

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ALTIN MADENCİLİĞİNDE YIĞIN LİÇ ALANLARININ
YIKANMASI YAKLAŞIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Hazırlayan
Selahattin GÜNEY**

**Danışman
Doç. Dr. Şükrü Taner AZGIN**

Yüksek Lisans Tezi

**Haziran 2023
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ALTIN MADENCİLİĞİNDE YIĞIN LİÇ ALANLARININ
YIKANMASI YAKLAŞIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Selahattin GÜNEY**

**Danışman
Doç. Dr. Şükrü Taner AZGIN**

**Haziran 2023
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Selahattin GÜNEY

“Altın Madenciliğinde Yığın Liç Alanlarının Yıkanması Yaklaşımının Değerlendirilmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Selahattin GÜNEY

Danışman

Doç. Dr. Şükrü Taner AZGIN

Çevre Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Oktay ÖZKAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve desteği esirgemeyen, hayatıma renk katan ve her daim beni cesaretlendiren sevgili eşim Fulya'ya, biricik oğlum Alp'e, sevgili annem ve babama, kıymetli yöneticilerim ve çalışma arkadaşlarıma ve değerli hocam Doç. Dr. Şükrü Taner AZGIN'a, teşekkür ederim.

Selahattin GÜNEY

20 Haziran 2023, KAYSERİ

ALTIN MADENCİLİĞİNDE YIĞIN LIÇ ALANLARININ YIKANMASI YAKLAŞIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Selahattin GÜNEY

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2023
Danışman: Doç. Dr. Şükrü Taner AZGIN**

ÖZET

Bu tez çalışmasında, yığın liç alanlarının rehabilitasyonunda yeraltı suyu ile yıkama yaklaşımının uygunluğu, yığın liç yöntemi (içerisinde belli derişimlerde sodyum siyanür kimyasalı bulunan çözeltilerin taban geçirimsizliği sağlanmış alanlara serilen cevher ile temasının sağlanması suretiyle altının çözünerek solüsyon içerisine alınmasıdır) ile altın madenciliği faaliyetini aktif bir şekilde gerçekleştiren bir işletmenin yığın liç alanından işlenmiş cevher atığı alınıp, alınan numunelerin kolon testine tabi tutulması suretiyle değerlendirilmiştir. Yığın liç alanında toplam 2 bölgeden numune alınmıştır. 1 nolu numune; liç işlemleri en erken biten bölgeden, 2 nolu numune; liç işlemleri en geç biten bölgeden alınmıştır. Yığın liç alanında bulunan bütün yığının temsil edilmesi amacı ile 1 ve 2 nolu numune eşit miktarlarda karıştırılarak homojen bir numune elde edilmiş ve elde edilen numune 3 nolu numune olarak isimlendirilmiştir. 1 ve 2 nolu numuneler, 1 ve 2 nolu kolonlara, 3 nolu numune ise 3 nolu kolona ve 4 nolu kolona beslenmiştir. Her bir kolona beslenen numune miktarı 40 kg olarak ayarlanmıştır. 1, 2 ve 3 nolu kolon yıkama suyu olarak, bölgede bulunan yeraltı suyu kullanılmış, 4 nolu kolon yıkama suyu olarak ise saf su kullanılmıştır. Her bir kolon, 10 L/m².saat debi ile yıkanmıştır. Kolonların tabanlarından süzülen yıkama suyu numunelerinde, günlük olarak toplam siyanür analizleri gerçekleştirilmiştir. Kolon tabanlarında biriken yıkama suyu numunelerinde okunan toplam CN değerleri; 1 nolu kolon için 19. Gün sonunda, 2 nolu kolon için 42. gün sonunda, 3 nolu kolon için 46. Gün sonunda <0,1 ppm değerine ulaşmıştır. 4 nolu kolon ise bölgeye düşen toplam 5 yıllık yağış miktarı baz alınarak hesaplanan yıkama suyu miktarına ulaşınca saf su ile yıkama işlemine tabi tutulmuş ve 5,5 günlük yıkama işlemi sonunda elde edilen yıkama suyu numunesine ait toplam siyanür değeri 0,44 ppm olarak ölçülmüştür. Yıkamalara başladıktan sonra ilk 5 gün içerisinde, bütün

kolon tabanlarından süzülen yıkama suyu numunelerinde toplam CN değeri 1 ppm altına düşmüştür. Yığın liç alanının bölgeye düşen yağışlar baz alınarak doğal olarak yıkanması senaryosuna göre toplam CN değerlerindeki değişimin ortaya konulmasının amaçlandığı 4 nolu kolonun saf su ile yıkanması işleminde, toplanan numunelerdeki toplam CN değerinin hızlı bir şekilde düştüğü tespit edilmiştir (3 günlük yıkama işlemi neticesinde toplam CN değeri <1 ppm'e düşmüştür). Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde, yığın liç alanlarının yeraltından çekilen sular ile yıkanarak toplam CN değerinin <0,1 ppm altına düşürülebileceği ancak bu yaklaşımın yığın liç alanlarından depolanan işlenmiş cevher atıkları toplam miktarı dikkate alındığında, sürdürülebilir kaynakların kullanımı ve toplam yıkama süreleri açısından çok çevreci bir yaklaşım olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. 4 nolu kolon yıkama testi sonuçları dikkate alındığında, yıkama işleminin doğal meteorolojik şartlar altında uzun yıllar içerisinde kontrollü bir şekilde yapılması halinde, liç alanlarındaki toplam CN değerinin doğal olarak istenen değerlere düşebileceği görülmüştür. Doğal yıkama işlemleri ardından, liç alanlarının yüzey geçirimsizliklerinin tekniğine uygun şekilde inşa edilmesi ve alan yüzeylerinin bölge iklimine uygun fidanlar ile ağaçlandırılarak alanın rehabilite edilmesi ve liç alanı etrafında bulunan su kalitesinin belli periyotlarda takip edilmesi ile etkin bir kapama dönemi ve kapama sonrası izleme dönemi tesis edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Altın Madenciliği, Yığın Liç Alanı, Cevher Atığı, Kolon Testi,

EVALUATION OF THE APPROACH TO WASHING HEAP LEACHING AREAS IN GOLD MINING

Selahattin GÜNEY

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, June 2023

Supervisor: Associate Dr. Şükrü Taner AZGIN

ABSTRACT

In this thesis, the suitability of the groundwater leaching approach in the rehabilitation of heap leach areas was evaluated by taking the processed ore waste from the heap leach area of an enterprise and subjecting the samples to the column test (the inclusion of gold into the solution by dissolving the solution containing certain concentrations of sodium cyanide chemical by providing contact with the ore laid on the areas with base impermeability). Samples were taken from a total of two regions in the heap leach area. Sample No. 1 was taken from the region where leaching processes were completed the earliest. Sample No. 2 was taken from the region where the leaching process was completed at the latest. In order to represent the whole heap in the heap leaching area, samples 1 and 2 were mixed in equal amounts to obtain a homogeneous sample, and the obtained sample was named sample 3. Samples 1 and 2 were fed to columns 1 and 2, and sample 3 was fed to columns 3 and 4. The amount of sample fed to each column was set to 40 kg. Groundwater in the region was used as column washing water numbered 1, 2, and 3, and pure water was used as column washing water numbered 4. Each column was washed at a flow rate of 10 L/m².hr. Daily total cyanide analyses were performed on wash water samples filtered from the bottom of the columns. Total CN values read in wash water samples accumulated at the bottom of the column; They reached <0.1 ppm at the end of the 19th day for column 1, at the end of the 42nd day for column 2, and at the end of the 46th day for column 3. Column number 4 was washed with pure water until it reached the amount of washing water calculated based on the total amount of precipitation for 5 years in the region, and the total cyanide value of the washing water sample obtained at the end of the 5.5-day washing process was measured as 0.44 ppm. Within the first 5 days after starting the washings, the total CN value in the wash water samples filtered from all the column bases decreased below 1 ppm. According to the scenario where the

heap leaching area is naturally washed out based on the rainfall in the region, it was determined that the total CN value in the samples collected after column 4 was washed with pure water decreased rapidly (as a result of the 3-day washing process, the total CN value decreased to <1 ppm) When the results obtained were examined, it was seen that the total CN value could be reduced to <0.1 ppm by washing the heap leach areas with the water withdrawn from the ground. However, considering the total amount of processed ore waste stored in heap leaching areas, it has been concluded that this approach is not very environmentally friendly in terms of the use of sustainable resources and total washing times. Considering the results of column washing test number 4, it has been observed that the total CN value in the leaching areas can naturally decrease to the desired values if the washing process is carried out in a controlled manner over many years under natural meteorological conditions. After the natural washing processes, an effective closure period and post-closure monitoring period can be established by constructing the surface impermeability of the leaching areas in accordance with the technique, rehabilitating the area by afforesting the area surfaces with saplings suitable for the climate of the region, and monitoring the water quality around the leaching area at certain intervals.

Keywords: Gold Mining, Heap Leaching, Ore Waste, Column Testing,

İÇİNDEKİLER

ALTIN MADENCİLİĞİNDE, YIĞIN LİÇ ALANLARININ YIKANMASI YAKLAŞIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	viii
İÇİNDEKİLER	x
KISALTMALAR.....	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1. GENEL BİLGİLER	4
1.1. Problem Durumu.....	4
1.2. Araştırmanın Amacı	4
1.3. Araştırmanın Önemi.....	4
2. LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ.....	6
2.1. Türkiye'de Yapılan Çalışmalar.....	7
2.2. Uluslararası Yapılan Çalışmalar	16

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Yöntem.....	19
2.2. Materyal	21
2.2.1. Numunelerin Alınması ve Kolonlara Yüklmesi.....	21

2.2.2. Kolon Testlerinin Gerçekleştirilmesi.....	32
--	----

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. 1 Nolu Kolon Testine Ait Bulgular	42
3.2. 2 Nolu Kolon Testine Ait Bulgular	46
3.3. 3 Nolu Kolon Testine Ait Bulgular	52
3.4. 4 Nolu Kolon Testine Ait Bulgular	59

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1.Tartışma.....	64
4.2.Sonuç ve Öneriler.....	65
KAYNAKÇA.....	69
ÖZGEÇMİŞ	72

KISALTMALAR

AgCN	: Gümüş Siyanür
Ca(CN) ₂	: Kalsiyum Siyanür
Cd(CN) ₂	: Kadmiyum Siyanür
CN	: Siyanür
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirmesi
Hg(CN) ₂	: Civa Siyanür
KCN	: Potasyum Siyanür
KKE	: Kişisel Koruyucu Ekipman
NaCN	: Sodyum Siyanür
Zn(CN) ₂	: Çinko Siyanür

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1. 4 Nolu Kolon Yıkama Suyu Hesap Tablosu	33
Tablo 2. 4 Nolu Kolon Yıkama Başlangıç ve Bitiş Bilgileri.....	34
Tablo 3. 1 Nolu Kolonda Besleme ve Toplama Su Miktarlarına Esas Veriler	42
Tablo 4. 1 Nolu Kolon Toplama Sularına Ait pH ve Toplam CN Analiz Sonuçları	44
Tablo 5. 2 Nolu Kolonda Besleme ve Toplama Su Miktarlarına Esas Veriler	46
Tablo 6. 2 Nolu Kolon Toplama Sularına Ait pH ve Toplam CN Analiz Sonuçları	48
Tablo 7. 3 Nolu Kolonda Besleme ve Toplama Su Miktarlarına Esas Veriler	52
Tablo 8. 3 Nolu Kolon Toplama Sularına Ait pH ve Toplam CN Analiz Sonuçları	55
Tablo 9. 4 Nolu Kolonda Besleme ve Toplama Su Miktarlarına Esas Veriler	60
Tablo 10. 4 Nolu Kolon Toplama Sularına Ait pH ve Toplam CN Analiz Sonuçları ...	61
Tablo 11. Kolon Testleri Neticesinde Elde Edilen Veriler.....	67

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Yiğın Liç Yöntemiyle Altın Eldesi İş Akım Şeması.....	2
Şekil 2. 1 Nolu Numunenin Alınması	22
Şekil 3. 2 Nolu Numunenin Alınması	22
Şekil 4. 1 ve 2 Nolu Numunelere Ait Görünüm	23
Şekil 5. Numunelerin Hazırlanması - 1	23
Şekil 6. Döner Numune Bölücü.....	24
Şekil 7. Numunelerin Hazırlanması - 2	24
Şekil 8. Numunelerin Hazırlanması - 3	25
Şekil 9. Numunelerin Hazırlanması - 4	25
Şekil 10. Numunelerin Hazırlanması - 5	26
Şekil 11. Numunelerin Hazırlanması - 6	26
Şekil 12. Numunelerin Hazırlanması - 7	27
Şekil 13. Numunelerin Kolonlara Beslenmesi	27
Şekil 14. Numuneler İle Yüklenmiş Kolonlar	28
Şekil 15. Kolon Bağlantılarının Yapılması.....	29
Şekil 16. Besleme Sularının Tesisi ve Peristaltik Pompa Bağlantıları	30
Şekil 17. Kolon Testlerinin Başlatıldıktan Sonraki Görünümü.....	31
Şekil 18. Kolonların Yıkama İşlemine Hazırlanması	36
Şekil 19. Yıkama Suyu Debisinin Belirlenmesi	37
Şekil 20. Kolon Yıkama Suyu Beheri - Kolona Beslenen.....	37
Şekil 21. Kolon Yıkama Suyu Beheri – Kolondan Toplanan	38
Şekil 22. Kolon Besleme Suyunun Tamamlanması	38
Şekil 23. Kolondan Toplanan Su Miktarının Kayıt Edilmesi.....	39
Şekil 24. Numunenin pH Ölçümü	39
Şekil 25. Numunelerin Toplam CN Analiz Süreçleri.....	40
Şekil 26. Kolon 4 - 2. Yıl Yıkamalarının Başlatılması.....	41
Şekil 27. 1 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı pH Değişim Grafiği	44
Şekil 28. 1 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı Toplam CN Değişim Grafiği	45
Şekil 29. 2 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı pH Değişim Grafiği	50
Şekil 30. 2 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı Toplam CN Değişim Grafiği	51

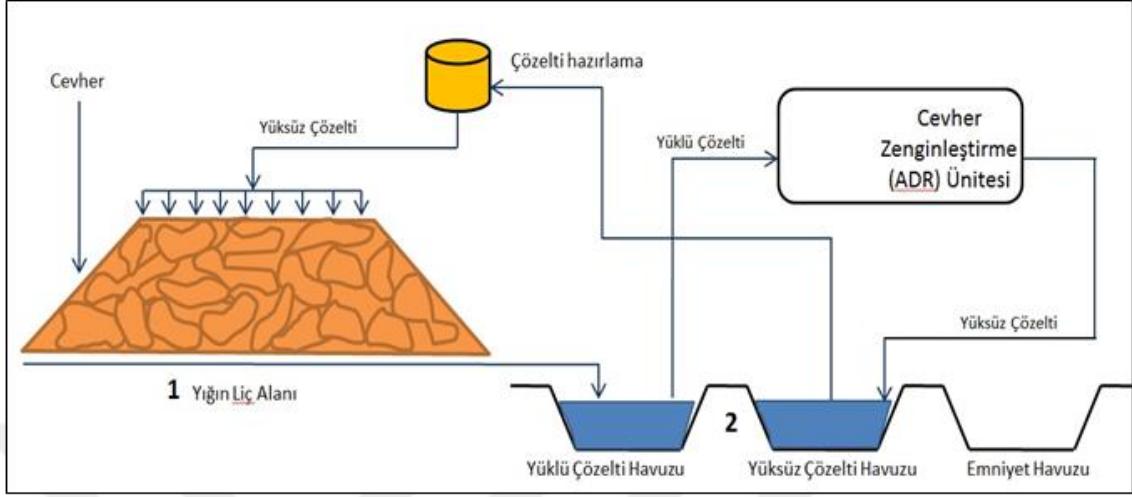
<i>Şekil 31.</i> 3 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı pH Değişim Grafiği	57
<i>Şekil 32.</i> 3 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı Toplam CN Değişim Grafiği	58
<i>Şekil 33.</i> 4 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı pH Değişim Grafiği	61
<i>Şekil 34.</i> 4 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı Toplam CN Değişim Grafiği	62



GİRİŞ

Dünyada, NaCN kimyasalı kullanılmak suretiyle dore altın-gümüş metalinin elde edilmesi iki ana üretim yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler, tank liçi yöntemi ve yığın liçi yöntemidir. Teze konu olan yığın liçi yöntemi, genellikle cevher içerisinde altının düşük tenörlerde olması halinde tercih edilmektedir (ton başına 2 g'dan daha az altın içeren düşük tenörlü altın cevherlerine yığınla siyanür liçi uygulanabilir) [1]. Yığın liçi yöntemi ile altın madenciliğinde uygulanan genel iş akışı şu şekildedir. Açık ocak ya da yeraltı madenciliği ile çıkarılan cevher, kırma ve eleme ünitelerinden geçirilip istenen tane boyutuna getirildikten sonra, taban geçirimsizliği doğal (kil) ve yapay geçirimsizlik malzemeleri (jeomembran) ile sağlanmış yığın liçi alanlarına, belirli bir şev yüksekliği ve şev açısı ile serilir. Serilen cevher üzerine, içerisinde belirli oranlarda NaCN kimyasalı bulunan solüsyon, damlama sulama prensibi ile verilerek cevher ile solüsyonun teması sağlanır. Bu temas esnasında gerçekleşen kimyasal tepkimeler neticesinde cevher içerisindeki altın, sıvı forma geçerek NaCN kimyasalı ile kimyasal bir bağ oluşturur ve cevherden ayrılmış olur. Cevher içerisinde aşağı yönlü ilerleyen solüsyon, yığın liçi alanı tabanında bulunan geçirimsiz jeomembrana ulaştığında, taban da teşkil edilmiş delikli borulara girerek yine taban geçirimsizlikleri sağlanmış olan yüklü solüsyon havuzuna ulaşır. Yüklü solüsyon havuzunda depolanan ve içerisinde altın bulunan solüsyon, ADR (adsorpsiyon - desorpsiyon - regenerasyon) ünitesine gönderilerek bu ünite de gerçekleşen metalürjik işlemler neticesinde dore altın olarak üniteden çıkar. Altını alınmış olan solüsyon ise yüksüz solüsyon havuzlarına iletilir ve burada NaCN ayarlaması yapılarak yeniden yığın liçi alanında bulunan cevher yüzeyine gönderilir. Bu şekilde yığın liçi alanı, havuzlar ve ADR ünitesi arasında geri devirli, sürekli solüsyon döngüsü tesis edilir. Bu döngü, 90-120 gün arasında sürer ve belirtilen süre sonunda cevher içerisindeki altının geri kazanımı mümkün olan kısmı cevherden alınmış olur. Bu işlem yığın liçi alanının tasarım kapasitesi doluncaya kadar devam eder. Yığın liçi alanı kapasitesi dolup son liçi döngüsü tamamlandıktan sonra geriye altını alınmış maden atığı

kalır ve yığın liç alanının rehabilitasyonu sürecine geçilir. Yığın liç yöntemiyle altın eldesi iş akım şeması Şekil-1’de verilmiştir.



