



# Kömür Üretim Tesisi Atıksularının İleri Arıtım Prosesleri ile Arıtılarak Tekrar Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Hatice Demirel<sup>1\*</sup>, Gökhan Ekrem Üstün<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3713-1886), [502004007@ogr.uludag.edu.tr](mailto:502004007@ogr.uludag.edu.tr)

<sup>2</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7126-6792), [gokhaneu@uludag.edu.tr](mailto:gokhaneu@uludag.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082896)

**ATIF/REFERENCE:** Demirel, H. & Üstün, G. E. (2022). Kömür Üretim Tesisi Atıksularının İleri Arıtım Prosesleri ile Arıtılarak Tekrar Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 463-468.

## Öz

Yeraltı madenciliği ile kömür üretimi gerçekleştirilen tesislerde üretim sırasında atıksu oluşumu kaçınılmazdır. Oluşan atıksuyun deşarj edilmesinden veya proses suyu olarak kullanılmasından önce uygun arıtma yöntemleri ile arıtılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında yeraltı madenciliği ile kömür üretimi gerçekleştiren bir tesiste oluşan atıksuların fiziko-kimyasal ve membran prosesler ile arıtılarak kömür zenginleştirme tesisinde tekrar kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu kapsamda atıksudan alınan numunelerde bulanıklık, ph, KOI ve AKM parametreleri incelenmiştir. Tesisin bulanıklık gideriminde toplam verimi %99,97, KOI giderim verimi %95,16, AKM giderim verimi ise %99,72 olarak hesaplanmıştır. İnceleme sonuçları arıtılan atıksuyun kömür zenginleştirme tesisinde tekrar kullanılabileceğini bununla birlikte çevresel ve ekonomik kazançlar sağlanabileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kömür, Yeraltı madenciliği, Kömür zenginleştirme, İleri atıksu arıtımı, Tekrar kullanım.

## Investigation of Reusability of Coal Production Facility Wastewater by Treating with Advanced Treatment Processes

### Abstract

Wastewater formation is inevitable during production in facilities where coal production is carried out with underground mining. Before the wastewater is discharged or used as process water, it must be treated with suitable treatment methods. In this study, the reusability of wastewater generated in a facility that produces coal by underground mining was investigated for the coal beneficiation facility by treating with physico-chemical and membrane processes. In this context, turbidity, pH, COD and SS parameters were investigated in the samples taken from wastewater. The total efficiency of the plant in turbidity removal was determined as 99.97%, the COD removal efficiency as 95.16%, and the AKM removal efficiency as 99.72%. The results of the examination showed that the treated wastewater can be reused in the coal beneficiation facility, besides, environmental and economic gains can be achieved.

**Keywords:** Coal, Underground mining, Coal beneficiation, Advanced wastewater treatment, Reuse.

\* Sorumlu Yazar: [502004007@ogr.uludag.edu.tr](mailto:502004007@ogr.uludag.edu.tr)

## 1. Giriş

Dünyada elektrik üretimi çoğu ülkede büyük ölçüde fosil yakıtlara bağlı olmakla birlikte [1] geçmişten günümüze dünyada fosil yakıtlar içinde en çok bulunan enerji kaynağı kömür olmuştur [2]. Gelişmekte olan bazı ülkelerde kömür rezervlerinin de fazlalığı nedeniyle birincil enerji üretiminin 60%tan fazlası kömürden karşılanmaktadır [3]. Öyle ki elektrik üretiminde en çok kullanılan fosil yakıtların başında gelen kömürden 2021 yılının ilk yarısında elektrik üretimi bir önceki yılın ilk yarısına oranla %15 artmıştır [4].

