

Sızıntı suyu membran konsantre akımının yönetiminde en uygun metodun analitik hiyerarşi prosesi ile belirlenmesi

Determination of optimal method for management of leachate membrane concentrate by analytical hierarchy process

Nevim GENÇ^{1*}, Elif DURNA²

^{1,2}Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.
ngenc@kocaeli.edu.tr, elif.durna@kocaeli.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 25.01.2019
Kabul Tarihi/Accepted: 27.06.2019

Düzeltilme Tarihi/Revision: 25.05.2019

doi: 10.5505/pajes.2019.42800
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada membran biyoreaktör (MBR) sonrası membran prosesler (ultrafiltrasyon+nanofiltrasyon) ile arıtımı sağlanan sızıntı suyunun membran konsantre akımının yönetiminde, çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan en uygun yöntemin Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Evaporasyon, dolgu sahasına resirkülasyon, yakma, katılaştırma ve ileri arıtım alternatif bertaraf metodları arasında en uygun yöntemin belirlenmesinde kriter olarak, konsantre sızıntı suyu hacmi, suyun kompozisyonu, arıtım maliyeti, halkın onayı ve uygulanacak yöntemin esnekliği kriterleri seçilmiştir. AHP, Expert Choice 11 programı kullanılarak çözümlenmiştir. Analiz sonucunda alternatif yöntemlerin tercih sıralaması; Dolgu sahasına resirkülasyon (%31.8)>katılaştırma (%23.8)>ileri arıtım (%21.5)>yakma (%16.3)>evaporasyon (%6.6) şeklinde bulunmuştur. Bu sıralamanın oluşturulmasında her bir kriterin ağırlığının sıralaması ise; arıtım maliyeti (%49.2)>konsantre suyun içeriği (% 27.0)>konsantre suyun hacmi (%13.5)>arıtım yönteminin esnekliği (%6.5) >kamuoyu onayı (%3.7) şeklinde sıralanmıştır.

Anahtar kelimeler: Analitik hiyerarşi prosesi, Bertaraf metodları, Konsantre yönetimi, Sızıntı suyu membran konsantresi.

Abstract

In this study, it was aimed to determine the most suitable method in terms of environmental, economic and social aspects by using Analytical Hierarchy Process (AHP) in the management of leachate concentrate which is formed after leachate treatment by membrane bioreactor (MBR) following membrane processes (ultrafiltration+nanofiltration). For determining the most appropriate disposal method among the alternative methods of evaporation, recirculation to landfill, combustion, solidification and advanced treatment, criterias determined as; the concentrated leachate volume, the composition of water, the cost of treatment, the public approval and the flexibility of the method. AHP was analyzed using Expert Choice 11 software. As a result of the analysis, the preferred ranking of alternative methods was found as recirculation (31.8%)> solidification (23.8%)> advanced treatment (21.5%)> incineration (16.3%)> evaporation (6.6%). The ranking of the weight of each criterion of this ranking is; cost of treatment (49.2%)> composition of concentrated water (27.0%)> volume of concentrated water (13.5%)> flexibility of treatment method (6.5%)> public approval (3.7%).

Keywords: Analytical hierarchy process, Concentrate management, Disposal methods, Leachate membrane concentrate.

1 Giriş

Düzenli depolama, birçok ülkede kentsel katı atıkların bertarafı için kullanılan en yaygın yöntemdir. Bu yöntemin en önemli dezavantajı ise sızıntı suyu oluşumdur [1],[2]. Depolama sahası sızıntı suyu, çözünmüş organik madde, inorganik tuzlar, ağır metaller, ksenobiyotik organik bileşikler, toksik/kanserojenik bileşikler içerebilen, biyota ve insanlar için potansiyel risk oluşturabilen karmaşık ve yüksek derecede kirlenmiş bir atık sudur. Bu atık su atık depolama alanında kontrol edilmezse, çevre üzerinde önemli bir etkiye neden olarak, toprağın, akiferlerin ve yüzey sularının kirlenmesine neden olur [2],[3]. Deponi alanlarındaki sızıntı suyunun hacmi ve kompozisyonu yıllık yağış, yüzeysel akış, sızma, buharlaşma, sıcaklık gibi yerel iklim şartlarına, atık bileşimi, atık yoğunluğu, başlangıçtaki nem içeriği, toprak dolgusunun derinliği ve deponi yaşı gibi birçok faktöre bağlı olarak değişiklik gösterir. Yağış, depolama alanlarındaki başlıca nem kaynağıdır. Sızıntı suyu, aşağı doğru yerçekimine maruz kalan bir atık örneğinde tutulabilecek toplam nem miktarı olarak tanımlanan kaçınılmaz bir oluşumdur ve çeşitli izolasyon yöntemlerine rağmen oluşabilir [3]-[5].

Günümüzde, atık su arıtım tekniklerinin ve işlemlerinin neredeyse tamamı sızıntı suyuna uygulanmıştır [5]. Sızıntı suyu arıtma işlemleri dört farklı tipte gruplandırılabilir: (1) sızıntı suyu geri devri, (2) kentsel atık sularıyla birleşik arıtma, (3) aerobik ve anaerobik biyolojik işlemler ve (4) sedimentasyon/yüzdürme, havada sıyırma, adsorpsiyon, kimyasal çökelme ve oksidasyon gibi kimyasal ve fiziksel yöntemler [6],[7]. Sızıntı suyunun hacim ve kompozisyonundaki değişim bu suyun klasik arıtım yöntemleri (aerobik ve anaerobik biyolojik arıtım, kimyasal çöktürme, ozon, hidrojen peroksit veya UV ile oksidasyon ve aktif karbon adsorpsiyonu gibi fizikokimyasal arıtım) ile etkili bir arıtımını engeller. Genel olarak, biyolojik ve fiziksel-kimyasal arıtmalar, düzenli depolama sahası sızıntı suyunun nihai çıkış suyu kalitesini sağlamada uygun arıtma çözümleri değildir [1]. Amonyak azotunun (NH₃-N) biyolojik nitrifikasyon veya hava sıyırma yoluyla giderilmesi ve membran biyoreaktörler (MBR), sızıntı suyu arıtma tesislerinde biyolojik arıtma işlemi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Son zamanlarda ise sızıntı suyu konusunda giderek daha katı düzenlemelere gidilmiştir. Daha önce belirtildiği gibi hacim ve kompozisyonundaki değişimlerden dolayı, konvansiyonel arıtım metodları ile deşarj standardını sağlamak oldukça güçtür. Bunun için etkili arıtım metodları kanıtlanmıştır. Membran ayırma prosesleri