Şekil 1. Yığın Liç Yöntemiyle Altın Eldesi İş Akım Şeması

Ülkemizde, yığın liç alanlarında işlenen cevher, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca çıkarılan Maden Atıkları Yönetmeliği gereğince maden atığı olarak değerlendirilmektedir. Bu alanların rehabilitasyonu, yöntem ve tekniğine uygun olarak hazırlanan, Maden Kapama Planlarının Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca onaylanması akabinde plana bağlı kalınarak gerçekleştirilmektedir. Gerek kapama planlarında gerekse ÇED Raporu hazırlık süreçlerinde en çok üzerinde durulan konu, yığın liç alanlarında kalan maden atığı içindeki bakiye siyanür miktarının nasıl bertaraf edileceği ya da istenen değerlere nasıl düşürüleceği sorusudur. Bu sorunun cevabı olarak ÇED Raporu hazırlık süreçlerinde öngörülen genel yaklaşım ise, yığın liç alanlarının kapatılması öncesinde, alanda kalan bakiye maden atığının yeraltı suyu kullanılarak yıkanması suretiyle liç alanı tabanından toplanan yıkama suyundaki Toplam CN değerinin 0,1 ppm altına düşürülmesidir [2]. Gerçekleştirilen kolon testleri sonuçları değerlendirildiğinde, yığın liç alanlarında depolanan maden atığı miktarlarının çok büyük miktarlarda olması, yıkama için ciddi miktarlarda yeraltı suyuna ihtiyaç duyulması ve yığın liç alanı tabanından gelen yıkama sularının içerdiği CN ve diğer kirleticiler açısından alıcı ortama deşarj öncesinde arıtmaya tabi tutulması gibi ihtiyaçlar bu yaklaşımın sınırlayıcı bariyerleri olarak göze çarpmaktadır.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında bu tezin amacı, yığın liç alanından alınacak olan maden atıklarının birbirleri ile aynı özelliklere sahip olan eşdeğer kolonlara yüklenerek yeraltı suyu ve saf su ile, kolon tabanında toplanan yıkama suyu numunelerindeki toplam CN

değerlerinin $<0,1$ ppm altına düşene kadar yıkanmasının sağlanması ve optimum yıkama yöntemin laboratuvar ölçekli olarak belirlenmesidir. Böylelikle gerçek ölçekli yığın liç alanlarının kapatılması için benimsenen maden atığı yıkama yaklaşımının ne denli doğru ve uygulanabilir bir yaklaşım olduğu hakkında ortaya bilgi konulması hedeflenmektedir.



1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Problem Durumu

Teze konu edilen problem, altın madenciliğinde cevherin, NaCN içeren solüsyon ile temasının sağlandığı yığın liç alanlarında, üretimin tamamlanması ile birlikte arda kalan işlenmiş cevher atığındaki toplam siyanürün, yeraltı suyu ile yıkanarak derişiminin istenen sınır değerlere düşürülmesinin mümkün olup olmaması şeklinde ifade edilmektedir. Bu durum mümkün ise cevher atığı miktarları ve ihtiyaç duyulacak yeraltı suyu miktarları göz önüne alındığında yeraltı suyu ile yıkama işlemi çevresel ve mali anlamda uygulanabilir midir?

1.2. Araştırmanın Amacı

Bu tezin amacı, yığın liç alanından alınacak olan maden atıklarının birbirleri ile aynı özelliklere sahip olan eşdeğer kolonlara yüklenerek yeraltı suyu ve saf su ile, kolon tabanında toplanan yıkama suyu numunelerindeki toplam CN değerlerinin $<0,1$ ppm altına düşene kadar yıkanmasının sağlanması ve optimum yıkama yöntemin laboratuvar ölçekli olarak belirlenmesidir. Böylelikle gerçek ölçekli yığın liç alanlarının kapatılması için benimsenen maden atığı yıkama yaklaşımının ne denli doğru ve uygulanabilir bir yaklaşım olduğu hakkında ortaya bilgi konulması hedeflenmektedir.

1.3. Araştırmanın Önemi

Konu hakkında daha önce literatüre benzer bir çalışma kazandırılmamış olması araştırmayı diğer araştırmalardan ayırtıran en temel özellik olarak göze çarpmakta olup

araştırmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır. Bununla birlikte araştırmanın önemini destekleyecek olan ve araştırma ile doğrudan bağı olan konular hakkında genel bilgiler ve literatür çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

Altın Hakkında Genel Bilgi:

Altın, Au (Latince aurum'dan) sembolü ile gösterilen ve atom numarası 79 olan elementtir. Saf halinde parlak, hafif kırmızıya çalan sarı renkli, yumuşak, sünek ve dövülgen bir metaldir.

Yükte hafif, pahada ağır bir metal olan altın, yer kabuğunda nadir bulunan elementlerden biri olduğu için her zaman kıymetli olmuştur. Bir ton altının değeri, 2021 yılında yaklaşık 58 milyon dolardır. Dünyada bugüne kadar üretilmiş toplam altın miktarı 191.700 ton olup, bugünkü altın fiyatları ile değeri yaklaşık 11 trilyon ABD dolarıdır. Altın bozulmaz, oksitlenip/paslanıp yok olmaz. Bu nedenle on bin yıl önce altından yapılmış bir objedeki altının değeri, bugünkü değeri ile aynıdır [3].

Siyanür Hakkında Genel Bilgi:

Ülkemizde siyanür denince herkesin aklına altın üretimi gelmektedir. Ancak siyanür bileşikleri sadece altın üretiminde değil diğer sanayi dallarında da yoğun olarak kullanılmaktadır. Siyanür bileşikleri çok toksik ve tehlikeli bir maddedir. Hızla zehirlenmeye neden olur. Siyanür sinir sistemini ve tiroit bezini ciddi şekilde tahrip eder. Sudaki canlı yaşamı için son derece tehlikelidir. Bazı meyvelerin çekirdekleri (kayısı çekirdeği, şeftali çekirdeği gibi) siyanür bileşikleri içermektedir. Siyanürün piyasadaki genel bileşeni hidrojen siyanür, sodyum siyanür ve potasyum siyanürdür. En basit siyanür bileşikler, NaCN, KCN, Ca(CN)₂, Hg(CN)₂, Zn(CN)₂, Cd(CN)₂, Ni(CN)₂ ve AgCN'dir. Bunlardan özellikle gaz formundaki hidrojen siyanür en kısa süre içinde en ölümcül etki gösterir. Siyanür içeren atık su, deri ile temas ettiği zaman tahrişe ve iltihaplara neden olur. Siyanür zehirlenmesi, solunum, yutma, cilt yoluyla veya göz teması ile oluşabilir. % 2'lik bir çözelti (bir çay kaşığı) bir kişiyi öldürebilir. Siyanürlü atık sular, metal temizleme, kaplama, elektro kaplama, metal işleme, otomobil parçaları üretimi, çelik sertleştirme, madencilik, altın ve gümüş madenciliği, fotoğrafçılık, tarım ilaçları, kömür koklaştırma, cevher liçi, plastikler gibi çeşitli sanayi tesislerinde oluşur. Türkiye'de yaklaşık 300.000 ton/yıl siyanür bileşiği, yukarıda sıralanan sanayide

kullanılmakta olup bunun %1,5'lik kısmı altın madenciliğinde kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu tür sanayi dallarında oluşan atık sular ciddi şekilde izlenmeli ve kontrol altında tutulmalıdır [4].

Altın Madenciliğinde Siyanür Kullanımı:

Altına yüksek değer verilmesinin nedenlerinden birisi, kimyasalların hemen hemen tamamının etkisine olan direncidir. İstisnalardan birisi, kıymetli metali çözüdüren siyanür veya daha doğru bir ifade ile siyanür içeren çözeltilerdir. Siyanür, madencilikte, kırma ve graviteyle ayırma gibi basit fiziksel süreçlerde kolayca zenginleştirilemeyen ve özellikle düşük tenörlü cevherlerden altını (ve gümüşü) elde etmede kullanılır. Su esaslı çözeltiler kullanılarak altın gibi metallerin çıkarılması ve kazanılması işlemine “hidrometalurji” denir. Altın madenciliği işlemlerinde, genellikle %0,01-%0,05 aralığında (milyonda 100-500 kısım) siyanür içeren çok seyreltik sodyum siyanür (NaCN) çözeltileri kullanılmaktadır. Metalin çözündürülmesi sürecine liç işlemi denir. Sodyum siyanür suda çözünür ve hafif oksitleyici bir ortamda cevherde bulunan altını çözer. Böylece oluşan altın içerikli çözeltiliye “yükü çözeltili” denir. Ardından yükü çözeltiliye çinko metali veya aktif karbon ilave edilerek altının çözeltiliden alınması sağlanır. Geriye kalan “yüksüz” çözeltili (altın yükü alınmış çözeltili) yeniden altın elde etmek üzere tesise geri gönderilebileceği gibi atık arıtma tesisine de gönderilebilir [5].

Cevherlerden altın ve gümüş kazanımı amacıyla kullanılan en yaygın endüstriyel yöntem siyanür liçidir. Cevherde bulunan bakır, çinko vb. minerallerinin de siyanür liçinde çözünmesi siyanür tüketimini artırmakta ve altın kazanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Çözünen bu metaller, liç sonrası çözeltili saflaştırma ve metal kazanımı süreçlerinde de teknik sorunlara neden olmaktadır. Siyanür liçi sonucunda, serbest siyanür ve metal-siyanür komplekslerini içeren atık çözeltili (palp) açığa çıkmaktadır. Bu atıklar, kimyasal bozundurma (INCO SO₂ / Hava, H₂O₂ gibi) veya siyanür geri kazanım proseslerine tabi tutularak siyanür içeriklerinin yasal olarak belirlenen limit değerlerin (CN_{WAD}<10 mg/L) altına indirilmesi gerekmektedir [6].

2. LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ

Literatür değerlendirmesi, YÖK Tez Bankası üzerinden ve web of science ve diğer platformlar üzerinden “altın madenciliği, yığın liçi, kolon testi ve siyanür” anahtar

kelimeleri ile gerçekleştirilmiştir. Türkiye’de tez konusu ile doğrudan alakalı olmasa da dolaylı olarak alakalı olan tez çalışmaları, Türkiye’de yapılan çalışmalar başlığı altında özetlenmiştir. Ayrıca Uluslararası ölçekte yapılan bilimsel çalışmalar, Uluslararası yapılan çalışmalar başlığı altında verilmiştir.

2.1. Türkiye’de Yapılan Çalışmalar

Koçan tarafından 2021 [1] yılında yapılan çalışmada, cevherden altın üretiminde son yıllarda yaygın olarak kullanılan siyanür liç prosesi ve bu proses atıklarının çevresel etkileri ile siyanür atıklarının arıtılmasında uygulanan INCO SO₂/Hava prosesini incelenmiştir. Günümüzde siyanür atıklarının arıtılması için tercih edilen en yaygın yöntemin kimyasal INCO SO₂/Hava prosesi olduğu, bu proses kullanılarak, atıklardaki toplam siyanür derişiminin 1 ppm’in altına düşürülebildiği ve toksik siyanürlerin amonyum ve karbonat gibi zararsız formlara dönüştürülebildiği vurgulanmıştır.

Akçıl tarafından 2001 [6] yılında yapılan çalışmada, Türkiye’de işletilen Ovacık Altın Madeninde gerçekleşen altın madeni üretim süreçleri ve INCO SO₂/Hava prosesi ele alınmıştır. İşletme üretim faaliyetleri neticesinde oluşan ve içerisinde siyanür bulunan solüsyonun arıtımının yapıldığı INCO SO₂/Hava prosesi çıkış suyundan (arıtıldıktan sonra atık barajına gönderilen su), Haziran 2001 - Mayıs 2002 dönemi aralığında günlük numuneler alınarak numuneler üzerinden wad siyanür analizleri yapılmıştır. Bu dönem boyunca okunan wad siyanür değerlerinin, çevresel limitlerin (0.06 ppm (en düşük) ile 1 ppm (en yüksek) arasında olduğu görülmüştür.

Karakaya vd. 2004 [7] yılında yaptıkları çalışmada, düşük sülfür ve ağır metal içeriğine sahip olan bir altın madenciliği atık çamurundan hidrojen peroksit ile oksidatif siyanür giderim etkinliğinin tespit edilmesi amacıyla nihai giderim miktarına, katalizör (Cu), hidrojen peroksit dozları, sıcaklık ve pH etkilerini araştırmıştır. Deneyler, şişe-nokta metodu ile kesikli tam karışimli reaktörlerde farklı dozlar uygulanarak yapılmıştır. Deneylere Cu katalizörü eklenmesi veya eklenmemesi gibi her iki durumda da genel olarak artan peroksit dozuyla CN_{WAD} giderim hızının arttığı görülmüştür. Test edilen sıcaklıklardan (10, 20 ve 30 °C) bağımsız olarak, Cu katalizörü eklenmesi sadece siyanür giderim hızını arttırmakla kalmamış, aynı zamanda CN_{WAD} konsantrasyonunu 1 mg/L’ye düşürmek için gereken peroksit dozunun önemli ölçüde azalmasında da etkili olmuştur. Kinetik deneyler, çoğu durumlarda 2-4 saat reaksiyon süresinden sonra CN_{WAD}

gideriminin az olduğunu göstermiştir. Tezin ikinci aşamasında ise, heterojen katalizör olarak bakır kaplanmış pomza ve hidrojen peroksit kullanarak serbest siyanürün oksidatif gideriminin araştırılması amaçlanmıştır. Pomza türü ve partikül fraksiyon büyüklüğü, peroksit ve/veya pomza dozları, pH ve sıcaklığın siyanür giderim hızı ve nihai giderim miktarına olan etkileri de incelenmiştir. Deney matriksine, heterojen katalitik yüzey oksidasyonu yerine, doğal ya da bakır kaplanmış pomzalarla salt adsorbsiyonun ne derece siyanür giderdiğinin tespiti için de deneyler eklenmiştir. Sadece orijinal veya bakır kaplanmış pomzalar, uyumsuz yüzey etkileşimleri sebebiyle, negatif yüklü siyanür iyonları için etkili adsorbent olarak tespit edilmemişlerdir. Peroksit ve orjinal pomzanın birlikte eklenmesinin de siyanür giderimine olumlu bir etkisi olmamıştır. Bununla birlikte, bakır kaplanmış pomzaların ve peroksinin birlikte dozlanmasıyla, siyanür giderim hızı ve nihai giderim miktarının önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Yapılan çalışmada sonuç olarak; hafif, ucuz, kolaylıkla bulunabilen, doğal ve gözenekli destek malzemelerin (örneğin pomzaların) bakırla kaplanarak tam karışım/askıda veya sabit-yatak reaktör konfigürasyonlarında uygulanması, solüsyonlardan siyanür uzaklaştırma için etkili bir arıtma teknolojisi olabileceği ve bu yeni yaklaşımla, uygulanmakta olan konvansiyonel siyanür oksidasyonu teknolojilerindeki metal uzaklaştırma ile ilgili problemlerin en aza indirilebileceği görüşü ortaya konulmuştur.

Sayın vd. 2010 [8] yılında yaptıkları çalışmada, cevher içindeki altının doğrudan liç yöntemiyle kazanılması yerine, birinci aşamada gravite ve flotasyon teknikleri ile kazanılması, ikinci aşamada ise gravite ve flotasyon ile elde edilen cevher üzerine mikrodalga enerji kullanılarak elde edilen ürünlerin liç işlemine tabi tutulması ve elde edilen sonuçları altın verimi ve tüketilen NaCN açısından yorumlamışlardır. Araştırmada kullanılan cevherin altın tenörü ortalama 7 g/t'dur. Cevher içindeki altının serbestleşme boyutu 100 mikron altındadır. İlk olarak cevhere konvansiyonel siyanür liçi uygulanmıştır. Cevherin konvansiyonel siyanür liçi -3,35 mm, -0,106 mm, -0,075 mm ve -0,053 mm olmak üzere dört ayrı tane boyutunda yapılmıştır. Liç işleminde sodyum siyanür (NaCN) kullanılmıştır. NaCN konsantrasyonu 300 mg/L, 600 mg/L ve 1000 mg/L değerlerinde çalışılmış, liç süresine ve verimine etkisi araştırılmıştır. 12 saatlik liç işlemi sonunda -0,106 mm tane boyutu için %82 Au, -0,075 mm tane boyutu için %95 Au, -0,053 mm tane boyutu için %96 Au verimine ulaşılmıştır. Cevher liçi çalışmalarında tane boyutu düştükçe verimin arttığı gözlenmiştir. Daha sonra gravite ve flotasyon ön

konsantreleri ile liç işlemi yapılmıştır. Gravite ve flotasyon ön konsantreleri ile yapılan liç işleminde NaCN 100 mg/l, 200 mg/l, 300 mg/L konsantrasyonlarında, %5, %10 ve %15 katı sıvı oranlarında çalışılmıştır. Knelson ön konsantresi ile yapılan liç çalışmaları ile en uygun sonuca 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda, %5 katı oranında, 200 d/dk mekanik karıştırıcı 162 hızında, 30 mg/L saf oksijen ilavesi ile 12 saat sonunda, %85 Au verimine ulaşılmıştır. Flotasyon ön konsantresi ile yapılan liç çalışmalarında ise en uygun sonuca 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda, %5 katı oranında, 200 d/dk mekanik karıştırıcı hızında, 30 mg/L saf oksijen ilavesinde 12 saat sonunda, %65 Au verimi ile ulaşılmıştır. Bu işlem ardından flotasyon ve Knelson ön konsantrelerine mikrodalga enerjisiyle muamele edildikten sonra liç işlemi yapılmıştır (mikrodalga testleri yapılmış cevher için 20 dk, konsantreler için 10 dk, 20 dk ve 30 dk, 800 W gücünde enerji muamelesi). Cevher ile mikrodalga çalışmaları sonucu mikrodalga cevher üzerine uygulanmasında herhangi bir verim artışı görülmemiştir fakat NaCN tüketimi -3,35 mm tane boyutunda %15, -0,106 mm tane boyutunda %42 ve -0,075 mm tane boyutunda %52 oranında azalmıştır. Flotasyon konsantresine uygulanan 20 dk mikrodalga ışıması ile NaCN kullanımı %14 oranında azaltılmıştır. Ayrıca 20 dk mikrodalga ile muamele sonucu Au verimi %65'den %90'a çıkmıştır. Konsantrelere uygulanan mikrodalga işlemi sonucu flotasyon ön konsantresinin 12 saat sonunda mikrodalga işlemine tabi tutulmadan %65 olan veriminin 30 dk mikrodalga işlemine tabi tutulduktan sonra aynı şartlarda yapılan liç işleminden %97 verim elde ettiği görülmüştür. Gravite konsantresi ise mikrodalgaya tabi tutulmadan yapılan 12 saatlik liç işlemi sonrası verim yaklaşık %85 iken 30 dk'lık mikrodalga işlemi sonucu verim % 92'ye çıkarılmıştır. Flotasyon ve mikrodalga ön işlemi sonrası altın kazanma veriminin gravite zenginleştirme ve mikrodalga ön işlemine nazaran daha yüksek olduğu görülmüştür. Cevher yerine flotasyon konsantresine yapılan liç işlemi ile %28, flotasyon işlemini takiben 20 dk mikrodalga uygulaması ve ardından liç ile %33,65 ve yine flotasyon konsantresine 30 dk mikrodalga ardından liç işlemi ile %47,55 NaCN tüketiminde azalma olduğu görülmüştür.

Sayiner vd. 2012 [9] yılında yaptıkları çalışmada, Altının siyanür ile liç edilmesi sırasında cevherlerde bulunan Ag, Ni, Cu gibi diğer metallerin de siyanürle reaksiyona girip altın ile birlikte çözeltiye geçtiğini, bu çözünmüş haldeki metallerin az ya da çok karbona adsorbe olduklarından, altının çözeltiden karbon adsorpsiyonu ile kazanımında engel

oluşturabildiklerini belirtmişler ve deneysel çalışmalarında sentetik olarak elde ettikleri çözeltilerdeki Ag, Ni ve Cu'nun altın adsorpsiyonuna etkilerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir. 5 ppm Au içeren çözeltinin 48 saatlik adsorpsiyon verimi %99,04, 10 ppm'in %98,13; ve 15 ppm Au içeren çözeltinin %97,16 olarak gerçekleşmiştir. Au adsorpsiyonuna en yüksek etkiyi, Au adsorpsiyonunu %98,13'ten %83,77'ye düşüren 200 ppm Ag gerçekleştirmektedir. 250 ppm Ni ilavesi ise Au adsorpsiyon verimini %90,65'e; 300 ppm Cu ise %94,59'a düşürmüştür. Metallerin birlikte kullanıldığı testlerde ise 50 ppm Ni ve Ag, 70 ppm Cu içeren sistemde Au adsorplanma verimi %90,71'e 100 ppm Ni ve Ag, 150 ppm Cu içeren çözeltide %84,83'e, 200 ppm Ni ve Ag, 300 ppm Cu içeren sistemde ise %74,92'ye düşmektedir. Metallerin birlikte kullanıldığı testlerde, Au adsorplanma verimini tek tek olduklarından daha fazla düşürmektedir. Buna göre, 50 ppm Ag içeren sistemde Au adsorpsiyon verimi %93,49 olurken, 70 ppm Cu ve 50 ppm Ni de ilave edildiğinde 90,71'düşmektedir. 100 ppm Ag içeren sistemde % 90,30'a düşerken, 150 ppm Cu ve 100 ppm Ni içeren sistemde % 84,83'e düşmektedir. 200 ppm Ag içeren sistemde 83,77'ye düşerken 300 ppm Cu ve 200 ppm Ni ilavesiyle bu değer %74,92'ye düşmektedir. Metaller birlikte bulunduğunda, Au ile birlikte birbirlerinin adsorpsiyonunu da etkilemektedir. 200 ppm Ag içeren sistemde Ag adsorpsiyon verimi % 18,83, 160 ppm Ni'de Ni adsorpsiyon verimi %5,46, 300 ppm Cu'da Cu adsorpsiyon verimi %2,26 olurken 200 ppm Ag ve Ni, 300 ppm Cu'nun birlikte bulunduğu sistemde Ag adsorpiyon verimi % 11,69'a, Ni adsorpsiyon verimi % 4,43'e Cu adsorpsiyon verimi ise % 0,66'ya düşmektedir.

