

Removal of Major Impurities (Ca-Mg) of Brine with Chemical Treatment Process in the Salt Sector

İsmail Bayram^a

^a Kimya ve Proses Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, 40100, Türkiye

Abstract

The operation of salt minerals dates back hundreds of years. Salt is produced from salt rich sources through salts today. The salt (brine) obtained from existing salt sources is not in the desired purity. For this purpose, purification of the brine should be carried out to remove unwanted impurities. Brine (raw salt) also contains impurities that are soluble and insoluble except NaCl. 94-96% of the brine obtained from the salt lake contains NaCl. The remaining 4-6% are MgCl₂, MgSO₄, CaCl₂ and other trace amounts. All of these substances are called solubility and insoluble impurities. These impurities are magnesium, calcium and sulfate. Calcium accumulation causes crust formation in the circulation line, especially heat exchangers. For this reason, heat transfer and circulation efficiency decrease. The impurities from the dissolved raw salt (Ca+2, Mg +2 etc.) should be removed by the purification process. Settling tests were carried out in brine purification system. As the experimental results obtained, the magnesium and calcium from the major impurities in the brine were separately and coherently removed. NaOH was used to precipitate the magnesium and the dynamic run-out was determined to be optimum pH = 11. Na₂CO₃ was used to precipitate the calcium from the other major impurities in the brine. As a result of dynamic experiments, optimum precipitation pH was set at 9.5.

Keywords: “raw salt (brine), chemical treatment, pH adjustment”

1. Giriş

Eski çağlardan beri besin maddesi olarak kullanılan tuz, çağımızda kimya sanayinin başlıca girdilerinden biri konumuna gelmiştir. Bilindiği gibi tuz kelimesi kimya dilinde çok geniş anlamda kullanılmaktadır. Burada bahsedeceğimiz tuz ise NaCl sembolü ile ifade edilen ve günlük hayatımızda üç beyazlar (şeker, un, tuz gibi) olarak bilinen temel besin maddelerimizden bir tanesidir. Mevcut tuz yataklarından temin edilen katı veya çözelti halindeki tuzların saflaştırılmasında uygulanan işlem; yüksek sıcaklıkta doyumluğa getirilen tuz çözeltilerinin soğutularak kristallendirilmesidir. Tabiatta; tuzlarda iklim şartlarından faydalanarak elde edilen kristal tuzun içerdiği safsızlıklardan dolayı fiyatı çok düşük ve birçok endüstride rafine edilmeden kullanılma şansı yoktur. Kimya endüstrisinde, ham tuz su ya da birincede safsızlıklarla birlikte çözünmektedir. Birinenin prosese verilmeden önce saflaştırılması gerekmektedir. Birincede çözülmüş ham tuzdan gelen safsızlıklar kimyasallarla çöktürülme ve çeşitli proseslerle uzaklaştırılmaktadır [1].

Türkiye’de tuz üretiminin büyük bir miktarı tuz gölünden elde edilen ham tuzdan gerçekleştirilmektedir. Ham tuz NaCl dışında suda çözünen ve çözünmeyen safsızlıkları da içermektedir. Ham tuz kullanılarak hazırlanan yaklaşık 8000 kg/h’lik birine akımından 1000 kg/h tuz üretilmektedir. Genel üretim hattı göz önüne alındığında ortamda sürekli ham tuz ilavesi ile hidrosiklondan dönen üst akım % 23-25 doyumluk derecesine getirilmektedir. Başlangıç akımında bulunan NaCl dışı tuzların sadece % 0.4 lük kısmı (nem+ safsızlık olarak adlandırılan diğer tuzlar) son ürüne karışmaktadır. Tuz gölünde elde edilen ham tuzun % 94-96’ sı NaCl’ dan oluşmaktadır. Geriye kalan % 4-6’sı ise MgCl₂, MgSO₄, CaCl₂, CaSO₄ ve eser miktardaki diğer maddelerdir. Bu maddelerin tamamı çözünen ve çözünmeyen safsızlıklar olarak adlandırılmaktadır.