bunlardan biridir [8]. Yasal sınırlamaları sağlamak için Nanofiltrasyon (NF) veya Ters Osmos (RO) ile entegre edilen MBR prosesleri yaygın olarak uygulanmaktadır [5]. Membran proseslerin kolay kullanım, ilave kimyasal madde içermemesi ve düşük enerji gereksinimi gibi birçok avantajı vardır. Ancak membran proseslerin sızıntı suyu arıtımındaki en büyük kısıtları yüksek konsantrasyonlarda refrakter organik bileşikler (hümkik maddeler, aromatik ve klorlu organikler), ağır metaller ve inorganik tuzlar yanı sıra USEPA (United States Environmental Protection Agency) öncelikli çevre kirletici maddeleri olarak tanımlanan toluen, etil benzen, dibütil ftalat ve klorobenzenin mevcudiyeti ile yüksek toksisiteye sahip sızıntı suyu konsantre oluşumudur [6],[9]-[11]. Sızıntı suyu konsantrelerinde çözünmüş organik maddelerin baskın fraksiyonlarını ise düşük biyolojik parçalanabilirliğe sahip olan hidrofilik organik ve hümkik maddeler oluşturur. Basınç sürücülü membran proseslerinden üretilen ve refrakter organik kirleticiler, inorganik tuzlar ile yoğun şekilde yüklenmiş yüksek kimyasal oksijen ihtiyacına (KOİ) sahip sızıntı suyu, toplam deponi sızıntı suyu hacminin %13-30'unu temsil eder [6],[12],[13].

1.1 Sızıntı suyu membran konsantresi yönetimi

Deponi yönetiminde sızıntı suyu arıtımı işletim giderlerinin en büyük kısmını oluşturmaktadır. Arıtım deponinin sadece aktif olarak çalıştırıldığı zaman değil, deponinin işleme kapatılmasından sonraki dönemde de belirgin bir periyotta devam etmektedir. Membran bazlı süreçler, modern deponi alanlarında sızıntı suyu arıtımı için en çok kullanılan teknikler arasındadır, ancak çevresel, teknik ve ekonomik sürdürülebilirliği, burada üretilen konsantre sızıntı suyunun bertaraf edilmesine bağlıdır [13]. Membran konsantre sızıntı suyunun arıtımı/bertarafı üzerine uygulanan birçok yöntem olmasına karşın konsantre suyunun üretildiği her bir tesise uygulanabilecek tek bir yöntem yoktur. Ayrıca konsantre sızıntı suyu için bir deşarj standardı da bulunmamaktadır. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda, konsantre akımının yönetiminde ekolojik, ekonomik ve sosyal koşullar dikkate alınıp en iyi yöntem belirleme gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Uygun yöntemin seçiminde konsantrenin hacmi ve kompozisyonu önem arz eder. Ancak diğer pek çok faktör de göz önünde bulundurulmalıdır [9] Bunlar:

- Yasal gereklilikler,
- Arıtımın maliyeti,
- Atık su arıtım tesisinin büyüklüğü ve deponi sahasına yakınlığı, yüzey suyu ve kullanılabilir arazının varlığı, toprak karakteristiği ve jeolojik yapı gibi birçok yerel faktörler,
- Mevcut tesisin genişletilmesi durumunda bertaraf metodunun esnekliği.

Yüksek tuz ve ağır metal içeriği ve düşük biyolojik parçalanabilirliğinden dolayı konsantre akımı arıtmak güçtür. Yaygın olarak kullanılan konsantre arıtım/yönetim teknolojileri şunlardır:

- Evaporasyon,
- İleri oksidasyon prosesleri ile arıtma,
- Katılaştırma,
- Katı atık üzerine püskürtülerek yakılması,
- Deponi sahasına resirkülasyon.

Sızıntı suyu konsantresinin yönetiminde bunların dışında gübre veya mineral geri kazanım kaynağı olarak yeniden kullanma, sıvı atık olarak depolama gibi çeşitli uygulamalar da mevcuttur [12]. İleri oksidasyon işlemleri [1],[10], kimyasal arıtım [14],[15], resirkülasyon [1],[16] yöntemleri literatürde önemli yer tutmaktadır.

Peters (1998) tarafından yapılan bir çalışmada konsantre yönetimi için mevcut en iyi teknoloji belirlenmiştir. Bunlar;

- a) Sıvı tehlikeli konsantrenin yakılması için bir yakma tesisine taşınması,
- b) Konsantrenin uçucu kül veya atık su arıtma tesislerinden gelen çamurlar gibi farklı malzemelerle katılaştırılması ve bu katılaştırılan malzemenin çöp depolama sahasında bertaraf edilmesi,
- c) Atığın içindeki biyokimyasal bozunma sürecini iyileştirmek ve organik maddenin immobilizasyonunu hızlandırmak için konsantrenin depolama sahasının değişen alanlarına kontrollü olarak yeniden enjeksiyonunu yapılması. Bir sızıntı suyu arıtma sisteminin konsantre yönetimi hakkında optimize edilmiş bir çözüm bulmak için her bir depolama sahası için spesifik olan tüm ekonomik ve ekolojik yönlerinin değerlendirme kriterlerine dahil edilmesi gerekir. Bir depolama sahası için bir kademeli ünite yeterli olabilirken, bazılarında ise mümkün olan en yüksek geri kazanım oranına sahip işlemlerin bir kombinasyonu seçilmelidir [17].

Aşağıdaki bölümde konsantre yönetiminde önerilen teknolojiler açıklanmıştır.

