

Bor Çözeltilerinden Kimyasal Çöktürmeyle Bor Giderimi

Veysel SELİMOĞLU^{1*}, Recep BONCUKCUOĞLU²

ÖZET: Bor ve bileşikleri belirli konsantrasyonların üzerinde çevrede toksik etkiye sahip olacağından endüstriyel atıksulardan alıcı ortama deşarj edilmeden giderilmesi gerekmektedir. Günümüzde birçok araştırmacı tarafından çeşitli fizikokimyasal yöntemlerle bor gideriminin mümkün olduğu ortaya konmuştur. Bu yöntem ile borun, inorganik bir tuz olan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile kimyasal yöntemle çöktürülmesi suretiyle bor işleyen endüstri atıksularından giderimine çalışılmıştır. Denemelerde pH, bor konsantrasyonu, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ miktarı ve sıcaklık parametre olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak, optimum pH için konsantrasyon, sıcaklık ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ miktarının artırılması ile %98'e varan oranda bor giderimi sağlanmıştır. Yöntemde ortamda bulunan borun bir kısmının kimyasal olarak kalsiyum borata dönüştürülerek bir kısmının da oluşan kalsiyum sülfatla birlikte çöktürülerek giderildiği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bor, borik asit, kalsiyum hidroksit, bor giderimi

Removal Of Boron From Boron Solutions By Chemical Precipitation

ABSTRACT: Due to the toxic effect of boron and its compounds on specified concentrations, it is necessary for boron and its compounds to be eliminated from wastewater prior to the discharging into the receiving environment. Today, it is introduced by a numerous of researchers that the removal of boron through the various physicochemical methods is applicable. In this paper, the elimination of boron from industrial wastewater by means of chemical precipitation with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ as inorganic salt has been studied. Through the tests pH, boron concentration, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ amount and temperature have been utilized as the parameters of the study. Ultimately, under optimum pH, by increasing the concentration, the temperature and the amount of $\text{Ca}(\text{OH})_2$, elimination of boron up to 98% has been achieved. It is considered that some part of the eliminated boron has been chemically precipitated as calcium borate while another part has been eliminated by the precipitation together with the ensued calcium sulphate.

Key words: Boron, boric acid, calcium hydroxide, boron removal

¹ Veysel SELİMOĞLU (Orcid ID: 0000-0002-3375-1842), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye

² Recep BONCUKCUOĞLU (Orcid ID: 0000-0002-6096-5280), Kafkas Üniversitesi, İstanbul Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Veysel SELİMOĞLU, e-mail: v.selimoglu@hotmail.com

GİRİŞ

Dünya üzerinde bulunan bor minerallerinin % 72'den fazlası ülkemizde bulunmaktadır. Ülkemizde bulunan bor minerallerinin en önemlileri kolemanit ($2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), tinkal ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), ve uleksit ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$) olup bunlar da Balıkesir-Bigadiç, Kütahya-Emet, Bursa-Kestelek ve Eskişehir-Kırka'da bulunmaktadırlar. Ülkemizin bor mineralleri rezervinin % 73.92'si kolemanit, % 24.50'si tinkal ve % 1.58'i de uleksit minerali olmak üzere az miktarı da diğer mineraller olarak bulunmaktadır. Dünyada 230 civarında bor içeren mineralin olduğu bilinmektedir (Kıpçak ve ark., 2014). Bor bileşikleri nükleer, deterjan, ilaç, gübre, motor yağları, cam, boya... gibi pek çok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca ülkemizde bir çok bölgede bulunan gerek termal sular gerekse yeraltı sularında da ppm mertebesinde bor bulunmaktadır (Boncukcuoğlu ve ark., 2003). Bor ihtiva eden sularla sulanan topraklarda bor hızla toprakta biriktiğinden sınır değerleri aşmakta ve istenmeyen etkilere yol açmaktadır. Yüzey ve yeraltı sularından toprağa geçen bor bileşikleri toprakta bulunan ağır metallerle kompleksler yapmaktadır ki bu da borun toksik etkisini logaritmik olarak artırmaktadır (Seiler, 1989).

