

Altın Madenciliğinde, Yığın Liç Alanlarının Rehabilitasyonunda Yeraltı Suyu İle Yıkama Yaklaşımının Değerlendirilmesi

Selahattin Güney*¹, Şükrü Taner Azgın²

*¹ Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Bilimleri Enstitüsü, KAYSERİ

² Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği, KAYSERİ

(Alınış / Received: 21.06.2023, Kabul / Accepted: 16.08.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 31.08.2023)

Anahtar Kelimeler

Altın Madenciliği,
Yığın Liç Alanı (YLA),
Cevher Atığı,
Kolon Testi,
Siyanür

Öz: Bu çalışmada, yığın liç alanlarının rehabilitasyonunda yeraltı suyu ile yıkama yaklaşımının uygunluğu, yığın liç yöntemi ile altın madenciliği faaliyetini aktif bir şekilde gerçekleştiren bir işletmenin YLA'sından işlenmiş cevher atığı alınıp, alınan numunelerin kolon testine tabi tutulması suretiyle değerlendirilmiştir. YLA'da toplam 3 bölgeden numune alınmıştır. 1 nolu numune; liç işlemleri en erken biten bölgeden, 2 nolu numune; liç işlemleri en geç biten bölgeden alınmıştır. YLA'da 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 kadar 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. YLA'nın bölgeye düşen yağışlar baz alınarak doğal olarak yıkanması senaryosuna göre Toplam CN değerlerindeki değişimin ortaya konulmasının amaçlandığı 4 nolu kolonun saf su ile yıkanması işlemi, 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.

Evaluation of the Groundwater Washing Approach in the Rehabilitation of Heap Leaching Areas in Gold Mining

Keywords

Gold Mining,
Heap Leaching Area (HLA),
Ore Waste,
Column Testing,
Cyanide

Abstract: In this study, 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. Samples were taken from a total of three 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 HLA, 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 HLA 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 HLA, 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.

*İlgili Yazar, email: selahattunguney58@gmail.com

1. Giriş

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 çözüdüürülmesi sürecine liç işlemi denir. Sodyum siyanür suda çözünür ve hafif oksitleyici bir ortamda cevherde bulunan altını çözer. Böylece oluşan altın içerikli çözeltiler "yükü çözeltiler" denir. Ardından yükü çözeltiler çinko metali veya aktif karbon ilave edilerek altının çözeltilerden alınması sağlanır. Geriye kalan "yüksüz" çözeltiler (altın yükü alınmış çözeltiler) yeniden altın elde etmek üzere tesise geri gönderilebileceği gibi atık arıtma tesisine de gönderilebilir [1].

Altın madenciliği, YLA, cevher atığı, kolon testi ve siyanür anahtar kelimeleri ile yapılan literatür taramasında ulaşılan birkaç çalışma aşağıda özetlenmiştir.

Akçıl tarafından 2001 [2] 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 [3] 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. Deneyle, şişe-nokta metodu ile kesikli tam karışimli reaktörlerde farklı dozlar uygulanarak yapılmıştır. Deneyle Cu katalizörü eklenmesi veya eklenmemesi gibi her iki durumda da genel olarak artan peroksit dozuyla CNWAD giderim hızının arttığı görülmüştür.

Orloff vd. 2005 [4] 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 [5] 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.

Sayiner vd. 2012 [6] 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 çözüldükten sonra karbon adsorpsiyonu ile kazanımında engel oluşturabildiklerini belirtmişler ve deneysel çalışmalarında sentetik olarak elde ettikleri çözümlerdeki 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.

Kekeç vd. 2014 [7] 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 [8] yılında, farklı kırma boylarının yığın liçi prosesinde altın verimine ve yığın geçirimsizliğine etkilerinin incelenmesi amacıyla jeometalurjik çalışmalar, laboratuvar ölçekli testler (ince ve iri boy şişe çevirme testleri ve kolon testleri) ve geçirimsizlik 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. Örneklemeler üzerinde, 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. Altın kazanımlarının 54 gün sonunda D1-A, D1-B ve D1-C örnekleri için sırası ile %86.06, %89.51 ve %87.72 olarak gerçekleştiği görülmüştür. Ayrıca, YLA'nın 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.

Koç vd. 2016 [9] 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.

Donato vd. 2017 [10] 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).

Şendur vd. 2020 [11] 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. 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 kazanım 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.