Bu safsızlıklar üretim teknolojilerinden dolayı sürekli sistemde kaldığından doyumluğu artırmak amacıyla ilave edilen ham tuzla birlikte zamana bağlı birikim gerçekleşmektedir. Ortamdaki derişimleri düşük olan bu tuzları ticari ürün olarak elde etme imkânı bulunmasa da, bu tuzlar zamanla enerji verimliliği ve üretim verimliliği bakımından görünür bir üretim yapmaya engel olabilmektedir. Klasik kimyasal saflaştırma yöntemleri ile bu tuzları üretim hattına almadan uzaklaştırma olanağı bulunmakta, ancak sürekli yapıldığı takdirde ekonomik olarak firmaların rekabet güçlerini olumsuz etkilemektedir. Ham tuzda bulunan çözünebilir safsızlıklar (MgCl₂, MgSO₄, CaCl₂, CaSO₄) zamanla sistemde birikmekte ve enerji/üretim verimini olumsuz etkileyebilmektedir [2].

Ortamda biriken kalsiyum tuzları, sirkilasyon hattında, özellikle ısı değıştiricilerde kabuk oluşumuna sebep olmaktadır. Bu da, tesis ömrü ve maliyetler bakımından olumsuz etki yapmaktadır. Örneğin tekstil endüstrisinde birine içindeki NaCl dışındaki tuzlar toplam sertlikte artışa sebep olmakta ve bu tuzları içeren tuz, tekstil endüstrisinde tercih edilmemektedir.

Bu çalışma kapsamında tuz, tuz kaynakları ve tuzun kullanım alanları hakkında genel bilgiler verilmiş, brine bileşimi ve içeriğindeki safsızlıklar üzerinde durulmuştur. Brine arıtma prosesi ele alınarak, saflaştırma proseslerinin gerekliliği ve enerji/üretim verimi açısından önemi vurgulanmıştır.

1.1. Tuzun Tanımı

Bilindiği gibi tuz kelimesi kimya dilinde çok geniş anlamda kullanılmaktadır. Burada bahsedilen tuz ise, NaCl ile ifade edilen ve günlük hayatımızda kullanılan temel besin maddesidir. Tuz saf halde, yaklaşık %40 Sodyum, %60 Klordan oluşmaktadır. Fiziksel özelliklerine bakılacak olursa; erime noktası 800.8°C, kaynama noktası 1412°C, sertliği 25, özgül ağırlığı 2.1-2.35gr/cm³ 'tür. Doğadan üretildiği şekliyle rengi gri, sarı, kırmızı, hatta mavi ve yeşil olabilir. Fakat saf haldeyken renksizdir. Tarihi binlerce yıl öncesine dayanan tuz, insan sağlığı açısından yaşamımızda önemli bir yere sahiptir [3].

Sodyum ve klor elementlerinden oluşan tuzun önemi, insan bedeninin içindeki sıvıları dengeleyici özelliğinden kaynaklanır. Vücut sıvılarında yeterli derecede bulunan sodyum, sinirlerin uyarılmasını ve kasların uyumlu çalışmasını sağlar. Büyüme için de gerekli olan sodyumu, en çok tuzdan temin ederiz. Tuz, aynı zamanda insan sağlığı için elzem olan iyot elementinin de kaynağıdır. İyot eksikliği zeka geriliğinden guatra, ölü doğum ve düşüklerden öğrenme güçlüğüne kadar birçok hastalığa neden olur. Ülkemizde iyot eksikliğinin giderilmesi için yasal düzenlemelerle gıda için kullanılacak tüm tuzların iyotlanması zorunlu hale gelmiş, bu alanda iyotsuz tuz satışı yasaklanmıştır. Tuz, ayrıca besin maddelerinin uzun süre bozulmadan saklanmasını da sağlar. Et, balık, süt ürünleri ve sebze gibi temel gıda maddeleri tuz sayesinde uzun süre saklanabilir. Tuz antiseptik özelliği ile bakterileri denetim altında tutar [4].

1.2. Tuz Kaynakları

Dünyadaki tuz kaynaklarının başında sular gelmektedir. Su kaynaklarındaki tuzun %97.61'i de okyanuslardır. Okyanuslardaki tuz oranı, bu su kütlelerinin bulunduğu iklim kuşağına, akıntılara ve söz konusu su kütlelerine karışan akarsulara bağlı olarak değişir. Genel olarak okyanusların toplam hacminin %3'ünü tuzlar meydana getirir. Bazı iç denizlerde veya kara içi sularda bu oran %15'e kadar çıkabilmektedir. Okyanus ve denizler dışındaki diğer önemli tuz kaynakları göller ve tuz bakımından zengin akarsular ile yer altı sularıdır. Başlıca tuz kaynaklarının su kütleleri ve tuz miktarları Tablo 1'de verilmiştir [5].