Dünya Sağlık Örgütü yetişkin sağlıklı bir insanın beslenme yoluyla günde 1-13 mg bor alabileceğini kararlaştırmıştır. Borun toksik etkisi yetişkinlerde baş ağrısı, kusma, ishal, heyecan veya depresyon, çocuklarda ise daha çok havale, koma gibi beyin zarı tahribi etkileri şeklinde görülmektedir. Parmak uçlarında görülen pembe renk, bor ile zehirlenmeye işaret eden karakteristik görünüşlerdir (Mc Kee ve ark., 1963). İçme sularının yüksek oranda bor minerali içermesi, sindirim sisteminde bazı rahatsızlıklara, karaciğerde büyüme ve şişmeye, sinir sisteminden kaynaklanan sorunlara yol açmaktadır. Borun insan vücuduna doğal olarak

yiyecek ve içeceklerle ağız yoluyla, tozlarla solunum, krem ve ilaçlarla deri yoluyla girmektedir. Vücuda nasıl girerse girsün, %90-95 kadarı vücutta birikmeden hemen idrar ile dışarı atılmaktadır. Yalnızca kemik, tırnak ve kıllarla, karaciğer ve dalak gibi organlarda birikmektedir. Dolayısıyla belli oranın üstündeki bor miktarı insan sağlığı açısından zararlı etkilere sebep olmaktadır.

Bor elementinin fazlalığı da eksikliği gibi canlılara zararlıdır. Eksiklikler ve fazlalıklar bir derece meselesidirler ve canlılar görünen işaretler göstermeden önce ciddi zarar görecekları için, kullanılan kriterler bor etkisinin yararlı veya zararlı olduğunu belirleyeceklerdir (Demirtaş, 2010). Bazı kaynaklarda bor tozlarıyla temas eden işçilerin sperm sayısında düşüklük, cinsel hayatlarında gerileme olduğu iddia edilmiştir. Ülkemizde ve dünyada yapılan pek çok araştırmada borun kısırlığa yol açmadığı sonucuna varılmıştır (Korkmaz, 2007).

WHO standartlarına göre içme sularındaki bor konsantrasyonu 0.3 mg L^{-1} olarak sınırlandırılmış iken bu değer EU kriterlerine göre 1 mg L^{-1} olarak sınırlandırılmıştır. Ülkemizde içme suyu temininde kullanılan su kaynaklarının çoğunda bor muhtevası WHO ve EU limitlerinin üzerindedir (Remy ve ark., 2005). Borun canlılara toksik etkisini önlemek için içme ve kullanma sularında bulunan bor miktarlarının kontrol altına alınması oldukça zorunluluk arz etmektedir. Bu yüzden sulardan borun giderilmesi dünya genelinde yaygın kabul gören önemli bir konudur.

Anorganik bor bileşikleri genelde antiseptik özelliklerinden dolayı biyolojik arıtım yöntemleri ile giderilmesi oldukça güçtür. Bor giderimi genellikle adsorbsiyon, iyon değişimi, ters ozmoz, kimyasal çöktürme, nanofitirasyon, elektrokuagülasyon, elektrodializ gibi yöntemlerle yapılmaktadır (Selimoğlu, 2006; Yılmaz ve ark., 2012).

Sunulan bu çalışmada borun kimyasal çöktürmeyle giderilmesi amaçlanmıştır. Çöktürme kimyasalı olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kullanılmıştır. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tercih edilmesinin nedeni oldukça bol ve ucuz olmasıdır. Burada diğer bir amaç da çöktürmenin yanında özellikle sularda kolay ve yüksek oranda çözülebilen sodyum boratların daha az çözünen kalsiyum boratlara kısmen de olsa dönüşümün sağlanmasıdır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyallerin Temini ve Hazırlanması

