup> Na<sup>+</sup> / Br<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>O // (H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sup>-</sup> tuz-su sisteminde bulunan NaBr- H<sub>2</sub>O- Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> üçlü sistemin 273.15 ile 323.15K sıcaklıktaki yoğunlukları üzerine çalışma yapıldı. NaBr-H<sub>2</sub>O-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> üçlü su-tuz sisteminin 273.15 K ve 323.15 K sıcaklıklardaki yoğunluklarının incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırmanın temel problemi, bu üçlü sistemin yoğunluk özelliklerinin sıcaklık ve bileşim değişiklikleriyle nasıl etkilendiğini anlamak ve ötonik noktalarını belirlemektir. Bu bilgiler, tuz-su sistemlerinin fizikokimyasal davranışlarını anlamak ve ileri kimyasal uygulamalarda kullanılabilir veri sağlamak için önemlidir. Yoğunluk ve ötonik noktaların tanımlanmış çalışmada kullanılan cihazlar (piknometre, termostat) ve kimyasallar açıklanmıştır. NaBr-H<sub>2</sub>O-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> sisteminin farklı sıcaklıklardaki yoğunluk değişimleri ve ötonik nokta bileşimleri sunulmaktadır. NaBr-H<sub>2</sub>O-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> sisteminde, hem 273.15 K hem de 323.15 K sıcaklıklarda ötonik noktalar tespit edilmiştir. 273.15 K sıcaklıkta ötonik nokta bileşimi: %40.95 NaBr, %52.35 H<sub>2</sub>O, %6.70 Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>; yoğunluk: 1522 kg/m<sup>3</sup>tür. 323.15 K sıcaklıkta ötonik nokta bileşimi: %48.62 NaBr, %46.17 H<sub>2</sub>O, %5.21 Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>; yoğunluk: 1619 kg/m<sup>3</sup>tür. Sıvı faz yoğunlukları, ötonik noktadaki tuz miktarlarının artışı ile sistemin doygun çözeltilerinin yoğunluklarından daha yüksek değerler göstermiştir. Yoğunluk, bileşim ve sıcaklık değişiklikleri arasında belirgin bir korelasyon bulunmuştur. Yoğunluk değişimleri, sistemde çözülmüş madde miktarına ve sıcaklığa bağlıdır. Ötonik noktadaki yoğunluk artışı, bu noktada çözülmüş tuz miktarlarının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Elde edilen veriler, farklı sıcaklıklarda tuz-su sistemlerinin davranışlarını anlamada önemli bir kaynak sağlamaktadır. Ayrıca, bu tür sistemlerin kimyasal üretim süreçlerinde kullanılabileceği önerilmiştir

### Investigation of Density in Sodiumbromide- Bariumhypophosphite-Water Triple Water-Salt System at Different Temperatures

#### Keywords:

Density,  
Ternary system,  
Solubility,  
Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>

**Abstract:** According to this study; by applying physicochemical analysis methods; The densities of NaBr- H<sub>2</sub>O- Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> ternary system in Ba<sup>2+</sup> Na<sup>+</sup> / Br<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>O // (H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sup>-</sup> salt-water system at temperatures of 273.15 and 323.15K were studied. The aim was to investigate the densities of NaBr-H<sub>2</sub>O-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> ternary water-salt system at temperatures of 273.15 K and 323.15 K. The main problem of the research is to understand how the density properties of this ternary system are affected by temperature and composition changes and to determine their eutonic points. This information is important for understanding the physicochemical behavior of salt-water systems and to provide usable data in advanced chemical applications. The definition of density and eutonic points was made, the devices (pycnometer, thermostat) and chemicals used in the study were explained. Density changes and eutonic point compositions of NaBr-H<sub>2</sub>O-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> system at different temperatures are presented. In NaBr-H<sub>2</sub>O-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> system, eutonic points were detected at both 273.15 K and 323.15 K. The eutonic point composition at 273.15 K is: 40.95% NaBr, 52.35% H<sub>2</sub>O, 6.70% Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>; density: 1522 kg/m<sup>3</sup>. The eutonic point composition at 323.15 K is: 48.62% NaBr, 46.17% H<sub>2</sub>O, 5.21% Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>; density: 1619 kg/m<sup>3</sup>. Liquid phase densities showed higher values than the densities of saturated solutions of the system with the increase of salt amounts at the eutonic point. A significant correlation was found between density, composition and temperature changes. Density changes depend on the amount of dissolved substance in the system and the temperature. The density increase at the eutonic point is due to the high amount of dissolved salt at this point. The obtained data provide an important source for understanding the behavior of salt-water systems at different temperatures. In addition, it was suggested that such systems could be used in chemical production processes.