Tablo 1. Başlıca tuz kaynağı olan su kütleleri ve tuz miktarları

Tuz kaynakları	Miktar (bin m3)	%
Okyanuslar	1.370000	97,610
Buzullar, buz ve kar	29000	2,080
Toprak suyu	4067	0,295
Kaynak suları ve akarsular	126	0,009
Tuzlu göller	104	0,006

1.2.1. Deniz suyunun kurutulmasıyla elde edilen 'DENİZ TUZU'

Dünyanın yaklaşık %70' ini denizler oluşturur. Deniz suyunda yaklaşık olarak %3,5' ini tuz oluşturmaktadır. Bu oran, denizden denize %1 ile %4,5 arasında değişiklik göstermektedir. Denizlerden tuz elde etme yöntemi en eski yöntemlerden biridir. Deniz kenarlarına suni göller yapılır, deniz suyu bu suni göllere alınır, güneş enerjisiyle buharlaştırılıp, arta kalan tuz alınarak elde edilir. Deniz suyunda, çok fazla miktarda bulunan sodyum klorla birlikte, doğada bulunan ve suda çözünebilen 84 elementte bulunmaktadır. Deniz tuzu, kaya tuzu, özelliklede kristal tuz, elementler bakımından birbirlerine oldukça yakındırlar. Denizlerin tuzu mineraller açısından oldukça zengindir. Ancak deniz tuzu, çevre kirliliğinden dolayı, ağır metallerle yüküdü. Bunun yanı sıra neredeyse bütün deniz tuzları rafine edilmektedirler [6].

1.2.2. Deniz veya kaya tuzunun rafine edilmesiyle elde edilen ‘SOFRA TUZU’

Rafine edilmiş tuzun kaynağı; deniz ve kaya tuzudur ve 84 element içerir. Bu doğal tuzlar rafine edilerek içerisindeki 82 element ve iz elementler alınır, geriye sadece saf sodyum klor kalır. Böylece rafine tuzun doğal tuzla hiçbir ilişkisi kalmaz. Bundan dolayı sofratuzunun insan vücuduna faydasından çok zararı vardır. Çünkü sofratuzu insan vücudundan dışarı atılması gereken bir maddedir. Bu tuzu dışarı atabilmek için vücutta yeteri kadar su varsa; böbrekler günde 5-7 gram kadar tuzu dışarı atabilir. Vücutta yeteri kadar su yoksa, bu zehri dışarı atabilmek için hücrelerdeki su kullanılır. Hücre suyu bu iş için fazla miktarda kullanılırsa, hücrelerde su kıtlığı başlar ve hücreler ölür. Eğer hücre ölmeyip mutasyona uğrarsa, vücutta çeşitli hastalıklar ortaya çıkar. Rafine edilmiş tuzun, tansiyonu artırmasının sebebi işte burada yatar. Çünkü yüksek tansiyon, vücutta sürekli bir su kıtlığının ürünüdür. Rafine tuzu vücuttan çıkarmak için hücre feda edilince, vücudun hızlı bir biçimde kuruma süreci başlar. Vücut su ile nötrleştiremediği sofratuzunu kemikler ve eklemler üzerinde kristalleştirir. Buda uzun vadede vücudumuzun ölümüne yol açacak organizma bozukluklarına sebep olur [7].

1.2.3. Dünyanın farklı bölgelerinde çıkarılan ‘KAYA TUZU’ veya ‘KRİSTAL TUZ’

Kaya tuzu, hemen hemen dünyanın pek çok yerinde bulunup çıkarılmaktadır. Ancak kristal tuza, şu ana kadar dünyanın pek az yerinde rastlanmıştır. Kristal tuzların en önemlisi; Pakistan sınırları içinden geçen Himalaya sıradağlarının altında bulunan Himalaya Kristal Tuzudur. Himalaya Kristal Tuzu, yaklaşık olarak 250 milyon yıl önce ana denizin kuruması sonucu oluşmuştur. Himalaya Kristal Tuzunu kaya tuzundan ayıran en önemli özelliği ise; yüksek basınç altında kristalleşmiş olmasıdır. Denizleri kurutan yüksek güneş enerjisinin belli bir kısmı bu tuzlarda hapsolarak depo edilmiştir. Himalaya Kristal Tuzu, su içinde çözüldüğünde, milyonlarca yıl önce içinde depo ettiği bu güneş enerjisini tekrar suya verir. Yapılan laboratuvar araştırmaları; gerek kristal oluşumu açısından, gerek minerallerin bileşimleri açısından ve gerekse de çıkarılış-üretim biçimi açısından dünyadaki en kaliteli tuzun, Himalaya Kristal Tuzu olduğunu ispatlamıştır. Himalaya Kristal Tuzu; kristalleşme evrimini tamamladığından dolayı molekül yapısı çok küçük ve incedir. Bundan dolayı bu kristal tuz kolloidaldir ve hücre içerisine çok rahat bir biçimde girebilmektedir.