Bor kaynağı olarak borik asit çözeltisi kullanılmıştır. Borik asit çözeltisi laboratuvar ortamında endüstriyel atıksulardaki bor konsantrasyonuna yakın konsantrasyonda

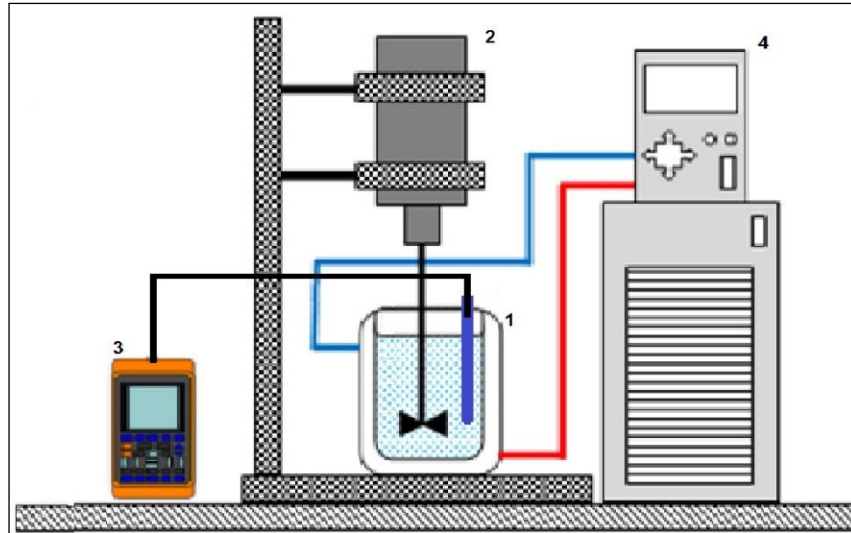
hazırlanmıştır. Bu maksatla analitik saflıktaki Merck marka borik asitten 11.432 g alınarak 2000 mg L^{-1} lik bor konsantrasyonunda 1 L stok çözelti hazırlanmıştır ve bu stok çözülden seyreltmeler yapılarak istenilen konsantrasyonlarda standart bor çözeltileri hazırlanmıştır. Kullanılan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kimyasalı analitik saflıkta olup Merck markadır.

Deneylerde Uygulanan Parametreler ve Seviyeleri

Borun giderilmesi amacıyla gerçekleştirilen denemelerde seçilen parametreler ve bu parametrelerin aralıkları Çizelge 1’de belirtilmiştir.

Çizelge 1. Denemelerde kullanılan parametreler ve seviyeleri

Parametreler	Parametre Değerleri					
	1	2	3	4	5	6
Sıcaklık, °C	30		60	75	90	
Çözelti pH sı	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Koagülant miktarı, g	0.25	0.5	1	1.5		
Bor konsantrasyonu, mg L^{-1}	25	50	100	250	500	



Şekil 1. Deney düzeneği (1. Ceketli reaktör, 2. Mekanik karıştırıcı, 3. pH metre, 5. Sabit sıcaklık sirkülatörü)

Deney Sistemi ve Denemelerin Yapılışı

Denemelerde 150 mL bor çözeltileri kullanılmış, çözeltiler deneme sıcaklığına ve pH sına getirildikten sonra $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ilave edilerek

denemeler başlatılmıştır. Deneysel sistem Şekil 1 de görülmektedir.

Denemelerde sıcaklık bir sabit sıcaklık sirkülatörüyle, karıştırma hızı ise bir mekanik

karıştırıcı ile kontrol edilmiştir. H_2SO_4 ile yapılan pH ayarlamalarında, pH ölçüm ve kontrol işlemi için bir pH metre kullanılmıştır. Her bir deneyde belirli zamanlarda reaksiyon karışımından ikişer mL lik örnekler alınmış, süzölmüş ve elde edilen süzöntülerde bor analizi yapılmıştır.