Kekeç vd. 2014 [10] yılında yaptıkları çalışmada, Türkiye'de bulunan bir altın madenciliği işletmeciliğinde olası çevresel etki değerlendirilmelerinin tespit edilerek alınacak önlemler ve yapılacak çalışmaların ortaya konması amaçlanmıştır. Söz konusu çalışmada altın madeni işletmeciliği çevresel etkileri açısından değerlendirilerek, hava, su, toprak kalitesi inceleme çalışmaları yapılmıştır. Altın madeni sahası içerisinde örnekleme alanları belirlenmiş, alınan numunelerin analizleri yapılarak etkileşim süreçleri izlenmiştir. İzleme çalışmaları, açık ocak madencilik faaliyetleri kapsamında yapılan patlatma faaliyetleri esnasında sismograf cihazları ile alınan hava şoku ve titreşim ölçümleri, işletme ÇED sınırları etrafından 7/24 alınan gürültü ölçümleri, çöken toz ölçüm sonuçları, PM-10 ölçümleri, HCN ölçümleri ve bölgedeki yeraltı ve yüzey sularından numuneler alınarak saha parametrelerinin ölçülmesi ana başlıkları altında

yürütülmüştür. Elde edilen veriler yasal sınırlar kapsamında değerlendirilmiş ve tartışılmıştır. Sonuç olarak altın madenciliğinde, gerek işletme öncesi alınan tedbirler gerekse işletme dönemi ve kapama döneminde alınan tedbirler kapsamında çevre ile uyumlu ve sürdürülebilir madencilik faaliyeti yürütülebileceği analiz sonuçları ile ortaya konulmuştur.

Erkan vd. 2015 [11] yılında, farklı kırma boylarının yığın liçi prosesinde altın verimine ve yığın geçirimliliğine etkilerinin incelemesi amacıyla jeometalürjik çalışmalar, laboratuvar ölçekli testler (ince ve iri boy şişe çevirme testleri ve kolon testleri) ve geçirimlilik testleri yapmışlardır. Testlerde kullanılacak cevher temini planlanan açık ocağın üç boyutlu modeli hazırlanarak ince taneli cevherin oluşturduğu üst bölümden D1 koduyla orta bölümde yer alan hem ince hem kayaçlı tane içeren bölümden D2 koduyla ve ocağın tabanında bulunan ve kayaçlı yapıya sahip olan bölümden D3 koduyla kompozit örneklemeler olacak şekilde alınmıştır. Örnekler üzerinde öncelikle ince boy şişe çevirme testleri yapılmıştır (şişe içerisine 75 mikron altında olacak şekilde öğütülen numuneler alınarak pH 10,5 'de 1000 ppm'lik NaCN ile müdahale edilmiş ve tüketilen NaCN miktarında değişim olmadığı an test sonlandırılmıştır). İnce boy şişe çevirme testi sonuçlarına göre sırasıyla altının solüsyonda çözünme oranları yüzde olarak D1, D2 ve D3; 93,52, 91,71 ve 64,64 olarak tespit edilmiş ve ocağın en alt kotlarına inildikçe altının çözünme oranlarında düşüş görülmüştür. Bu işlem ardından numuneler üzerinde iri boy şişe çevirme testleri yapılmıştır (1,7 mm altına öğütülen numuneler alınarak pH 10,5 'de 1000 ppm'lik NaCN ile müdahale edilmiş ve tüketilen NaCN miktarında değişim olmadığı an test sonlandırılmıştır). İri boy şişe çevirme testleri sonuçlarına göre sırasıyla altının solüsyonda çözünme oranları yüzde olarak D1, D2 ve D3; 92,31, 82,22 ve 62,50 olarak tespit edilmiştir. İri boy şişe çevirme test sonuçlarına göre en yüksek verim ince boy testinde de olduğu gibi D1 örneğinde olmuştur. D2 kompozitinde ise ince boy şişe çevirme test sonucuna göre %10'luk bir düşüş gözlenmiştir. D3 kompozitinde ise ince boy şişe çevirme test sonucuna yakın bir sonuç alınmıştır. Ardından, yığın liçi verimini laboratuvar ortamında test edebilmek için 3 farklı kompozit ve 3 farklı tane boyu dağılımında toplam 9 adet kolon testi yapılmıştır. 54 gün boyunca liç işlemine tabi tutulan kompozitlerde çözeltiye geçen altın miktarının önemli ölçüde artmaması sonucunda kolon testi bitirilmiştir. D1 kompoziti hızlı liç olmuştur. 10 gün sonra %80'e yakın altın çözeltiye geçmiştir. İlk 10 günden sonra liç kinetiği yavaşlamıştır. Altın kazanımları 54

gün sonunda D1-A, D1-B ve D1-C örnekleri için sırasıyla %86.06, %89.51 ve %87.72 olarak gerçekleştirilmiştir. En yüksek altın kazanımı D1-B örneğinde gerçekleşmiştir. D2 kompozitinin liç hızı D1 kompozitine göre düşüktür. Altın kazanımları D2-A, D2-B ve D2-C için sırasıyla %80.36, %66.83 ve %82.16 olarak gerçekleşmiştir. En yüksek altın kazanımı D2-A kompozitinde gerçekleşirken, D2-B kompozitinde altın kazanımı %66.83 olarak en düşük şekilde gerçekleştirilmiştir. D3 kompozitinde altın kazanımı D3-A, D3-B ve D3-C için sırasıyla %37.50, %26.09 ve %35.38 olarak gerçekleşmiştir. Diğer kompozitlere göre D3 kompozitinin kolon testleri de şişe çevirme testlerinde olduğu gibi düşük altın kazanımı ile sonuçlandırılmıştır. Bu verilere göre en yüksek verimin D1 bölgesinden alınacağı görülmüştür. D2 kompozitinde ise verim tıpkı şişe çevirme testlerinde olduğu gibi D1'den biraz düşük gelmiştir. Ayrıca şişe çevirme testlerinde en düşük verim alınan D3 kompozitinde tane boyunun inceltilmesi gerektiği görülmüştür. Kolon testlerine yukarıdaki yöntem ile kompozit örneklerin farklı kırma boylarında kırılması sonucunda yüzey alanının artırılması yaklaşımı ile devam edilmiştir. D1 ve D2 kompozitinde yüzey alanı artıkça altın kazanımında da artış gözlenmişken D3 kompozitinde yüzey alanının artmasının altın verimine olumlu bir etkisi gözlenmemiştir. D1 ve D2 kompozitlerinde yüzey alanı artıkça altın verimi ile birlikte NaCN tüketimi de artmaktadır. Ancak aynı durum D3 kompoziti için gözlenmemiştir. Son olarak gerçek ölçekli yığın liç alanının optimum yüksekliğinin tespit edilebilmesi amacıyla örnekler üzerinde geçirimsizlik testleri (yük altında ki malzemenin farklı yüksekliklerine basınç sensörü konularak malzeme geçirgenliğinin ortaya konması) yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, D1 A örneğinde 24 metreden sonra kısmi göllenmeler görülmüş ve 30 metrelik basınç altında ciddi oranda geçirimsizliğini kaybetmiştir. D1 B örneğinde 24 metreden sonra kısmi göllenmeler görülmüş ve 36 metrelik basınç altında ciddi oranda geçirimsizliğini kaybetmiştir. D1 C örneğinde 54m yüksekliğe kadar su akışında bir sıkıntı gözlenmemiştir. Testler benzer yaklaşımla D2 – A, B ,C ve D3 – A, B ,C örneklerinde 54 metrelik yüksekliğe karşı gelen basınç değerine kadar geçirimsizlikte herhangi bir sıkıntı gözlenmemiştir. İnce taneli yapıya sahip olan D1 kompozitinde yığın yüksekliği artıkça göllenme ve geçirimsizlikte sıkıntılar gözlenmiştir. Kayaçlı yapı ile az miktarda ince tanelerinin birlikte bulunduğu D2 kompozitinde ise geçirimsizlik testinde herhangi bir sıkıntı gözlenmemiştir. Aynı şekilde D3 kompozitinde de 54 metre yığın yüksekliğine kadar sıkıntı gözlenmemiştir.

Özsoy vd. 2015 [12] yılında yaptıkları çalışmada, İliç ve Carlin altın madeni cevherlerine biyooksidasyon deneyleri yapmış ve oksitlenmiş cevherlere siyanür liçi uygulamışlardır. Asidofilik mezofilik bakteri kültürleri ve *Leptospirillum ferrooxidans* saf olarak Almanya'dan temin edilmiş ve İTÜ Cevher Hazırlama Mühendisliği Kimyasal Zenginleştirme ve Kıymetli Metaller Laboratuvarında inkübe edilmiş, büyümesi, adaptasyonu sağlanmıştır. Ardından, saf kültürlerden aynı hacimsel oranda alınarak Karışık kültür (MKM) oluşturulmuş ve biyooksidasyon deneylerinde kullanılmıştır. Deneyler % 10 pülpte katı oranında 15 gün süre boyunca yapılmış ve Fe çözünme verimleri takip edilmiştir. İliç cevherinde Fe çözünme verimi %35 seviyelerine çıkmışken, Carlin numunesinde %19' da kalmıştır. Biyooksidasyon işlemi sonunda gerçekleştirilen siyanür liçi deneylerinde altın çözünme verimlerinde artış gözlenmiş ve siyanür tüketimi azalmıştır. Direkt siyanür liçinde siyanür tüketimi 48 saatte 23 kg/t, 24 saat için 18 kg/t olan İliç cevherinde biyooksidasyon sonrası siyanür liçinde siyanür tüketimi 3,65 kg/t düşmüştür. Carlin cevheri söz konusu olduğunda, direkt siyanür liçinde siyanür tüketimi 7,53 kg/t'dan, biyooksidasyon sonrası siyanür liçinde siyanür tüketimi 2,75 kg/t' a kadar düşmüştür.

Koç vd. 2016 [13] yılında yaptıkları çalışmada, mevcut endüstriyel siyanür geri kazanımı proseslerinin olumsuz yönlerini dikkate alarak, endüstriyel uygulama potansiyeli olan etkin, yeni ve alternatif bir yöntemin geliştirilmesini amaçlamışlardır. Önerilen yöntem, toksik etkisi düşük organik bir reaktif olan trimercapto-s-triazine (TMT) kullanılarak, siyanür kompleksleri halinde bulunan metallerin, metal-TMT bileşiği şeklinde altından seçimli olarak çöktürülmesi ve kompleks halindeki siyanürün serbestleştirilmesi (geri kazanımı) esasına dayanmaktadır. Yapılan çalışmalarda sentetik ve gerçek yüklü liç çözeltilerinden TMT ile çinko ve gümüşün kısa sürede (5-15 dk.) yüksek verimlerle (>%91) kazanıldığı, ancak bakırın çökme kinetiğinin çok yavaş olduğu (4 günde %55 Cu) belirlenmiştir. TMT dozajının artırılması metallerin çöktürme verimini arttırmasına karşın yüksek siyanür konsantrasyonlarının çinko ve bakırın çöktürme performansını olumsuz etkilediği görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, önerilen çöktürme yöntemi ile yüklü liç çözeltilerinden özellikle gümüş ve çinkonun altından seçimli olarak kazanılabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca bu çalışmada, AVR ve SART gibi mevcut prosesler ile önerilen prosesin karşılaştırılması yapılmış, önerilen prosesin mevcut proseslere göre potansiyel avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir.

Özgün vd. 2019 [14] yılında yaptıkları çalışmada, Exitcom A.Ş (Kocaeli)'den temin edilen E-atıklar'da bulunan Cu, Au, Ag ve Pd gibi ticari önemi yüksek metallerin geri kazanımı için çevresel ve ekonomik açılardan kabul edilebilir ve uygulanabilir; öğütme sonrası Cu kazanımından sonra siyanür ve kral suyu liçi yöntemlerin araştırılması, bu yöntemlerin uygulanması için kazanımı etkileyecek parametrelerin belirlenmesi (öğütme işlemleri, reaktif konsantrasyonu, sıcaklık, pH, liç süresi, katı/sıvı oranı vb.) ve bu parametrelerin optimum değerlerinin deneysel yöntemlerle belirlenerek, yüksek metal kazanımları amaçlanmıştır. Temin edilen elektronik atıklar öncelikle çekiçli kırıcı ardından öğütme cihazı ile öğütülmüştür. Öğütülen atıklara ilk olarak sülfürik asit liçi uygulanmış ve %98 bakır kazanımı sağlanmıştır. Ardından geri kalan elektronik atıklar, siyanür ve kral suyu liçlerine tabi tutulmuştur. Siyanür liçi ile %90 altın, %100 gümüş ve %76 paladyum kazanılmıştır. Kral suyu liçi ile %100 altın, gümüş ve paladyum kazanılmıştır. Yarı pilot ölçekli siyanür liçi ile %69 altın, %100 gümüş ve %66 paladyum kazanılmıştır. Yarı pilot ölçekli kral suyu liçi ile %100 altın, %34 gümüş ve %100 paladyum kazanılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre elektronik atıklardan değerli metallerin geri kazanımının sağlanması amacıyla geliştirilen iş akım şeması verilmiştir.

Şendur vd. 2020 [15] yılında yaptıkları çalışmada, düşük tenörlü altın cevheri için, farklı testlerdeki liç davranışlarını incelenmişler ve uygulanacak altın kazanım prosesi için uygun yöntemler önermişlerdir. Örnekler, Kütahya'nın Tavşanlı ilçesinin Balıköy mevkiinden alınmıştır. İlk olarak mineralojiyi belirlemek amacıyla, numuneler mineralojik-petrografik analiz için, MTA laboratuvarlarına gönderilmiştir. Laboratuvar sonuçlarına göre, altının yoğun olarak bulunduğu tane boyut aralıkları -1000+500, -500+300 ve -212+106 mikron olarak tespit edilmiştir. Bölgeye ait olan düşük tenörlü altın rezervinin liç testlerindeki davranışlarını incelemek için, 2 farklı laboratuvar testi uygulanarak bunların karşılaştırılması yapılmıştır. Bu testler kolon ve tank liç testleri olup, farklı tane boyutları için incelemeler yapılmıştır. -20 mm ve -12,5 mm kırma tane boyutu için kolon testleri uygulanmış olup, -0,075 mm için tank liç testleri uygulanmıştır. Uygulanan liç testlerinde NaCN kullanılmış olup, pH düzenleyici olarak Ca(OH)_2 (sönmüş sanayi kireci) tercih edilmiştir. Farklı tane boyutlarında gerçekleştirilen testlerin sonucunda her iki kimyasal için, tüketim değerleri hesaplanmış olup, karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu araştırma sonucunda düşük tenörlü altın cevheri için elde edilen altın kazanım oranları hesaplanmış olup, maksimum altın verimi -0,075 mm tane boyutunda

gerçekleşmiştir. Altın kazanma verimleri, kolon liç testlerinde %77, tank liç testlerinde %82 olarak elde edilmiştir. Tank liç testi 72 saat sürerken, kolon liç testi 10 hafta gibi uzun bir sürede tamamlanmıştır. Yapılan bu araştırma ile, düşük tenörlü cevher için, farklı testlerdeki liç davranışları incelenmiş ve uygulanacak altın kazanım prosesi için uygun yöntemler önerilmiştir.

Rashidi vd. 2020 [16] yılında yaptıkları çalışmada, ortalama altın tenörü 1,32 ppm olan Uşak - Kışladağ Bölgesinden temin edilen numuneler üzerinde kolon testleri yapılmıştır. İlk önce -18 mm ve -2,36 mm boyutlarına sahip numuneler ile kolon liç deneyleri yapılmıştır. 30 günlük deney sonuçları incelendiğinde; -18 mm boyutlu numunenin Au çözünme verimi %48, -2,36 mm boyutlu numunenin Au çözünme verimi % 40 olarak bulunmuştur. Yapılan liç deneylerin sonuçlarına göre, numune boyutunun artmasıyla geçirgenliğin arttığı ve dolayısıyla Au çözünme veriminin arttığı ve numune boyutunun küçülmesiyle, cevher içerisinde ince tane boyut varlığı kil davranışı meydana getirmesi nedeniyle geçirgenliğin azaldığı ve dolayısıyla Au çözünme veriminin azaldığı belirlenmiştir. Daha sonra -2,36 mm boyutuna sahip numuneyle -10+5 mm boyutuna sahip kalker 1:1 (kalker/cevher, 25 kg/25 kg) ve 1,5:1 (30 kg/20 kg) oranlarında karıştırılarak elde edilen numune üzerinde kolon liç deneyleri yapılmıştır. -2,36 mm boyutlu numuneyle 1:1 ve 1,5:1 oranlarında kalkerle cevher karışımları sonucunda, gerçekleştirilen liç deneylerinin Au çözünme verimleri sırasıyla %63 ve %53 olarak belirlendiği gözlemlenmiştir. -2,36 mm boyutlu numune 1,5:1 oranında kalker karışımıyla gerçekleştirilen liç deneylerinde geçirgenlik olumlu olumlu yönde ilerlemiş olsa da çözeltilerin cevher içerisinde yol bularak Au çözünme veriminin 1:1 oranlı kalker karışımına göre daha az olduğu görülmüştür. Bunun nedeniyse; ortamın tamamen geçirgen olması ve liç çözeltilisinin tamamen cevher içerisindeki altın taneciklerine temas etmemesinden kaynaklanmasıdır. Aynı boyutlu numunenin 1:1 oranında kalker karışımıyla gerçekleştirilen deneyin Au çözünme verimi %63 olup, bu değerin Bottle-Roll deneyiyle elde edilen değere (%64) çok yakın olduğu yeterince iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre, kolona beslenen cevherin boyutu küçüldükçe altın çözünme verimi artmaktadır fakat boyut küçülmesiyle birlikte cevherin kil özelliği gösterip geçirimsiz davranış sergilemesinden dolayı çözeltilerin süzülme hızını azaldığı ve dolayısıyla altın çözünme veriminin de olumsuz yönde etkilendiği ortaya konulmuştur.

Bu sorun ise; -2,36 mm boyutlu cevhere belirli boyut ve yüzde oranlarında, kalker karışımıyla gerçekleştirilen deneylerde giderilmiştir.

2.2. Uluslararası Yapılan Çalışmalar

Orloff vd. 2005 [17] yılında yaptıkları çalışmada, Colorado’da yığın liç yöntemi ile altın madenciliği faaliyeti yapılan bir işletmenin merkezinden yaklaşık 800 metre uzaklıktaki ortam havasında Hidrojen Siyanür miktarını değerlendirmek amacıyla hava örneklemeleri toplamışlardır. Yapılan çalışma sonucunda toplanan ortam havası numunelerinin tespit edilebilir konsantrasyonlarda Hidrojen Siyanür gazı içermediği görülmüştür (Elde edilen örneklemeler özel bir laboratuvar ’da NIOSH Method 6010 (NIOSH, 1994) ‘a göre analiz edilmiş olup analiz dedeksiyon limiti 0,2 ppb’dir).