Tarihi çok eskilere dayanan tuzun kullanım alanları oldukça fazladır. Çoğunlukla besin maddesi olarak yemeklerde, ekmek yapımında ve gıda maddelerinde kullanılır. Ayrıca tuz; tarımda hayvan yeminde, tıpta kompres yapımında, trafikte buzla mücadelede kullanılırken, sanayide de oldukça yaygın kullanıma sahiptir [8].

Tuzun başlıca kullanım alanları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Tuzun başlıca kullanım alanları

Besin maddesi olarak	Yemeklerde	Ekmek yapımında	Gıda maddelerinde
Tarımda	Hayvan yeminde	Ağaç bakımında	Yabani otların imhasında
Tıpta	Enjeksiyonda	Kompres yapımında	-
Trafikte	Karayollarında buz mücadelesinde	Demiryollarında buz mücadelesinde	-
Sanayide	Küçük ve büyük sanayide; Konserve yapımı Et ve balık Gübre Dericilik Kozmetik Çeliğe sertlik vermede Tekstil alanında	Sodyum üretiminde; Sodyum hidroksit Sodyum sülfat Sodyum nitrat Sodyum siyanit Sodyum bisülfat	Klorin üretiminde; Kalsiyum klorid Hidroklorik asit Sodyum klorid

2. Ham Tuz (Brine) Bileşimi ve Safsızlıklar

Önemli bir yere sahip olan tuz, sıvı olarak deniz ve göllerden elde edilirken; katı halde kaya tuzlarında bulunur. Deniz suyu ve tuz gölü brine bileşimleri Tablo 3'te, kaya tuzu brine bileşimleri ise Tablo 4'te ele alınmıştır [9].

Brinede bulunan kalsiyum, magnezyum ve sülfat iyonları başlıca safsızlıklar olup, saflaştırma prosesleri ile bu safsızlıkların giderilmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir.

Tablo 3. Brine örneklerindeki başlıca elementler ve konsantrasyonları

Başlıca Elementler	Tuz Gölü Brine Konsantrasyon (g/L)	Deniz Suyu Brine Konsantrasyon (g/L)
Na	111,2	10,5
K	1,4	0,38
Mg	3,5	1,35
Ca	0,85	0,4
Cl ⁻	180	19
SO ₄ ⁻²	8,2	2,7

Tablo 4. Kaya tuzundan elde edilen brine bileşimi

Kimyasal Bileşikler	%
NaCl	26,3292
CaSO ₄	0,1221
CaCl ₂	0,0029
MgCl ₂	0,0065
Su	73,53

Tuz kaynaklarından elde edilen ham tuzun %94-96'sı NaCl'den oluşmaktadır. Geriye kalan %4-6'sı ise MgCl₂, MgSO₄, CaCl₂ ve eser miktardaki diğer maddelerdir. Bu maddelerin tamamı çözünen veya çözünmeyen safsızlıklar olarak adlandırılmaktadır. Bu safsızlıklar üretim teknolojilerinden dolayı sürekli sistemde kaldığından doygunluğu arttırmak amacıyla ilave edilen ham tuzla birlikte zamana bağlı birikim gerçekleşmektedir. Ortamdaki derişimleri düşük olan bu tuzları ticari ürün olarak elde etme imkanı bulunmasa da, bu tuzlar zamanla enerji verimliği ve üretim verimliği bakımından fisibil bir üretim yapmaya engel olabilmektedir.

Kimyasal saflaştırma ile bu tuzları üretim hattına almadan uzaklaştırma olanağı bulunmakta, ancak sürekli yapıldığı takdirde ekonomik olarak firmaların rekabet güçlerini olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple bu tuzların belli doygunluk derecelerine ulaştıkları günlerde kimyasal saflaştırmanın yapılması önerilmektedir.