## 1. GİRİŞ

Maddenin hem görünüşü hem de şekliyle ilgili madde bileşimini değiştirmeyen özelliklere fiziksel özellikler denir. Maddenin fiziksel özelliklerini iki ana başlıkta toplayabiliriz. Bunlar ekstensif (kapasite özelliği) ve intensif (şiddet özelliği)'dir. Miktarla bağımlı olan ağırlık ve hacim gibi özellikler madde miktarına bağlı olan ekstensif özelliklerdir. Yoğunluk, kaynama noktası vs. özellikler ise madde miktarına bağlı olmayan intensif özellikleri oluşturur. Maddenin birim hacimdeki kütesine yoğunluk adı verilir. Yoğunluk = kütle.hacim<sup>-1</sup> ya da  $d = m.V^{-1}$  formülüyle gösterilir. Burada hacim ve kütle birimleri SI birim sistemine göre; m<sup>3</sup> ve kg'dır. Genellikle daha fazla karşılaşılan yoğunluk birimi ise g.cm<sup>-3</sup> veya g.mL<sup>-1</sup>'dir. Yoğunluk piknometre adı verilen aletle ölçülür. Maddelerin yoğunlukları sıcaklığa bağlı olarak değişir. Genellikle sıcaklık artışı yoğunluğu azaltmaktadır. Ancak sıcaklık arttıkça hacmi azalan ve yoğunluğu artan maddelerde bulunmaktadır. Erge (2019),'nin belirttiği gibi; Kurnakov tarafından ilk kez ifade edilen fizikokimyasal analiz yöntemi, sistemdeki herhangi bir özelliğe bakılarak (tuzluluk, yoğunluk, viskozite, iletkenlik vb.) sözü edilen bu sistemin bileşenlerinin birbirlerini nasıl etkilediklerini ortaya koymak için kullanılan bir araştırma yöntemidir. Adıgüzel (2009)' e göre; söz konusu olan bu yöntem dengedeki çözeltinin (sıvı fazdaki) yoğunluğunun analizine dayanmaktadır. Aşağıda yazılmış olan formül kullanılarak hesaplamalar yapılmaktadır.

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

burada;

$m_{\text{çöz.}}$  = piknometrenin çözelti ile tartı miktarı,

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

$m_0$  = boş olan piknometrenin tartı miktarı,

$D_{\text{H}_2\text{O}}^{(t)}$  = suyun (t) sıcaklıktaki yoğunluğu.

Alişoğlu (2004), fizikokimyasal analiz yöntemlerini kullanarak, Mn<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup> / Cl<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>O// (H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sup>-</sup> tuz-su sisteminde 25°C sıcaklıktaki yoğunluğu, viskoziteyi, faz dengelerini ve çözünürlüğü araştırmıştır. Araştırmalarının sonunda iki ötonik nokta belirlemiştir. Öncelikle birinci ötonik noktanın bileşimini (%kütle olarak); MnCl<sub>2</sub> - % 41.50, NaCl - % 4.12, H<sub>2</sub>O - % 52.32, Mn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> - % 2.06 ve şeklinde tespit etmiştir. Sözü edilen bu ötonik noktada 25°C sıcaklıkta bulunan sıvı faz ile aşağıda belirtilen üç katı fazın dengede olduklarını tespit etmiştir: MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O, NaCl, Mn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O'dir. Yukarıda belirtilen katı fazlarla denge halinde olan sıvı fazın yoğunluğu ve viskozitesi 1522kg.m<sup>-3</sup> ve 16.20.10<sup>-3</sup> Pa.s olarak belirtilmiştir. İkinci ötonik noktada sıvı faz ile dengede bulunan üç katı faz Mn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O, NaCl, NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O olarak saptamıştır. Sözü edilen ötonik noktanın bileşimini ise NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub> - % 46.38, NaCl - % 1.80, H<sub>2</sub>O - % 51.72, Mn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> - % 0.10 olarak belirtmiştir. İkinci ötonik noktadaki dengede bulunan sıvı fazın yoğunluğunu ve viskozitesini sırasıyla 1365 kg.m<sup>-3</sup> ve 14.42.10<sup>-3</sup> Pa.s olarak saptamıştır.