Dam vd. 2008 [18] yılında yaptıkları çalışmada, Kuzey Avustralya’da yer alan ve 1994 yılından 2000 yılına kadar işletilip araştırma tarihi itibariyle hizmet dışı bırakılan bir altın madeninden çıkan sızıntı sularının Edith Nehri havzasındaki toksisitesini değerlendirmişlerdir. Havuzlardan alınan örneklerin Bakır, Çinko ve Alüminyum parametreleri açısından toksik etki oluşturduğu belirlenmiştir. Madenden kaynaklanan sızıntı sularının havzadaki su ortamında toksik etki oluşturmaması için 1/20000 oranında seyreltilmesi gerektiği ayrıca ortaya konulmuştur.

Donato vd. 2017 [19] yılında yaptıkları çalışmada, madencilik endüstrisindeki altın ve gümüş geri kazanım süreçlerinde kullanılan siyanürün yaban hayatı için risk teşkil ettiğini bu risklerin bertaraf edilmesi için alınması gereken önlemlere dikkat çekmişlerdir. Ayrıca altın – gümüş madenciliği faaliyetlerinde kullanılan siyanürün, güvenli yönetimini belgeleyen ve uluslararası bir sertifika programı olan siyanür yönetim kodunun önemi vurgulanmıştır (Siyanür Yönetim Kodu, siyanür kullanılarak altın ve gümüş üretimi ile uğraşan ve bu siyanürü üreten, taşıyan ve depolayan şirketlerin siyanürün güvenli ve çevreye duyarlı yönetimine odaklanan, gönüllülük ilkesine dayalı bir sertifika programıdır. Birleşmiş Milletler Çevre Programı himayesinde çok paydaşlı bir yönlendirme komitesi tarafından geliştirilmiş olan ve madencilik sektöründeki en köklü sertifika programları arasında yer alan Siyanür Yönetim Kodu, işletmeyi bulunduğu bölgenin yürürlükteki yasa ve yönetmeliklerine uyma konusundaki mevcut yükümlülüğünü tamamlayıcı niteliktedir).

Brüger vd. 2018 [20] yılında yaptıkları çalışmada, altın madenciliğinde kullanılan liç çözeltisinin buharlaşması neticesinde çözelti içerisinde ki siyanürün atmosfere karıştığı tezlerinin tespitine yönelik bir dizi laboratuvar çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirilen çalışmalarda, buharlaşan solüsyon içerisinde CN tespit edilemediği tespit edilmiş ve solüsyondaki siyanür değeri ile buharlaşan kısımdaki siyanür değerinin solüsyonun pH 'ı ile alakalı olduğu vurgulanmıştır.

Gavin vd. 2001 [21] yılında yaptıkları çalışmada, Kuzey Amerika'da ki altın madenciliği endüstrisini ele almışlardır. Çalışmada, altın madenciliği endüstrisinde çevre açısından en önemli iki konu olan siyanürleme işlemleri ve asit maden drenajı konularındaki çevresel seçenekler, bu endüstriyel alanlarda kirliliğin önlenmesi ve atıkların en aza indirilmesi yönünde kaydedilen ilerleme ve çevresel iyileştirmeye ihtiyaç duyulan operasyonel alanlar detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında bölgede büyük çaplı ve küçük çaplı olarak altın madenciliği ile iştigal eden firmalar ile anket çalışması gerçekleştirilerek sektörün güncel sorunları vurgulanmak istenmiştir. Küçük maden şirketlerine en iyi tekniklerin uygulanması konusunda yardım edilmesi, sorunların tespiti ve çözümüne yönelik olarak devlet katılımı ile akademik ortaklıkların kurulması ve sektördeki kirleticilerin biyolojik oksidasyonuna yönelik araştırmalar yapılmasının endüstride gelişmiş kirliliğin önlenmesine ve atıkların en aza indirilmesine katkıda bulunabileceği vurgulanmıştır.

Johnsan tarafından 2015 [22] yılında yapılan çalışmada, altın madenciliğinde kullanılan siyanürün davranışı çevresel bir bakış açısıyla ele alınmıştır. Altın madenciliği faaliyetlerinden kaynaklanan en önemli siyanür salınımlarının, proses solüsyonlarının kazalar ile dökülmesi (atık barajı bütünlüğünün bozulması gibi nedenler gibi) ile solüsyon içerisindeki siyanürün yüzey suyuna ve yeraltı sularına karışması ile olabileceği belirtilmiştir. Altın kazanım faaliyetleri sona erdikten sonra kalan katı atıklar ile proses çözeltilerindeki siyanürün akıbeti ve cevher işleme tesisinin ötesine geçen herhangi bir sudaki siyanürün sucul organizmalar ve suya bağımlı organizmalar için risk oluşturma derecesinin hidrojen siyanür, siyanometalik kompleksler, siyanat ve tiyosiyanat gibi parametreler ile belirlendiği vurgulanmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında, 1846 yılında Elsner tarafından, siyanür çözeltilerinde altının çözünürlüğünün açıklandığı belirtilerek ortaya konulan çözünme reaksiyonu açıklanmıştır. Ayrıca solüsyon içerisindeki siyanürün çözeltiden giderim mekanizmaları (kompleksleşme, adsorbsiyon, biyolojik

dönüşüm, sülfidasyon, abiyotik oksidasyon (hidrojen peroksit, hipoklorit gibi kimyasallar ile) ve hidroliz) detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Yukarıda verilen literatür çalışmalarından anlaşılaçağı üzere, altın madenciliğı ve siyanür anahtar kelimeleri ile yapılan literatür taraması neticesinde ulaşılan çalışmaların, altın madeni işletmelerinde ve etrafındaki doğal yaşam üzerinde siyanürün çevresel risklerine yönelik olduğı, anahtar kelimelere kolon testi ve yığın liçi ibaresinin de eklenmesi ile birlikte yapılan aramalarda ulaşılan çalışmaların ise işletme döneminde kullanılacak olan cevher örneğı üzerinde kolon testlerinin yapılması ve elde edilen sonuçlara göre yığın liç alanlarının tasarım parametrelerinin belirlenmesine yönelik olduğı görölmektedir.

Bu kapsamda, Türkiye’de ve uluslararası ölçekte yapılan çalışmalarda görölmüşür ki “Altın Madenciliğinde, Yığın Liç Alanlarının Yıkanması Yaklaşımının Değerlendirilmesi” bir çalışma henüz yapılmamıştır. Bu durum, tez konusunun özgünlüğünü ön plana çıkarmaktadır.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

Bu tezin amacı, yığın liç alanından alınacak olan maden atıklarının birbirleri ile aynı özelliklere sahip olan eşdeğer kolonlara yüklenerek yeraltı suyu ve saf su ile, kolon tabanında toplanan yıkama suyu numunelerindeki toplam CN değerlerinin $<0,1$ ppm altına düşene kadar yıkanmasının sağlanması ve optimum yıkama yöntemin laboratuvar ölçekli olarak belirlenmesidir. Böylelikle gerçek ölçekli yığın liç alanlarının kapatılması için benimsenen maden atığı yıkama yaklaşımının ne denli doğru ve uygulanabilir bir yaklaşım olduğu hakkında ortaya bilgi konulması hedeflenmektedir. Belirtilen amaç ve hedef kapsamında uygulanan yöntem ve materyaller aşağıdaki başlıklar altında belirtilmiştir.

2.1. Yöntem

Maden atıklarının kolon testleri tipik olarak kesikli ve sürekli olmak üzere iki temel kategori de gerçekleştirilir. Sızdırma testleri için seçilen reaktörler, kapalı bir kap, bir hücre veya bir kolon şeklinde olabilmektedir. Teze konu olan kolon testleri, 1,2 ve 3 nolu kolon testleri için sürekli, 4 nolu kolon testi için ise kesikli kategoride gerçekleştirilmiştir.

Sürekli kolon liç testleri tipik olarak borunun katı bir numuneyle doldurulması ve numuneden sürekli olarak belirli bir debide su veya başka bir sıvıyı geçirilmesiyle gerçekleştirilir. Sızıntı suyu numuneleri istenilen herhangi bir sıklıkta toplanabilir ve ilgili herhangi bir bileşen için analiz edilebilir. Kolon liç testi tasarımında aşağıdakiler dâhil birçok değişken vardır [23]:

- Sütun uzunluğu ve çapı
- Akış tipi (alttan cebri akış veya üstten yerçekimi akışı)

- Akış hızı/ikamet süresi
- Numune ön işlemi (partikül boyutu küçültme, oksidasyon, bakteri aşılama)
- Sızdıran bileşimi (su veya diğer reaktif, O₂'yi çıkarmak için serpilmiş, vb.)

Tezde bahsi geçen kolon testleri, aşağıda belirtilen şekilde tasarlanmıştır.

- Kolon yüksekliği 2 metre ve kolon çapı 15 cm olarak seçilmiştir.
- Akış tipi: üstten yerçekimi akışı ile kolon içerisindeki maden atığına yeraltı suyu verilmesi ve 1 günlük taban akışı sonunda biriken homojen numunenin kolon altına konulan beherde toplanması şeklinde planlanmıştır.
- Akış hızı, ikamet süresi: $10 \frac{\text{litre}}{\text{m}^2.\text{saat}}$ olarak uygulanmıştır.
- Numune ön işlemi: Yığın liç alanında toplam 2 bölgeden numune alınmıştır. 1 nolu numune; liç işlemleri en erken biten bölgeden, 2 nolu numune; liç işlemi en geç biten bölgeden alınmıştır. Yığın liç alanında bulunan bütün yığının temsil edilmesi amacı ile 1 ve 2 nolu numune eşit miktarlarda karıştırılarak homojen bir numune elde edilmiş ve elde edilen numune 3 nolu numune olarak isimlendirilmiştir. 1 ve 2 nolu numuneler, 1 ve 2 nolu kolonlara, 3 nolu numune ise 3 nolu kolona ve 4 nolu kolona beslenmiştir. Her bir kolona beslenen numune miktarı 40 kg'dır. Numunelere ön işlem uygulanmamıştır.

Kolon testlerinde kullanılan numune, Türkiye'de açık ocak ve dore altın-gümüş üretimi faaliyeti gerçekleştiren bir altın madeni işletmesi yığın liç alanından temin edilmiştir. Firma gizlilik politikası gereğince çalışmada firma ismi zikredilmeyecektir.

Günlük olarak, kolon yüzeylerine beslenen besleme suyu miktarları ve kolon tabanlarında ki beherlerde toplanan yıkama suyu miktarları kayıt altına alınmıştır. Toplanan yıkama sularından numuneler alınarak, Hach Lange HQ40 D marka multimetre ile numunelerin pH 'larına bakılmıştır. Koruma önlemi olarak, numunelerin pH'ları, NaOH kimyasalı ile pH 10,5 üzerine çıkarılmıştır. Kolon testleri boyunca oluşan yıkama sularından alınan numunelerde toplam CN analizleri, Standart Methods 4500 CN⁻, Kolorometrik Metod ile Toplam Siyanür Tayin Yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Günlük rutin pH ve toplam

CN analizleri dışında testlerin başlatıldığı ilk gün ve takip eden 15'er günlük periyotlarda yıkama suyu olarak kullanılan ham su ve saf sudan da numuneler alınarak toplam CN değerlerine bakılmıştır. Gerçekleştirilen bütün çalışmalarda, iş güvenliği konularına yüksek derecede hassasiyet gösterilmiştir (kçe kullanımı, gaz ölçüm dedektörleri ile yapılan ortam ölçümleri vs).

Kolorometrik Metod ile Toplam Siyanür Tayin Yönteminin Prensibi;

Girişim yapan maddelerin uzaklaştırılmasından sonra asitlendirilmiş numunenin distilasyonu ve havalandırılması ile HCN gazı serbest duruma geçmektedir. Serbest duruma geçen HCN gazı, NaOH tutucu çözeltisi ile toplanır. Bazik destilattaki CN⁻, kloramin-T ile reaksiyona girerek CNCl'e dönüşür. CNCl, pridin-barbitürik asit reaktifinin eklenmesiyle kırmızı-mavi bir renk alır. Oluşan kompleksin absorbansı ultraviyole ve görünür ışık adsorpsiyon spektroskopisi ile okunur.

2.2. Materyal

Tez çalışmasında kullanılan materyaller ve deneysel çalışma boyunca birbirini takip eden süreçler 2 ana başlık halinde toparlanmıştır. Bu başlıklar şu şekildedir.

1. Numunelerin Alınması ve Kolonlara Yüklenmesi
2. Kolon Testlerinin Gerçekleştirilmesi

2.2.1. Numunelerin Alınması ve Kolonlara Yüklenmesi

Yığın liç alanında iki bölgeden numune alınması kararlaştırılmıştır. Numune alma noktalarından birincisi, siyanür liç işlemleri en erken biten ve meteorolojik şartlar nedeniyle en az toplam CN değeri beklenen bölge olarak seçilmiştir. Numune alma noktalarından ikincisi ise, siyanür liç işlemleri en geç biten bölge olan ve en yüksek toplam CN değeri beklenen bölge olarak seçilmiştir. Numune alma işlemleri 16.03.2022 tarihinde gerçekleştirilmiş ve numunelerin hazırlanarak kolonlara beslenmesi, 17.03.2022 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Kolon testlerine 17.03.2022 tarihinde saat 12.30'da başlanmıştır. Numune alımları ve numunelerin teste hazırlanması ile ilgili detay süreç aşağıda verilmiştir.

16.03.2022 – Yığın Liç Alanından Numune Alınması

Öncelikle En az CN değerin beklediği, siyanür liç işlemleri en erken biten bölge olan 1 nolu hücrenin 1. Kademesinden JCB kovaşı ile numune alınmıştır (yüzeyden itibaren yaklaşık 1 metre kazılarak ulaşılan bölgeden). Alınan numune, traktör teknesi ile laboratuvara taşınmıştır. Bu numune 1 nolu numune olarak isimlendirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. 1 Nolu Numunenin Alınması

Daha sonra liç işlemleri 23.01.2022 tarihinde tamamlanmış olan 11 nolu hücrenin 6. kademesinin yüzeyinden kürekler ile poşet içerisine numune alınmıştır. Bahsi geçen bölgeye kış şartlarından dolayı iş makinesi çıkarılamadığı için numune yüzeyden itibaren kazılarak alınamamıştır. Alınan numuneler hafif araç ile laboratuvara taşınmıştır. Bu numune 2 nolu numune olarak isimlendirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. 2 Nolu Numunenin Alınması

Numuneler birbiri ile karışmayacak şekilde branda üzerine konularak üzerleri kapatılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. 1 ve 2 Nolu Numunelere Ait Görünüm

17.03.2022 – Numunelerin Kolonlara Yüklenmesi ve Testlerinin Başlatılması

Numunelerin kolonlara yüklenmesi ve kolon testlerine başlanması başlığı altında gerçekleştirilen işlemler 10 aşama halinde tanımlanmış olup aşağıda sunulmuştur.

1. Aşama: 1 nolu numunenin farklı noktalarından kürek ile numune poşetine yaklaşık 100 kg numune alınarak Döner Numune Bölücü isimli makineye beslenmiştir (Şekil 5 ve Şekil 6).



Şekil 5. Numunelerin Hazırlanması - 1



Şekil 6. Döner Numune Bölücü

2. Aşama: Numune bölücü aracılığıyla 8 homojen bölüme ayrılmış olan numunelerden, 1, 3, 5 ve 7 nolu numune bölmelerinde birikmiş olan numuneler karıştırılarak terazide 40 kg olacak şekilde tartılmıştır. Tartılan numune, 1. Kolona beslenmeye hazır hale gelmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Numunelerin Hazırlanması - 2

3. Aşama: Numune bölücünün 2.4.6 ve 8 nolu bölmelerinde biriken numunelerden 20'er kg'lık iki farklı numune elde edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Numunelerin Hazırlanması - 3

4. Aşama: 2 nolu numunenin farklı noktalarından kürek ile numune poşetine yaklaşık 100 kg numune alınarak Döner Numune Bölücü 'ye beslenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Numunelerin Hazırlanması - 4

5. Aşama: Numune bölücü aracılığıyla 8 homojen bölüme ayrılmış olan numunelerden 1, 3, 5, ve 7 nolu numune bölmelerde birikmiş olan numuneler karıştırılarak terazide 40 kg olacak şekilde tartılmıştır. Tartılan numune, 2. kolona beslenmeye hazır hale gelmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Numunelerin Hazırlanması - 5

6. Aşama: Numune bölücünün 2.4.6 ve 8 nolu bölmelerinde biriken numunelerden 20'er kg'lık iki farklı numune elde edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Numunelerin Hazırlanması - 6

7. Aşama: 3. ve 6. aşamada bahsi geçen 4 farklı 20'şer kg'lık numuneler 2'li gruplar halinde (1 adet 20 kg'lık 1 nolu numune + 1 adet 20 kg'lık 2 Nolu numune olacak şekilde) karıştırılarak 2 adet toplam 40 kg'lık numune elde edilmiştir. Elde edilen numuneler, 3 ve 4 nolu kolona ayrı ayrı beslenmek üzere 3 ve 4 nolu numune olacak şekilde ayrılmıştır. Bu şekilde 4 kolona beslenecek olan 4 farklı numune hazırlanmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Numunelerin Hazırlanması - 7

8. Aşama: Hazırlanmış olan numuneler 1,2,3 ve 4 Nolu kolon olarak isimlendirilmiş olan kolonlardan kendileri için belirtilmiş olan kolonlara yüklenmiştir (Şekil 13 ve Şekil 14).



Şekil 13. Numunelerin Kolonlara Beslenmesi



Şekil 14. Numuneler İle Yüklenmiş Kolonlar

9. Aşama: Kolonlar analizlerin gerçekleştirileceği odaya taşınarak kendileri için ayrılan alana yerleştirilmiştir. Yıkama sularının verileceği hatlar ve kolon tabanından süzülen suların geçeceği plastik hatlar tamamen sıfır olarak kullanılmıştır (kontaminasyon riskini sıfırlamak amacıyla – Şekil 15).



Şekil 15. Kolon Bağlantılarının Yapılması

10. Aşama: Kolon yüzeyine verilecek olan yıkama suları için hacimleri bilinen beherlere besleme suları eklenmiştir. Ayrıca yıkama neticesinde kolon tabanından süzülecek olan suların toplanması için yine hacimleri bilinen beherler hazırlanmıştır. Yıkama suları olarak, 1,2 ve 3 numaralı kolonları besleyecek olan beherlere yeraltı suyu (hamsu), 4 nolu kolonu besleyecek olan behere ise saf su eklenmiştir (her bir kap içerisinde 7000 ml olacak şekilde). Kolonlara verilecek yıkama suyu debileri, peristaltik pompa aracılığıyla $10 \frac{\text{litre}}{\text{m}^2.\text{saat}} = 2,95 \frac{\text{mililitre}}{0,01766 \text{ m}^2.\text{dk}}$ olacak şekilde ayarlanarak saat 12.30'da bütün kolonlarda yıkama işlemi başlatılmıştır (Şekil 16 ve Şekil 17).

Not: $0,01766 \text{ m}^2$ testlerde kullanılan 15 cm çaplı kolonların atmosfere açıldıkları yüzey alanlarıdır.



Şekil 16. Besleme Sularının Tesisi ve Peristaltik Pompa Bağlantıları



Şekil 17. Kolon Testlerinin Başlatıldıktan Sonraki Görünümü

2.2.2. Kolon Testlerinin Gerçekleştirilmesi

1, 2 ve 3 nolu kolon testleri, kolon yüzeylerine sürekli olarak $2,95 \frac{ml}{dk}$ hamsu (yeraltı suyu) yıkama debisi verilmesi suretiyle gerçekleştirilmiştir. Yıkama neticesinde elde edilen günlük kompozit numunelerin miktarları kayıt altına alındıktan sonra her gün saat 12.30'da numune alınmıştır. Testler, alınan numunelerdeki toplam CN değerleri 0,1 ppm altına düştüğü ana kadar devam ettirilmiştir.