Dünyada 2020 yılı sonu itibarıyla işletilebilir kömür rezervi 1.074.108 milyon tondur. Bu rezervin 11.525 milyon tonluk kısmı Türkiye’de bulunmaktadır [5]. Türkiye’de 2020 yılında üretilen enerjinin ise yaklaşık %34,8’i kömür kaynaklıdır [6]. 11.525 milyon ton rezervi yeraltında bulunan Türkiye’de kömür açık ocak veya yeraltı madenciliği ile açığa çıkartılabilmektedir.

Kömür madenciliğine kömür yıkama/hazırlama olarak da isimlendirilen zenginleştirme tesisleri eşlik etmektedir [7]. Yan kayaçların karışması ile birlikte ocaktan saf halde alınamayan kömürün ısı değerinin artırılmasına, kül, kükürt ve nem oranının ise düşürülmesine ihtiyaç duyulmaktadır [8]. Aynı zamanda ocaktan üretildiği hali ile ekonomik olmayan kömürün daha da ekonomik duruma getirilmesi amaçlanmaktadır. Zenginleştirme işlemi için kömürün türüne ve özelliklerine göre kuru veya sulu yöntemler uygulanabilmektedir [9]. Sulu kömür zenginleştirme yöntemleri kuru yöntemlere göre daha fazla kullanılan yöntemlerdir. Ağır ortam ayırma, siklon, köpikle yüzdürme ve spiral ayırma sulu zenginleştirme yöntemleri olup bu yöntemlerin tercihinde kömürün partikül boyutu ve gereken ürün kalitesi göz önünde bulundurulmaktadır [10]. Türkiye’de zenginleştirme tesislerinde ağır ortam ayırma yöntemi kullanılmaktadır [11].

Zenginleştirme işlemi için kullanılan yöntemler öncelikli olarak kömür ve kül arasındaki fiziksel farklılıklara dayanmaktadır. Organik ve inorganik bileşenlerden oluşan kömürde bu iki tür arasında bulunan yoğunluk farkı sayesinde yoğunluk ayırımı kullanılmaktadır. Organik bileşenlerin yoğunluğu genellikle  $<1,4 \text{ g/cm}^3$  olup kömürün kil miktarı arttıkça yoğunluk artmaktadır. İnorganik bileşenlerden yoğunluğu  $2,65 \text{ g/cm}^3$  olan kuvarsın varlığı ile parçacık yoğunluğu  $1,6-1,8 \text{ g/cm}^3$  aralığına kadar yükselmektedir [12].

Tüvenan kömürün su içeriği %1 ile %20 arasında değişkenlik göstermektedir. Zenginleştirme işlemi sonrasında %12 su içeriğine sahip temiz kömür oluşurken %9 su içeriğine sahip karışık kömür, %24 su içerikli şlam ve %4 su içerikli atık malzemeler oluşmaktadır. Dolayısıyla tesisteki su dengesini korumak için prosese devamlı olarak su ilave edilmesi gerekmektedir [13]. İlave edilerek yıkama işlemlerinde kullanılacak suyun kalite parametrelerine ilişkin belirlenmiş kriterler bulunmamaktadır.

Kömür madenciliği ile su kaynakları birbirini etkileyecek derecede yakından ilişkilidir [14]. Yeraltı madenciliğinde kömür kesme işlemi esnasında çalışma yüzeyinden kaynaklı ince toz kömürler yeraltı suyuna karışarak suyun özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır [15]. Üretimle birlikte, deşarj edilmeden veya başka amaçlar için kullanılmadan önce arıtılması gereken yüksek miktarlarda atıksu oluşmaktadır [16], [17]. Atıksuların fiziko-kimyasal özellikleri maden sahasında bulunan kömürün bileşimine ve kökenine bağlı olup genellikle

tuzlu olmakla beraber yüksek konsantrasyonlarda askıda katı madde ve değişken konsantrasyonlarda alüminyum, demir ve çözülmüş organik maddeleri içermektedir [15], [17], [18]. Farklı mineraller ile negatif ve pozitif yüklü iyonların varlığı nedeniyle atıksu, hafif asidik veya alkali olabilmektedir [15]. Bu bileşenlerin alıcı ortam için risklerinin en aza indirilmesi ve atıksuyun başka amaçlar için geri kazanılması önem arz etmektedir [16].