1.1.1 Katılaştırma/Stabilizasyon (K/S) tekniği

Bu teknik kirletici maddeleri daha az çözünür bir forma dönüştürerek immobilize hale getirmeyi ve dayanıklı bir matris oluşturarak kapsüllemeyi amaçlar. Sızıntı suyunun K/S yöntemi ile muamele edilmesi sonrası birçok tehlikeli kirleticinin düşük çözünürlüğe ve düşük hidrolik iletkenliğe sahip olduğu inert ve stabil bir matris elde edildiği söylenebilir. Bu matris kirleticilerin çevreye sızmasını kontrol etmek için fiziksel bir engel teşkil eder ve bu nedenle depolama veya yeniden kullanım için uygundur. Ancak K/S prosesleri nihai atık kütlelerinde ve hacminde artışa neden olur ve katılaştırılmış atıkların ömrünü tayin etmek çok zordur [12],[18].

Katılaştırma proseslerinde ağır metal, amonyak ve bazı kirleticileri absorbe edebilme yeteneği yüksek olmasından dolayı zeolit gibi agregatların kullanımı önerilebilir [18]. Çimento esaslı katılaştırma/stabilizasyon yöntemi, dünyada geniş ölçüde kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin basitliği, esnekliği ve etkinliği bu yöntemi en çok kullanılan yöntemlerden biri haline getirmiştir [12].

Membran konsantresinin katılaştırma denemeleri eluat derişimlerinin yönetmeliklerle uyumlu olduğunu göstermiştir. Katılaştırma yönteminin kullanımında en önemli faktör nihai ürün olan katılaştırılmış maddenin kullanım potansiyelidir. [18].

1.1.2 Resirkülasyon

Sızıntı suyunun membran proseslerle arıtımında en tartışılan seçeneklerden biri de konsantre sızıntı suyunun dolgu sahasına resirkülasyonudur. Son on yıldır oldukça kullanılan resirkülasyon, sızıntı suyu konsantrelerinin genellikle biyoreaktöre ya da çöp depolama alanlarına geri devrini ifade

eder [19]. Sızıntı suyu resirkülasyonu sadece sızıntı suyunun kalitesini geliştirmez, arıtım maliyetini de azaltır. Sızıntı suyunun resirkülasyonunda iki durum göz ardı edilemez; ilki konsantre sızıntı suyunun, onun kalitatif ve kantitatif karakteristiği üzerine etkisinin ihmali, diğeri ise uzun süreli resirkülasyonun sızıntı suyu üretimi üzerine negatif etkisinden dolayı uzun vadede bir uygulama olmamasıdır. Elde edilen veriler göstermiştir ki sızıntı suyunun konsantresinin resirkülasyonunda sülfat indirgeyen bakterilerin rekabetinden dolayı metanojenlerin kısmi inhibisyonu gerçekleşir ve biyogazın metan içeriğinin azalır [13]. Morello ve diğ. 2016 tarafından yapılan laboratuvar ölçekli resirkülasyon çalışmalarında ise KOİ ve metan üretiminde tutarlı bir değişimin gözlenmediği ifade edilmiştir [20].

Konsantre sızıntı suyunun re-enjeksiyonu, kavramsal olarak ham sızıntı suyunun resirkülasyonuna benzerdir sadece kirletici hacmi ve konsantrasyonu farklıdır. Re-enjeksiyon uygulamasının bazı durumlarda başarısı kanıtlanmıştır, özellikle olgun ve yaşlı sızıntı suları için tavsiye edilmez [12].

Yeni deponilerin sızıntı suları biyolojik parçalanabilirliği iyi olduğu için konsantre direkt olarak deponiye yeniden enjekte edilebilir. Resirkülasyon sırasında konsantrenin kalitesi iyileşir ve organik maddenin liç edilen ile biyodegradasyona uğrayan kısmı arasında dengeye ulaşılır. Bu metot yüksek miktarda inorganik fraksiyon içerdiği için yaşlı deponiler için uygulanabilir değildir [9]. Literatürde resirkülasyon ile kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve amonyak azotu (NH₄+N) konsantrasyonunun ilk 5 yıl içinde %29 ve 10 yıl içinde %53 artacağı belirtilmiştir [19]. Sızıntı suyu geri devrinde ilk 2-3 yıl boyunca geleneksel depolama alanlarına göre daha yüksek BOİ₅, KOİ, BOİ₅/KOİ ve amonyak seviyeleri içeren bir sızıntı suyu üretilse bile bu durum sızıntı suyu konsantresinin kalitesi artırarak aynı zamanda sızıntı suyu arıtım maliyetini de düşürür [13]. Ancak sızıntı suyunun sürekli geri devri dirençli kirletici konsantrasyonunu arttıracığından ve biriken hümit maddeler ve ağır metaller, luminesant bakterilerde toksik etkiye neden olabileceğinden süreklilik arz etmemektedir [10],[16],[20]. Dolgu sahasına zamanla dirençli kirleticilerin ve tuzların birikmesi sırasıyla biyolojik aktivitede azalmaya ve elektriksel iletkenlikte artışa sebep olur [5]. Depolama alanı yaşı arttıkça, biyolojik ayrışma tamamlanır ve kolay biyobozunur organik maddelerin oranı düşer. Bu nedenle, genç depolama alanlarında, BOİ/KOİ<0.5 iken eski depolama alanlarındaki sızıntı sularında, BOİ/KOİ <0.2 dolaylarındadır [21]. Calabro ve diğ. (2010)'a göre konsantre akımın deponi alanına resirkülasyonu ile sızıntı suyu miktarının önemli ölçüde artar ve KOİ, nikel, çinko gibi bazı kalite parametreleri ılımlı bir oranda artar Biyogaz kompozisyonunda ise bir azalmanın olduğu ifade edilmiştir. Bu azalmanın ise sülfat indirgeyen bakterilerin rekabetinden dolayı metanojenlerin kısmen inhibe olmalarından kaynaklanabileceği açıklanmıştır [13].

Bilgili ve diğ. (2007)'e göre sızıntı suyu resirkülasyonunun avantajları, besin ve enzimlerin dağılımı, pH tamponlama, inhibitör bileşiklerin seyreltilmesi, sıvı depolama ve evaporasyon fırsatları olarak sıralanmaktadır [22]. Öte yandan Ledakowicz ve Kaczarek (2004) çalışmalarında sızıntı suyu resirkülasyonunun, metanojenez için toksik olan yüksek miktarda organik asit konsantrasyonuna neden olabileceği için metanojenezin inhibisyonuna yol açabileceğini savunmaktadırlar [23].