Brine saflaştırılmasında kullanılan temel reaksiyonlar [10]:

Kalsiyum uzaklaştırma



Magnezyum uzaklaştırma



BaCO₃ ile Sülfat uzaklaştırma



BaCl₂ ile Sülfat uzaklaştırma



CaCl₂ ile Sülfat uzaklaştırma



3. Materyal ve Yöntem

Kimyasal arıtma sisteminde deneysel çalışmalar kablosuz online veri alışverişi sağlanarak gerçekleştirilmiştir. Kalsiyum ve magnezyum giderimi için uygun reaktifler prosese beslenerek zamanla pH değişimi gözlenmiştir. Yapılan dinamik çalışmalar sonucunda magnezyum ve kalsiyum çökeltim prosesleri için optimum pH değerleri ayrı ayrı ve eş anlı olarak değerlendirilmiştir. Şekil 1’de kimyasal arıtma prosesini oluşturan üniteler verilmiştir.



Şekil 1. Kimyasal arıtma prosesi

Deney sisteminde bulunan üniteler:

1. Giriş pompası	5. Sıcaklık ve pH göstergesi	9. Reaktör	13. pH metre
2. Giriş pompası	6. İletkenlik göstergesi	10. Sirkulatör	14. Bulanıklık ölçer
3. Giriş pompası	7. Bulanıklık göstergesi	11. Wireless anten	15. Besleme tankı
4.Çıkış pompası	8. Karıştırıcı	12. Reaktör tahliye musluğu	16. Besleme tankı

4. Sonuçlar

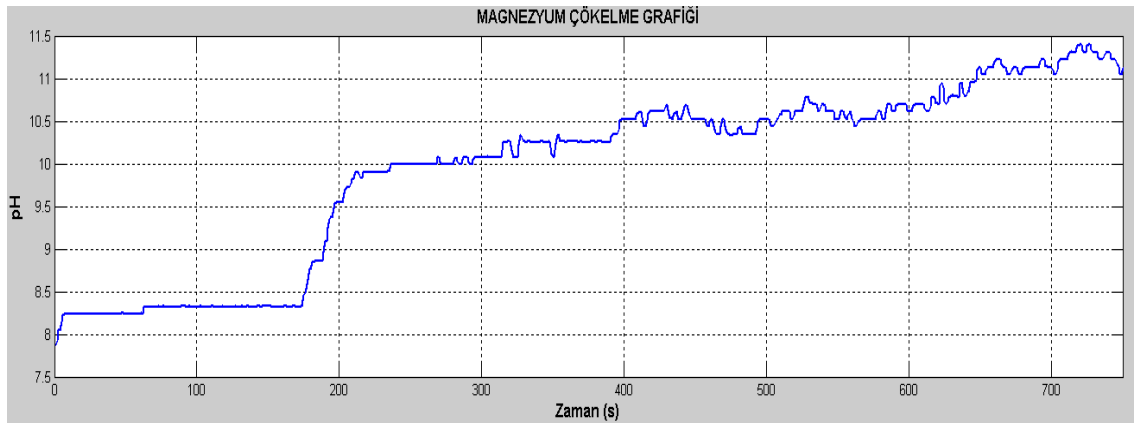
Ham tuzda bulunan çözünebilir safsızlıklar ($MgCl_2$, $MgSO_4$, $CaCl_2$, $CaSO_4$ vs.) zamanla sistemde birikmekte ve enerji/üretim verimini olumsuz etkileyebilmektedir. Ortamda biriken kalsiyum sirkülasyon hattında, özellikle ısı değiştiricilerde kabuk oluşumuna sebep olmakta ve başlangıç noktasındaki anlık verime ulaşımı engellemektedir. Tesis ömrü ve maliyetler bakımından olumsuz etki yapan bu tuzların bazıları son ürüne safsızlık olarak geçmekte ve kullanım amacına göre problemlere sebep olabilmektedir. Örneğin tekstil endüstrisinde NaCl dışındaki tuzlar toplam sertlikte artışa sebep olmakta ve bu tuzları içeren NaCl tekstil endüstrisinde tercih edilmemektedir. Enerji ve üretim verimini olumsuz etkileme düzeyine erişen safsızlıkların kimyasal saflaştırma prosesleri ile uzaklaştırılması gerekmektedir. Mevcut sistemle kombine edilerek modern kontrol elemanları ile kontrol edilecek üretim prosesi sayesinde yüksek sarfiyet gerektiren kullanım alanları için de tuz üretimi yapılabilecektir [11-12].