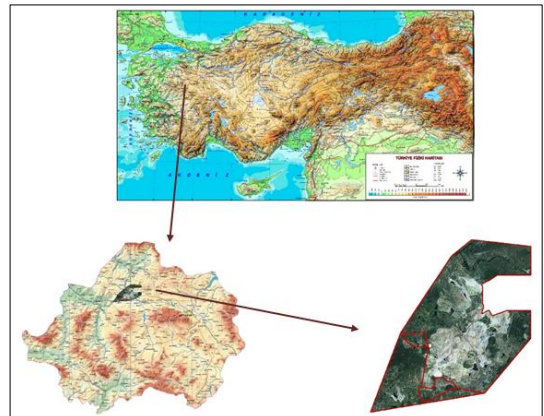
Kömür madenciliği ile ilgili faaliyetler sonucu oluşan atıksular genellikle doğrudan alıcı ortamlara (yüzey suları, arazi yüzeyleri vb.) deşarj edilmektedir [19]. Atıksuyun doğrudan alıcı ortama deşarj edilmesi önemli çevre sorunlarına, erozyona, yerel su kaynaklarının kirlenmesine yol açmakta ve insan sağlığını tehdit etmektedir [18], [19]. Önemli bir içme suyu kaynağı ve tarım alanları için sulama kaynağı olan yeraltı sularını kirlitebilmektedir [20]. Bu nedenle herhangi bir çevresel felaketi önlemek amacıyla uygun arıtma yöntemleri belirlenmeli ve uygulanmalıdır. Uygulanacak yöntemler atıksu bileşimindeki kirleticilerin büyük oranda giderilmesine ve ekonomik kazanç sağlanmasına yardımcı olabilecektir [19]. Kömür madenciliği atıksularının arıtımı için benimsenen en yaygın yöntem koagülasyon/flokülasyon prosesi olmakla beraber membran prosesler de arıtma uygulamalarında kullanılmaktadır [18].

Kömür madenciliği atıksuları uygun arıtma yöntemleri ile arıtıldıktan sonra deşarj edilebilmekte ayrıca kullanma suyu olarak değerlendirilebileceği gibi kömür zenginleştirme tesisinde proste tekrar kullanılabilir. Bu uygulamalardan farklı olarak maden sahasındaki yeşil alanlar için sulama suyu olarak da kullanılabilir [19]. Bu çalışmada kömür madenciliği sırasında oluşan atıksuların fiziko-kimyasal ve membran prosesler uygulanarak arıtılabilirliği araştırılmıştır. Arıtılan atıksuyun kömür zenginleştirme tesisinde proses suyu olarak tekrar kullanılmasıyla elde edilebilecek ekonomik kazançlar değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Maden Sahası

Çalışma kapsamında arıtılacak atıksu yeraltı madenciliği ile kömür üretimi gerçekleştiren Türkiye Kütahya’da bulunan Türkiye Kömür İşletmeleri Grup Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü’nden alınmıştır. Susurluk Havzasında bulunan ilde farklı akarsulara bir günde toplam yaklaşık  $28.338 \text{ m}^3$  endüstriyel nitelikli atıksu deşarjı yapılmaktadır [21]. Kömür üretimi gerçekleştiren tesiste üretim faaliyetleri sırasında yaklaşık  $1.000 \text{ m}^3/\text{gün}$  atıksu oluşmaktadır.