Alişoğlu (2005), izotermik yöntem kullanılarak Mn<sup>++</sup> Na<sup>+</sup> / Br<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>O // (H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sup>-</sup> tuz-su sisteminde 25°C sıcaklıktaki çözünürlüğünü, faz dengelerini, viskoziteyi ve yoğunluğu tayin etmiştir. Çalışmalar sonunda iki ötonik nokta tespit

etmiştir. İlk olan ötonik nokta bileşimini (% kütle olarak); MnBr<sub>2</sub> - % 58.36, NaBr - % 13.72, H<sub>2</sub>O - % 26.64 ve Mn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> - % 1.28 şeklinde tayin etmiştir. Saptanan bu ötonik noktada bulunan 25°C sıcaklıktaki sıvı faz ile aşağıda belirtilen üç katı haldeki fazın dengede olduklarını belirlemiştir. Bunlar MnBr<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O, NaBr.2H<sub>2</sub>O, Mn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O'dır. Yukarıda belirtilen katı fazlarla birlikte dengede olan sıvı fazın viskozitesi 17.85. 10<sup>-3</sup> Pa.s ve yoğunluğu 2047 kg.m<sup>-3</sup> olarak belirtilmiştir. İkinci ötonik noktada sıvı faz ile dengede bulunan üç katı fazın ise Mn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O, NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O, NaBr.2H<sub>2</sub>O olduklarını saptamıştır. Sözü edilen ötonik noktadaki bileşim ise Mn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> - % 0.39, NaBr - % 22.00, H<sub>2</sub>O - % 37.39 ve NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub> - % 40.22 yüzdelik olarak belirtilmiştir. İkinci ötonik noktada dengede bulunan sıvı fazın viskozitesi 27.15 .10<sup>-3</sup> Pa.s ve yoğunluğu 1635 kg.m<sup>-3</sup> olarak saptanmıştır. Sözü edilen dördüncü olan karşılıklı tuz-su sistemindeki Mn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O kristal hidratin kristalleşme bölümünün öteki bileşenlere oranla en büyük alanı kapladığı görülmüştür. (genel olarak kristalleşme bölümünün % 92.00'si).

Ergen ve ark. (2008), Ba<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> / Cl<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>O // (H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sup>-</sup> tuz-su sisteminde yer alan H<sub>2</sub>O-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>- BaCl<sub>2</sub> üçlü olan sistemin 0°C de bulunan sıcaklıkta yoğunluğunu, çözünürlüğünü, faz dengelerini ve iletkenliğini tayin etmek için çalışmalar yapmışlardır. Araştırmalar esnasında bu sistemin aşağıdaki bileşimi içeren bir ötonik noktasının bulunduğunu saptamışlardır. (% kütle olarak); Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>- 7.85, BaCl<sub>2</sub>-22.53 ve H<sub>2</sub>O-69.62 Tespit ettikleri bu ötonik noktada sıvı faz ile iki katı fazın dengede olduğunu belirtmişlerdir: Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>. H<sub>2</sub>O ve BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O

Alacabey ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada Ba<sup>2+</sup> Na<sup>+</sup> / Cl<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>O // (H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sup>-</sup> tuz-su sisteminde bulunan H<sub>2</sub>O-NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> tuz-su sisteminin 0°C sıcaklıktaki yoğunluğunu, faz dengelerini, çözünürlüğünü ve iletkenliğini araştırmışlardır. Sözü edilen sistemdeki aşağıdaki bileşime sahip olan ötonik noktayı saptamışlardır. (% kütle olarak); H<sub>2</sub>O-54.18, Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-0.55, NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>-45.27

Adıgüzel (2014), yapmış olduğu çalışmasında Zn<sup>2+</sup> Na<sup>+</sup> / Cl<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>O// (H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sup>-</sup> dördüncü tuz-su sisteminin 0°C sıcaklıktaki izotermik yöntem kullanarak yoğunluğunu, viskozitesini, çözünürlüğünü, faz dengelerini, tuzluluk oranını ve iletkenliğinin araştırmasını yapmıştır. İki ötonik nokta saptamıştır. İlk ötonik nokta bileşimini (% kütle olarak); H<sub>2</sub>O-54.43, NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>-43.99, Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-0.49, NaCl-1.09 olarak belirlemiştir. Sözü edilen ötonik noktada 0°C sıcaklıktaki sıvı faz ile beraber aşağıda belirtilen üç katı haldeki fazın dengede olduğu tespit edilmiştir. Bu fazlar Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O, NaCl, NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O'dır. İkinci olarak belirlenen ötonik noktanın bileşimi (% kütle olarak ölçülen değerler); H<sub>2</sub>O-33.26, Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-6.78, ZnCl<sub>2</sub>-54.82, NaCl-5.14 olarak saptamıştır. Sözü edilen ötonik noktada 0°C sıcaklıkta sıvı faz ile üç katı haldeki fazın dengede olduklarını tespit etmiştir. Bu fazlar ZnCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O, 2NaCl.ZnCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O, Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, 'dir.