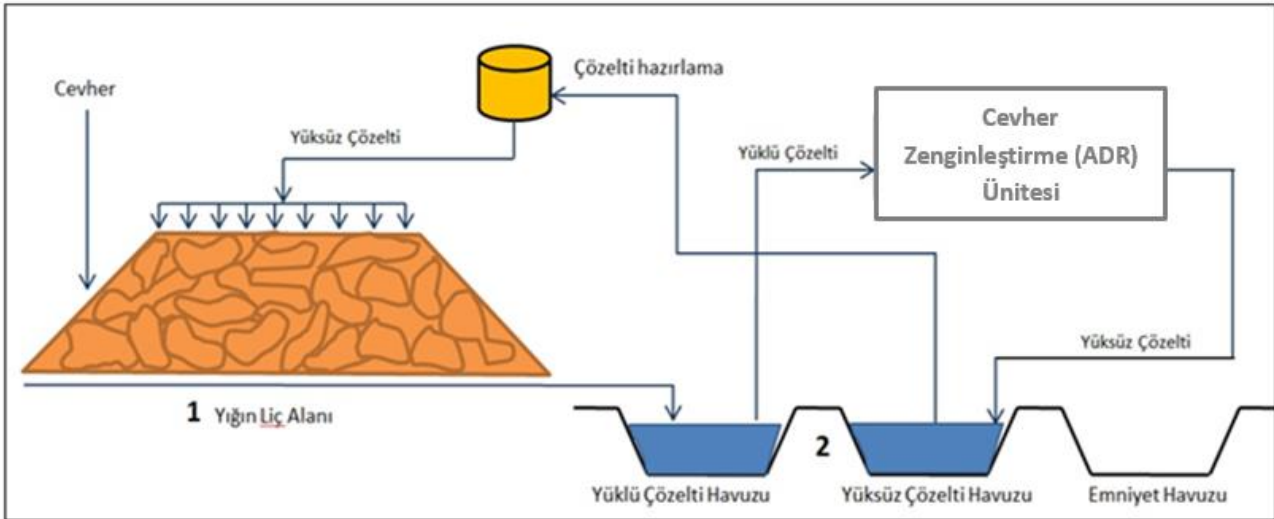
Koçan tarafından 2021 [12] yılında yapılan çalışmada, cevherden altın üretiminde son yıllarda yaygın olarak kullanılan siyanür liç prosesi ve bu proses atıklarının çevresel etkileri ile siyanür atıklarının arıtılmasında uygulanan INCO SO₂/Hava prosesini incelenmiştir. Günümüzde siyanür atıklarının arıtılması 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.

Altın madenciliği ve siyanür anahtar kelimeleri ile yapılan literatür taraması neticesinde ulaşılan çalışmaların, altın madeni işletmelerinde ve etrafındaki doğal yaşam üzerinde siyanürün çevresel risklerine yönelik olduğu, anahtar kelimelere kolon testi ve yığın liçi ibaresinin de eklenmesi ile birlikte yapılan aramalarda ulaşılan çalışmaların ise işletme döneminde kullanılacak olan cevher örneği üzerinde kolon testlerinin yapılması ve elde edilen sonuçlara göre yığın liç alanlarının tasarım parametrelerinin belirlenmesine yönelik olduğu görülmektedir. Literatüre

benzer bir çalışma kazandırılmamış olması bu araştırmayı diğer araştırmalardan ayırtıran en temel özellik olarak göze çarpmakta olup araştırmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır.

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. Bu çalışmaya 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) [12].

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 liç 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, YLA 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 ünite den çıkar. Altını alınmış olan solüsyon ise yüksüz solüsyon havuzlarına iletilir ve burada NaCN ayarlaması yapılarak yeniden YLA'da bulunan cevher yüzeyine gönderilir. Bu şekilde YLA, 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 YLA'nın tasarım kapasitesi doluncaya kadar devam eder. YLA'nın kapasitesi dolup son liç döngüsü tamamlandıktan sonra geriye altını alınmış maden atığı kalır ve YLA'nın rehabilitasyonu sürecine geçilir. Yığın liçi 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 yıkaması suretiyle liç alanı tabanından toplanan yıkama suyundaki Toplam CN değerinin 0,1 ppm altına düşürülmesidir [2].

Yukarıda verilen bilgiler ışığında bu çalışmada, YLA'dan 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 yıkamasının sağlanması ve optimum yıkama yönteminin laboratuvar ölçekli olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. 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. ,

2. Materyal ve Metot

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. Çalışmaya 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 sızıntı sıvısı 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:

- 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.)

Çalışma yürütülen 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 litre/(m².saat) olarak uygulanmıştır.
- Numune ön işlemi: YLA'da toplam 2 bölgeden numune alınmış olup numunelere ön işlem uygulanmamıştır.

Kolon testlerinde kullanılan numune, Türkiye'de açık ocak ve dore altın-gümüş üretimi faaliyeti gerçekleştiren bir altın madeni işletmesi YLA'sından temin edilmiştir.