Şekil 1: Çalışma Sahası

## 2.2. Yeraltı Kömür Üretimi ve Ham Atıksu Verileri

Yeraltı madenciliği küresel ölçekte açık ocak madenciliğine göre daha fazla tercih edilmektedir [22]. Yeraltı madenciliğinde kömürün çıkartılması için oda-topuk ve uzun ayak olmak üzere iki yöntem bulunmaktadır [23]. Uzun ayak yöntemi kömürün bulunduğu maden sahasında kendinden ilerleyen hidrolik çatı desteği üzerinde kömürün dikdörtgen panellere ayrıldığı ve kesiciler yardımıyla tek bir dilimde çıkartıldığı yöntemdir [23], [24]. Bu yöntem hidrolik çatı destekleri, kömür kesiciler ve taşıyıcı bantlardan oluşan entegre bir sistemdir [23]. Çalışma esnasında tavan birimlerini hidrolik destekler tutar ve her bir kömür dilimi çıkartıldıktan sonra destekler ve madencilik ekipmanları yeni açığa çıkan çatıyı desteklemek üzere bir sonraki dilime ilerler ve desteğin arkasındaki çatının çökmesine izin verilir [24], [25]. Taşıyıcı bant zemine, kesici tarafından kesilen kömürün bant üzerine düşebileceği ve istenen yere taşınabileceği şekilde yerleştirilir [23].

Uzun ayak yöntemi ile yeraltı kömür üretimi gerçekleştiren tesiste 90 metre ve 110 metre ayak uzunluğuna sahip 2 adet pano bulunmaktadır. Resim 1. de A2 olarak isimlendirilen üretim panosu görülmektedir.



Resim 1. GLİ yeraltı üretim tesisi

Son 2 yıl içerisinde 2 panoda gerçekleştirilen toplam üretim miktarı ile toplam ilerleme Tablo 1.de gösterilmektedir.

Tablo 1. GLİ kömür üretim miktarı

	2020	2021
İlerleme (m)	87,70	78,27
Üretim Miktarı (ton)	146.296,05	197.721,15

Üretim sırasında oluşan atıksu miktarı sahada bulunan yeraltı su kaynağının varlığına ve üretim miktarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Üretilen atıksuyun içeriğinde sahanın jeolojisine bağlı olarak çeşitli mineraller ve yüksek konsantrasyonlarda askıda katı madde bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında ham atıksudan 3 farklı dönemde 2 saatlik kompozit numune alınmış ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına ait veriler Tablo 2.de belirtildiği gibidir.

## 2.3. Kömür Zenginleştirme Tesisi

Çalışma kapsamında incelenen tesiste ağır ortam ayırma yöntemi ile zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Yeraltından çıkarılan tüvenan kömür, zenginleştirme tesisinde işlenebilecek boyutlara getirilmek üzere döner kırıcı ile kırılarak tesise ait stok sahasına alınmaktadır. Stok sahasına dökülen ve 150 mm altına indirilen tüvenan kömür, zenginleştirme tesisine konveyör bantlar ile beslenmektedir. Farklı ebatlardaki kömürler (+18-150 mm ve +0,5-18 mm) yoğunluk farkına göre ağır ortam teknelerinde yüzdürme batırma işlemleri ile zenginleştirilmektedir. Yoğunluk ayırma işlemlerinde ince öğütülmüş suda dağılmış manyetit ( $Fe_3O_4$ ) orta süspansiyonu kullanılmaktadır.

Tablo 2. Hamsu analiz sonuçları

Numune	pH	Bulanıklık (NTU)	KOI (mg/L)	AKM (mg/L)
1	8,18	+1000	877	1024,0
2	7,90	741	98,3	253,2
3	8,05	+1000	418,0	438,0
Ortalama	8,04	+1000	464,4	571,7

## 2.4. Atıksu Arıtımı

Koagülasyon/flokülasyon prosesi atıksuda bulunan askıda katıların ve organik maddelerin uzaklaştırılmasında kullanılan etkili arıtma prosesisidir [18]. Çalışmanın yapıldığı tesiste yeraltı kömür üretimi ile ortalama 1.000 m<sup>3</sup>/gün atıksu üretmektedir. Oluşan atıksuların fiziko-kimyasal arıtma proseleri ve membran proseler ile arıtılabilirliği incelenmiştir. Flokülasyon/koagülasyon prosesinde flokülant olarak alüminyum sülfat [ $Al_2(SO_4)_3$ ] koagülant olarak anyonik polielektrolit kullanılmıştır. Membran proses uygulaması da ultrafiltrasyon ve ters ozmos üniteleri ile gerçekleştirilmiştir.