Bor Analizinin Yapılışı

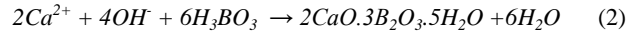
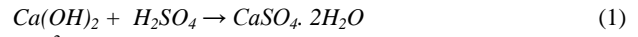
Denemelerde bor analiz metodu olarak kolorimetrik metot (Hatcher, 1950; Franson ve ark., 1985; Greeberg ve ark., 1985) kullanılmıştır. Kolorimetrik metot asidik ortamda borun indikatör olarak kullanılan karmin kimyasalı ile verdiği reaksiyon sonucu oluşan renk değişiminin belirlenmesine dayanır. Karmin indikatörü, 920 mg karminin 1 L derişik H_2SO_4 içerisinde çözünmesi ile elde edilmiştir. Borik asitten hazırlanan çözeltiler için elde edilen kalibrasyon eğrisi kullanılarak okumalar yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada kimyasal çöktürücü olarak $Ca(OH)_2$ kullanılarak bor giderilmeye çalışılmıştır. Laboratuar ortamında %99 saflıktaki H_3BO_3 'ten sentetik olarak hazırlanan bor çözeltileri $Ca(OH)_2$ ile tepkimeye sokularak belirli zaman aralıklarında belirlenen parametrelerin bor giderimine etkileri incelenmiştir.

Reaksiyonlar

Bu çalışmalarda 0-2.5 pH aralığında denemeler yapılmıştır. Bu asidik pH değerinde $Ca(OH)_2$ ile H_3BO_3 suda çözünmeyen bir bor minerali olan kolemanit ($2CaO.B_2O_3.5H_2O$) oluşturmaktadır. Reaksiyonlar Eşitlik (1) ve Eşitlik (2) deki şekilde ifade edilebilir:



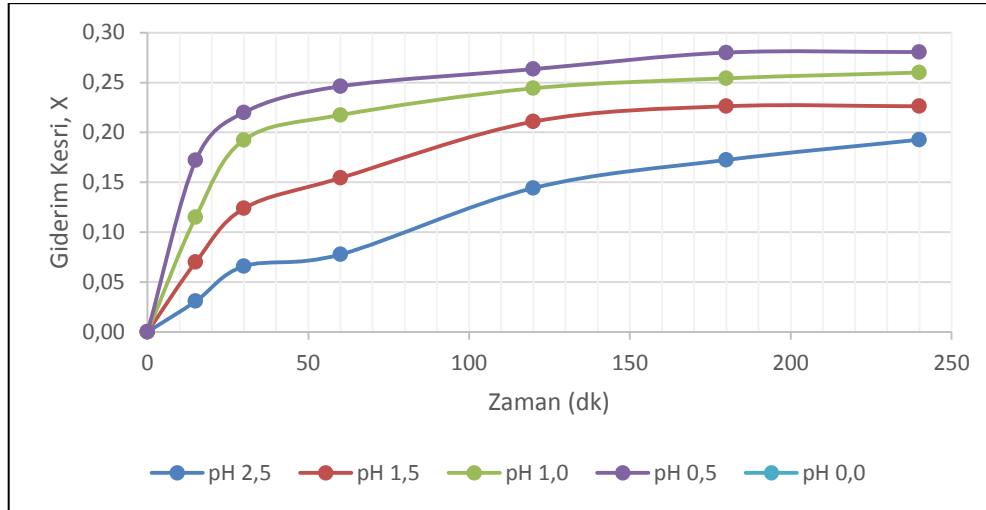
Ancak burada ikinci reaksiyon yavaştır. Oluşan miktar $Ca(OH)_2$ yanında düşük orandadır. Bu nedenle kolemanit oluşumu XRD ile belirlenemez.

Ortam pH'sının Bor Giderimine Etkisi

Bor giderimi üzerinde pH'nın etkisini incelemek ve optimum pH'yı belirlemek için 150 mL 50 mg L^{-1} konsantrasyonda bor çözeltisi alınarak önce derişik H_2SO_4 çözeltisi ile başlangıç 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5'e ayarlanmıştır. Bu denemelerde kimyasal çöktürücü miktarı 0.5 g, karıştırma hızı 250 dev dak^{-1} ve sıcaklık 30°C de sabit tutulmuştur. Değişik pH değerlerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmiş, Şekil 2'de grafik edilmiştir. Yapılan bu denemeler sonucunda en iyi giderim pH 0.5 de elde edilmiştir. Ortamın pH ayarlaması $Ca(OH)_2$ eklenmeden yapılmıştır.