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 (kke kullanımı, gaz ölçüm dedektörleri ile yapılan ortam ölçümleri vs).

Bu çalışmada uygulanan deneysel çalışma, 2 ana başlık halinde toparlanmıştır. Bu başlıklar şu şekildedir.

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

2.1. Numunelerin Alınması ve Kolonlara Yüklenmesi

YLA'da 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. 1 nolu numune; liç işlemleri en erken biten bölgeden, 2 nolu numune; liç işlemi en geç biten bölgeden alınmıştır. YLA'da 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. Numune alma işlemleri 16.03.2022 tarihinde gerçekleştirilmiş ve numunelerin hazırlanarak kolonlara beslenmesi, 17.03.2022 tarihinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Numunelerin Alınması ve Kolonların Hazırlanması

2.1. Kolon Testlerinin Gerçekleştirilmesi

1, 2 ve 3 nolu numunelere ait kolon testleri, kolon yüzeylerine sürekli olarak 2,95 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.

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 beher ise saf su eklenmiştir (her bir kap içerisine 7000 mL olacak şekilde). Kolonlara verilecek yıkama suyu debileri, peristaltik pompa aracılığıyla 10 litre/(m².saat) = 2,95 mL/(0,01766 m².dk) olacak şekilde ayarlanarak 17.03.2022 tarihinde saat 12.30'da bütün kolonlarda yıkama işlemi başlatılmıştır (0,01766 m² testlerde kullanılan 15 cm çaplı kolonların atmosfere açıldıkları yüzey alanlarıdır).

1,2 ve 3 nolu 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. Kolon yıkama işlemi neticesinde kolon içerisinden tabana doğru süzülen suların toplanması ve kayıt altına alınması maksadı ile toplama suyu hortumu çıkışına toplama suyu beheri konulmuştur. Yıkama işlemi üzerinden 24 saat geçtikten sonra, kolon tabanlarında bulunan küresel vana kapatılarak kolon besleme suyu miktarı mezür içerisine alınan yıkama suyu ile yeniden 7000 mL'ye tamamlanarak günlük yıkama suyu sarfiyat miktarı kayıt altına alınmıştır. Ardından kolon tabanında ki toplama suyu beheri içerisinde biriken su miktarı, beher üzerinden okunarak kayıt altına alınmıştır. 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. Alınan numunenin, numune alınış tarihi üzerinden bir gün geçmeyecek şekilde Toplam CN analizleri gerçekleştirilerek spektroskopi de okunan değerler kayıt altına alınmıştır. 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 yere konulmuş ve ikinci gün yıkamaları başlatılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Kolon Testlerinin Gerçekleştirilmesi

Ayrıca, 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 maksadıyla 4 nolu kolon testi planlanmıştır. Bu plan doğrultusunda 4 nolu kolon yüzeyine de sürekli olarak 2,95 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 yıkaması 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 mL/dk. yıkama debisiyle 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 .s aat)	Yıkama Süresi (saat)	Toplam Yıkama Süresi (Dk)	Toplam Yıkama Süresi (Saat, Dk.)
2017	210,7	3,72	10	21,07	1264,2	21 saat 4 dk
2018	285,8	5,04		28,58	1714,8	28 Saat 35 dk
2019	301,3	5,32		30,13	1807,8	30 saat 8 dk
2020	277	4,89		27,7	1662	27 saat 42 dk
2021	248,5	4,38		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 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;

$$210,7 \text{ mm/m}^2.\text{yıl} = 210,7 \text{ kg/m}^2.\text{yıl} = 0,2107 \text{ ton/m}^2.\text{yıl} = \mathbf{210,7 \text{ litre/m}^2.\text{yıl}} \text{ olur.}$$

- 2.)

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ m}^2/\text{ye} & 210,7 \text{ litre/yıl yağış düşerse} \\ 0,0176625 \text{ m}^2/\text{ye} & x \text{ litre/yıl yağış suyu düşer. O halde;} \end{array}$$

X= 3,72 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 ;

$$\begin{array}{ll} 4,24 \text{ L yıkama suyu} & 1 \text{ günde oluşuyor ise} \\ 3,72 \text{ L yıkama suyu} & X \text{ günde oluşur.} \end{array}$$

O halde;

$$X = 3,72 / 4,24 = \mathbf{0,878 \text{ gün}}$$

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

Not 1: 10 litre/(m².saat) (yaklaşık 2,95 mL/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 yıkamalar sağlanmıştır.

3. 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 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. 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
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 mL = 75,12 litre yeraltı suyu beslenmiştir.
- 1 nolu kolon tabanında 71.050 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 mL/dk. olarak hesaplanmıştır.