Özdek ve ark. (2014), Ba<sup>2+</sup> Na<sup>+</sup> / Cl<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>O// (H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sup>-</sup> tuz-su sisteminde bulunan H<sub>2</sub>O- Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-Na<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> üçlü su-tuz sisteminin 50°C sıcaklıktaki izotermik yöntem kullanarak yoğunluğunu, faz dengelerini, çözünürlüğünü ve iletkenliğini

saptamak için çalışmalar yapmışlardır. Sözü edilen sistemdeki "Bileşim-Özellik" diyagramını çizmişlerdir.

Zheng ve ark. (2016), çalışmalarında, tuzlu olan minerallerin çözünürlüklerini ve iki üçlü sistemdeki çözeltilerin yoğunluklarını, kalsiyum klorür-su-çinko klorür ve potasyum klorür-su-çinko klorür, izotermal yöntem kullanılarak çözünme denge metodu ile 373 K'de ölçmüşlerdir. Tespit edilen denge çözünürlük verisi ve karşılığı olan denge katı fazlarına göre, iki sistemin yoğunluk diyagramlarını ve faz diyagramlarını çizmişlerdir. Üçlü  $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O-ZnCl}_2$  sistemin 373 K'de faz diyagramı üç tek değişkenli çözünürlük eğrisi, iki değişmez nokta ve  $\text{CaCl}_2 \cdot \text{ZnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ye karşılık gelen üç katı kristalin faz bölümünden meydana geldiğini belirtmişlerdir. Buna ek olarak üçlü  $\text{KCl-H}_2\text{O-ZnCl}_2$  sistemin 373 K'de faz diyagramı, üç tek değişkenli çözünürlük eğrisi, iki değişmez nokta ve  $2\text{KCl} \cdot \text{ZnCl}_2$ ,  $\text{KCl}$  ve  $\text{ZnCl}_2$ 'ye karşılık gelen üç katı kristalin faz alanından meydana geldiğini belirtmişlerdir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Araştırması Yapılan Sistemde Kullanılan Cihazlar ve Kimyasallar

Araştırılması yapılan sistemin yoğunluğu, çözünürlüğü, dengede olan fazları ve iletkenliği tayin edilirken özel bir cam kap kullanıldı. Çözeltilerin yoğunluk tayinini yapmak için 5-10 mL hacme sahip olan piknometre kullanıldı. Pipet kullanılarak araştırması yapılan bu sistemin sıvı faz kısmından numune alınarak piknometreye aktarıldı. Gerekli olan hacimden biraz daha fazlası ilave edildi. Çözeltinin olduğu aynı olan sıcaklıkta termostatta 15-20 dakika kadar bekletildi. Bu işlem sonunda süzgeç kâğıdından küçük bir parça alınarak piknometrede bulunan çözelti, var olan çizgiye kadar ilave edildi. Piknometre, süzgeç kâğıdı arasında kurutularak tartıldı (Şekil 1 ve Şekil 2).

$\text{NaBr-H}_2\text{O-Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$  üçlü tuz-su sistemini oluşturmak için; Merck ve Riedel-de Haen'in tuzları kullanılmıştır.

$\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  tuzu ise;



Şekil 1. Bu yöntemin araştırılması esnasında ihtiyaç duyulan özel cam düzenek.



Şekil 2. Araştırılması yapılan sistemde kullanılmış olan piknometre.

tepkimesi sonucunda laboratuvar ortamında saf olarak elde edilmiştir. Elde edilen tuz için iki defa kristallendirme işlemi yapılmıştır (Erge, 2013). Sistemdeki dengede bulunan fazlar ve çözünürlük tayini için elektro- termostata monte edilmiş özel cam kap, sistemdeki sıvı fazın yoğunluğunu tespit etmek için 5 mL hacmi olan piknometre kullanılmıştır.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

273.15 K sıcaklıkta;  $\text{NaBr-H}_2\text{O-Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$  tuz-su sisteminden elde edilmiş olan verilere bakılarak; basit ötonik sistemler çeşitlerine ait olduğu tespit edilmiştir. Çalışılan bu sistemin ötonik noktasının bileşimi (% kütle); 40.95- $\text{NaBr-H}_2\text{O}$ -52.35,  $\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ -6.70 olarak belirlenmiştir. Aynı noktadaki yoğunluk ise;  $1522 \text{ kg.m}^{-3}$ 'tür.  $\text{NaBr-H}_2\text{O-Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$  tuz-su sisteminin 273.15 K sıcaklıktaki sıvı fazın yoğunluk tayini esnasında elde edilmiş olan deneysel veriler Tablo 1'de ve yoğunluğun bileşim ile değişimi Şekil 3'te gösterilmiştir. Tablo 1'deki bilgilere bakılarak  $\text{NaBr-H}_2\text{O-Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$  tuz-su sisteminin 273.15 K sıcaklıktaki yoğunluğunun Yeneke-Le Chatelier yöntemiyle diyagramı çizilmiştir.