Brine çözeltisinde bulunan major safsızlıklardan biri olan magnezyumu çöktürmek için %5’lik NaOH 8ml/dk akış hızında reaktöre beslenmiştir. Tablo 5’te magnezyum çökeltme prosesinde deney süresince ölçülen pH değerleri verilmiştir. Magnezyum gideriminin sağlandığı optimum pH=11,3 olarak belirlenmiştir.

Tablo 5. Magnezyum çökeltme prosesinde deney süresince ölçülen pH değerleri

Numune	Deney süresi (sn)	pH değeri
0	0	7,87
1	190	9,08
2	205	9,72
3	220	9,90
4	235	9,91
5	250	9,99
6	265	9,99
7	280	10,07
8	295	10,07
9	310	10,08
10	325	10,25
11	380	10,60
12	410	10,51
13	500	10,69
14	540	10,79
15	640	11,30
16	740	11,30

Magnezyum çökeltme prosesinde pH'ın zamanla değişim grafiği Şekil 2'de verilmiştir.

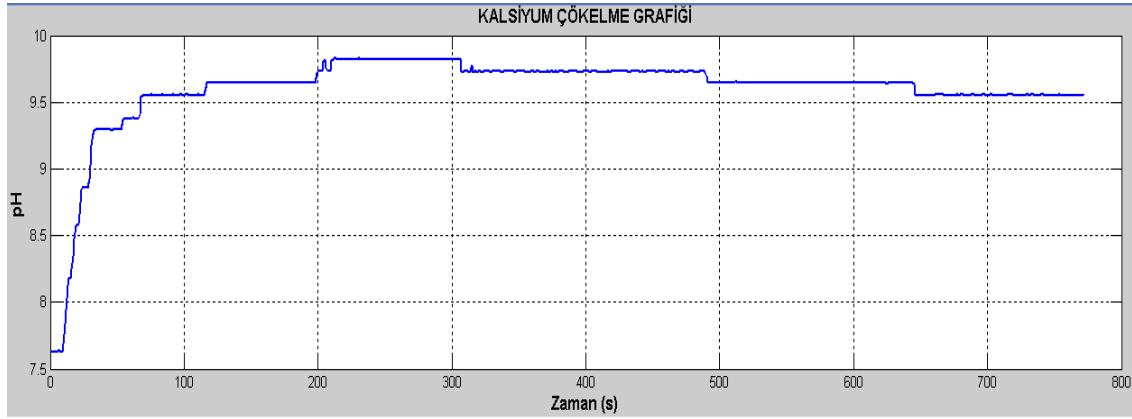
**Şekil 2. Magnezyum çökeltme prosesinde pH'ın zamanla değişim grafiği**

Brinede bulunan kalsiyumu çöktürebilmek için %1'lik Na_2CO_3 kullanılmıştır. Tablo 6'da kalsiyum çökeltme prosesinde deney süresince ölçülen pH değerleri verilmiştir. Kalsiyum gideriminin sağlandığı optimum pH'ı 9,55 olarak belirlenmiştir.

Tablo 6. Kalsiyum çökeltme prosesinde deney süresince ölçülen pH değerleri

Numune	Deney süresi (sn)	pH değeri
0	0	7,63
1	35	9,29
2	80	9,55
3	150	9,64
4	230	9,82
5	350	9,73
6	430	9,73
7	470	9,73
8	550	9,64
9	650	9,55
10	750	9,55

Kalsiyum çökeltme prosesinde pH'ın zamanla değişim grafiği Şekil 3'te verilmiştir.