Yığın liç alanlarında bulunan CN liç işlemi tamamlanmış olan cevher atıklarının doğal yıkama ile (bölgeye düşen yağışlar) içermiş oldukları toplam CN değerlerindeki düşüş eğiliminin ortaya konulması amacıyla 4 nolu kolon testi planlanmıştır. Bu plan doğrultusunda 4 nolu kolon yüzeyine de sürekli olarak $2,95 \frac{ml}{dk}$ yıkama debisiyle yağış sularını temsilen saf su verilmiştir. 4 nolu kolon yüzeyine verilecek olan toplam saf su miktarının belirlenmesi, işletmenin bulunduğu bölgede yer alan otomatik meteoroloji gözlem istasyonundan elde edilen son 5 yıllık yağış verileri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Son 5 yıl içerisinde yıl bazında gerçekleşen toplam yağış miktarları ortaya konularak her yıl için kolon yüzey alanına düşecek olan yağış suyu miktarı hesaplanmıştır. Hesaplanan yıllık miktarlar kadar yıkama suyu 5 nolu kolon yüzeyine verildikten sonra, yıkama durdurulmuş ve kolon içerisindeki yıkama suyunun bir gün boyunca kolon tabanındaki beherde birikmesi sağlanmıştır. Kolon tabanındaki beherden toplam CN analizi için numune alındıktan sonra sonraki yıl için hesaplanan yıkama debisi üzerinden saf su yıkaması başlatılmıştır. Böylelikle 4 nolu kolonun saf su ile yıkanması işlemi 10. Gün sonunda sonlandırılmıştır. Özetle 4 nolu kolonda gerçekleştirilen saf su ile yıkama senaryosu aşağıdaki kabul ve hesaplamalara göre gerçekleştirilmiştir.

Son 5 yılın gerçekleşen yıllık toplam yağış miktarları, bölgede bulunan Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonundan alınmıştır. Yıllık toplam yağış miktarları ve bu miktarlar için 15 cm çapa sahip olan kolona ne kadarlık bir yıkama debisi düşeceği, bu debi miktarına $2,95 \frac{ml}{dk}$ yıkama debisiyle ile kaç saatlik bir yıkama sonrasında ulaşılacağına dair bilgiler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. 4 Nolu Kolon Yıkama Suyu Hesap Tablosu

Yıllar	Gerçekleşen Toplam Yağış Miktarları (mm/m ²)	15 cm Çaplı Kolon Yüzeyine Düşecek Yağış Suyu Miktarı (Litre/yıl)	Yıkama Debisi (litre/m ² .saat)	Yıkama Süresi (saat)	Toplam Yıkama Süresi (Dk)	Toplam Yıkama Süresi (Saat, Dk.)
2017	210,7	3,72148875	10	21,07	1264,2	21 saat 4 dk
2018	285,8	5,0479425		28,58	1714,8	28 Saat 35 dk
2019	301,3	5,32171125		30,13	1807,8	30 saat 8 dk
2020	277	4,8925125		27,7	1662	27 saat 42 dk
2021	248,5	4,38913125		24,85	1491	24 saat 51 dk

Tablo 1’de sunulan yıkama sürelerinin belirlenmesine dair hesap detayları 2017 yılı için aşağıda verilmiştir.

1.) Yıkamaların, $2,95 \frac{ml}{dk}$ yıkama debisi ile gerçekleştirileceği hesabından yola çıkılarak: Otomatik meteoroloji gözlem istasyonu verilerine göre 2017 yılında gerçekleşen toplam yağış miktarı 210,7 mm/m².yıl’dır. Suyun özgül ağırlığı 1 ton/m³ olup 210,7 mm/m².yıl = 210,7 kg/m².yıl = 0,2107 ton/m².yıl = 210,7 litre/m².yıl olarak hesaplanır.

2.)

1 m²,ye 210,7 litre/yıl yağış düşerse

0,0176625 m²,ye x litre/yıl yağış suyu düşer. O halde;

X= 3,72148875 litre/yıl kolon yüzeyine düşecek yağış suyu miktarıdır.

0,0176625 m² (15 cm çapa sahip kolonun $\pi.r^2$ formülüne göre hesaplanan yüzey alanıdır).

3.)

2,95 ml/dk. yıkama debisi ile ;

4,239 L yıkama suyu 1 günde oluşuyor ise

3,72148875 L yıkama suyu X günde oluşur.

O halde; $X = 3,72148875 / 4,239 = 0,878$ gün

4.) 2,95 ml/dk. yıkama debisi ile 0,878 gün = 1264,2 dk (21 saat 4 dk) yıkama yapılması gerekir.

Not 1: $10 \frac{\text{litre}}{\text{m}^2.\text{saat}}$ (yaklaşık $2,95 \frac{\text{ml}}{\text{dk}}$) yıkama debisi, işletmede işlenen cevherin kolon yüzeyinde göllenme olmayacak şekilde sızdırabildiği optimum debi olduğu için seçilmiştir.

Kabul: Bir yıl boyunca kolon yüzeyine düşecek olan yağış suyunun aralıksız olarak bir defada kolon yüzeyine düşeceği kabul edilmiştir.

2018, 2019, 2020 ve 2021 yılları için yukarıda belirtilen hesap detayları tekrar edilerek yıkama süreleri hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre 4 nolu kolonda gerçekleştirilen yıkamaların başlatıldığı ve bitirildiği tarih ve saatler Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. 4 Nolu Kolon Yıkama Başlangıç ve Bitiş Bilgileri

1. Yıl Yıkamalarının Başlatıldığı Tarih	1. Yıl Yıkamalarının Başlatıldığı Saat	1. Yıl Yıkamalarının Bitirildiği Tarih	1. Yıl Yıkamalarının Bitirildiği Saat	1. Yıl Yıkama Süresi
17.03.2022	12:30:00	18.03.2022	09:34:00	21:04:00

2. Yıl Yıkamalarının Başlatıldığı Tarih	2. Yıl Yıkamalarının Başlatıldığı Saat	2. Yıl Yıkamalarının Bitirildiği Tarih	2. Yıl Yıkamalarının Bitirildiği Saat	2. Yıl Yıkama Süresi
19.03.2022	09:34:00	20.03.2022	14:09:00	23:59:00
				04:36:00
				(28 saat 35 Dk)

Tablo 2 Devamı. 4 Nolu Kolon Yıkama Başlangıç ve Bitiş Bilgileri

3. Yıl Yıkamalarının Başlatıldığı Tarih	3. Yıl Yıkamalarının Başlatıldığı Saat	3. Yıl Yıkamalarının Bitirildiği Tarih	3. Yıl Yıkamalarının Bitirildiği Saat	3. Yıl Yıkama Süresi
21.03.2022	14:09:00	22.03.2022	20:17:00	23:59:00
				06:09:00

(30 saat 8 Dk)

4. Yıl Yıkamalarının Başlatıldığı Tarih	4. Yıl Yıkamalarının Başlatıldığı Saat	4. Yıl Yıkamalarının Bitirildiği Tarih	4. Yıl Yıkamalarının Bitirildiği Saat	4. Yıl Yıkama Süresi
23.03.2022	20:17:00	24.03.2022	23:59:00	23:59:00
				03:43:00

(27 saat 42 Dk)

5. Yıl Yıkamalarının Başlatıldığı Tarih	5. Yıl Yıkamalarının Başlatıldığı Saat	5. Yıl Yıkamalarının Bitirildiği Tarih	5. Yıl Yıkamalarının Bitirildiği Saat	5. Yıl Yıkama Süresi
25.03.2022	23:59:00	27.03.2022	00:50:00	23:59:00
				00:52:00
				(24 saat 51 Dk)

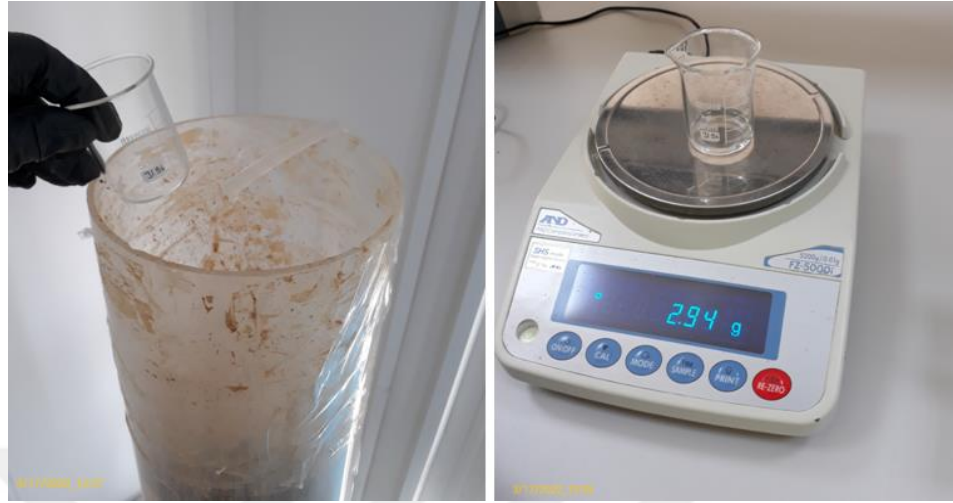
Yukarıda verilen detaylar kapsamında gerçekleştirilen cevher atığı yükleme işlemleri ardından, kolonlarda yıkama işlemleri, 17.03.2022 tarihinde saat 12.30'da peristaltik pompadan yıkama işlemine start verilmesi suretiyle başlatılmıştır. Kolonlara beslenecek olan yıkama suları, işletmenin bulunduğu bölgede yeraltından çıkarılan yeraltı sularından temin edilmiştir. Kolonlara beslenecek olan yıkama suları, içerisinde 7000 ml yıkama suyu bulunan beher içerisine peristaltik pompa giriş suyu hortumunun daldırılması suretiyle alınmış ve yine peristaltik pompa çıkış suyu hortumunun kolon içerisine boşaltılması suretiyle kolon içindeki cevher ile teması sağlanmıştır (Şekil 18).



Şekil 18. Kolonların Yıkama İşlemine Hazırlanması

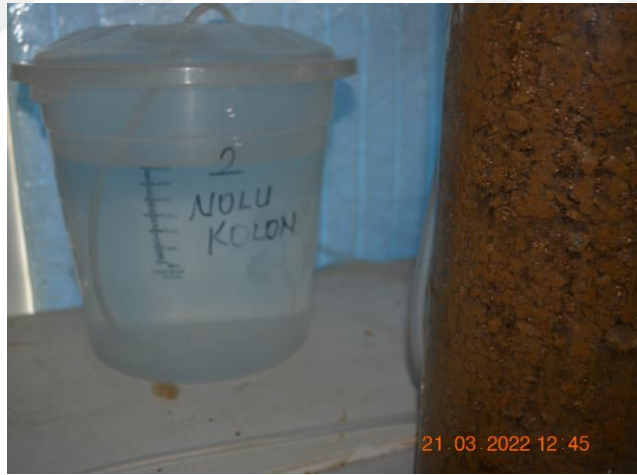
Hazırlanan kolonlarda, 24 saatlik periyot boyunca takip edilen kontroller ve 24 saatlik periyot sonrasında gerçekleştirilen işlemler aşağıda özetlenmiştir.

- İlk olarak peristastik pompa çalıştırılarak çıkış suyu hortumundan homojen şekilde yıkama suyunun gelmesi beklenmiştir. Yıkama suyunun homojen akışı sağlandıktan sonra ilk tartımı alınmış olan beher içerisine bir dakikalık yıkama suyu toplanmıştır. Toplanan yıkama suyu miktarı hassas terazide tartılarak okunan miktar kayıt altına alınmıştır. Bu şekilde planlanan yıkama suyu debisi peristaltik pompa akışı artırılarak ya da azaltılarak istenen yıkama suyu debisi olan 2,95 ml/dk. değeri olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu işlem 24 saatlik periyotlarla tekrarlanmıştır (Şekil 19).



Şekil 19. Yıkama Suyu Debisinin Belirlenmesi

- Yıkama suyu debisi belirlendikten sonra kolona ait besleme suyunun bulunduğu beher içerisindeki yeraltı suyu 7000 ml olacak şekilde doldurulmuştur (Şekil 20).



Şekil 20. Kolon Yıkama Suyu Beheri - Kolona Beslenen

- Kolon yıkama işlemi neticesinde kolon içerisinde tabana doğru süzülen suların toplanması ve kayıt altına alınması maksadı ile toplama suyu hortumu çıkışına toplama suyu beheri konulmuştur. Yukarıdaki işlemler ardından peristaltik pompaya güç verilerek yıkama işlemi başlatılmış ve kolon tabanında bulunan küresel vana açılarak tabanda biriken yıkama sularının kolon altı beherine akışına

müsaade edilmiştir. Böylelikle yıkama işlemi başlatılmıştır. Günlük yıkama işlemleri her gün saat 12.30 'da başlatılmıştır (Şekil 21).



Şekil 21. Kolon Yıkama Suyu Beheri – Kolondan Toplanan

- Yıkama işlemi üzerinden 24 saat geçtikten sonra, kolon tabanlarında bulunan küresel vana kapatılarak kolon besleme suyu miktarı mezür içerisinde alınan yıkama suyu ile yeniden 7000 ml'ye tamamlanarak günlük yıkama suyu sarfiyat miktarı kayıt altına alınmıştır (Şekil 22).



Şekil 22. Kolon Besleme Suyunun Tamamlanması

- Ardından kolon tabanında ki toplama suyu beheri içerisinde biriken su miktarı beher üzerinden okunarak kayıt altına alınmıştır (Şekil 23).



Şekil 23. Kolondan Toplanan Su Miktarının Kayıt Edilmesi

- Kayıt işlemi akabinde toplanan yıkama suyundan 250 ml numune alınarak numunenin pH'ı ölçülmüş ve pH 10,5 ve üzeri olacak şekilde NaOH ile pH ayarlaması yapılmıştır (Şekil 24).



Şekil 24. Numunenin pH Ölçümü

- Alınan numunenin, numune alınış tarihi üzerinden bir gün geçmeyecek şekilde toplam CN analizleri gerçekleştirilerek spektroskopi de okunan değerler kayıt altına alınmıştır (şekil 25).



şekil 25. Numunelerin Toplam CN Analiz Süreçleri

- Toplama suyu beherinden numune alımı ardından geriye kalan su dökülerek beher öncelikle bol çeşme suyuyla yıkanmış ardından da bol saf sudan geçirilerek kolon tabanında kendisi için ayrılan yer konulmuştur. Kolon tabanında bulunan küresel vana açılarak 2. Yıl yıkama işlemleri başlatılmıştır (Şekil 26).



Şekil 26. Kolon 4 - 2. Yıl Yıkamalarının Başlatılması

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. 1 Nolu Kolon Testine Ait Bulgular

1 nolu kolon testi, 17.03.2022 tarihinde saat 12.30'da peristaltik pompadan yıkama işlemine start verilmesi suretiyle başlatılmıştır. 1 nolu kolon tabanında toplanan yıkama sularındaki toplam CN değeri 19. Gün sonunda (05.04.2022 tarihinde) 0,095 ppm değeri ile <0,1 ppm değeri altına düşmüştür.

Yıkama işlemleri boyunca günlük olarak kolona beslenen besleme suyu miktarı, kolondan toplanan toplama suyu miktarı ve günlük gerçekleşen yıkama suyu debileri ile yıkama dönemi boyunca gerçekleşen ortalama değerler Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 3. 1 Nolu Kolonda Besleme ve Toplama Su Miktarlarına Esas Veriler

Okuma Tarihi	Okuma Saati	Besleme Suyu Miktarı (ml)	Toplanan Yıkama Suyu Miktarı (ml)	Günlük Gerçekleşen Yıkama Debisi (ml/dk.)
18.03.2022	12:30	4000	2600	2,78
19.03.2022	12:30	3360	3600	2,33
20.03.2022	12:30	4560	3850	3,17
21.03.2022	12:30	4000	3850	2,78
22.03.2022	12:30	4040	3950	2,81
23.03.2022	12:30	4140	3900	2,88
24.03.2022	12:30	4060	3750	2,82
25.03.2022	12:30	3850	3800	2,67
26.03.2022	12:30	3840	3750	2,67
27.03.2022	12:30	3930	3750	2,73

Tablo 3 Devamı. 1 Nolu Kolonda Besleme ve Toplama Su Miktarlarına Esas Veriler

28.03.2022	12:30	3900	3800	2,71
29.03.2022	12:30	3780	3700	2,63
30.03.2022	12:30	3930	3950	2,73
31.03.2022	12:30	4150	3850	2,88
1.04.2022	12:30	3900	3750	2,71
2.04.2022	12:30	3890	3750	2,70
3.04.2022	12:30	3920	3800	2,72
4.04.2022	12:30	3970	3800	2,76
5.04.2022	12:30	3900	3850	2,71
Test Boyunca Gerçekleşen Ortalama Değerler		3954	3739	2,75

Test boyunca gerçekleşen ve yukarıdaki tabloda verilen beslenen ve toplanan yıkama suyu miktarları dikkate alındığında ulaşılan bulgular aşağıda paylaşılmıştır.

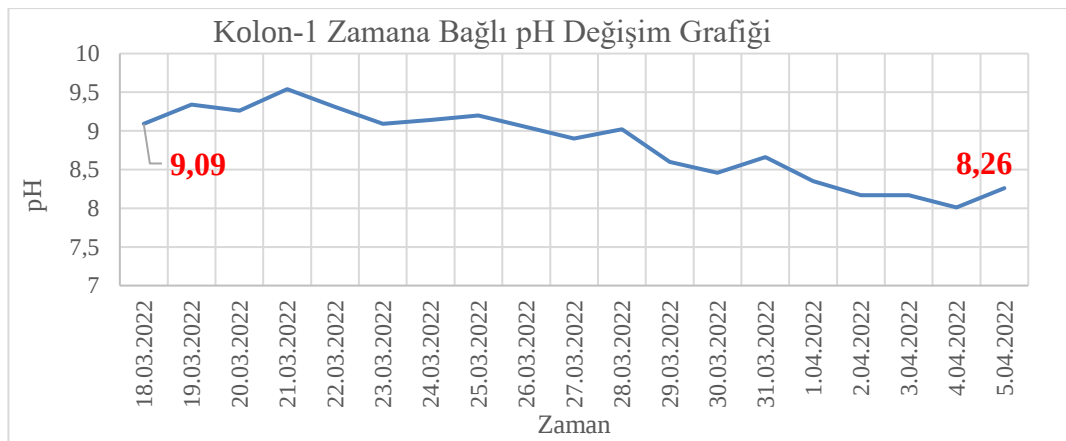
- 1 nolu kolona toplam $75.120 \text{ ml} = 75,12$ litre yeraltı suyu beslenmiştir.
- 1 nolu kolon tabanında $71.050 \text{ ml} = 71,05$ litre yıkama suyu toplanmıştır.
- 1 nolu kolona beslenen cevher atığı bünyesinde $75,12 - 71,05 = 4,07$ litre yıkama suyu nem olarak kalmıştır.
- Yıkama süresi boyunca gerçekleşen günlük yıkama debileri dikkate alındığında 19 günlük test süreci ortalama yıkama debisi $2,75 \text{ ml/dk.}$ olarak hesaplanmıştır.

Testin başlangıcından bitişine kadar kolon tabanlarında toplanan yıkama sularından alınan numunelere ait pH ve toplam CN analiz sonuçları Tablo 4 'de sunulmuştur.