Tablo 2'de belirtilen verilere göre  $\text{NaBr-H}_2\text{O-Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$  tuz-su sisteminin 323.15 K sıcaklığındaki yoğunluğu Yeneke-Le Chatelier yöntemine dayanılarak diyagramı çizilmiştir.

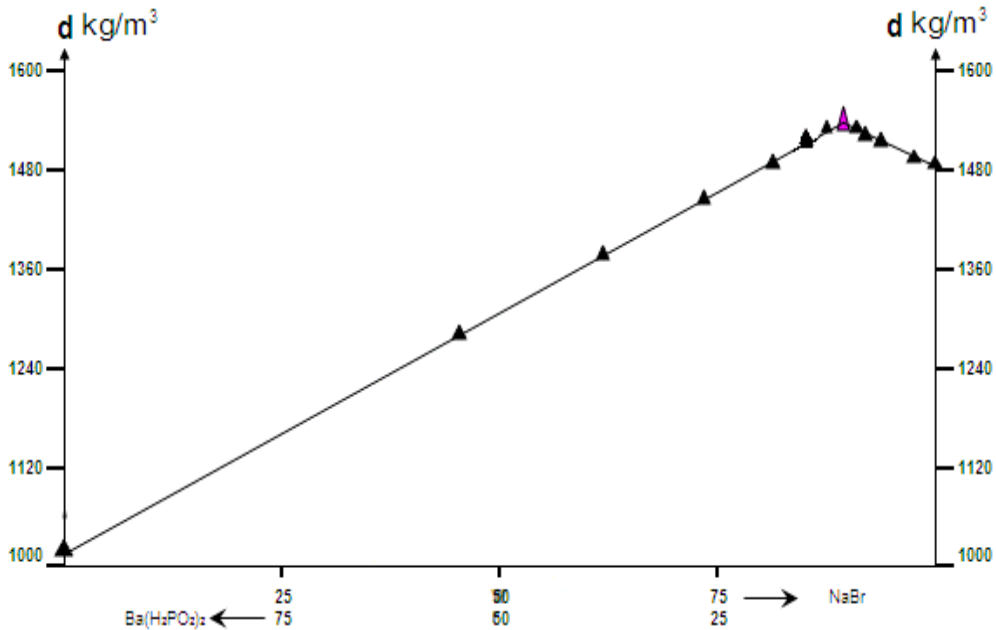
273.15 K sıcaklıkta çalışılan  $\text{NaBr-H}_2\text{O-Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$  tuz-su sisteminin yoğunluğunun tayini esnasında üçgenin  $\text{H}_2\text{O-NaBr}$  tarafından  $\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$  köşesine ilerlediğimizde sıvı fazın yoğunluk değeri  $1482 \text{ kg.m}^{-3}$ 'den ( $\text{NaBr}$  doygun çözeltilisinin yoğunluğu), sisteme  $\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$  tuzu ilave edildikten sonra sonuç değişerek  $1522 \text{ kg.m}^{-3}$ 'e kadar (sistemin sıvı fazının ötonik noktadaki yoğunluğu) yüksek bir değere geldiği gözlenmiştir.

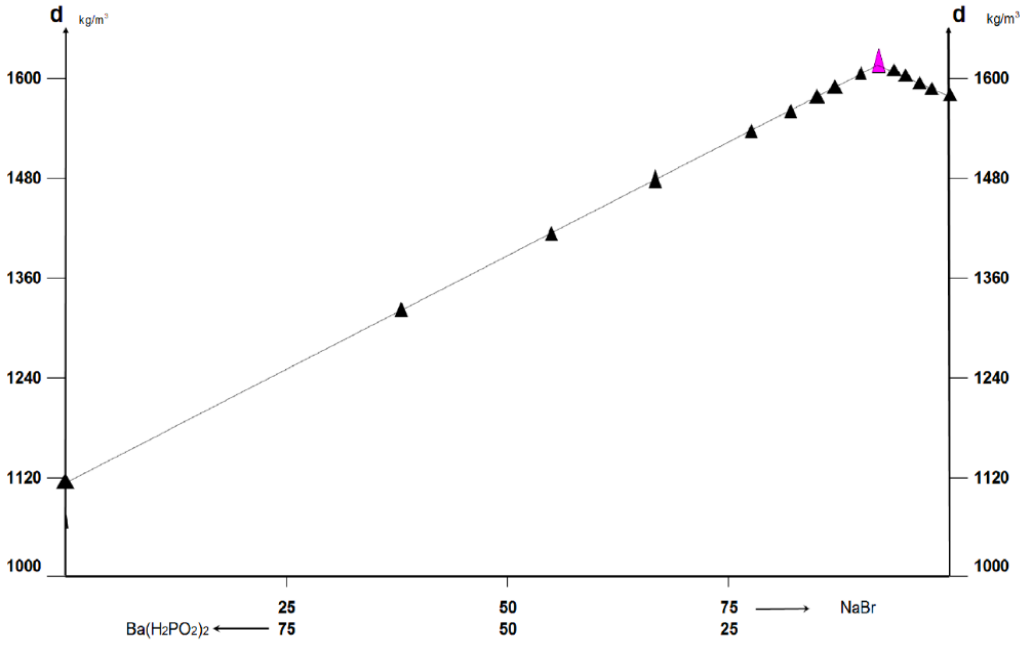
**Tablo 1.** Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>- NaBr- H<sub>2</sub>O tuz-su sisteminin 273.15 K sıcaklıktaki çözünürlük ve yoğunluk sistemle değişim verileri.