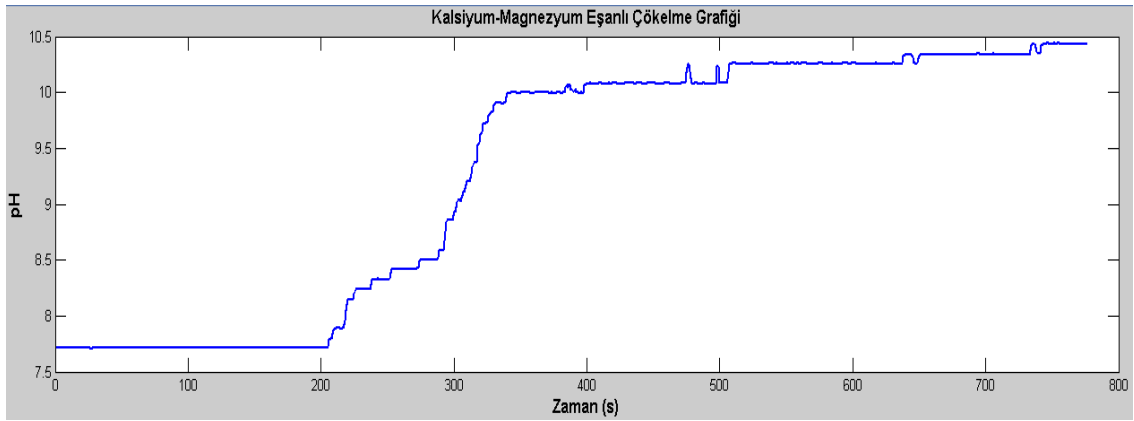
**Şekil 3. Kalsiyum çökeltme prosesinde pH'ın zamanla değişim grafiği**

Kalsiyum ve magnezyumun eşanlı olarak çökeltmesini sağlamak için %5'lik NaOH ve %1'lik Na₂CO₃ 8ml/dk akış hızında reaktöre beslenmiştir. Tablo 7'de magnezyum ve kalsiyum eşanlı çökeltme prosesinde deney süresince ölçülen pH değerleri verilmiştir.

Tablo 7. Kalsiyum ve magnezyum eşanlı çökeltme prosesinde deney süresince ölçülen pH değerleri

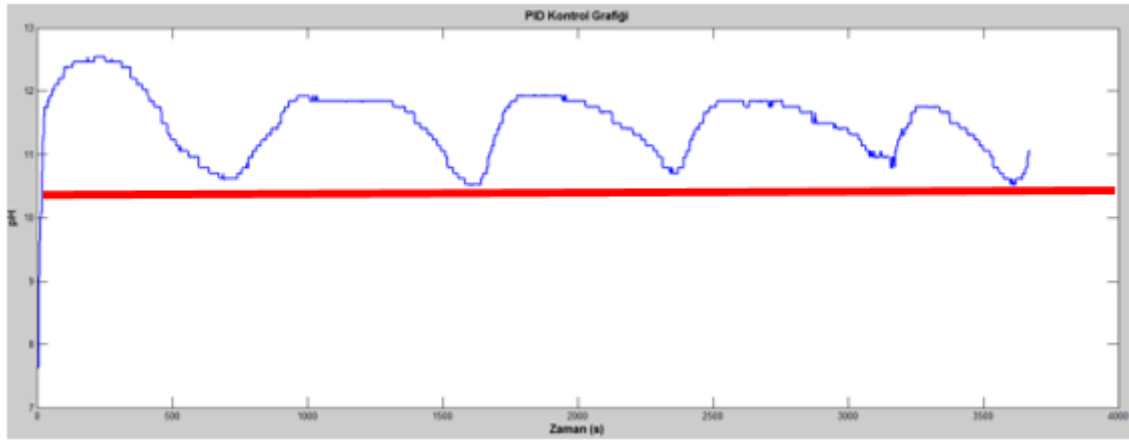
Numune numarası	Deney süresi (sn)	pH değeri
0	0	7,71
1	35	7,88
2	80	8,41
3	150	8,50
4	230	9,73
5	350	10,08
6	430	10,09
7	470	10,26
8	550	10,26
9	650	10,33
10	750	10,33

Elde edilen pH değişim grafiği Şekil 4'te verilmiştir. Kalsiyum ve magnezyumun eşanlı gideriminin sağlandığı optimum pH=10,33 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Kalsiyum-Magnezyum eşanlı çökeltme prosesinde pH'ın zamanla değişim grafiği

Yapılan dinamik deneylerde magnezyum için en iyi çökeltme pH=11,3'te elde edildiği için set değeri pH=11,3 seçilerek PID (Oransal-Integral-Türevsel) kontrol deneyi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen grafik Şekil 5'te verilmiştir. Cohen-coon ayar parametreleri 'reaksiyon eğrisi geçirme yöntemi' kullanılarak P=33, I=38, D=6 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. Kalsiyum-Magnezyum eşanlı çökeltme prosesinde pH değerinin PID kontrolü