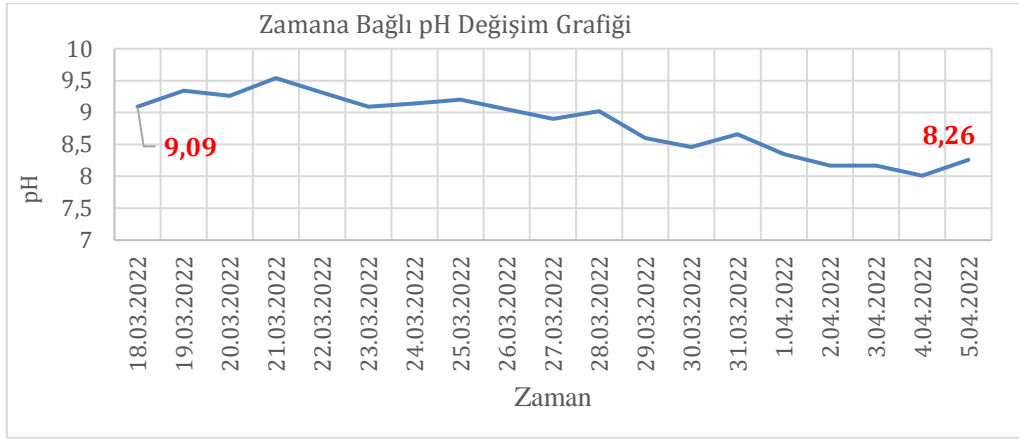
Testin başlangıcından bitişine kadar kolon tabanlarında toplanan yıkama sularından alınan numunelere ait pH ve Toplam CN analiz sonuçları Tablo 3 'de sunulmuştur.

Tablo 3. 1 Nolu Kolon Toplama Sularına Ait pH ve Toplam CN Analiz Sonuçları

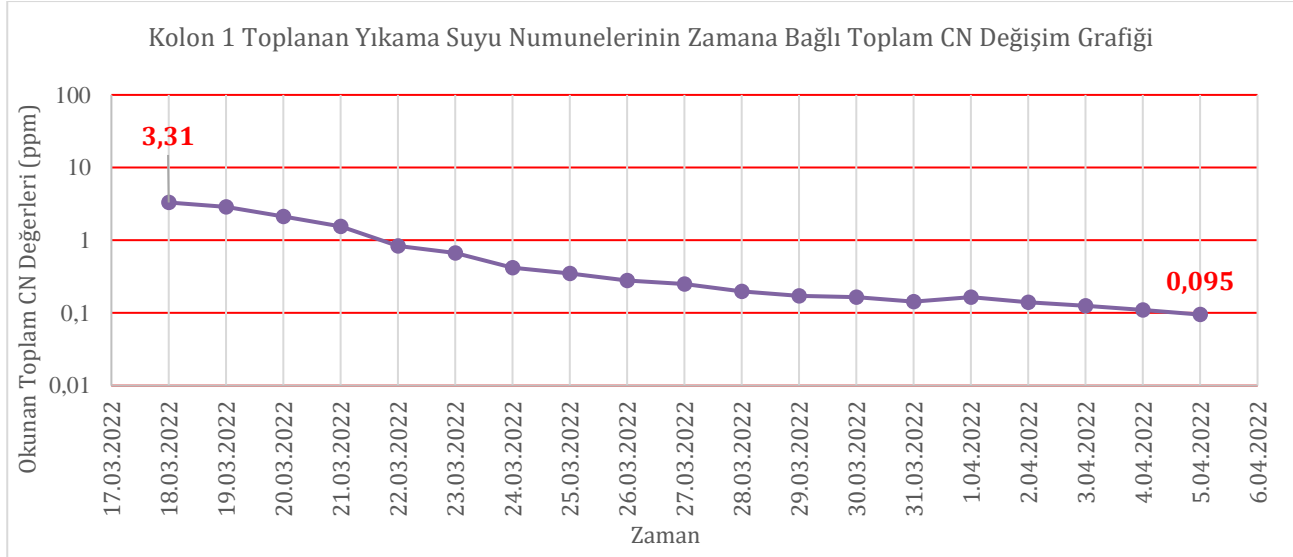
Gün	Tarih	Numune Adı	pH	Toplam Siyanür (TCN - ppm)
1	18.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	9,09	3,31
2	19.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	9,34	2,87
3	20.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	9,26	2,13
4	21.03.2022	Kolon 1 Toplanan Yıkama Suyu	9,54	1,55

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 4 ve Şekil 5 'de sunulmuştur.



Şekil 4. 1 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı pH Değişim Grafiği



Şekil 5. 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 4'de sunulmuştur.