Hamsu öncelikli olarak kendiliğinden çökelebilen katıların yerçekimi etkisiyle çöktürülerek uzaklaştırılması amacıyla lamella ünitesinden geçirilmiştir. Debi ve yük bakımından dengeleme sağlamak amacıyla dengeleme havuzuna alınan atıksu bu üniteden hızlı karıştırma ünitesine aktarılmıştır. Bu üniteye pH 7-8 aralığında olacak şekilde 40 mg/L koagülant dozlaması gerçekleştirilmiştir. Tam karışım sağlanacak şekilde bir mikser yardımıyla sürekli olarak karıştırılmış ve 4 dakika bekleme süresi sağlanmıştır. Hızlı karıştırma ünitesinde şartlandırılan atıksuyun içerisinde bulunan partiküllerin büyütülmesi amacıyla yavaş karıştırma ünitesine aktarılmış ve burada 2 mg/L anyonik polielektrolit ilavesi yapılmıştır. Yavaş karıştırma ünitesinde bulunan paletli karıştırıcılar ile karışım sağlanarak atıksuyun içerisinde çözünmüş veya kolloidal formda

bulunan kirleticilerin önemli bir kısmı daha büyük partiküllere dönüştürülmüştür. 30 dakikalık hidrolik bekleme süresinin sonunda atıksu, içerisinde bulunan partiküllerden ayrılması

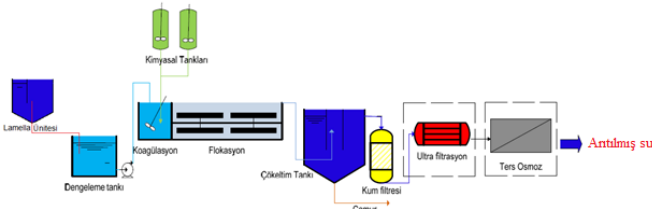
amacıyla çöktürme havuzlarına alınmıştır. Çöktürme ünitesinin çıkış suyu parametreleri ve ortalama değerleri Tablo 3.te gösterilmiştir.

Tablo 3. Çöktürme havuzu analiz sonuçları

Numune	pH	Bulanıklık (NTU)	KOI (mg/L)	AKM (mg/L)
1	7,97	8,43	42,2	43
2	7,91	14,6	40,7	48
3	7,98	10,8	39,8	41
Ortalama	7,95	11,28	40,9	44

Çöktürme ünitesinde partiküllerden arındırılan atıksu ünitede bulunan savak yapısından geçirilerek basınçlı multimedya kum filtrelerine aktarılmıştır. Multimedya kum filtresi içerisinde çok katmanlı çakıl, kum ve antrasit malzeme bulunan 5 adet filtre tabakasından oluşmaktadır. Atıksu bu üniteden Pentair X-Flow marka toplam 16 adet modülden oluşan ultrafiltrasyon ünitesine alınmıştır. Yaklaşık %89 toplam sistem verimine sahip UF ünitesi içten dışa akışlı olacak şekildedir. UF ünitesinde filtrasyon esnasında fark basınç maksimum 1,5 bar olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu ünitenin ardından ARC BİA-3680 marka RO ünitesine atıksular aktarılmıştır. Toplam 36 adet membran bulunan RO ünitesinde besleme suyu basıncı maksimum 5 bar seviyesinde tutulmuştur. Bu ünitenin su arıtma verimi ise %60'tır.

Atıksu arıtımına ilişkin iş akım şeması Şekil 2 de belirtildiği gibidir.