Çizelge 2. $Ca(OH)_2$ ile bor gideriminin pH değişimiyle etkileşimi

Zaman (dk)	Giderim Kesri, X				
	pH 2.5	pH 1.5	pH 1.0	pH 0.5	pH 0.0
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.03	0.07	0.12	0.17	0.02
30	0.07	0.12	0.19	0.22	0.03
60	0.08	0.15	0.22	0.25	0.04
120	0.14	0.21	0.24	0.26	0.08
180	0.17	0.23	0.25	0.28	0.13
240	0.19	0.23	0.26	0.28	0.17



Şekil 2. pH değişiminin çözeltide kalan bor miktarına etkisi

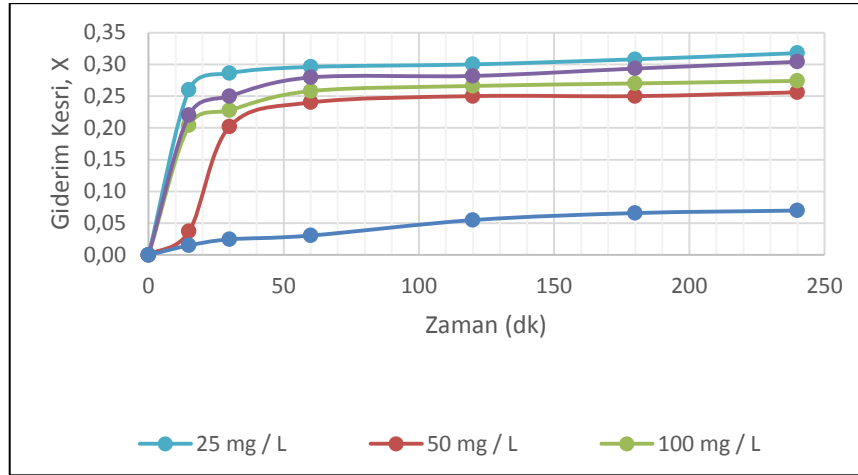
Konsantrasyonun Bor Giderimine Etkisi

Konsantrasyonun bor giderimi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 25, 50, 100, 250 ve 500 mg L⁻¹ bor içeren çözeltilerden 150 mL alınarak denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerde Ca(OH)₂ miktarı 0.5 g, sıcaklık 30 °C, karıştırma hızı 250 dev dak⁻¹ ve pH 0.5 olarak sabit tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3'de verilmiş, Şekil 3'de grafik edilmiştir. Buradan belirlenen sonuçlara göre bor gideriminin çözeltideki bor konsantrasyonunun

artmasıyla ilk 15 dakikada arttığı gözlenmiş ve daha sonra giderim çok yavaşlamıştır. Burada düşük bor konsantrasyonlarında giderim çok düşüktür. Çünkü oluşan kolemanit molekülleri çözünürlük çarpımına yakın konsantrasyonlardadır. Bor konsantrasyonu arttıkça oluşan kolemanit moleküllerinin sayısı da artmakta ve çözünürlük çarpımını aşan değerlere varılmaktadır. Ama 15 dak dan sonra kolemanit oluşumu azalmakta ve giderimde de önemli bir değişim görülmemektedir.