Tablo 4. 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
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
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.

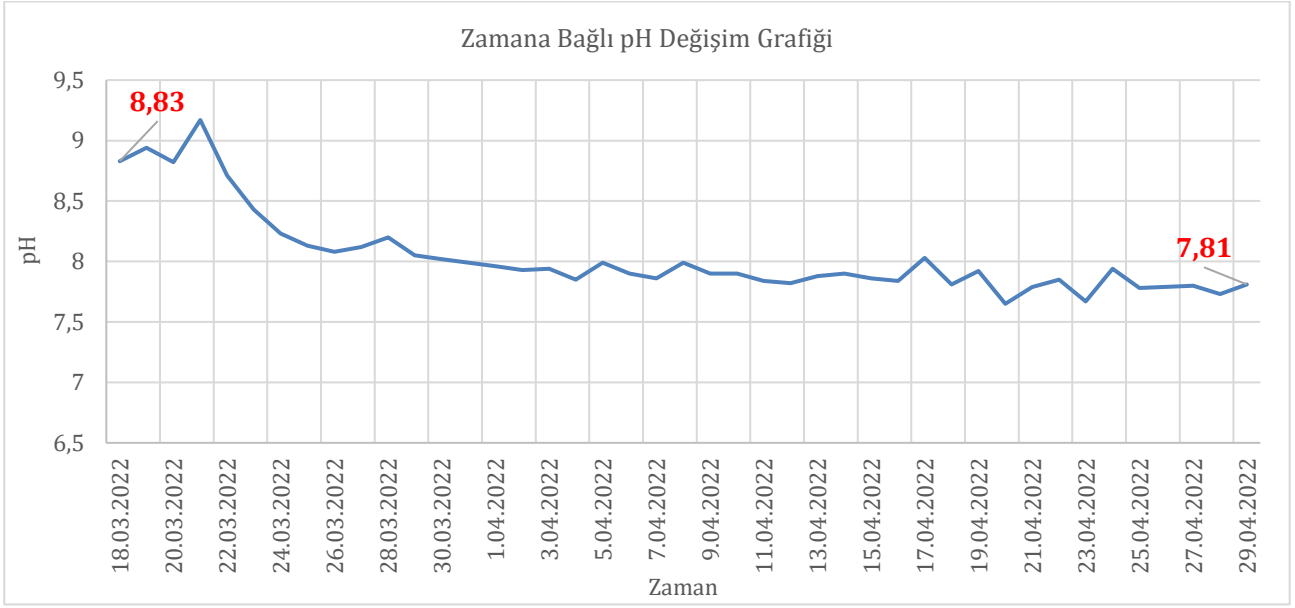
- 2 nolu kolona toplam 178.870 mL = 178,87 litre yeraltı suyu beslenmiştir.
- 2 nolu kolon tabanında 173.720 mL = 173,72 litre yıkama suyu toplanmıştır.
- 2 nolu kolona beslenen cevher atığı bünyesinde 178,87 - 173,72 = 5,15 litre yıkama suyu nem olarak kalmıştır.
- Yıkama süresi boyunca gerçekleşen 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 5 'de sunulmuştur.

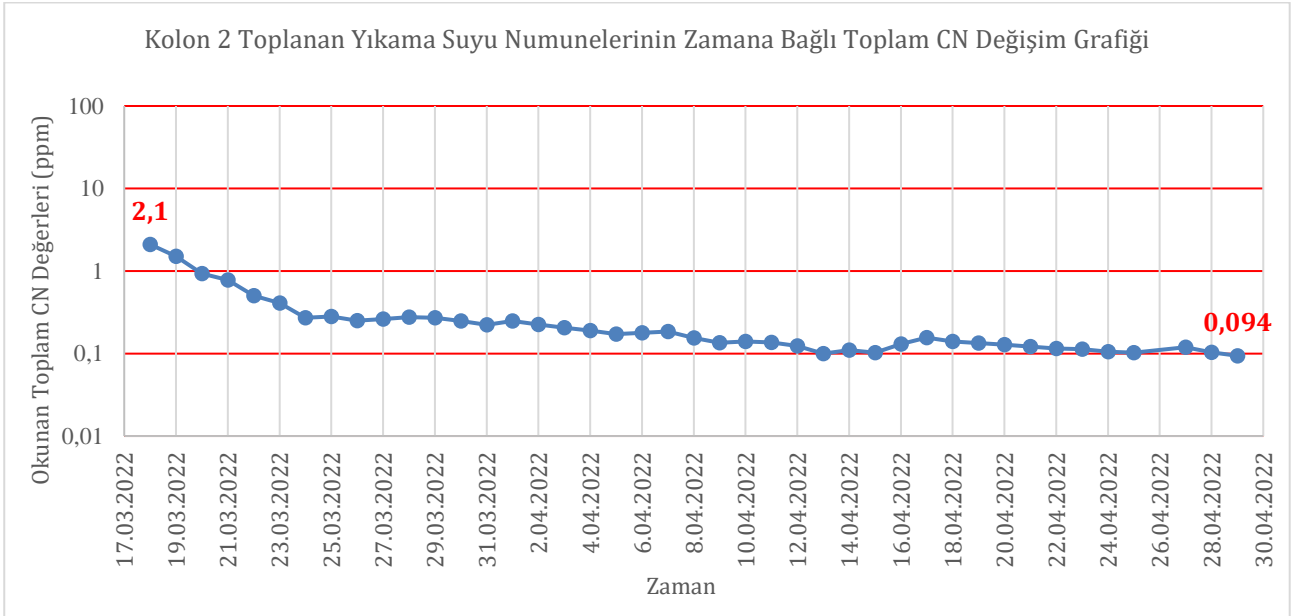
Tablo 5. 2 Nolu Kolon Toplama Sularına Ait pH ve Toplam CN Analiz Sonuçları