Şekil 2. Atıksu arıtımı iş akım şeması

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışma kapsamında yeraltı üretimi sonucu oluşan atıksudan ve arıtılmış ürün suyundan 2 saatlik kompozit numuneler alınmıştır. Numunelerde pH, bulanıklık, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI) ve askıda katı madde (AKM) değerlerinin analizleri gerçekleştirilmiştir. Ultrafiltrasyon ve ters ozmoz ünitelerine ait çıkış suyu analiz değerleri ile Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Tablo 7.2 Sektör: Maden Sanayii (Kömür Üretimi ve Nakli) deşarj standartları Tablo 4.te kıyaslanmış ve ürün suyu parametrelerinde deşarj standartlarının sağlandığı görülmüştür. Arıtılmış atıksu kömür zenginleştirme tesisinde kömürün yıkanması işlemlerinde kullanılabilir kriterdedir.

Ham suyun ortalama bulanıklık değerinin 1.000 NTU üzerinde olduğu ve çıkış suyu ortalama bulanıklık değerinin 0,26 NTU olduğu görülmüştür. Giriş suyunun ortalama KOI değeri 464,4 mg/L ve AKM değeri 571,7 mg/L; çıkış suyu değerleri sırasıyla 22,47 mg/L ve 1,6 mg/L görülmüştür. Bulanıklık gideriminde tesisin toplam verimi %99,97 olarak hesaplanmıştır. KOI giderim verimi %95,16, AKM giderim verimi ise %99,72 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. Analiz sonuçları ve deşarj standartları limit değerleri

Numune	UF				RO				SKKY Tablo 7.2		
	pH	Bulanıklık (NTU)	KOI (mg/L)	AKM (mg/L)	pH	Bulanıklık (NTU)	KOI (mg/L)	AKM (mg/L)	pH	KOI (mg/L)	AKM (mg/L)
1	7,93	0,90	28,5	33	7,49	0,28	25,3	2,0	6-9	200	150
2	7,94	1,19	32,5	28	7,33	0,24	20,9	1,3			
3	7,96	1,05	30,8	17	7,43	0,27	21,2	1,6			
Ortalama	7,94	1,05	30,6	26	7,42	0,26	22,47	1,6			

Atıksu arıtma tesisinin bugünkü yatırım maliyeti yaklaşık 950.000 €, yıllık işletme gideri ise 33.000 €'dur. Tesisin yıllık su üretimi ortalama 250.000 m<sup>3</sup>/yıldır.

Tesiste arıtılan ve deşarj kriterlerini sağlayan suyun deşarj edilmesi durumunda Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği kapsamında atıksu deşarjı konulu Geçici Faaliyet Belgesi ve

Çevre İzni alınması gerekmektedir. 5 yıllık periyotlarda yenilenmesi gereken bu belgelerin yıllık ortalama yaklaşık maliyeti 117 € olacaktır. Alınan izinler kapsamında yeterliliği bulunan laboratuvarlara ayda 2 kez olmak üzere analizler yaptırılması gerekecektir. Yıllık analiz bedeli yaklaşık olarak ortalama 950 € olacaktır. Ayrıca 2018/14 Sayılı Atıksu Arıtma/Derin Deniz Deşarjı Tesisi Proje Onayı Genelgesi kapsamında tesise Sürekli Atıksu İzleme Sistemi (SAİS)



kurulması gerecektir. Bu sistemin yatırım maliyeti ise yaklaşık 32.326 € olacaktır.