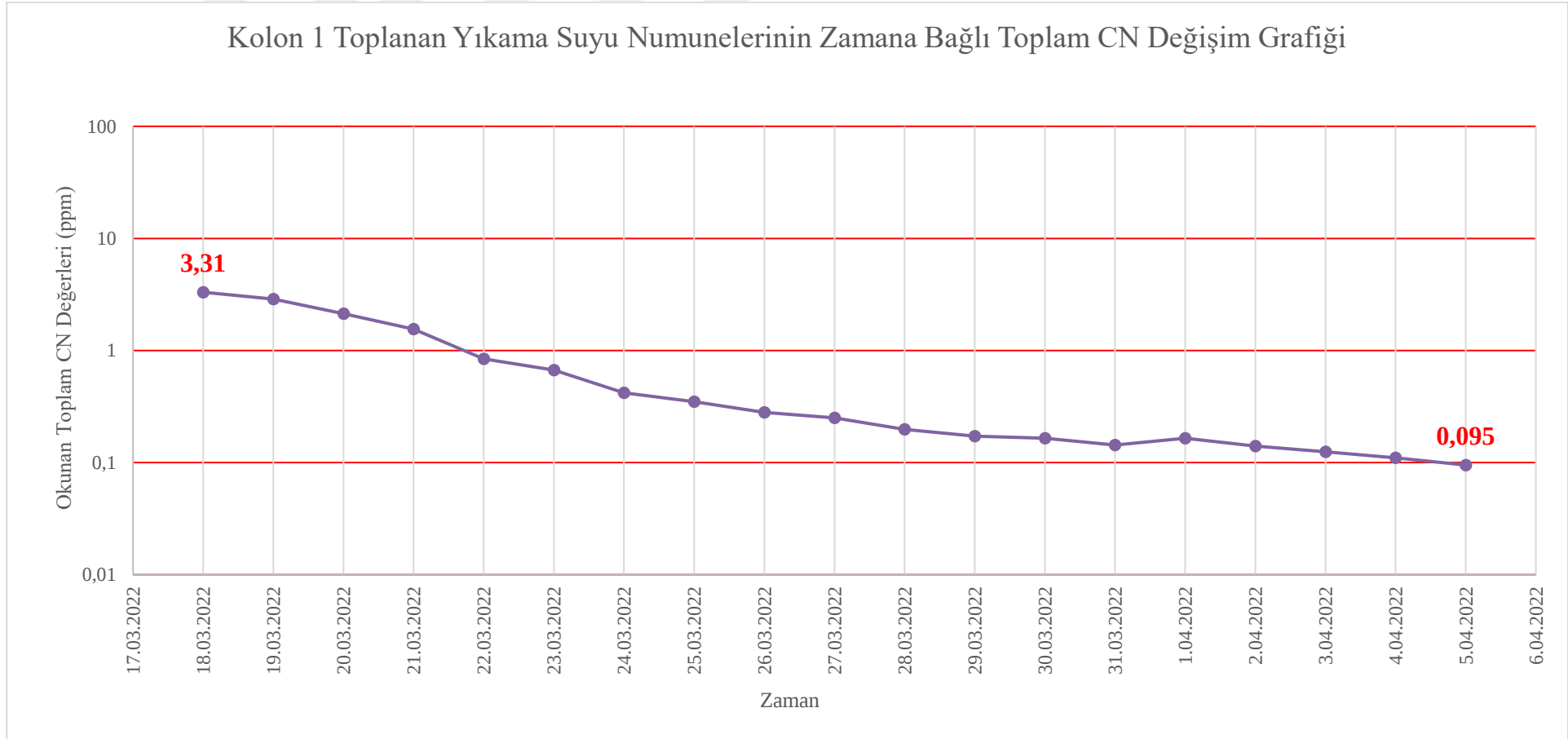
Tablo 4. 1 Nolu Kolon Toplama Sularına Ait pH ve Toplam CN Analiz Sonuçları

Gün	Tarih	Numune Adı	PH	Toplam Siyanür (TCN - ppm)
1	18.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	9,09	3,31
2	19.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	9,34	2,87
3	20.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	9,26	2,13
4	21.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	9,54	1,55
5	22.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	9,31	0,84
6	23.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	9,09	0,67
7	24.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	9,14	0,42
8	25.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	9,2	0,35
9	26.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	9,05	0,28
10	27.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	8,9	0,25
11	28.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	9,02	0,198
12	29.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	8,6	0,172
13	30.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	8,46	0,165
14	31.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	8,66	0,143
15	1.04.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	8,35	0,165
16	2.04.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	8,17	0,140
17	3.04.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	8,17	0,125
18	4.04.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	8,01	0,110
19	5.04.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	8,26	0,095

Zamana bağlı pH ve Toplam CN değişim grafikleri, Şekil 27 ve Şekil 28 'de sunulmuştur.



Şekil 27. 1 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı pH Değişim Grafiği



Şekil 28. 1 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı Toplam CN Değişim Grafiği

Test boyunca gerçekleşen ve yukarıdaki tabloda verilen pH değerleri ve toplam CN analiz sonuçları dikkate alındığında ulaşılan bulgular aşağıda paylaşılmıştır.

- Testin başladığı tarihten itibaren ilk 4 gün boyunca pH değerlerinde artış gözlemlenmiştir. İlk 4 gün ardından pH değerleri azalış trendi sergilemiş ve testin sonlandırıldığı tarihte pH değeri 8,26 olarak kayda alınmıştır.
- Testin başlangıcından itibaren alınan ilk numunenin toplam CN analiz değeri 3,31 ppm olarak kayda alınmıştır.
- Testin başlangıcından itibaren birbirini takip eden tarihlerde toplam CN değerleri hızlı bir düşüşe geçerek 5. gün sonunda (22.03.2022 tarihinde) 1 ppm değerinin altına düşmüştür.
- Toplam CN değeri, hedef değer olan <0,1 ppm altına ise 19. Gün sonunda (05.04.2022 tarihinde) düşmüştür.

3.2. 2 Nolu Kolon Testine Ait Bulgular

2 nolu kolon testi, 17.03.2022 tarihinde saat 12:30'da peristaltik pompadan yıkama işlemine start verilmesi suretiyle başlatılmıştır. 2 nolu kolon tabanında toplanan yıkama sularındaki toplam CN değeri 42. gün sonunda (29.04.2022 tarihinde) 0,094 ppm değeri ile <0,1 ppm değeri altına düşmüştür.

Yıkama işlemleri boyunca günlük olarak kolona beslenen besleme suyu miktarı, kolondan toplanan toplama suyu miktarı ve günlük gerçekleşen yıkama suyu debileri ile yıkama dönemi boyunca gerçekleşen ortalama değerler Tablo 5'de sunulmuştur.

Tablo 5. 2 Nolu Kolonda Besleme ve Toplama Su Miktarlarına Esas Veriler

Okuma Tarihi	Okuma Saati	Besleme Suyu Miktarı (ml)	Toplanan Yıkama Suyu Miktarı (ml)	Günlük Gerçekleşen Yıkama Debisi (ml/dk.)
18.03.2022	12:30	4260	3250	2,96
19.03.2022	12:30	4200	4000	2,92
20.03.2022	12:30	4480	4200	3,11
21.03.2022	12:30	4400	4350	3,06

Tablo 5 Devamı. 2 Nolu Kolonda Besleme ve Toplama Su Miktarlarına Esas Veriler

22.03.2022	12:30	4420	4350	3,07
23.03.2022	12:30	4380	4050	3,04
24.03.2022	12:30	4260	4150	2,96
25.03.2022	12:30	4140	4100	2,88
26.03.2022	12:30	4130	4000	2,87
27.03.2022	12:30	4260	4050	2,96
28.03.2022	12:30	4150	4050	2,88
29.03.2022	12:30	4000	3900	2,78
30.03.2022	12:30	4140	4100	2,88
31.03.2022	12:30	4400	4150	3,06
1.04.2022	12:30	4100	4000	2,85
2.04.2022	12:30	3970	3900	2,76
3.04.2022	12:30	4120	4000	2,86
4.04.2022	12:30	4100	3900	2,85
5.04.2022	12:30	4000	3950	2,78
6.04.2022	12:30	4050	3950	2,81
7.04.2022	12:30	4100	3950	2,85
8.04.2022	12:30	4000	4020	2,78
9.04.2022	12:30	4130	3950	2,87
10.04.2022	12:30	4000	4000	2,78
11.04.2022	12:30	4000	3950	2,78
12.04.2022	12:30	4100	3950	2,85
13.04.2022	12:30	4000	4000	2,78
14.04.2022	12:30	4000	3900	2,78
15.04.2022	12:30	4000	4000	2,78
16.04.2022	12:30	4500	4300	3,13
17.04.2022	12:30	4000	4150	2,78
18.04.2022	12:30	3930	3850	2,73
19.04.2022	12:30	4200	4000	2,92
20.04.2022	12:30	4300	4200	2,99
21.04.2022	12:30	4120	4100	2,86
22.04.2022	12:30	4200	4150	2,92
23.04.2022	12:30	4160	4150	2,89
24.04.2022	12:30	4200	4150	2,92
25.04.2022	12:30	4200	4100	2,92
26.04.2022	12:30	4100	4100	2,85

Tablo 5 Devamı. 2 Nolu Kolonda Besleme ve Toplama Su Miktarlarına Esas Veriler

27.04.2022	12:30	4240	4150	2,94
28.04.2022	12:30	4230	4100	2,94
29.04.2022	12:30	4200	4100	2,92
Test Boyunca Gerçekleşen Ortalama Değerler		4160	4040	2,89

Test boyunca gerçekleşen ve yukarıdaki tabloda verilen beslenen ve toplanan yıkama suyu miktarları dikkate alındığında ulaşılan bulgular aşağıda paylaşılmıştır.

- 2 nolu kolona toplam 178.870 ml = 178,87 litre yeraltı suyu beslenmiştir.
- 2 nolu kolon tabanında 173.720 ml = 173,72 litre yıkama suyu toplanmıştır.
- 2 nolu kolona beslenen cevher atığı bünyesinde $178,87 - 173,72 = 5,15$ litre yıkama suyu nem olarak kalmıştır.
- Yıkama süresi boyunca gerçekleşen günlük yıkama debileri dikkate alındığında 42 günlük test süreci ortalama yıkama debisi 2,89 ml/dk. olarak hesaplanmıştır.

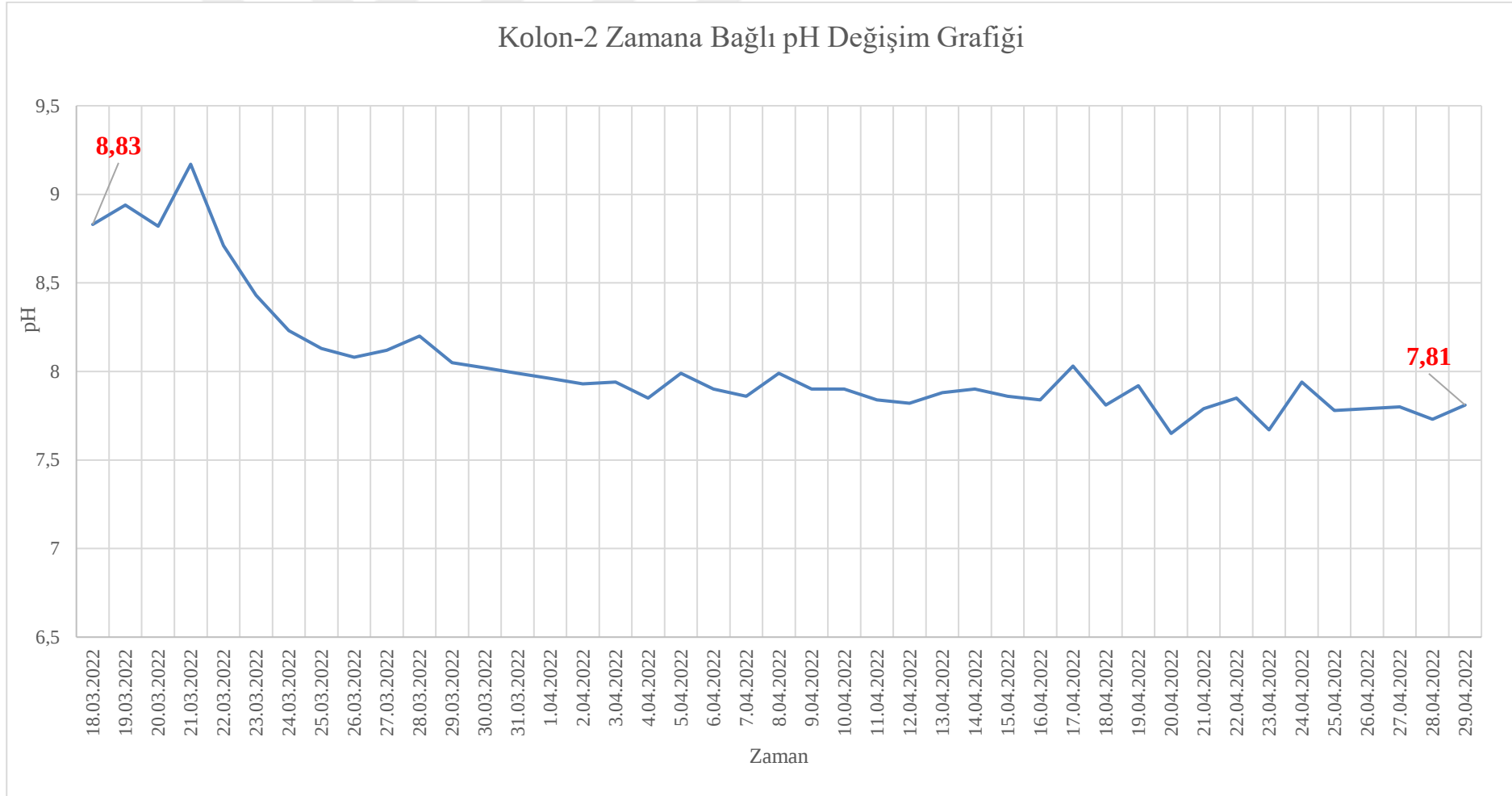
Testin başlangıcından bitişine kadar kolon tabanlarında toplanan yıkama sularından alınan numunelere ait pH ve toplam CN analiz sonuçları Tablo 6 'da sunulmuştur. Zamana bağlı pH ve Toplam CN değişim grafikleri, Şekil 29 ve Şekil 30 'da sunulmuştur.

Tablo 6. 2 Nolu Kolon Toplama Sularına Ait pH ve Toplam CN Analiz Sonuçları

Gün	Tarih	Numune Adı	PH	Toplam Siyanür (TCN - ppm)
1	18.03.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	8,83	2,1
2	19.03.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	8,94	1,5
3	20.03.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	8,82	0,93
4	21.03.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	9,17	0,78
5	22.03.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	8,71	0,50
6	23.03.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	8,43	0,41
7	24.03.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	8,23	0,27
8	25.03.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	8,13	0,28

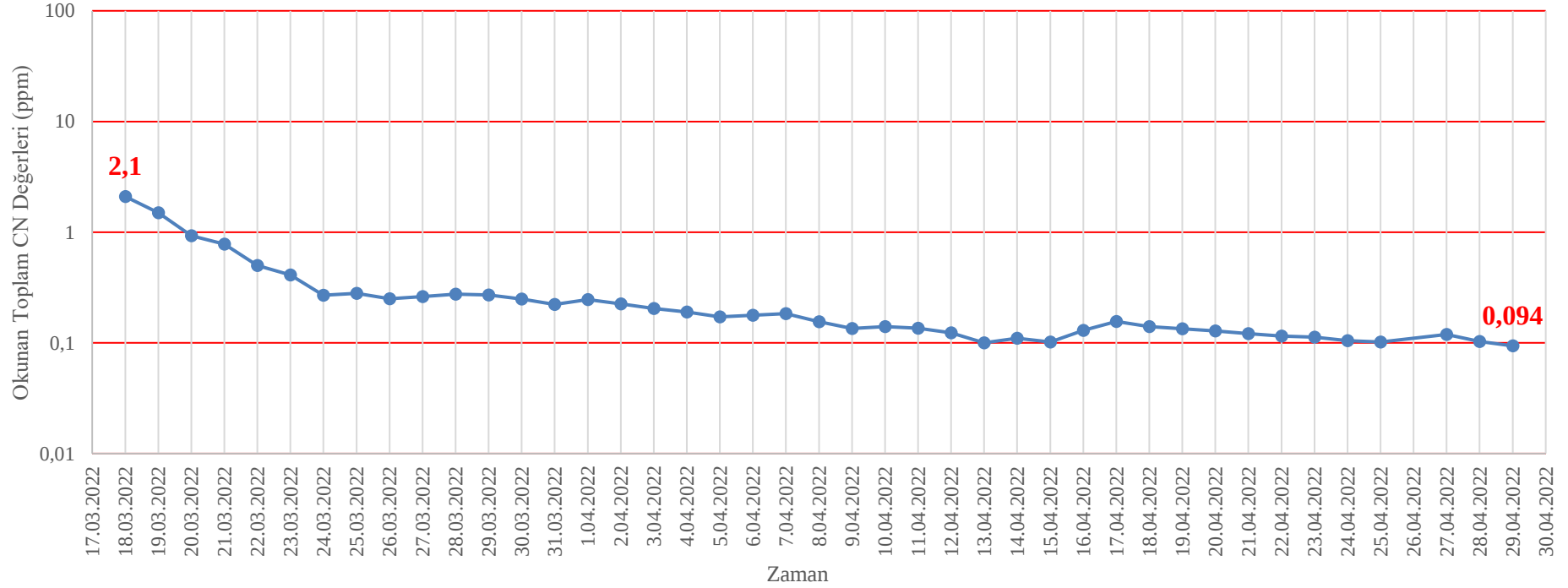
Tablo 6 Devamı. 2 Nolu Kolon Toplama Sularına Ait pH ve Toplam CN Analiz Sonuçları

9	26.03.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	8,08	0,25
10	27.03.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	8,12	0,262
11	28.03.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	8,2	0,275
12	29.03.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	8,05	0,271
13	30.03.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	8,02	0,249
14	31.03.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,99	0,222
15	1.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,96	0,247
16	2.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,93	0,225
17	3.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,94	0,205
18	4.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,85	0,19
19	5.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,99	0,172
20	6.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,9	0,178
21	7.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,86	0,184
22	8.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,99	0,155
23	9.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,9	0,135
24	10.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,9	0,14
25	11.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,84	0,136
26	12.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,82	0,123
27	13.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,88	0,1
28	14.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,9	0,11
29	15.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,86	0,102
30	16.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,84	0,13
31	17.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	8,03	0,156
32	18.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,81	0,14
33	19.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,92	0,134
34	20.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,65	0,128
35	21.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,79	0,121
36	22.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,85	0,115
37	23.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,67	0,113
38	24.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,94	0,105
39	25.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,78	0,102
40	27.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,8	0,119
41	28.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,73	0,103
42	29.04.2022	Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu	7,81	0,094



Şekil 29. 2 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı pH Değişim Grafiği

Kolon 2 Toplanan Yıkama Suyu Numunelerinin Zamana Bağlı Toplam CN Değişim Grafiği



Şekil 30. 2 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı Toplam CN Değişim Grafiği

Test boyunca gerçekleşen ve yukarıdaki tabloda verilen pH değerleri ve toplam CN analiz sonuçları dikkate alındığında ulaşılan bulgular aşağıda paylaşılmıştır.

- Testin başladığı tarihten itibaren ilk 4 gün boyunca pH değerlerinde artış gözlemlenmiştir. İlk 4 gün ardından pH değerleri azalış trendi sergilemiş ve testin sonlandırıldığı tarihte pH değeri 7,81 olarak kayda alınmıştır.
- Testin başlangıcından itibaren alınan ilk numunenin toplam CN analiz değeri 2,1 ppm olarak kayda alınmıştır.
- Testin başlangıcından itibaren birbirini takip eden tarihlerde toplam CN değerleri hızlı bir düşüşe geçerek 3. gün sonunda (20.03.2022 tarihinde) 1 ppm değerinin altına düşmüştür.
- Toplam CN değeri, hedef değer olan <0,1 ppm altına ise 42. gün sonunda (29.04.2022 tarihinde) düşmüştür.

3.3. 3 Nolu Kolon Testine Ait Bulgular

3 nolu kolon testi, 17.03.2022 tarihinde saat 12.30'da peristaltik pompadan yıkama işlemine start verilmesi suretiyle başlatılmıştır. 3 nolu kolon tabanında toplanan yıkama sularındaki toplam CN değeri 46. gün sonunda (03.05.2022 tarihinde) 0,088 ppm değeri ile <0,1 ppm değeri altına düşmüştür.