Sayı No	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
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

Zamana bağlı pH ve Toplam CN değişim grafikleri, Şekil 6 ve Şekil 7 'de sunulmuştur.



Şekil 6. 2 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı pH Değişim Grafiği



Şekil 7. 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 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. 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
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
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.

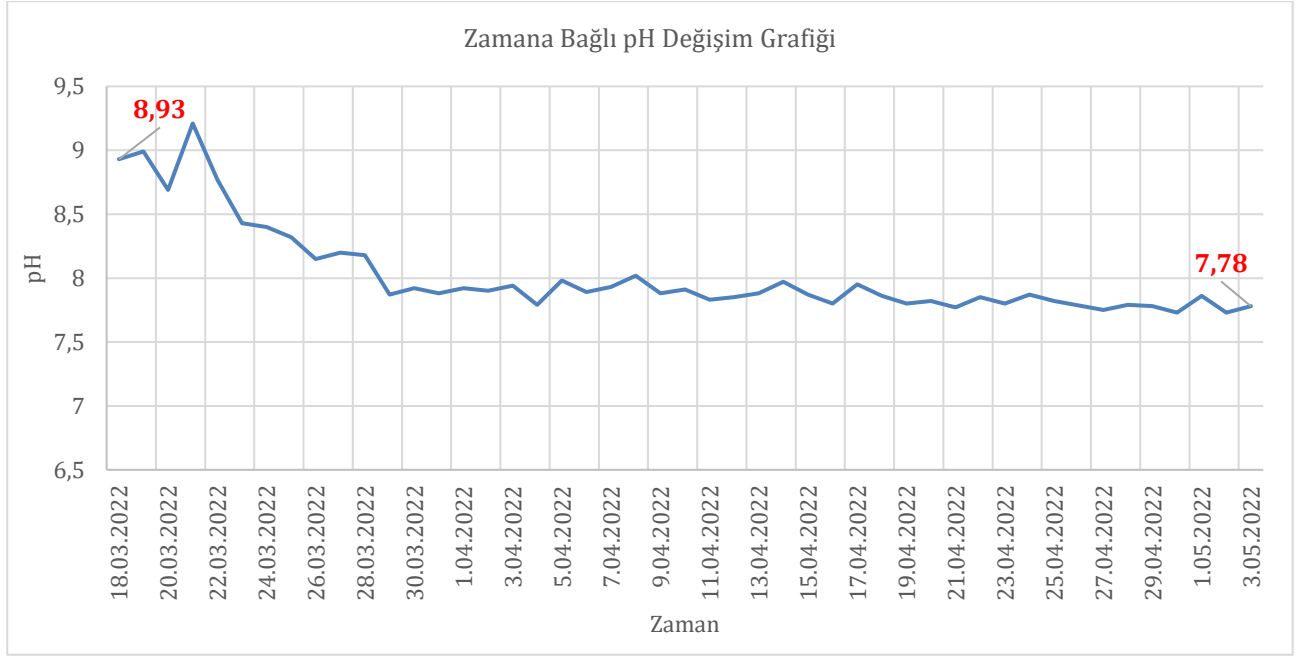
- 3 nolu kolona toplam 185.410 mL = 185,41 litre yeraltı suyu beslenmiştir.
- 3 nolu kolon tabanında 180.100 mL = 180,10 litre yıkama suyu toplanmıştır.
- 3 nolu kolona beslenen cevher atığı bünyesinde 185,41 – 180,10 = 5,31 litre yıkama suyu nem olarak kalmıştır.
- Yıkama süresi boyunca gerçekleşen 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 7 'de sunulmuştur.