No	Sıvı Faz(% Kütle)			100 Mol Tuz Karışımında		100 Mol Tuza	d (kg.m <sup>-3</sup> )
	NaBr	Ba(H <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	NaBr	Ba(H <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	Karşı H <sub>2</sub> O Mol Sayısı	
1	43.39	0.00	56.61	100.00	0.00	1493	1482
2	42.15	2.15	55.70	96.21	3.79	1455	1495
3	41.80	4.25	53.95	92.72	7.28	1325	1505
4	41.50	5.85	52.65	90.19	9.81	1306	1510
5	41.18	6.50	52.32	89.14	10.86	1302	1518
<b>6</b>	<b>40.95</b>	<b>6.70</b>	<b>52.35</b>	<b>88.79</b>	<b>11.21</b>	<b>1299</b>	<b>1522</b>
<b>7</b>	<b>40.95</b>	<b>6.70</b>	<b>52.35</b>	<b>88.79</b>	<b>11.21</b>	<b>1299</b>	<b>1522</b>
8	40.25	7.25	52.50	87.79	12.21	1311	1517
9	36.12	8.18	55.70	85.12	14.88	1602	1510
10	28.66	8.96	62.38	80.56	19.44	2007	1492
11	22.52	10.48	67.00	73.58	26.42	2352	1430
12	15.51	12.38	72.11	61.88	38.12	3400	1360
13	8.63	13.99	77.38	44.43	55.57	4825	1274
14	0.00	15.03	84.97	0.00	100.00	8386	1143

**Tablo 2.** NaBr- H<sub>2</sub>O-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> tuz-su sisteminin 323.15 K sıcaklıktaki çözünürlüğü ve yoğunluğunun sistemin bileşimi ile değişimi.

No	Sıvı Faz(% Kütle)			100 Mol Tuz Karışımında		100 Mol Tuza Karşı H <sub>2</sub> O Mol	d (kg.m <sup>-3</sup> )
	NaBr	Ba(H <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	NaBr	Ba(H <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	Sayısı	
1	51.92	0.00	48.08	100.00	0.00	1060	1577
2	51.00	1.35	47.65	97.99	2.01	1048	1585
3	50.45	2.35	47.20	96.53	3.47	1034	1593
4	49.65	3.45	46.90	94.91	5.09	1026	1605
5	49.30	4.19	46.51	93.85	6.15	1013	1610
<b>6</b>	<b>48.62</b>	<b>5.21</b>	<b>46.17</b>	<b>92.36</b>	<b>7.64</b>	<b>1004</b>	<b>1619</b>
<b>7</b>	<b>48.62</b>	<b>5.21</b>	<b>46.17</b>	<b>92.36</b>	<b>7.64</b>	<b>1004</b>	<b>1619</b>
8	45.20	6.15	48.65	90.50	9.50	1115	1604
9	40.50	7.78	51.72	87.09	12.91	1273	1584
10	37.10	8.40	54.50	85.13	14.87	1431	1578
11	33.80	9.59	56.61	82.04	17.96	1573	1552
12	28.40	10.92	60.68	77.12	22.88	1886	1534
13	20.57	13.10	66.33	67.05	32.95	2475	1478
14	13.90	14.58	71.52	55.2	44.73	3255	1415
15	7.80	16.55	75.65	37.92	62.08	4209	1320
16	0.00	18.50	81.50	0.00	100.00	8386	1103

**Şekil 3.** NaBr- H<sub>2</sub>O-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> üçlü tuz-su sisteminin yoğunluğunun Yeneke-Le Chartelier diyagramı.



Şekil 4. NaBr- H<sub>2</sub>O-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> tuz-su sisteminin yoğunluğunun Yeneke-Le Chatelier diyagramı.