Mühendislik uygulamalarında, deponi alanına konsantrenin geri sirkülasyonu düşük maliyetinden dolayı en pratik teknoloji

olmuştur [10]. Ülkemizde konsantre sızıntı suyu akımının bertarafında uygulanan en yaygın yöntem depo alanına resirkülasyondur. Erzurum Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı Erzurum Katı Atık Düzenli Depo Sahası ve İstanbul Büyükşehir Belediyesine bağlı, Odayeri ve Kömürçüoda Katı Atık Düzenli Depo Sahası membran konsantresini depo sahasına resirkülasyon yaparak bertaraf etmektedir [24].

1.1.3 Yakma

Sızıntı suyu konsantresinde aromatik bileşikler, uzun zincirli hidrokarbonlar ve halohidrokarbonlar yüksek oranda bulunur [6]. Hidrofilik fraksiyonda toluen, etilbenzen ve klorobenzen bulunmakta olup, çeşitli organik yapılar üzerine absorbe olan fitalat esterleri risk oluşturmaktadır [11]. Yüksek organik fraksiyona sahip sızıntı konsantreleri için yakma tekniği, atık materyalden enerji elde edilebileceği için sızıntı suyunun re-enjeksiyonuna alternatif olabilir. Yakma, daha iyi bir yakma sağlayan ve dolayısıyla tehlikeli maddeler için daha uygun olan döner bir fırında yapılmalıdır [9]. Ancak çoğu sızıntı konsantresinin kalorifik değeri ve nem içeriği çoğunlukla yakma için uygun değildir [25].

1.1.4 İleri arıtım

İleri arıtım konsantre akımındaki dirençli organikleri arıtmak için ideal bir yaklaşımdır. Konsantre sızıntı suyunun biyolojik parçalanabilirliği düşüktür. Bu nedenle OH•, O₂-• ve HO₂• gibi yüksek reaktif radikallerin kullanıldığı ileri arıtım yöntemleri (İOP) biyolojik olarak parçalanamayan organik maddelerin giderilmesinde ve sızıntı suyu konsantresinin biyolojik olarak parçalanabilirliğini arttırmada ilgi çekici yöntemlerdir [10],[19]. Sızıntı suyunun ileri arıtım yöntemleri ile arıtımında ozon oksidasyonu [26], Fenton oksidasyonu [11], UV/Fenton [7], elektrokimyasal oksidasyon [1], elektro koagülasyon [8] gibi birçok yöntem denenmiştir. İleri oksidasyon proseslerinin işletme maliyeti giren akımın karakteristiği ile etkilenir [5]. Ancak tam mineralleşmeyi hedefleyen İOP'ların, KOİ gideriminde yüksek verim elde etmelerine rağmen deşarj standartlarını sağlayamadıkları ve maliyetinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu yüksek maliyetli İOP'ların biyolojik bir işleme ve/veya diğer fizikokimyasal teknolojilerle birleştirilmesi ile daha yüksek bir arıtım verimliliği sağlanabileceği belirtilmiştir [5],[11].

1.1.5 Evaporasyon

Evaporasyon havuzları sızıntı konsantreleri için başka bir yönetim seçeneğidir. Küçük akımlar ve nispeten sıcak ve kuru bir iklime sahip yüksek buharlaşma oranları olan düşük maliyetli araziler için çok uygundur [27]. Havuzlarda evaporasyon işleminde en önemli hususlardan biri havuzların herhangi bir sızıntı riskine karşı iyi bir astarlanmanın yapılmasıdır [12]. Sızıntı suyu hacminin termal olarak hızlandırılan evaporasyon ile %95'e kadar azaldığı belirlenmiştir. Ancak Sızıntı konsantrelerinin evaporasyonu sonrası tehlikeli bir atık olarak sınıflandırılan kuru bir konsantre çamur üretilmiş olur [4]. Evaporasyon tesislerinin atık sularında baskın olan bileşenler uçucu, bazen klorlu organik maddeler ve amonyumdur. Di palma ve diğ. (2002) çalışmalarında çoğu tuz ve uçucu olmayan organik maddenin evaporasyon ile sızıntı suyundan uzaklaştırılabilirken, VOC'lerin ve amonyağın konsantrede kaldığını ve ek bir arıtıma ihtiyaç olduğunu gözlemişlerdir [28]. Evaporasyon ile arıtımın en büyük dezavantajları büyük arazi gereksinimleri, yüksek işletme maliyetleri, düşük stabilite/güvenilirlik ve ekipman korozyonu olarak sıralanabilir [10]. Evaporasyon ve

kurutma yöntemleri ardından katılaşma yöntemi uygulandığında, düşük su geçirgenliği ile zararlı bileşikler, örneğin ağır metalleri geçirmeyen ve bu şekilde herhangi bir ek çevresel risk oluşturmadan depolama yapılabilen bir materyal elde edileceğinden distilatın tekrar membran prosese geri döndürülmesinde bir sakınca görülmemiştir [9].

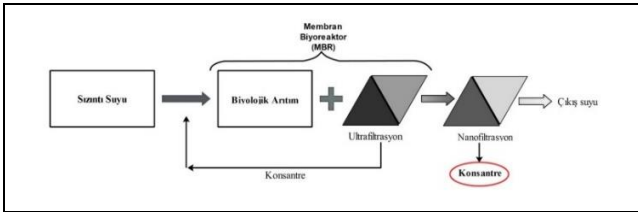
Sızıntı sularının dahili (resirkülasyon gibi) ve harici (fiziksel, kimyasal ve biyolojik gibi) arıtımı için verilen maliyetler yaklaşık olarak sırasıyla 24 \$/m³ ve 61 \$/m³'tür [29].

Yakma, evaporasyon ve katılaştırma gibi post arıtım prosesleri pahalıdır ve konsantre sızıntı suyunun alınıp başka bir alanda arıtılması halinde sızıntı suyu arıtım maliyetinin iki katına çıkacağı ifade edilmektedir [12].

Bu çalışmada sızıntı suyu membran konsantre akımı yönetimi için oldukça tercih edilen 5 teknik; katılaştırma, yakma, resirkülasyon, evaporasyon ve ileri arıtım yöntemleri arasında en uygun yöntem Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılarak belirlenmiştir.