Yıkama işlemleri boyunca günlük olarak kolona beslenen besleme suyu miktarı, kolondan toplanan toplama suyu miktarı ve günlük gerçekleşen yıkama suyu debileri ile yıkama dönemi boyunca gerçekleşen ortalama değerler Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 7. 3 Nolu Kolonda Besleme ve Toplama Su Miktarlarına Esas Veriler

Okuma Tarihi	Okuma Saati	Besleme Suyu Miktarı (ml)	Toplanan Yıkama Suyu Miktarı (ml)	Günlük Gerçekleşen Yıkama Debisi (ml/dk.)
18.03.2022	12:30	4200	3050	2,92
19.03.2022	12:30	4000	3700	2,78
20.03.2022	12:30	4300	4100	2,99

Tablo 7 Devamı. 3 Nolu Kolonda Besleme ve Toplama Su Miktarlarına Esas Veriler

21.03.2022	12:30	4080	3850	2,83
22.03.2022	12:30	4220	4100	2,93
23.03.2022	12:30	4120	4050	2,86
24.03.2022	12:30	4040	3850	2,81
25.03.2022	12:30	4000	3800	2,78
26.03.2022	12:30	3820	3750	2,65
27.03.2022	12:30	3970	3900	2,76
28.03.2022	12:30	3780	3750	2,63
29.03.2022	12:30	3790	3700	2,63
30.03.2022	12:30	3890	3750	2,70
31.03.2022	12:30	4240	4050	2,94
1.04.2022	12:30	3850	3850	2,67
2.04.2022	12:30	3800	3750	2,64
3.04.2022	12:30	4040	3800	2,81
4.04.2022	12:30	4000	3800	2,78
5.04.2022	12:30	3820	3750	2,65
6.04.2022	12:30	3760	3800	2,61
7.04.2022	12:30	3925	3800	2,73
8.04.2022	12:30	3780	3800	2,63
9.04.2022	12:30	3820	3800	2,65
10.04.2022	12:30	3870	3750	2,69
11.04.2022	12:30	3800	3750	2,64
12.04.2022	12:30	3830	3750	2,66
13.04.2022	12:30	3920	3900	2,72
14.04.2022	12:30	3800	3750	2,64
15.04.2022	12:30	3780	3750	2,63
16.04.2022	12:30	4200	4100	2,92
17.04.2022	12:30	3830	3800	2,66
18.04.2022	12:30	3790	3650	2,63
19.04.2022	12:30	3900	4000	2,71
20.04.2022	12:30	4000	3950	2,78
21.04.2022	12:30	3930	3900	2,73
22.04.2022	12:30	4000	3900	2,78
23.04.2022	12:30	3970	3950	2,76

Tablo 7 Devamı. 3 Nolu Kolonda Besleme ve Toplama Su Miktarlarına Esas Veriler

24.04.2022	12:30	3930	3850	2,73
25.04.2022	12:30	3930	3850	2,73
26.04.2022	12:30	3930	3850	2,73
27.04.2022	12:30	3980	3900	2,76
28.04.2022	12:30	4000	3900	2,78
29.04.2022	12:30	3950	3850	2,74
30.04.2022	12:30	3930	3800	2,73
1.05.2022	12:30	4000	3950	2,78
2.05.2022	12:30	3950	3850	2,74
3.05.2022	12:30	3950	3850	2,74
Test Boyunca Gerçekleşen Ortalama Değerler		3945	3832	2,74

Test boyunca gerçekleşen ve yukarıdaki tabloda verilen beslenen ve toplanan yıkama suyu miktarları dikkate alındığında ulaşılan bulgular aşağıda paylaşılmıştır.

- 3 nolu kolona toplam 185.410 ml = 185,41 litre yeraltı suyu beslenmiştir.
- 3 nolu kolon tabanında 180.100 ml = 180,10 litre yıkama suyu toplanmıştır.
- 3 nolu kolona beslenen cevher atığı bünyesinde $185,41 - 180,10 = 5,31$ litre yıkama suyu nem olarak kalmıştır.
- Yıkama süresi boyunca gerçekleşen günlük yıkama debileri dikkate alındığında 46 günlük test süreci ortalama yıkama debisi 2,74 ml/dk. olarak hesaplanmıştır.

Testin başlangıcından bitişine kadar kolon tabanlarında toplanan yıkama sularından alınan numunelere ait pH ve toplam CN analiz sonuçları Tablo 8 'de sunulmuştur.

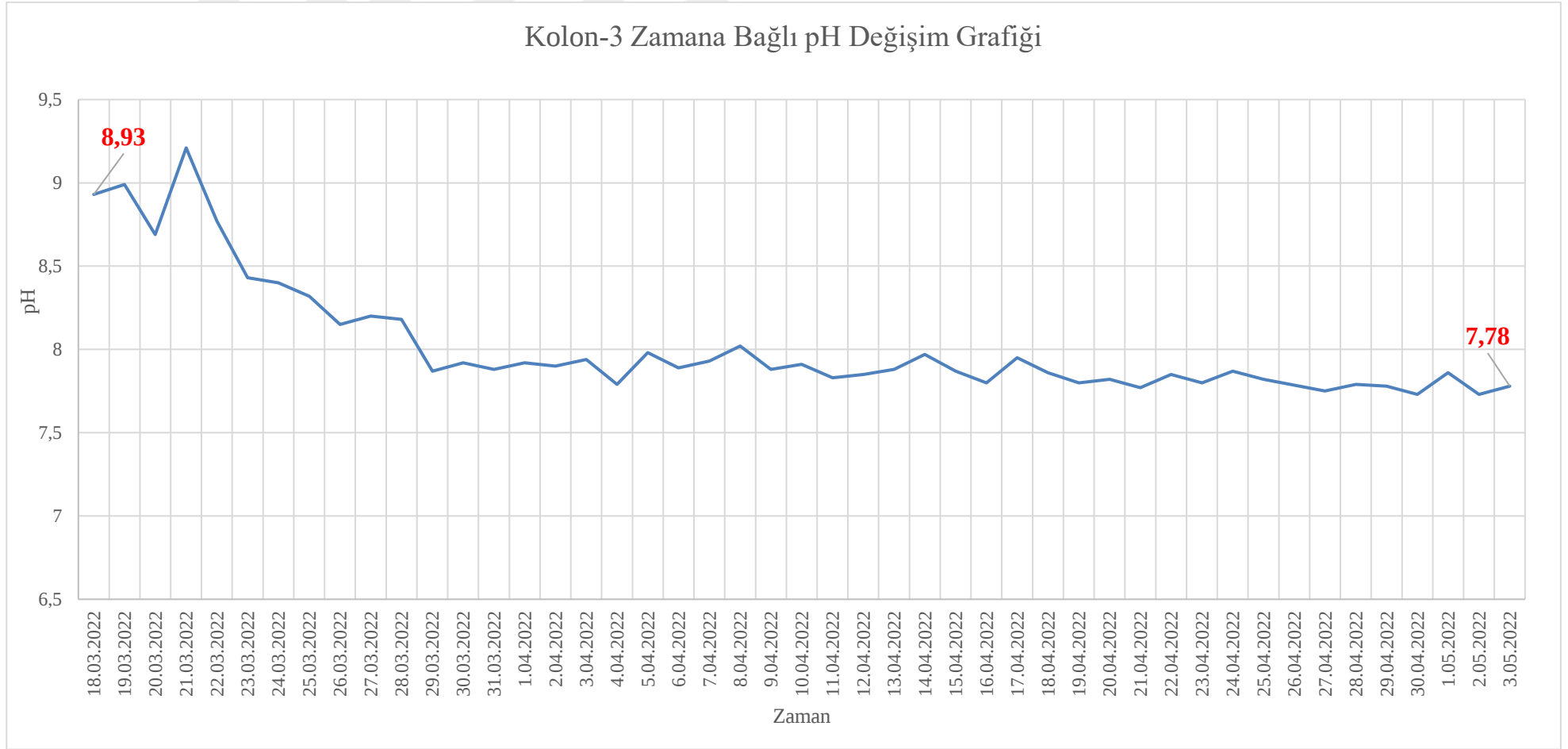
Tablo 8. 3 Nolu Kolon Toplama Sularına Ait pH ve Toplam CN Analiz Sonuçları

Gün	Tarih	Numune Adı	PH	Toplam Siyanür (TCN-ppm)
1	18.03.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	8,93	1,94
2	19.03.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	8,99	1,58
3	20.03.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	8,69	1,1
4	21.03.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	9,21	0,89
5	22.03.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	8,77	0,63
6	23.03.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	8,43	0,57
7	24.03.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	8,4	0,35
8	25.03.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	8,32	0,33
9	26.03.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	8,15	0,29
10	27.03.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	8,2	0,3
11	28.03.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	8,18	0,272
12	29.03.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,87	0,253
13	30.03.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,92	0,27
14	31.03.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,88	0,24
15	1.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,92	0,275
16	2.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,9	0,255
17	3.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,94	0,235
18	4.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,79	0,21
19	5.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,98	0,190
20	6.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,89	0,195
21	7.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,93	0,203
22	8.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	8,02	0,187
23	9.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,88	0,166
24	10.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,91	0,17
25	11.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,83	0,164
26	12.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,85	0,134
27	13.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,88	0,119
28	14.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,97	0,121
29	15.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,87	0,125
30	16.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,8	0,19
31	17.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,95	0,184
32	18.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,86	0,175
33	19.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,8	0,152
34	20.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,82	0,148
35	21.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,77	0,141
36	22.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,85	0,135

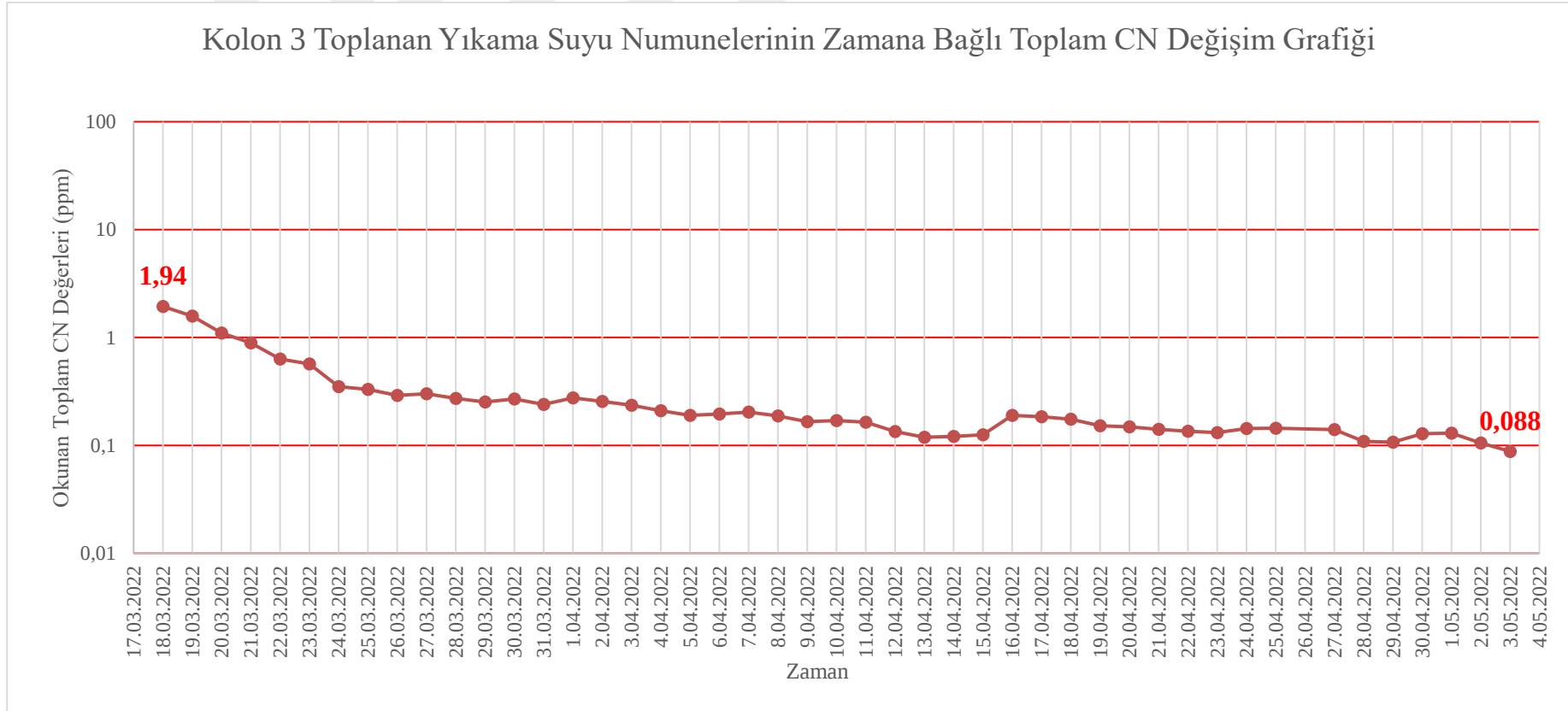
Tablo 8 Devamı. 3 Nolu Kolon Toplama Sularına Ait pH ve Toplam CN Analiz
Sonuçları

37	23.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,8	0,131
38	24.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,87	0,143
39	25.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,82	0,144
40	27.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,75	0,14
41	28.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,79	0,109
42	29.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,78	0,107
43	30.04.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,73	0,128
44	1.05.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,86	0,130
45	2.05.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,73	0,105
46	3.05.2022	Kolon 3 Toplanan Yıkama Suyu	7,78	0,088

Zamana bağlı pH ve Toplam CN değişim grafikleri, Şekil 31 ve Şekil 32 'de sunulmuştur.



Şekil 31. 3 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı pH Değişim Grafiği



Şekil 32. 3 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı Toplam CN Değişim Grafiği

Test boyunca gerçekleşen ve yukarıdaki tabloda verilen pH değerleri ve toplam CN analiz sonuçları dikkate alındığında ulaşılan bulgular aşağıda paylaşılmıştır.

- Testin başladığı tarihten itibaren ilk 4 gün boyunca pH değerlerinde artış gözlemlenmiştir. İlk 4 gün ardından pH değerleri azalış trendi sergilemiş ve testin sonlandırıldığı tarihte pH değeri 7,78 olarak kayda alınmıştır.
- Testin başlangıcından itibaren alınan ilk numunenin toplam CN analiz değeri 1,94 ppm olarak kayda alınmıştır.
- Testin başlangıcından itibaren birbirini takip eden tarihlerde toplam CN değerleri hızlı bir düşüşe geçerek 4. gün sonunda (21.03.2022 tarihinde) 1 ppm değerinin altına düşmüştür.
- Toplam CN değeri, hedef değer olan <0,1 ppm altına ise 46. Gün sonunda (03.05.2022 tarihinde) düşmüştür.

3.4. 4 Nolu Kolon Testine Ait Bulgular

4 nolu kolon testi, 17.03.2022 tarihinde saat 12.30'da peristaltik pompadan yıkama işlemine start verilmesi suretiyle başlatılmıştır. Yıkama işlemi 2.2.2 başlığı altında verilen detaylara uygun olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Yıkama işlemi 27.03.2022 tarihinde saat 00:50 'de tamamlanmıştır. Yıkama işlemini tamamlandıktan sonra 24 saatlik süre sonunda kolon tabanında biriken toplama suyundan numune alınmış ve numunede ki toplam CN değeri 0,44 ppm olarak ölçülmüştür.

Yıkama işlemleri boyunca günlük olarak kolona beslenen besleme suyu miktarı, kolondan toplanan toplama suyu miktarı ve günlük gerçekleşen yıkama suyu debileri ile yıkama dönemi boyunca gerçekleşen ortalama değerler Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 9. 4 Nolu Kolonda Besleme ve Toplama Su Miktarlarına Esas Veriler

Senaryo Yılı	Yıkama Süresi	Okuma Tarihi	Okuma Saati	Besleme Suyu Miktarı (ml)	Toplanan Yıkama Suyu Miktarı (ml)	Günlük Gerçekleşen Yıkama Debisi (ml/dk.)
2017	21 Sa 4 Dk	19.03.2022	09:30	3800	3200	3,01
2018	28 Sa 35 Dk	21.03.2022	14:00	5100	4500	2,97
2019	30 Sa 8 Dk	23.03.2022	20:00	5300	4750	2,93
2020	27 Sa 42Dk	25.03.2022	23:50	4800	4200	2,89
2021	24 Sa 51 Dk	28.03.2022	00:50	4400	4000	2,95

Test Boyunca Gerçekleşen Ortalama Değerler **4680** **4130** **2,95**

Test boyunca gerçekleşen ve yukarıdaki tabloda verilen beslenen ve toplanan yıkama suyu miktarları dikkate alındığında ulaşılan bulgular aşağıda paylaşılmıştır.

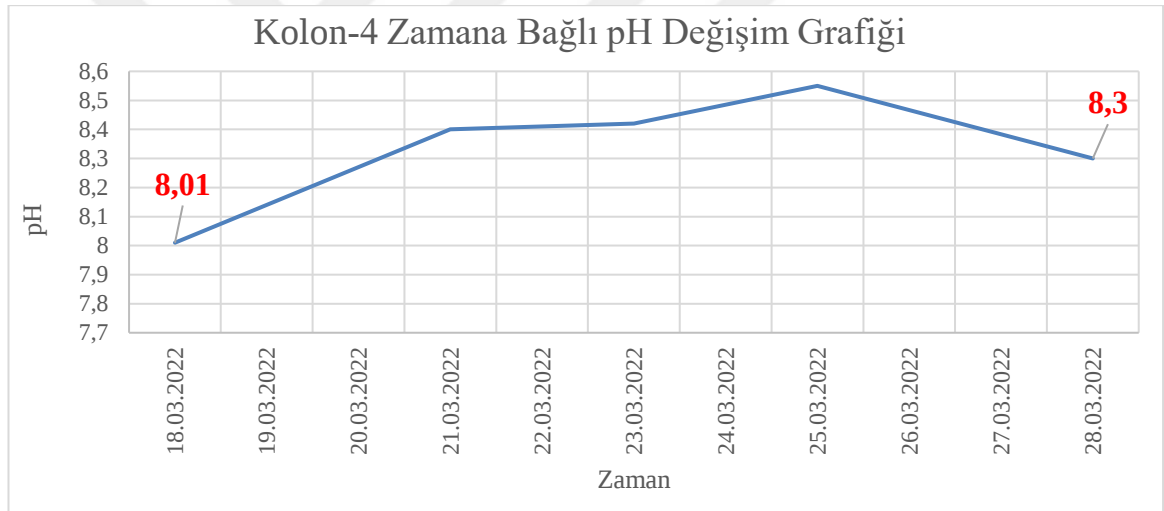
- 4 nolu kolona toplam 23.400 ml = 23,4 litre yeraltı suyu beslenmiştir.
- 1 nolu kolon tabanında 20.650 ml = 20,65 litre yıkama suyu toplanmıştır.
- 1 nolu kolona beslenen cevher atığı bünyesinde $23,4 - 20,65 = 2,75$ litre yıkama suyu nem olarak kalmıştır.
- Yıkama süresi boyunca gerçekleşen yıkama debileri dikkate alındığında test süreci ortalama yıkama debisi 2,95 ml/dk. olarak hesaplanmıştır.

Testin başlangıcından bitişine kadar kolon tabanlarında toplanan yıkama sularından alınan numunelere ait pH ve toplam CN analiz sonuçları Tablo 10 'da sunulmuştur.