Bu çalışma ile yeraltı kömür madenciliği atıksularının fiziko-kimyasal ve membran prosesler kullanılarak arıtılabilirliği incelenmiş ve deşarj standartlarını sağlayan ürün suyu elde edildiği gözlenmiştir. Kömür madenciliği atıksularının hangi prosesler ile arıtılabileceği dünya genelinde değerlendirilmektedir. Chen B. ve arkadaşları [12] Batı Çin'de işletilen ve yüksek oranda AKM içeren bir kömür madeni atıksuyunun ön arıtma ve ters osmoz membranları ile arıtıldıktan sonra proseste kullanıldığını bildirmişlerdir. Mien T. [26] Vietnam'da bulunan ve yeraltı madenciliği ile kömür üretimi gerçekleştiren bir tesiste birincil arıtmanın ardından kullanılan kimyasal arıtma prosesleri ile atıksuyun arıtılabileceğini ve oluşan ürün suyunun deşarj edilebildiğini ve proseste tekrar kullanılabilirliğini göstermiştir. Yıldırım ve arkadaşları ise [17] Türkiye Zonguldak'ta taşkömürü üretimi yapılan yeraltı madenciliği kaynaklı atıksuların nanofiltrasyon ve ters osmoz membranları ile arıtılabilirliğini laboratuvar ölçekte incelemişlerdir. Çalışma sonucunda düşük enerji ve kimyasal tüketimi ile yüksek kaliteli su üretilebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Maden sahasının jeolojik özelliklerine bağlı olarak da değişen parametrelerde oluşan atıksular içerdikleri bileşiklere göre farklı prosesler ile arıtılabilmektedir. Bu çalışma ile de fiziko-kimyasal ve membran proseslerin birlikte kullanılarak elde edilen ürün suyunun kömür zenginleştirme tesisinde proses suyu olarak yeniden değerlendirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

#### 4. Sonuç

Kömür madenciliği atıksularının yüksek konsantrasyonlarda askıda katı madde ve organik, inorganik bileşikleri içermesi nedeniyle arıtılmaksızın deşarj edilmesi alıcı ortamlar için önemli çevresel riskler doğurmaktadır. Bu nedenle bu atıksuların muhakkak arıtılması gerekmektedir.

Çalışma kapsamında incelenen ve bugünkü yatırım maliyeti 950.000 € olan tesisin yıllık işletme gideri 33.000 €'dur. Tesisin yıllık su üretimi ortalama 250.000 m<sup>3</sup>/yıldır. Böylece ünitelerin çıkışından istenilen karakterde elde edilen suyun üretimi için işletme maliyetinin 0,132 €/ m<sup>3</sup> olduğu görülmektedir.

Arıtılan atıksuyun proseste tekrar kullanılmasıyla şebeken alınan su aylık ortalama 25.000 m<sup>3</sup> azalacaktır. Böylece ilgili belediyeye ödenen su bedelinden yılda ortalama 16.163 € tasarruf sağlanacaktır. Suyun sistemde tekrar kullanılmasıyla birlikte yıllık ortalama Mevzuat kapsamında alınması gereken ve yıllık yaklaşık 117 € olan izin belgelerinin, 950 € analiz bedellerinden ve 32.326 € SAİS yatırım bedelinden tasarruf sağlanmış olacaktır.

#### Kaynakça

[1] Singh H., Kumar S., Mohapatra S. K., Prasad S. B., Singh J. (2021). Slurryability and flowability of coal water slurry: effect of particle size distribution. *Journal of Cleaner Production*, 323.

[2] Bian Z., Inyang H., Daniels J. L., Otto F., Struthers S. (2010). Environmental issues from coal mining and their solutions. *Mining Science and Technology*, 20(2), 215–223.

[3] Li C., Wang X., Yang T., Deng W. (2021). Enhancement of fluidity and slurry-phase hydrogenation reactivity of coal-oil slurry by preheating treatment. *Fuel*, 290.

[4] Greenfield C., Alvarez C. F. (2021). International Energy Agency (IEA). *Coal-Fired Power*.

[5] British Petroleum. (2021). *Statistical review of world energy*.

[6] TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası (EMO). (2021). Türkiye elektrik istatistikleri.