2 Materyal ve metod

Çalışmada Kocaeli ilinde bir Katı Atık Entegre Arıtım Sisteminde oluşan deponi sızıntı suyunun MBR sonrası membran proseslerle arıtıldığı bir sistemde ultrafiltrasyon membranı ile oluşan konsantre akımının yönetimi düşünülmüştür. Sızıntı suyu arıtım sistemi şematik olarak Şekil 1'de verilmektedir. En uygun metoda karar verebilmek için AHP uygulamaları için kullanılan Expert Choice 11 yazılımı ve Microsoft Excell birlikte kullanılmıştır.



Şekil 1. Sızıntı suyu konsantresi oluşum şeması.

Figure 1. Leachate concentrate formation scheme.

2.1 Analitik hiyerarşi prosesi

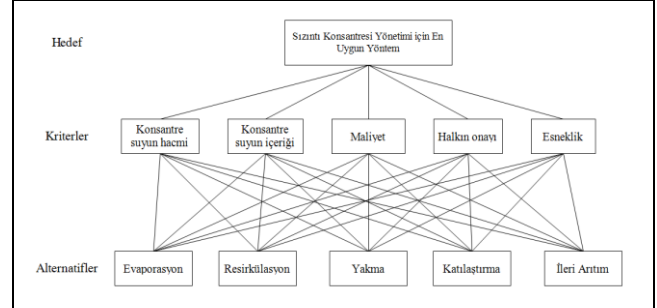
AHP karmaşık problemlerle ve çelişen kriterler ile karşı karşıya kalındığında kullanılan çok kriterli karar verme yöntemidir. AHP, sadeliği nedeniyle birçok uygulamada karar verme aracı olarak kullanılan, karar özelliklerini ve alternatiflerini hiyerarşik bir yapıda bir dizi ikili karşılaştırma yardımıyla düzenleyerek basitleştiren güçlü bir araçtır [30], [5],[31]-[33].

Bu çalışmada sızıntı suyunun MBR sonrası membran prosesleri ile muamelesi ile oluşan konsantre akımının yönetiminde uygulanacak metodun belirlenmesi için, genellikle çok kriterli karar analiz metodlarında yaygın bir şekilde kullanılan yaklaşımlar arasında analitik hiyerarşi prosesi (AHP) kullanılmıştır. AHP de karar verme süreci üç seviyeden ibarettir [5], [32],[33].

- 1.seviye=Amaç seviyesi, değerlendirmenin hedefini oluşturur
- 2.seviye= Kriter seviyesi, amacı etkileyen bileşenlerdir
- 3.seviye= Alternatifler seviyesi

Şekil 2'de sızıntı suyu membran konsantresinin bertaraf yöntemini belirlemek için oluşturulan hiyerarşik indeks sistemi görülmektedir. Alternatif bertaraf metodları: Evaporasyon (A), Dolgu sahasına resirkülasyon (B), Yakma (C), Katılaştırma (D),

ileri Arıtım (E) olarak ve karar kriterleri 1-Konsantre sızıntı suyu hacmi, 2-Konsantre sızıntı suyu kompozisyonu, 3-Bertaraf maliyeti, 4-Halkın onayı, 5-Mevcut tesisin genişlemesi durumunda bertaraf metodunun esnekliği olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Hiyerarşik indeks sistemi.

Figure 2. Hierarchical index system.

2.1.1 İndeks ağırlıklarının değerlendirilmesi süreci

İndeks ağırlıklarının belirlenmesinde ilk adım tercih matrislerinin (ikili karşılaştırmaların) oluşturulmasıdır. İkili karşılaştırma, iki kriter arasındaki ilişkinin sayısal olarak gösterimidir, burada kantitatif veri ve kalitatif yargı dikkate alınarak sayısallaştırılmıştır [34]. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasında Saaty tarafından önerilen ve Tablo 1'de verilen 1-9 tercih ölçeği kullanılmıştır.

Tablo 1. Karşılaştırmada kullanılan 9 noktalı kıyaslamalı ölçeği [35].

| Skala | Tanım | Açıklama |
|------------|-------------------|---|
| 1 | Eşit öneme sahip | Her iki seçenek eşit değerde öneme sahip |
| 3 | Biraz önemli | Bir kriter diğerine göre biraz daha önemli |
| 5 | Fazla önemli | Bir kriter diğerine göre çok daha önemli |
| 7 | Çok fazla önemli | Kriter diğer kriterlere göre kesinlikle çok fazla önemli |
| 9 | Son derece önemli | Bir kriterin diğerine göre son derece önemli olduğu çeşitli bilgilere dayandırılmıştır. |
| 2, 4, 6, 8 | Ara değerler | |

Alternatiflerin karşılaştırılmasında, her bir kriter için tercih matrisi oluşturulmuştur. Her bir kriter için hazırlanan ikili karşılaştırma matrisleri normalize edilmiş ve normalize edilmiş matrisin satır elemanlarının ortalaması alınarak birbiri ile karşılaştırılan alternatiflerin ağırlıkları belirlenmiştir. Bütünleştirme aşamasında kriterlerin önem ağırlıkları ile alternatiflerin önem ağırlıklarının çarpımı ile her bir alternatif için öncelik değeri hesaplanmıştır. En yüksek öncelik değeri olan alternatif, problem için en iyi seçenek olarak belirlenmiştir.

2.1.2 Tutarlılığın belirlenmesi

Normalize edilmiş matrisin her bir satır toplamı, matrisin boyutuna bölünerek ortalaması alınarak normalize edilmiş ağırlık vektörü w (w_1, w_2, \dots, w_n) hesaplanır. Normalize edilmiş ağırlık vektör hesaplanması ile tüm uzmanların değerlendirmeleri dikkate alınmış olur. İkili karşılaştırma matrisi (A) ile bu matrise ait normalize edilmiş ağırlık vektörü çarpılır ve ağırlıklı toplam vektör (v) bulunur (Denklem 1).

$$v = A \times w \quad (1)$$

Ağırlıklı toplam vektörün her bir elemanı normalize edilmiş ağırlık vektörüne bölünerek (v/w) değeri elde edilir.

(v/w) değerler toplamı, matris boyutuna bölünerek λ_{max} değeri elde edilir. Bu ifade edilen vektörler tutarlılığın kontrol edilmesinden sonra ağırlık olarak düşünülebilir. Tutarlılık indeksi (CI) değeri matrisin uniformitesinin bir indeksi olarak tanımlanmıştır ve Denklem (2) de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

Burada n=seviye sayısını göstermektedir.