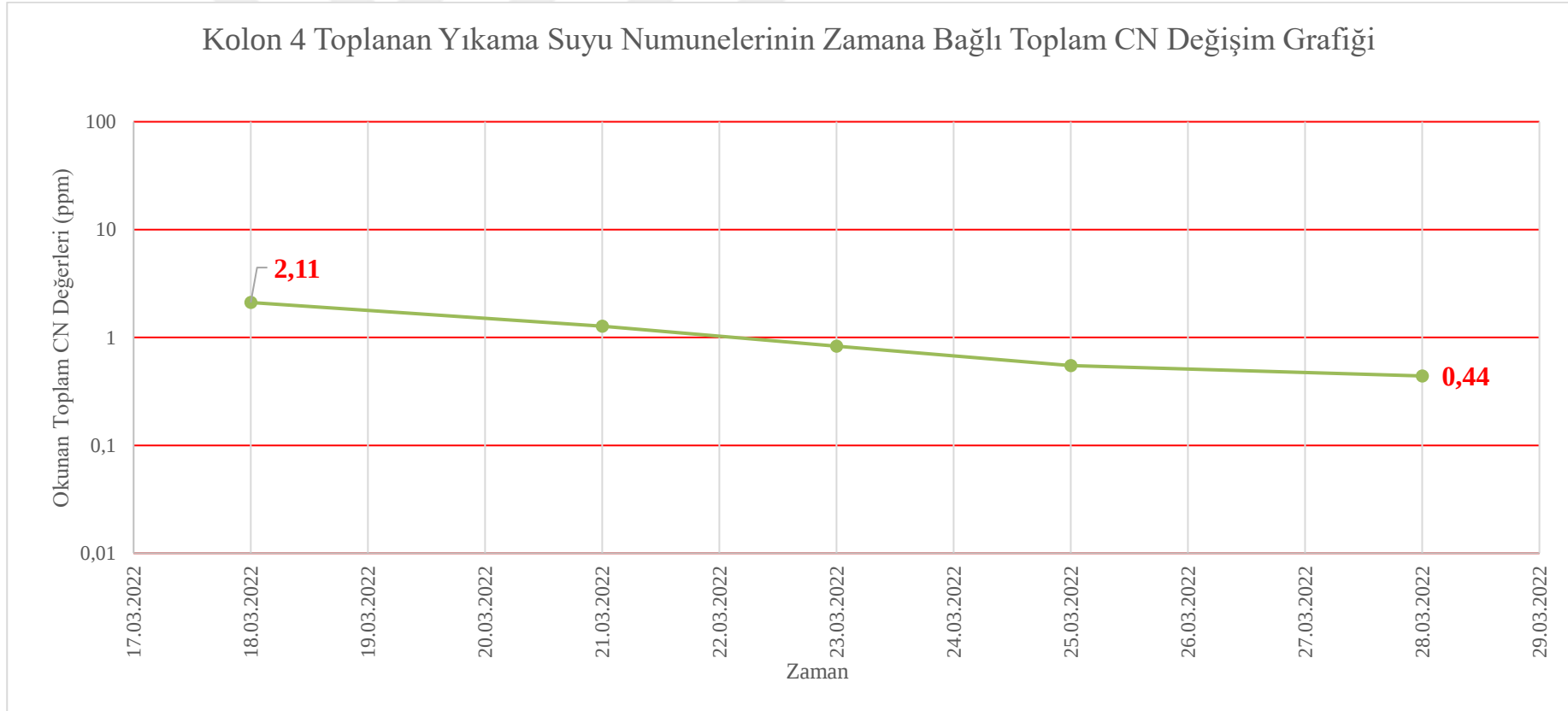
Tablo 10. 4 Nolu Kolon Toplama Sularına Ait pH ve Toplam CN Analiz Sonuçları

Senaryo Yılı	Tarih	Numune Adı	PH	Toplam Siyanür (TCN-ppm)
2017	18.03.2022	Kolon 4 Toplanan Yıkama Suyu	8,01	2,11
2018	21.03.2022	Kolon 4 Toplanan Yıkama Suyu	8,4	1,27
2019	23.03.2022	Kolon 4 Toplanan Yıkama Suyu	8,42	0,83
2020	25.03.2022	Kolon 4 Toplanan Yıkama Suyu	8,55	0,55
2021	28.03.2022	Kolon 4 Toplanan Yıkama Suyu	8,3	0,44

Zamana bağlı pH ve Toplam CN değişim grafikleri, Şekil 33 ve Şekil 34 'de sunulmuştur.



Şekil 33. 4 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı pH Değişim Grafiği



Şekil 34. 4 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı Toplam CN Değişim Grafiği

Test boyunca gerçekleşen ve yukarıdaki tabloda verilen pH değerleri ve toplam CN analiz sonuçları dikkate alındığında ulaşılan bulgular aşağıda paylaşılmıştır.

- Okunan pH değerleri 8,01 ile 8,3 arasında değişmiştir. Testin sonlandırıldığı tarihte pH değeri 8,3 olarak kayda alınmıştır.
- Testin başlangıcından itibaren alınan ilk numunenin toplam CN analiz değeri 2,11 ppm olarak kayda alınmıştır.
- Testin başlangıcından itibaren birbirini takip eden tarihlerde toplam CN değerleri hızlı bir dūřüře geçerek 5 yıllık toplam yağış miktarları dikkate alınarak gerçekleştirilen yıkama işlemi neticesinde son alınan (28.03.2022 tarihinde) yıkama suyu numunesinde toplam CN değeri 0,44 ppm olarak ölçölmüştür.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1.Tartışma

Yöntem kısmında belirtildiği üzere, öncelikle en az CN değerinin beklendiği, liç işlemleri en erken biten bölge olan 1 nolu hücrenin 1. kademesinden JCB kovanı ile numune alınmıştı ve bu numune 1 nolu numune olarak isimlendirilmişti. Daha sonra liç işlemleri en geç biten bölge olan 11 nolu hücrenin 6. kademesinin yüzeyinden kürekler ile poşet içerisine numune alınmıştı. Ardından 1 ve 2 nolu numuneler eşit miktarlarda ve homojen olarak karıştırılmış ve 3 nolu numune elde edilmiştir. 1 nolu numune 1 nolu kolana, 2 nolu numune 2 nolu kolona ve 3 nolu numunede 3 ve 4 nolu kolonlara beslenerek testler başlatılmıştı.

Deneyisel çalışmalara başlamadan evvel ortaya konulan, 1 nolu numunede ki toplam CN değerlerinin daha düşük olacağı ve 2 nolu numunedeki toplam CN değerlerinin daha yüksek olacağı öngörüsü ile örtüşecek şekilde test süreleri 1 nolu kolon için 19 gün ve 2 nolu kolon için 42 gün olarak gerçekleşmiştir. Diğer taraftan 1 ve 2 nolu numunelerin eşit miktarlarda karıştırılması ile elde edilen 3 nolu numunenin yüklenmesi ile yürütülen 3 nolu kolon testinde yıkama süresi 46 gün olarak kayda alınmıştır. Bu durum, 1 ve 2 nolu numuneler arasında baskın olan numunenin 2 nolu numune olduğu şeklinde açıklanabilir. Diğer taraftan ilk üç kolonda gerçekleştirilen testler neticesinde altın madenciliğinde, yığın liç alanlarında işlenmiş maden atıklarının kolon testine tabi tutularak yeraltı suyu ile yıkanmasının mümkün olduğu ancak testlerin 40 kg'lık numuneler üzerinden gerçekleştirildiği ve bu durumun gerçek ölçekli yığın liç alanlarında uygulanmasının düşünülmesi halinde, ihtiyaç duyulan yeraltı suyu miktarı ve yıkama süreleri konularının bariyer olarak göze çarptığı görülmektedir.

4 nolu kolon testi sonuçlarına bakıldığında, son 5 yıllık gerçekleşen yağış verilerine göre hesaplanan 23,4 litre saf su ile 5,5 gün sürede gerçekleştirilen yıkama işlemi neticesinde

yıkamanın son günü sonunda alınan numunedeki toplam CN değerinin 0,44 ppm'e düştüğü görülmektedir. Bu durum, bölgeye düşen yağışlar ile yığın liç alanlarında işlenmiş maden atıklarından süzülecek olan sulardaki toplam CN değerlerinin istenen seviyelere düşebileceğini göstermektedir. Bu çalışmanın son 5 yıllık gerçekleşen yağış verileri dikkate alınarak oluşturulan yıkama senaryosu üzerinden gerçekleştirildiği düşünüldüğünde gerçekleşen yağış miktarlarının daha uzun yıllar için belirlenerek testin tekrarlanması halinde daha olumlu sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir. Ayrıca hesaplarda kullanılan yağış miktarları bölgede yer alan otomatik meteoroloji gözlem istasyonunda kayda alınan yağış verileri olup bu istasyonda kayda alınan kar yüksekliği verileri hesaplara dâhil edilmemiştir. Bölgeye yağan son 5 yıllık kar yağışı verileri de hesaba dâhil edilerek oluşturulacak yeni yıkama senaryolarına göre testlerin tekrarlanması halinde yıkamanın son günü sonunda alınan numunedeki toplam CN değerlerinin yasal otoriteler tarafından istenen seviyelere düşebileceği öngörülmektedir.

4.2.Sonuç ve Öneriler

Gerçekleştirilen bu çalışmada, Türkiye'de yığın liç yöntemi ile dore metali üretimi gerçekleştiren bir işletmenin yığın liç alanlarından, liç işlemine tabi tutulmuş cevher atığı örnekleri alınarak bu örneklerin kolon testine tabi tutulması sağlanmıştır. Deneysel çalışmalarda birbirleri ile eşdeğer kolonlar kullanılmış olup kolonlara ait yükseklik 2 metre, kolon çapları ise 15 cm'dir. 1,2 ve 3 nolu kolonlarda yıkama işlemi, bölgeden temin edilen yeraltı suyu kuyusundan çekilen sular ile kolon tabanlarında biriken yıkama suyu numunelerinde ki toplam CN değeri <0,1 ppm değerine ulaşınca kadar sürekli olarak gerçekleştirilmiştir. 4 nolu kolonda ise, yine işletmenin bulunduğu bölgeye son 5 yılda düşen yağış miktarları dikkate alınarak hesaplanan yıkama suyu miktarları kadar yıkama işlemi, kesikli olarak uygulanmıştır.

Kolon testleri neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- 1 nolu kolona, yığın liç alanında liç işlemleri en erken biten bölgeden alınan cevher atığı (1 nolu numune) beslenmiştir. Cevher atığı numunesi, bölge yüzeyi JCB ile kazılarak yüzeyin bir metre altından alınmıştır. 1 nolu kolonda yıkama işlemi 17.03.2022 tarihinde saat 12:30 'da başlatılmıştır. Bir günlük yıkama neticesinde alınan yıkama suyu numunesine ait toplam CN değeri 3,31 ppm

olarak tespit edilmiştir. Kolonda 19 günlük bir yıkama neticesinde toplam CN değeri 0,095 ppm değeri ile <0,1 ppm altına düşmüştür. 1 nolu kolona yerleştirilen 40 kg 'lık liç işlemine tabi tutulmuş cevher atığının yıkanması neticesinde oluşan yıkama sularında ki toplam CN miktarının <0,1 ppm altına düşürülmesi için yıkama işlemi boyunca toplam 75,12 litre yeraltı suyu tüketilmiştir.

- 2 nolu kolona, yığın liç alanında liç işlemleri en geç biten bölgeden alınan, liç işlemi tamamlanmış cevher atığı (2 nolu numune) beslenmiştir. Cevher atığı numunesi, mevsimsel şartlara bağlı olarak, numune alınacak olan bölgede iş makinesi kullanımının iş güvenliği riskleri oluşturması nedeniyle bölge yüzeyinden kürekler yardımıyla alınmıştır. 2 nolu kolonda yıkama işlemi 17.03.2022 tarihinde saat 12.30 'da başlatılmıştır. Bir günlük yıkama neticesinde alınan yıkama suyu numunesine ait toplam CN değeri 2,1 ppm olarak tespit edilmiştir. Kolonda 42 günlük bir yıkama neticesinde toplam CN değeri 0,094 ppm değeri ile <0,1 ppm altına düşmüştür. 2 nolu kolona yerleştirilen 40 kg 'lık liç işlemine tabi tutulmuş cevher atığının yıkanması neticesinde oluşan yıkama sularında ki toplam CN miktarının <0,1 ppm altına düşürülmesi için yıkama işlemi boyunca toplam 178,87 litre yeraltı suyu tüketilmiştir.
- 3 nolu kolona, yukarıda ifade edilen 1 ve 2 nolu numune homojen ve eşit miktarlarda karıştırılarak beslenmiştir. 3 nolu kolonda yıkama işlemi 17.03.2022 tarihinde saat 12.30 'da başlatılmıştır. Bir günlük yıkama neticesinde alınan yıkama suyu numunesine ait toplam CN değeri 1,94 ppm olarak tespit edilmiştir. Kolonda 46 günlük bir yıkama neticesinde toplam CN değeri 0,088 ppm değeri ile <0,1 ppm altına düşmüştür. 3 nolu kolona yerleştirilen 40 kg 'lık liç işlemine tabi tutulmuş cevher atığının yıkanması neticesinde oluşan yıkama sularında ki toplam CN miktarının <0,1 ppm altına düşürülmesi için yıkama işlemi boyunca toplam 185,41 litre yeraltı suyu tüketilmiştir.
- 4 nolu kolona, yukarıda ifade edilen 1 ve 2 nolu numune homojen ve eşit miktarlarda karıştırılarak beslenmiştir. 4 nolu kolonda yıkama işlemi

17.03.2022 tarihinde saat 12.30 'da bölgeye düşen yağış miktarları dikkate alınarak oluşturulan yıkama senaryosuna uygun olacak şekilde başlatılmıştır. Gerçek verilerden yola çıkılarak hesaplanan yıkama suyu miktarları sırasıyla 2017; 2018; 2019; 2020; 2021 yılları için 3,8; 5,1; 5,3; 4,8; 4,4 litre şeklinde olup 5 yıllık toplam yıkama suyu miktarı 23,4 litredir. 2017 yılı için hesaplanan 3,8 litre yıkama suyu miktarının kolondan geçirilmesi neticesinde toplanan yıkama suyu numunesine ait toplam CN değeri 2,11 ppm olarak tespit edilmiştir. Kolondan son 5 yıl için hesaplanan toplam 23,4 litre saf suyun geçirilmesi neticesinde toplanan yıkama suyu numunesine ait toplam CN değeri 0,44 ppm olarak tespit edilmiştir. Bir diğer ifadeyle, 5 nolu kolona yerleştirilen 40 kg 'lık liç işlemine tabi tutulmuş cevher atığının, son 5 yıl içinde gerçekleşen yağış miktarlarından yola çıkılarak hesaplanan 23,4 litre saf su ile yıkanması neticesinde toplanan yıkama suyu numunesine ait toplam CN değeri, 0,44 ppm olarak tespit edilmiştir.

Gerçekleştirilen 4 farklı kolon testi kapsamında ulaşılan sonuçlara esas veriler Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11. Kolon Testleri Neticesinde Elde Edilen Veriler

Test Adı	Kolona Yüklenen Cevher Atığı Numunesi	Yıkama Suyu Cinsi	Yıkama Suyu Miktarı (litre)	Yıkama Süresi (gün)	Yıkama İşlemi 1. Gün Okunan Toplam CN (ppm)	Yıkama İşlemi Son Gün Okunan Toplam CN (ppm)
1 Nolu Kolon Testi	1 Nolu Numune	Ham Su	75,12	19	3,31	0,095
2 Nolu Kolon Testi	2 Nolu Numune	Ham Su	178,87	42	2,1	0,094
3 Nolu Kolon Testi	3 Nolu Numune	Ham Su	185,41	46	1,94	0,088
4 Nolu Kolon Testi	3 Nolu Numune	Saf Su	23,4	5,5	2,11	0,44

Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde, yığın liç alanlarının yeraltından çekilen sular ile yıkanarak toplam CN değerinin $<0,1$ ppm altına düşürülebileceği ancak bu yaklaşımın yığın liç alanlarında depolanan işlenmiş cevher atıkları toplam miktarı dikkate alındığında, sürdürülebilir kaynakların kullanımı ve toplam yıkama süreleri açısından çok çevreci bir yaklaşım olmadığı görülmektedir. 4 nolu kolon yıkama testi sonuçları dikkate alındığında, yıkama işleminin doğal meteorolojik şartlar altında kontrollü bir şekilde yapılması halinde, liç alanlarındaki toplam CN değerinin doğal olarak istenen değerlere düşebileceği görülmüştür. Doğal yıkama işlemleri ardından, liç alanlarının yüzey geçirimsizliklerinin tekniğine uygun şekilde inşa edilmesi, alan yüzeylerinin bölge iklimine uygun bitki türleri ile rehabilite edilmesi ve liç alanı etrafında bulunan su kalitesinin belli dönemlerde takip edilmesi ile verimli bir kapama dönemi ve kapama sonrası izleme dönemi tesis edilebilir.

KAYNAKÇA

1. Koçan, F., 2021. Siyanür ile cevherden altın üretiminin çevresel etkileri. **Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi**, 13 (1): 250-264
2. T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi (<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7221&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>), (Erişim tarihi: Mayıs 2023).
3. Köse, M., 2022. Altın Üretimine Dair Bilgimiz – Algımız – Yargımız. Altın Madencileri Derneği Ankara, 131 s.
4. Öztürk, M., 2018. Endüstriyel Atıksuda Siyanür Ve Krom (6) Giderimi. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Ankara, 21 s.
5. Logsdon, M. J., Hagelstein K., Mudder, T. I., 1999. Altın Üretiminde Siyanür Yönetimi., **International Council on Metals and the Environment Canada**, 44 s.
6. Akcil, A., 2002. Türk altın madenciliğinde siyanürleme işleminin ilk olarak uygulanması ve bunun çevreye etkileri., **Minerals Engineering**, 15: 695- 698.
7. Karakaya, E., 2004. Altın Madenciliği Atıksularında Hidrojen Peroksit Ve Bakır Kaplanmış Pomza Taşı İle Siyanür Giderimi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81 s.
8. Sayın, Z., E., 2010. Altın Konsantresinden Doğrudan Liç İle Altın Eldesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 165 s.
9. Saymer, B., 2012. Siyanür Liçinde Altının Aktif Karbona Adsorpsiyonunda Çeşitli Metallerin Etkisinin Araştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 101 s.

10. Kekeç, M., 2014. Altın Madeni İşletmeciliğinden Kaynaklanan Çevresel Etkilerin Değerlendirilmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş, 70 s.
11. Erkan, E., 2015. Altın Yığın Liçi Projesinde Farklı Kırma Boylarının Verimlilik Ve Geçirimsizlik Performanslarının İncelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 110 s.
12. Özsoy, Y., 2015. Refrakter Altın Cevherlerinin Tanımlayıcı Liç Tekniği İle Biyooksidasyona Uygunluğunun Araştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 117 s.
13. Koç, E., 2016. Siyanür Liçi Çözeltilerinden Metallerin Çöktürülmesi Ve Siyanürün Geri Kazanımı. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 103 s.
14. Özgün, M. A., 2019. Siyanür Ve Kral Suyu Liç Çözücülerinin Kıyaslamasıyla E-Atıklardan Değerli Metal Kazanımı. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 91 s.
15. Şendur, G., 2020. Düşük Tenörlü Altın Cevherinin Liç Davranışı: Kolon Ve Tank Liçinin Performanslarının Karşılaştırılması. Muğla Sıtkı Koçman University Graduate School Of Applied And Natural Sciences, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 101 s.
16. Rashidi, A., 2020. Yığın Liçi İle Altın (Au) Kazanımında Yığın Özelliklerinin İyileştirilmesi. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak, 111 s.
17. Orloff, K. G., Kaplan. B., Kowalski. P., 2005. Hydrogen cyanide in ambient air near a gold heap leach field: Measured vs. modeled concentrations. **Atmospheric Environment**, 3022 - 3029

18. Dam, R. V., Hogan. A., Harford. A., Markich. S., 2008. Toxicity and metal speciation characterisation of waste water from an abandoned gold mine in tropical northern Australia. **Chemosphere**, 305-313
19. Donata, D.B., Madden-Hallet. D.M., Smith. G.B., Gursansky. W., 2017. Heap leach cyanide irrigation and risk to wildlife: Ramifications for the international cyanide management code. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 271-278
20. Brüger, A., Fafilek. G., Smith. G.B., Restrepo B. O. J., Mendoza. L., Mendoza. R., 2018. On the volatilisation and decomposition of cyanide contaminations from gold mining. **Science of the Total Environment**, 1167 - 1173
21. Hilson, G., Murck. B., 2001. Progress toward pollution prevention and waste minimization in the North American gold mining industry. **Journal of Cleaner Production**, 405 - 415
22. Johnson, C. A., 2015. The fate of cyanide in leach wastes at gold mines: An environmental perspective. **Applied Geochemistry**, 194-205
23. 911 Metalurgist. (<https://www.911metallurgist.com/laboratory-leaching-test-procedure/>), (Erişim tarihi: Haziran 2023).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Selahattin Güney
Uyruğu: Türkiye (T.C)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Pedagojik Formasyon	Cumhuriyet Üniversitesi Eğitim Fakültesi	2011
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü	2011
Lise	Kayseri İstikbal Lisesi, Kayseri	2005

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2014-Halen	Özel Maden Şirketi	9
2013-2014	Kara Kuvvetleri Komutanlığı	1
2011-2013	SİM-ÇED Sicimoğlu Mühendislik Ltd. Şti.	2

YABANCI DİL

İngilizce

KONFERANSLAR

2023 - 2. Uluslararası İnovasyon ve Mühendislik Bilimleri Kongresi – Bildiri Sunumu

2017 - Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu – Katılımcı

2017 – Atık Yönetimi Sempozyumu – Katılımcı