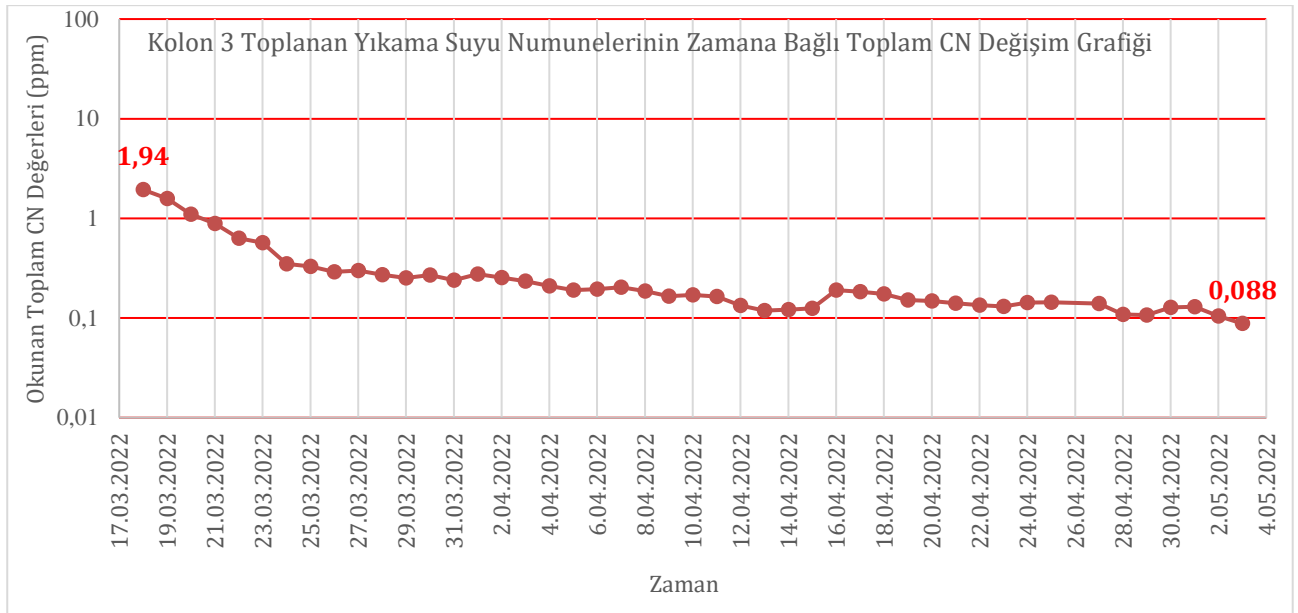
Tablo 7. 3 Nolu Kolon Toplama Sularına Ait pH ve Toplam CN Analiz Sonuçları

Sayı No	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
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 8 ve Şekil 9 'da sunulmuştur.



Şekil 8. 3 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı pH Değişim Grafiği



Şekil 9. 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, 2,1. başlığı altında verilen detaylara uygun olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Yıkama işlemi 27.03.2022 tarihinde saat 00:50 'de tamamlanmıştır. Yıkama işlemi 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 8'de sunulmuştur.

Tablo 8. 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.

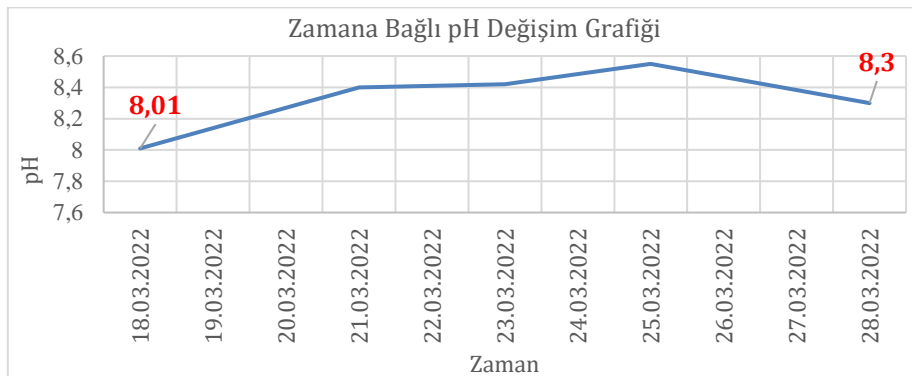
- 4 nolu kolona toplam 23.400 mL = 23,4 litre yeraltı suyu beslenmiştir.
- 1 nolu kolon tabanında 20.650 mL = 20,65 litre yıkama suyu toplanmıştır.
- 1 nolu kolona beslenen cevher atığı bünyesinde 23,4-20,65 = 2,75 litre yıkama suyu nem olarak kalmıştır.
- Yıkama süresi boyunca gerçekleşen yıkama debileri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