İkili karşılaştırmaların tutarlılığını değerlendirmek için tutarlılık oranı (CR) hesaplanır (Denklem (3)).

$$CR = CI / RI \quad (3)$$

Random indeksi (RI) rastgele tutarlılık indeksidir. Değerlendirmenin güvenilirliği ve mantıksal olarak uygun olup olmadığını doğrulamak için tutarlılık oranı (CR) kullanılır. Eğer $CR < 0.1$ ise ağırlıklandırma kabul edilebilir, $CR > 0.1$ ise ağırlıklandırma kabul edilemez, $CR = 0$ ise mükemmel ağırlık karşılaştırması elde edildiği söylenebilir [34].

3 Bulgular ve değerlendirme

Bu çalışmada Kocaeli ili katı atık depolama alanı sızıntı suyu membran konsantrasyonunun yönetiminde uygulanabilecek alternatif yöntemler arasından en uygun yöntem belirlenmiştir. AHP ile en uygun yöntemin belirlenmesi sürecinde literatür verileri ve uzman görüşleri dikkate alınmıştır. İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulurken aşağıda sunulan bölgeye özgü değerlendirmeler dikkate alınmıştır. Yönetimi düşünülen konsantre sızıntı suyunun olduğu ünite, katı atık entegre tesisi niteliğinde olup yakma ve düzenli depolama ünitelerini kapsamaktadır. Mevcut tesislerin varlığından dolayı konsantre yönetiminde yakma ve düzenli deponi alanına resirkülasyon yöntemleri önem arz etmektedir. Her ne kadar sızıntı suyu biyolojik arıtmadan geçirilerek organik içeriği azaltılsada membran konsantrasyonunun KOİ değeri 49521-400 mg/L mertebesinde [6],[12]. Bu yüzden yakma prosesinde suyun kalorifik içeriği önem arz eder. Sızıntı suyunun elementel analizi yapıldığında kuru ağırlık bazında %63.14 C (karbon), %13.44 O (oksijen), %6.27 N (azot), %1.14 H (hidrojen) ve %0.78 S (kükürt) içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir [36]. Tam yanmanın gerçekleşmesi durumunda karbonun üst ısı değerinin 8100 kcal/kg, S'ün 2220 kcal/kg ve H'nin 34400 kcal/kg olduğu göz önünde bulundurulursa konsantre akımın katı atık yakma fırınlarında ekonomik bir sıvı yakıt olacağı düşünülebilir.

Membran konsantrasyonunun BOİ/KOİ içeriği düşük olduğu için (0.055-0.43) aralığında değişim gösterebilir, resirkülasyon ile deponi gövdesine verilebilir [1],[26]. İleri arıtım yöntemi özellikle membran biyoreaktör konsantre yönetimi için uygun bir alternatif olarak düşünülür. Bu yolla konsantre akımın kısmı degradasyonu ile biyoparçalanabilirliği artırılarak mevcut biyoreaktör birimine geri devri yapılabilir. Bunun yanı sıra ileri oksidasyon ile belediyenin kanala deşarj standardına getirilebilir. Evaporasyon yöntemi yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir. Ancak entegre katı atık bertaraf tesisine yakın yerleşim alanlarındaki halkın tepkisi olacağı için bölge için çok

uygun bir yöntem olarak görülmemektedir. Katılaştırma tekniğinde ise yakma ünitesinden oluşan külün ve konsantre sızıntı suyunun çeşitli bağlayıcıların ilavesi ile katılaştırılarak depolanması dikkate değer bir alternatiftir. Alternatif yöntemlerin içinden en uygun yöntemin belirlenmesi için seçilen "konsantre suyun kompozisyonu" kriteri göz önünde bulundurulduğunda katılaştırma en tercih edilen yöntem olarak değerlendirilmiştir. Çünkü katılaştırmada suyun kompozisyonunun herhangi bir yönde etkisi yoktur. Sızıntı suyunun alındığı deponi yaşına ve mevsimsel koşullara bağlı olarak kompozisyonunda değişim gösterir. Bu açıdan değerlendirildiğinde katılaştırma prosesi herhangi bir şekilde etkilenmez. Yakma yöntemi ise tercih sıralamamızda en az tercih edilen proses olarak düşünülmüştür. Sızıntı suyunun kalorifik değeri deponi yaşı ile azalacaktır. "Konsantre suyu hacmi" kriteri dikkate alındığında en çok tercih edilen yöntem ileri arıtım yöntemidir. Sızıntı suyu hacmine göre tam veya kısmi mineralizasyon seçenekleri ile sistem işletilebilir. Evaporasyon ise en az tercih edilen yöntem olarak düşünülmüştür. Özellikle yüksek konsantre hacimlerinde yüksek enerji tüketimine sebep olması bakımından tercihi negatif yönde etkilemektedir. Atık yönetiminin en önemli unsurlarından biri bertaraf maliyetidir. Konsantre sızıntı suyu için ülkemizde de en çok uygulanan resirkülasyon yöntemi maliyet açısından en çok tercih edilen alternatif olmuştur. Evaporasyon ise enerji tüketimi dikkate alındığında en az tercih edilen alternatif olmuştur. Sızıntı suyu hacmi mevsimsel olarak ve deponi yaşına bağlı olarak değiştiği için konsantre hacmi ve kompozisyonu da değişecektir. Bu yüzden seçilecek bertaraf metodunun esnek olması tercih edilir. İleri arıtım uygulaması en çok tercih edilen alternatif olarak düşünülmüştür. Çünkü işletim parametreleri değiştirilerek istenen verimi elde etmek mümkündür. Yakma yöntemi bu bağlamda esnekliği en az yöntem olarak düşünülmüştür. Tüm atık yönetim uygulamalarında halkın onayı önemlidir. İleri arıtım yöntemleri tercih edilen bir alternatiftir. Mevcut arıtım tesisinin iyileştirilmesi gibi bir algı yaratır. Ancak evaporasyon ünitesi farklı bir ünite olup, uçucu organiklerin kokuya sebep olacağı düşüncesi ile halkın tepkisini alır. Bu yüzden belirlenen alternatifler arasından en son tercih edilen proses olacaktır.