Çizelge 3. Ca(OH)₂ ile bor gideriminin konsantrasyon değişimiyle etkileşimi

Zaman (dk)	Giderim Kesri, X				
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.02	0.04	0.20	0.22	0.26
30	0.02	0.20	0.23	0.25	0.29
60	0.03	0.24	0.26	0.28	0.30
120	0.05	0.25	0.27	0.28	0.30
180	0.07	0.25	0.27	0.29	0.31
240	0.07	0.26	0.27	0.30	0.32



Şekil 3. Konsantrasyon değişiminin çözeltide kalan bor miktarına etkisi

Sıcaklığın Bor Giderimine Etkisi

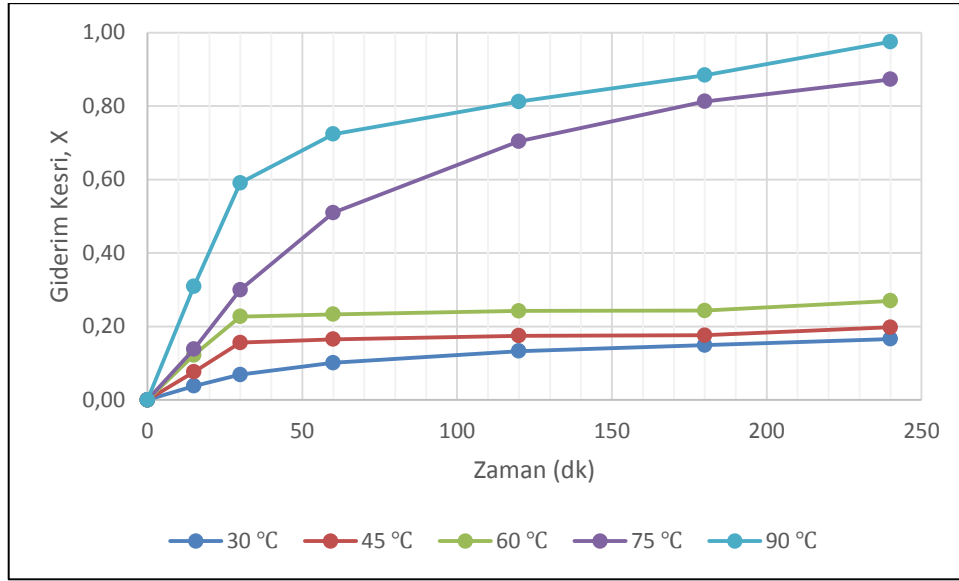
Sıcaklık değişiminin bor giderimine etkisini belirlemek amacıyla 30. 45. 60. 75 ve 90 °C de denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerde pH 0.5. Ca(OH)₂ miktarı 0.5 g. konsantrasyon 500 mg L⁻¹ ve karıştırma hızı da 250 dev dk⁻¹ de sabit tutulmuştur. Değişik sıcaklıklarda elde edilen sonuçlar Çizelge 4'de verilmiş. Şekil 4'de grafik edilmiştir. Bu denemelerin sonucunda bor gideriminin sıcaklık artışı ile arttığı tespit edilmiş ve en iyi giderim 90 °C de elde edilmiştir. Burada sıcaklığın artmasıyla ortamda bulunan kalsiyum ve borat iyonlarından kolemanit oluşum reaksiyonunun hızı arttığı için bor giderimi de artmaktadır.

Ca(OH)₂ Miktarının Bor Giderimine Etkisi

Kimyasal çöktürücü olarak kullanılan Ca(OH)₂ miktarının bor giderimi üzerindeki etkisi incelenirken 0.25. 0.5. 1.0 ve 1.5 g lık Ca(OH)₂ kullanılarak denemeler yapılmıştır. Bu denemeler yapılırken pH 0.5. konsantrasyon 500 mg L⁻¹. karıştırma hızı 250 dev dak⁻¹ ve sıcaklık da 90 °C de sabit tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5'de verilmiş. Şekil 5'de grafik edilmiştir. Bu sonuçlara göre Ca(OH)₂ miktarının artmasıyla bor giderimi artmaktadır. Burada ortamda Ca(OH)₂ miktarının artmasıyla oluşan kolemanitin çözünürlüğünün azaltmakta olduğu tespit edilmiş optimum Ca(OH)₂ miktarı olarak da 1.5 g değeri belirlenmiştir. Bu nedenle de bor giderimi Ca(OH)₂ miktarının artmasıyla artmaktadır.