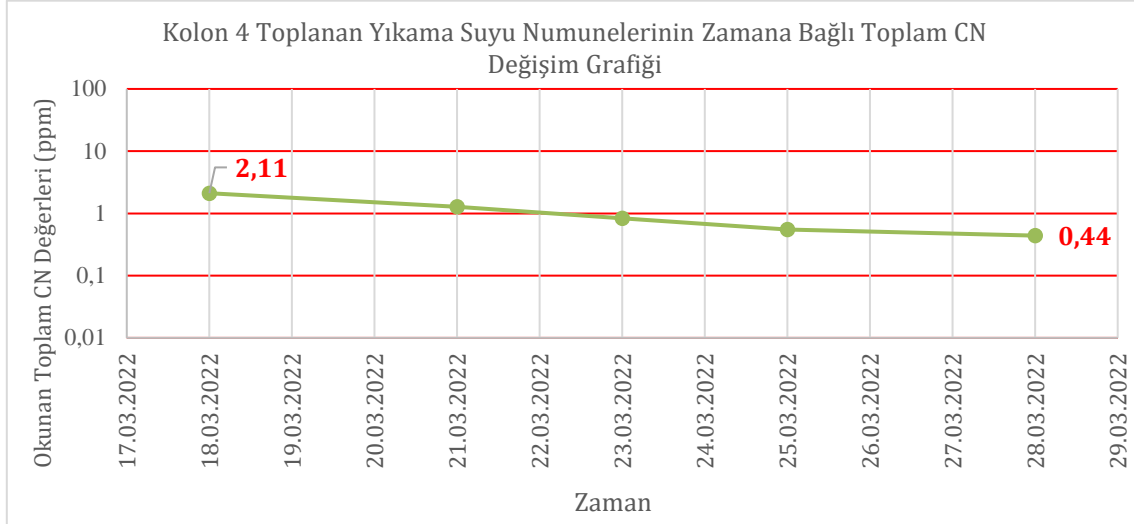
Testin başlangıcından bitişine kadar kolon tabanlarında toplanan yıkama sularından alınan numunelere ait pH ve Toplam CN analiz sonuçları Tablo 9 'da sunulmuştur.

Tablo 9. 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 10 ve Şekil 11 'de sunulmuştur.



Şekil 10. 4 Nolu Kolon Toplama Suyu Zamana Bağlı pH Değişim Grafiği**Şekil 11.** 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 düşüşe 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 ölçülmüştür.

4. Tartışma ve Sonuç

4.1. Tartışma

Hatırlanacağı üzere, numune alma noktalarından birincisi, siyanür liç işlemleri en erken biten ve meteorolojik şartlar nedeniyle en az Toplam CN değeri beklenen bölge olarak seçilmiş ve 1 nolu numune bu bölgeden alınmıştır. Numune alma noktalarından ikincisi ise, siyanür liç işlemleri en geç biten bölge olan ve en yüksek Toplam CN değeri beklenen bölge olarak seçilmiş ve 2 nolu numune bu bölgeden alınmıştır. 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 başlatılmıştır.

Deneysel 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 yağın 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.

4.1. Sonuç

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 ulaşıncaya 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, YLA’da 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, YLA’da 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 sırası ile 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 10’da gösterilmiştir.

Tablo 10. 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 yıkılarak 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 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] Logsdon, M. J., Hagelstein K., Mudder, T. I., 1999. Altın Üretiminde Siyanür Yönetimi., International Council on Metals and the Environment Canada, 44 s.
- [2] Akcil, A., 2002. Türk altın madenciliğinde siyanürleme işleminin ilk olarak uygulanması ve bunun çevreye etkileri., Minerals Engineering, 15: 695- 698.
- [3] 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.
- [4] 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
- [5] 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
- [6] Sayiner, B., 2012. Siyanür Liçinde Altının Aktif Karbona Adsorpsiyonunda Çeşitli Metallerin Etkisinin Araştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 101 s.
- [7] Kekeç, M., 2014. Altın Madeni İşletmeciliğinden Kaynaklanan Çevresel Etkilerin Değerlendirilmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş, 70s.
- [8] 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.
- [9] Koç, E., 2016. Siyanür Liçi Çözeltilerinden Metallerin Çöktürülmesi Ve Siyanürün Geri Kazanımı. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 103 s.
- [10] 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
- [11] 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.
- [12] 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.
- [12] Koçan, F., 2021. Siyanür ile cevherden altın üretiminin çevresel etkileri. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 13 (1): 250-264