Karar vericiler tarafından her bir kriter için hazırlanan tercih matrislerinin normalleştirilmesi ile belirlenen ağırlıklar Tablo 2'de sunulmuştur. AHP modellerinde karar vericinin ikili karşılaştırmalar sırasında tutarlı davranıp davranmadığını ölçmek için tutarlılık oranı hesaplanır. Her bir kriter için hazırlanan matrisin tutarlı olup olmadığını belirleyebilmesi için tutarlılık oranı (CR) hesaplanmıştır. $CR < 0.1$ olduğu belirlenmiş olup, tüm matrislerin tutarlı olduğu söylenebilir. AHP sürecinin son aşamasında kriterlerin önem ağırlıkları belirlenmiş ve normalize edilmiştir. Normalize edilmiş matris Tablo 3'te sunulmuştur. Bütünleştirme aşamasında kriterlerin önem ağırlıkları ile alternatiflerin önem ağırlıklarının çarpımı Tablo 4 ile her bir alternatif için öncelik değerinin hesaplanmıştır. En yüksek değeri olan alternatif problemimiz için en iyi seçenektir. Matris çarpımı ile belirlenen alternatiflerin öncelik değerleri denklem Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 2. Her bir kriter için alternatif bazında normalleştirilmiş tercih matrisleri.
Table 2. Normalized preference matrices on the basis of alternatives for each criterion.

| | A | B | C | D | E | w | v/w | |
|-------------------------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Konsantr Sızıntı Suyu Hacmi | A | 0.055556 | 0.051282 | 0.037037 | 0.048780 | 0.065646 | 0.051660 | 5.040917 |
| | B | 0.277778 | 0.256410 | 0.370370 | 0.292683 | 0.229759 | 0.285400 | 5.113237 |
| | C | 0.111111 | 0.051282 | 0.074074 | 0.073171 | 0.091904 | 0.080308 | 5.003054 |
| | D | 0.166667 | 0.128205 | 0.148148 | 0.146341 | 0.153173 | 0.148507 | 5.060454 |
| | E | 0.388889 | 0.512821 | 0.37037 | 0.439024 | 0.459519 | 0.434125 | 5.099016 |
| | A | B | C | D | E | w | v/w | |
| Konsantr Sızıntı Suyu İçeriği | A | 0.104895 | 0.2 | 0.183673 | 0.111901 | 0.071283 | 0.13435 | 5.20352 |
| | B | 0.020979 | 0.04 | 0.020408 | 0.062167 | 0.03055 | 0.034821 | 5.092594 |
| | C | 0.034965 | 0.12 | 0.061224 | 0.079929 | 0.04277 | 0.067778 | 5.029699 |
| | D | 0.524476 | 0.36 | 0.428571 | 0.559503 | 0.641548 | 0.502819 | 5.455432 |
| | E | 0.314685 | 0.28 | 0.306122 | 0.186501 | 0.213849 | 0.260232 | 5.43179 |
| | A | B | C | D | E | w | v/w | |
| Bertaraf Maliyeti | A | 0.038462 | 0.065207 | 0.025543 | 0.018692 | 0.016393 | 0.032859 | 5.160151 |
| | B | 0.346154 | 0.586865 | 0.715198 | 0.46729 | 0.459016 | 0.514905 | 5.761898 |
| | C | 0.269231 | 0.146716 | 0.178799 | 0.373832 | 0.327869 | 0.259289 | 5.657641 |
| | D | 0.192308 | 0.117373 | 0.0447 | 0.093458 | 0.131148 | 0.115797 | 5.200434 |
| | E | 0.153846 | 0.083838 | 0.03576 | 0.046729 | 0.065574 | 0.077149 | 5.07977 |
| | A | B | C | D | E | w | v/w | |
| Halkın Onayı | A | 0.041667 | 0.032258 | 0.022989 | 0.037175 | 0.056864 | 0.03819 | 5.016232 |
| | B | 0.083333 | 0.064516 | 0.057471 | 0.052045 | 0.073111 | 0.066095 | 5.066827 |
| | C | 0.208333 | 0.129032 | 0.114943 | 0.130112 | 0.102356 | 0.136955 | 5.063445 |
| | D | 0.291667 | 0.322581 | 0.229885 | 0.260223 | 0.25589 | 0.272049 | 5.098803 |
| | E | 0.375 | 0.451613 | 0.574713 | 0.520446 | 0.511779 | 0.48671 | 5.181657 |
| | A | B | C | D | E | w | v/w | |
| Esneklik | A | 0.113208 | 0.173913 | 0.166667 | 0.043228 | 0.173053 | 0.134014 | 5.005179 |
| | B | 0.056604 | 0.086957 | 0.111111 | 0.057637 | 0.103832 | 0.083228 | 5.162734 |
| | C | 0.037736 | 0.043478 | 0.055556 | 0.034582 | 0.074166 | 0.049103 | 5.192852 |
| | D | 0.45283 | 0.26087 | 0.277778 | 0.172911 | 0.12979 | 0.258836 | 5.442823 |
| | E | 0.339623 | 0.434783 | 0.388889 | 0.691643 | 0.519159 | 0.474819 | 5.627546 |

Tablo 3. Kriterlerin normalleştirilmiş matrisi.

Table 3. Normalized matrix of criteria.

| | Su Hacmi | Su İçeriği | Maliyet | Halkın Onayı | Esneklik | Satır Ortalaması |
|--------------|----------|------------|----------|--------------|----------|------------------|
| Su hacmi | 0.114943 | 0.130112 | 0.102356 | 0.208333 | 0.129032 | 0.136955 |
| Su içeriği | 0.229885 | 0.260223 | 0.25589 | 0.291667 | 0.322581 | 0.272049 |
| Maliyet | 0.574713 | 0.520446 | 0.511779 | 0.37500 | 0.451613 | 0.48671 |
| Halkın onayı | 0.022989 | 0.037175 | 0.056864 | 0.041667 | 0.032258 | 0.03819 |
| Esneklik | 0.057471 | 0.052045 | 0.073111 | 0.083333 | 0.064516 | 0.066095 |

Tablo 4. Matris çarpımı ve tercih oranı.