Çizelge 4. Ca(OH)₂ ile bor gideriminin sıcaklık değişimiyle etkileşimi

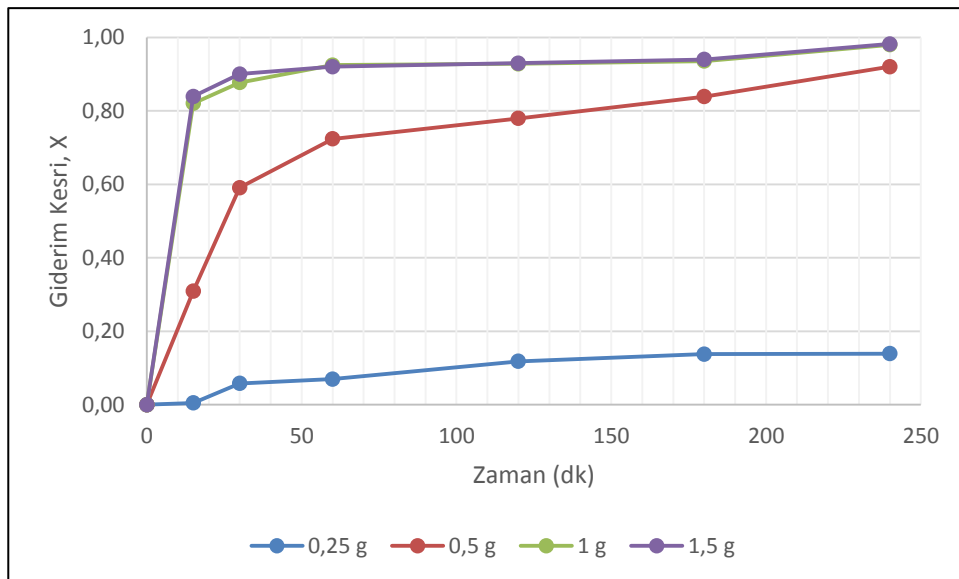
Zaman (dk)	Giderim Kesri, X				
	30 °C	45 °C	60 °C	75 °C	90 °C
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.04	0.08	0.12	0.4	0.31
30	0.07	0.16	0.23	0.30	0.59
60	0.10	0.17	0.23	0.51	0.72
120	0.13	0.18	0.24	0.70	0.81
180	0.15	0.18	0.24	0.81	0.88
240	0.17	0.20	0.27	0.87	0.98



Şekil 4. Sıcaklık değişiminin çözeltide kalan bor miktarına etkisi

Çizelge 5. Ca(OH)₂ miktarının bor giderimine etkisi

Zaman (dk)	Giderim Kesri, X			
	0,25 g	0,50 g	1,0 g	1,5 g
0	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,01	0,31	0,82	0,84
30	0,06	0,59	0,88	0,90
60	0,07	0,72	0,92	0,92
120	0,12	0,78	0,93	0,93
180	0,14	0,84	0,94	0,94
240	0,14	0,92	0,98	0,98

Şekil 5. Ca(OH)₂ miktarının çözeltide kalan bor miktarına etkisi

SONUÇ

Bu çalışma ile $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile optimum pH'da konsantrasyon, sıcaklık ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nin artışı ile % 98'e varan oranda bor giderimi sağlanarak çeşitli ortamlarda bulunan bor bileşiklerinin suda daha az çözünmekte olan, kolemanit formuna dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Endüstride en çok bulunan bor mineralleri olan tinkal 0 °C'de litrede 3.4 g. üleksit 5.5 pH'da 20 °C'de litrede 3.4 g suda çözünürken kolemanit yine 5.5 pH'da 20 °C'de litrede 0.5g çözüldüğü bilinmektedir. Çevresel açıdan yüzey ve yeraltı sularında bor konsantrasyonunun azaltılarak bor bileşiklerinin kolemanit formunda olması önemlidir.