NaBr-H<sub>2</sub>O-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> tuz-su sisteminin 273.15 K sıcaklıktaki yoğunluğunun tayini esnasında üçgenin H<sub>2</sub>O-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> tarafından NaBr köşesine ilerlediğimizde sıvı fazın yoğunluk değeri 1143 kg.m<sup>-3</sup>'den (Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> doymun olan çözeltinin yoğunluğu), sisteme NaBr tuzu ilave edildikten sonra sonuç değişerek 1522 kg.m<sup>-3</sup>'e kadar (sistemdeki sıvı fazın ötonik noktada bulunan yoğunluğu) yüksek bir değere geldiği gözlenmiştir.

323.15 K sıcaklık değerinde ise elde edilen deneysel verilere göre; NaBr- H<sub>2</sub>O-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> üçlü tuz-su sisteminin basit ötonik sistemler çeşidine ait olduğu tespit edilmiştir. Çalışılan sistemin ötonik noktasının bileşimi ise (% kütle); % 5.21 Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, % 48.62 NaBr ve % 46.17 H<sub>2</sub>O olarak tespit edilmiştir. Aynı noktadaki yoğunluk ise; 1619 kg.m<sup>-3</sup> 'tür.

NaBr- H<sub>2</sub>O-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> tuz-su sisteminin 323.15 K sıcaklıkta bulunan sıvı fazda yoğunluk ölçülmesi esnasında belirlenen deneysel veriler Tablo 2'de ve yoğunluğun bileşim ile değişim diyagramı Şekil 4'te çizilmiştir.

323.15 K sıcaklık değerinde NaBr- H<sub>2</sub>O-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> tuz-su sisteminin araştırılması üçgenin H<sub>2</sub>O-NaBr'ün olduğu taraftan Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> tarafına doğru yapıldığı esnada, sisteme Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> tuzu ilave edildikten sonra sıvı fazın yoğunluğunun 1577 kg.m<sup>-3</sup>'den (NaBr tuzunun doymun çözeltideki yoğunluğu) 1619 kg.m<sup>-3</sup>'e kadar (sıvı fazın ötonik noktadaki yoğunluğu) yükseldiği görülmüştür.

NaBr- H<sub>2</sub>O- Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> tuz-su sisteminin 323.15 K sıcaklık değerinde araştırılması üçgenin H<sub>2</sub>O-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> olduğu taraftan NaBr tarafına doğru yapıldığı esnada, sisteme NaBr tuzu ilave edildikten sonra sıvı fazın yoğunluk değeri 1103 kg.m<sup>-3</sup>'den[Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> tuzun doymun olan çözeltinin yoğunluğu] 1619 kg.m<sup>-3</sup>'e kadar (sıvı olan fazın ötonik noktadaki yoğunluğu) yükseldiği saptanmıştır.

#### 4. SONUÇ

NaBr-H<sub>2</sub>O-Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> üçlü tuz-su sisteminin yoğunluk özellikleri ve ötonik noktaları 273.15 K ve 323.15 K sıcaklıklarında kapsamlı bir şekilde analiz edildi. 273.15 K'de tespit edilen ötonik noktada, sistemin yoğunluğu 1522 kg/m<sup>3</sup> olarak bulundu ve bu değer, saf suya veya bireysel tuzların doymun çözeltilerine kıyasla oldukça yüksekti. Benzer şekilde, 323.15 K sıcaklığında ötonik nokta yoğunluğu 1619 kg/m<sup>3</sup>'e ulaştı. Bu durum, sıcaklığın artışıyla yoğunlukta meydana gelen artışı doğrulamaktaydı. Her iki sıcaklıkta da yoğunluk artışının temel nedeni, ötonik noktalarda çözülmüş tuzların toplam konsantrasyonunun artmasıydı. Çalışmada, sıcaklığın yoğunluk üzerindeki etkisini net bir şekilde gösterildi. Daha yüksek sıcaklıklarda, çözeltideki bileşenlerin hareketliliği artmakta ve ötonik noktalarda tuzların çözünürlüğü daha fazlaydı. Bu da sistemin yoğunluğunun yükselmesine yol açtı. Araştırmada, farklı tuz-su sistemlerinin fizikokimyasal özelliklerini anlamada teorik bir temel sağlanmaktadır. Ayrıca, NaBr ve Ba(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> gibi tuzların çözünme ve yoğunluk özelliklerinin net bir şekilde belirlenmesi, ileri kimyasal üretim süreçlerinde kullanılabilir potansiyel bir rehberdir. Çalışmada kullanılan fizikokimyasal yöntemler, deniz, yeraltı ve göl sularında bulunan tuzların incelenmesi gibi çeşitli çevresel ve endüstriyel problemlerin çözümü için uyarlanabilir niteliktedir. Elde edilen "Bileşim-Özellik" diyagramlarının, değerli kimyasal maddelerin geri kazanılmasında ve teknolojiye entegre edilmesinde kullanılabilir. Bu, çevresel sürdürülebilirliği artırırken ekonomik faydalar sağlayabilecek bir yaklaşımdır.