[7] Xie P., Liu J., Fu B., Newmaster T., Hower J. C. (2022). Resources from coal beneficiation waste: chemistry and petrology of the Ayrshire coal tailings ponds, Chandler, Indiana. *Fuel*, 313.

[8] Çiftçi H., Işık S. (2016). İnce boyutlu lavvar tesisi atıklarının anyonik flokülantlar ile susuzlandırılmasında çeşitli parametrelerin etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri*, 16, 391-398. doi: 10.5578/fmbd.28089.

[9] Arslan V., Kemal M. (2004). *Kömür hazırlama ve Türkiye'deki uygulamalar*. Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı.

[10] Letcher T. M. (2020). *Future Energy*. South Africa, University of Kwazulu.

[11] Özgen S., Arsoy Z., Ersoy B., Çiftçi H. (2019). Coal recovery from coal washing plant tailings with Knelson concentrator. *International journal of coal preparation and utilization* 1-11.

[12] Robl T., Oberlink A., Jones R. (2017). *Coal combustion products (CCP's) characteristics, utilization and beneficiation*.

[13] Chen B., Yang S., Cao Q., Qian Y. (2020). Life cycle economic assessment of coal chemical wastewater treatment facing the 'Zero liquid discharge' industrial water policies in China: Discharge or reuse? *Energy Policy*, 137.

[14] Gu A., Sun L. (2017). Actual influence cost estimation of water resources in coal mining and utilization in China. *Energy Procedia*, 142, 2454-2460.

[15] Zhang X., Dong Y., Zhao J., Gong B., Lin J. (2021). Combined treatments of underground coal slurry: laboratory testing and field application. *Water*, 13.

[16] Sivakumar M., Ramezani pour M., O'Halloran G. (2013). Mine water treatment using a vacuum membrane distillation system. *APCBEE Procedia*, 5, 157-162.

[17] Topaloğlu A. K., İnce M., Kajama M. N. (2019). The use of nf and ro membrane system for reclamation and recycling of wastewaters generated from a hard coal mining. *Nigerian Journal of Technology*, 38(4). doi: 10.4314/njt.v38i4.30.

[18] Galloux J., Chekli L., Phuntsho S., Tijing L. D., Jeong S., Zhao Y. X., Gao B. Y., Park S. H., Shon H. K. (2015). Coagulation performance and floc characteristics of polytitanium tetrachloride and titanium tetrachloride compared with ferric chloride for coal mining wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 152(25), 94-100.

[19] Song H., Xu J., Fang J., Cao Z., Yang L., Li T. (2020). Potential for mine water disposal in coal seam goaf: investigation of storage coefficients in the shendong mining area. *Journal of Cleaner Production*, 244.

[20] Jilang C., Zhao D., Chen X., Zheng L., Li C., Ren M. (2022). Distribution, source and ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in groundwater in a coal mining area, China. *Ecological Indicators*, 136.

[21] T.C. Kütahya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü (CSB). (2020). Kütahya ili 2019 yılı çevre durum raporu.

- [22] Mason T. J., Krogh M., Popovic G. C., Glamore W., Keith D. A. (2021). Persistent effects of underground longwall coal mining on freshwater wetland hydrology. *Science of the Total Environment*, 772.
- [23] Ghosh G. K., Sivakumar C. (2018). Application of underground microseismic monitoring for ground failure and secure longwall coal mining operation: A case study in an Indian mine. *Journal of Applied Geophysics*, 150, 21-39.
- [24] Sayıt A. P., Yazıcıgil H. (2018). Uzun ayak kömür madenciliğinin yeraltısuyu akım sistemine etkileri. 71. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*.
- [25] Arya S., Spttile J., Novak T. (2018). Development of a flooded-bed scrubber for removing coal dust at a longwall mining section. *Safety Science* 110, 204.213.
- [26] Mien T. (2012). Mine waste water management and treatment in coal mines in Vietnam. *Geosystem Engineering*, 15(1), 66-70. doi: 10.1080/12269328.2012.674430.