Literatürde kalsiyum boratın sudaki maksimum çözünürlüğü 202 mg L⁻¹ olarak verilmektedir. Kimyasal olarak ortamdaki borun bir kısmı kalsiyum borata dönüşürken bir kısmı da kalsiyum sülfat, kalsiyum karbonat ve diğer kalsiyum bileşikleri ile birlikte birlikte çöktüğü düşünülmektedir. Ortamın pH'ı arttıkça kimyasal olarak çökelen bor miktarının da arttığı denemelerden anlaşılmaktadır (Kemp, 1956; O'Melia, 1972; Hobbs, Reardon, 1999; Özkan, Yekeler, 2003).

Bor endüstrisinde meydana gelen atıksular en kolay göllerde borun çökeltilmesi için depolanmaktadır. Bu çalışma sonucunda bu bekletme esnasında yukarıdaki işlemlerin uygulanması suretiyle kolemanit oluşumu sağlanarak toprak ve yeraltı sularına sızmalar engellenebilir.

KAYNAKLAR

- Kıpçak AS., Derun EM., and Pişkin S., 2014. Characterization and determination of the neutron transmission properties of sodium-calcium and sodium borates from different regions in Turkey. J. Radional Nucl. Chem.,301:175-188.
- Boncukcuoğlu R., Kocakerim, MM., Kocadağistan E. and Yılmaz, MT. 2003. Recovery of Boron of The Sieve Reject in The Production. Resources Conservation And Recycling. 37:2. 147-157.
- Seiler HF., 1989. Handbook on toxicity inorganic compounds. Marcel Decker Inc., Newyork.
- Mc Kee. JE. and Wolf HW., 1963. Water Quality Criteria'. Califomia State Water Resources Control Board. USA. Publication No: 3-A. pp. 1-467. USA.
- Demirtaş. A., 2010. Borun İnsan Beslenmesi ve Sağlığı Açısından Önemi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü. 25240-Erzurum. 41 (1): 75-80.
- Korkmaz. M., 2007. Borun İnsan Sağlığına Etkisi. Celal Bayar Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoloji Anabilim Dalı. Manisa. 41 (1): 75-80.
- Remy P., Muhr H., Plasari E., Ouerdiane I., 2005. Removal of Boron from Wastewater by Precipitation of a Sparingly Soluble Salt. 24 (1): 105-110.
- Yılmaz AE., Boncukcuoğlu R., Bayer S., Fil BA., and Kocakerim MM., 2012. Boron removal by means chemical precipitation with calcium hydroxide and calcium borates formations. Korean J. Chem. Eng., 29 (10): 1382-1387.
- Selimoğlu V., 2006. Endüstriyel Atıksulardan Kimyasal Reaksiyon-Koagülasyon Metodu ile Bor Giderimi. Atatürk Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Greeberg AE., Trussell RR. and Clesceri LS., 1985. Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. 16th ed., Washington D.C.; p:133-136
- Hatcher. JT., Wilcox. LV., 1950. Colorimetric Determination Of Boron Using Carmine. Anal. Chem. 22 (4): 22-567.
- Franson. M. N., Greenberg. A. E., Trussell. R. R., Ciesceri. L. S., 1985. Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. p:133-136 Washington D.C.
- Hobbs MY., and Reardon EJ., 1999. Effect of pH on boron coprecipitation by calcite. Geochimica et Cosmochemica Acta. 63: 1013-1021.
- Kemp HK., 1956. Calcium Borates. Chapter 11. The Chemistry of Borates. Printed by W.S. Cowell LTD. Butter Market. Ipswich. Borax Consolidated Ltd. p: 68-71. London.
- O'Melia. Charles R., 1972. Coagulation and Flocculation. In Physicochemical Process for Water Quality Control. ed. W. J. Webber Willey Interscience. Chapter 2. New York
- Özkan A. and Yekeler M., 2003. Coagulation and Flocculation Characteristics of Celestite with Different Inorganic Salts and Polymers. Chemical Engineering and Processing 43 (2004): 873-879.