5. Değerlendirme

Kimyasal arıtma sisteminde çöktürme deneyleri ve PID kontrol deneyi gerçekleştirilmiş olup, kontrol deneyi Cohen-Coon yöntemiyle elde edilen kontrol parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar ile brinede bulunan majör safsızlıklardan ikisi olan magnezyum ve kalsiyumun ayrı ayrı ve eş-anlı olmak üzere giderimi sağlanmıştır. Magnezyumun çöktürülmesi için NaOH kullanılmış ve dinamik çalışma sonucu optimum pH=11,3 olarak belirlenmiştir. Brinedeki diğer büyük safsızlıklardan olan kalsiyumun çöktürülmesi için Na_2CO_3 kullanılmıştır. Dinamik deneyler sonucunda optimum çöktürme pH'ı 9,55 olarak belirlenmiştir. Yapılan dinamik deneylerde magnezyum için en iyi çökeltme pH=11'de elde edildiğinden PID kontrolü için set değeri 11 olarak seçilmiştir. Ayar değişkeni olarak NaOH akış hızı seçilmiş, Cohen-Coon yöntemiyle elde edilen parametre değerleri ile çalışılan kontrol algoritmasıyla magnezyum çökeltme prosesinde pH değişiminin PID kontrolü gözlenmiştir.

Çöktürme işleminin gerçekleştirilebilmesi için uygun işletim şartları oluşturulmuş ve en uygun pH değeri saptanmıştır. Kontrol çalışmalarının başında uygun kontrol parametreleri bulunmuş ve kontrol deneylerinden önce ön denemeler yapılmıştır. Bilgisayar kontrol sistemi, çöktürme işlemlerinin yapıldığı reaktöre online olarak bağlıdır. pH ölçümleri reaktörden yapılarak gerekli veriler bilgisayara iletilmekte, hesaplamalar yapılarak pH kontrolü için kullanılan ve ayar değişkeni olarak bilinen NaOH çözeltisinin miktarını ve sisteme gönderen pompayı ayarlamaktadır.

Brinenin saflaştırılması için uygun miktarda çöktürücü seçimi ve pH değerinin önemli olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, pH değerinin istenen değerde tutulmasının, saflaştırma etkinliği açısından önemi vurgulanmıştır. Bunun yanı sıra PID kontrol yönteminin bu sistem için pH kontrolünde daha uygun olduğu anlaşılmıştır.

Referanslar

- [1] Kılıç, Ö., Kılıç A.M. ve Uyanık Z., “ Tuz Gölü’nden Tuz Yan Ürünleri Üretimi/Araştırılması”, s. 321, 2001.
- [2] Ergin, Z. ‘Tuzun üretim Teknolojisi ve İnsan Sağlığındaki Yeri’, 1988.
- [3] O’Brien, Thomas F., nad Hine F., ‘Handbook of Chlor Alkali Technology, Vol.5. .2005.
- [4] Thaxton, R.A.J., ‘Salt of Earth’, University of California Press, London, 1997.
- [5] Porter, K.E. and Kostick, D.S., ‘Salt Statics’, 2003.
- [6] Avcı, S., “Ekonomik Coğrafya Açısından Önemli Bir Maden:Tuz”, Coğrafya Dergisi, sayı 11, s.21-45, İstanbul, 2003.
- [7] GEA-Messo-Presentation, 2012.
- [8] V.M. Venkatesh Mannar, “Design of Seawater Intake Facilities for Solar Salt Plants, Proceedings”, Sixth International Symposium on Salt, vol. II, p. 289,1983.

- [9] Latery, R., B., 'Recovery of useful chemicals from local salt bitterns', Journal of Applied Science and Technology, Vol.2, Nos 1&2, 77-84.
- [10] I.F. White and T.F. O'Brien, "Secondary Brine Treatment: Ion-Exchange Purification of Brine". Modern Chlor-Alkali Technology, vol.4, p.271, 1990.
- [11] Tan, Y.S., 'Tuz Çözeltilerinden Çöktürmeyle Magnezyum Hidroksitin $Mg(OH)_2$ Geri Kazanılmasında Kendinden Ayarlamalı Oransal Integral Türevsel Hareket (STPID) ile Ph Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, AÜ, 2013.
- [12] Turek, M., and Gnot, W., 'Precipitation of Magnesium Hydroxide from Brine, 34- 244-250, 1995.

** Bu çalışma, 05-08 Temmuz 2018 tarihlerinde Nevşehir'de düzenlenen *II. International Scientific and Vocational Studies Congress – Engineering And Natural Sciences* adlı sempozyumda sözlü bildiri olarak sunulmuştur.