#### 5. KAYNAKLAR

Adıgüzel, V., Erge, H., Kul, A.R. (2009). ZnCl<sub>2</sub>-Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O Üçlü Sisteminin 0°C' de Çözünürlüğünün ve Faz Dengelerinin Araştırılması. 23. Ulusal Kimya Kongresi. 16-20 Haziran 2009, Sivas.

- Adıgüzel, V., Erge, H., Alişoğlu, V., Necefoğlu, H. (2014). Study of The Solubility, Viscosity and Density in  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Zn}^{2+}/\text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}^+ - \text{Zn}^{2+}/(\text{H}_2\text{PO}_2)^- - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-/(\text{H}_2\text{PO}_2)^- - \text{H}_2\text{O}$ , and  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-/(\text{H}_2\text{PO}_2)^-//\text{H}_2\text{O}$  Ternary Systems, and in  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Zn}^{2+}/\text{Cl}^-$ ,  $(\text{H}_2\text{PO}_2)^-//\text{H}_2\text{O}$  Reciprocal Quaternary System at 273.15 K. The Journal of Chemical Thermodynamics, 75, 35-44.
- Alacabey, İ., Erge, H., Kul, A.R., Adıgüzel, A., Özdek, U. (2010).  $\text{NaH}_2\text{PO}_2\text{-Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2\text{-H}_2\text{O}$ , Üçlü Sistemin  $0^\circ\text{C}$  Sıcaklıkta Çözünürlüğü, Yoğunluğu, İletkenliği ve Faz Dengelerinin Araştırılması. 24. Ulusal Kimya Kongresi. 29 Haziran-2 Temmuz 2010, Zonguldak.
- Alişoğlu, V. (2004). Etude de la Solubilité et des Phases en Equilibre Dans le Systeme  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}/\text{Cl}^-/(\text{H}_2\text{PO}_2)^-//\text{H}_2\text{O}$ . Journal of the Algerian Chemical Society 14(1), 167-170.
- Alişoğlu, V. (2005). Etude de la Solubilité des Phases en Equilibre Dans le Systeme  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}/\text{Br}^-/(\text{H}_2\text{PO}_2)^-//\text{H}_2\text{O}$ . Comptes Rendus Chimie, 8, 1684-1687.
- Erge, H., Adıgüzel, V., Kul, A.R. (2008).  $\text{BaCl}_2\text{-Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2\text{-H}_2\text{O}$  Üçlü Sistemin  $0^\circ\text{C}$  Sıcaklıkta Çözünürlüğü, Yoğunluğu, İletkenliği ve Faz Dengelerinin Araştırılması. YüzüncüYıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13, 24-30.
- Erge, H., Adıgüzel, V., Alişoğlu, V. (2013). Study of the Solubility in  $\text{Na-Ba-Cl-H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na-Ba-H}_2\text{PO}_2\text{-H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na-Cl-H}_2\text{PO}_2\text{-H}_2\text{O}$ , and  $\text{Ba-Cl-H}_2\text{PO}_2\text{-H}_2\text{O}$  Ternaries, and in  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ba}^{2+}/\text{Cl}^-$ ,  $(\text{H}_2\text{PO}_2)^-//\text{H}_2\text{O}$  Reciprocal Quaternary System at  $0^\circ\text{C}$ . Fluid Phase Equilibria, 344,13-18.
- Erge, H. (2019).  $\text{NaBr-Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2\text{-H}_2\text{O}$  Su-Tuz Sistemindeki İletkenliğin 273.15 ve 298.15 K'de İncelenmesi. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 8 (4), 1281-1287.
- Özdek, U., Erge, H., Kul, A.R. (2014).  $\text{NaCl-Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2\text{-H}_2\text{O}$  Üçlü Su-Tuz Sisteminin  $250^\circ\text{C}$  Sıcaklıkta İzotermik Yöntemle Çözünürlüğünün ve Faz Dengelerinin Araştırılması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19, 1-7.
- Zheng, X., Wen, X., He, X., Sang, S. (2016). Measurement of Mineral Solubilities in the Ternary Systems  $\text{CaCl}_2\text{-ZnCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  and  $\text{KCl-ZnCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  at 373 K. Journal of Solution Chemistry, 45, 1504-1515.