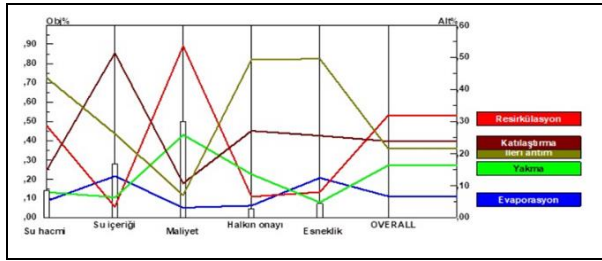
Table 4. Matrix multiplication and preference ratio.

| | Su hacmi | Su içeriği | Maliyet | Halkın onayı | Esneklik | Satır ortalaması | Öncelik değeri |
|---|----------|------------|----------|--------------|----------|------------------|----------------|
| B | 0.051660 | 0.1343504 | 0.032859 | 0.03819 | 0.134014 | x | = |
| C | 0.285400 | 0.0348208 | 0.514905 | 0.066095 | 0.083228 | | |
| D | 0.080308 | 0.0677777 | 0.259289 | 0.136955 | 0.049103 | | |
| E | 0.148507 | 0.5028195 | 0.115797 | 0.272049 | 0.258836 | | |
| | 0.43125 | 0.2602316 | 0.077149 | 0.48671 | 0.474819 | | |
| | | | | | | 0.136955 | 0.066 |
| | | | | | | 0.272049 | 0.318 |
| | | | | | | 0.48671 | 0.163 |
| | | | | | | 0.03819 | 0.238 |
| | | | | | | 0.066095 | 0.215 |

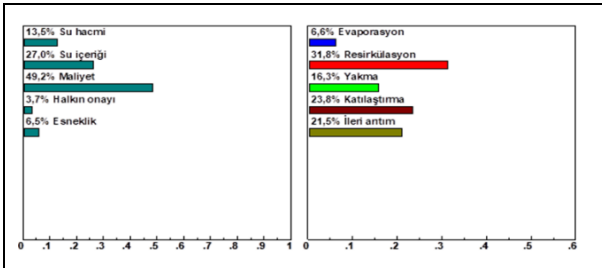
Bu duruma göre %31.8 oranında B alternatifi yani dolgu sahasına resirkülasyon konsantre sızıntı suyu bertarafı için uygun metot olarak kabul edilebilir. Amacın belirlenmesinde her bir kriterin ağırlığı hesaplanmıştır. Zhang ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada konsantre akım artımında AHP uygulanarak arıtım verimliliği, işletme maliyeti, çevresel fayda ve proses stabilitesi kriteri göz önünde bulundurularak evaporasyon ve ileri oksidasyon prosesleri arasında en uygun proses batık tip yanmalı evaporasyon yöntemi en uygun yöntem olarak belirlenmiştir [5].

Şekil 3(a)'da alternatiflerin performans duyarlılıkları ve (b)'de yüzde bazında alternatifleri öncelik değerleri ile kriterlerin ağırlık değerleri gösterilmiştir.

Kriterlerin ağırlık sıralaması; Arıtım maliyeti (%49.2)>Konsantre suyun İçeriği (%27.0)>Konsantre suyun hacmi (%13.5)>Arıtım yönteminin esnekliği (%6.5)>Kamuoyu onayı (%3.7) şeklinde olmuştur. Alternatif belirlemede en önemli kriter arıtım maliyeti olmuştur.



(a)



(b)

Şekil 3. Alternatiflerin performans duyarlılıkları, (a): Alternatiflerin öncelik değerleri ve kriterler ağırlıkları (b).
Figure 3. Performance sensitivities of alternatives, (a): Priority values of alternatives and weights of criteria (b).

4 Sonuçlar

Bu çalışmada Kocaeli ili katı atık deponi alanında oluşan sızıntı suyu membran konsantresinin yönetimi için en uygun bertaraf alternatifi belirlenmiştir. Belirleme için AHP kullanılmıştır. AHP sürecinde literatür verileri ve uzman görüşleri dikkate alınarak analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda dolgu sahasına resirkülasyon alternatif yönteminin diğer alternatif metotlar içerisinde %31.8 oranı ile en uygun metot olacağı belirlenmiştir. Alternatif belirlemede ise en önemli kriter %49.2 ağırlık oranı ile arıtım maliyeti olmuştur.

5 Results

In this study, the most suitable disposal alternative for the management of leachate membrane concentrate in the Kocaeli solid waste landfill area was determined. AHP was used for determination. AHP analysis was carried out taking into consideration the literature data and the expert opinions. As a

result of the analysis, it was determined that the alternative method of "recirculation to the filling area" will be the most suitable method among the other alternative methods with a rate of 31.8%. In the alternative determination, the most important criterion was the treatment cost with a weight ratio of 49.2%.

6 Kaynaklar

- [1] Labiadh L, Fernandes A, Ciriaco L, Pacheco MJ, Gadri A, Ammar S, Lopes A. "Electrochemical treatment of concentrate from reverse osmosis of sanitary landfill leachate". *Journal of Environmental Management*, 181, 515-521, 2016.
- [2] Salem Z, Hamouri K, Djemaa R, Allia K. "Evaluation of landfill leachate pollution and treatment". *Desalination*, 220, 108-114, 2008.
- [3] Durmuşoğlu E, Yılmaz C. "Evaluation and temporal variation of raw and pre-treated leachate quality from an active solid waste landfill". *Water, Air & Soil Pollution*, 171(1-4), 359-382, 2005.
- [4] Martin-Utrillas M, Reyes-Medina M, Curiel-Esparza J, Canto-Perello J. "Hybrid method for selection of the optimal process of leachate treatment in waste treatment and valorization plants or landfills". *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17(4), 873-885, 2015.
- [5] Zhang L, Lavagnolo MC, Baid H, Pivatoc A, Ragac R, Yue D. "Environmental and economic assessment of leachate concentrate treatment technologies using analytic hierarchy process". *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 474-480, 2019.
- [6] Zhang QQ, Tian BH, Zhang X, Ghulam A, Fang CR, He R. "Investigation on characteristics of leachate and concentrated leachate in three landfill leachate treatment plants". *Waste Management*, 33, 2277-2286, 2013.
- [7] Wang G, Lu G, Zhao J, Yin P, Zhao L. "Evaluation of toxicity and estrogenicity of the landfill-concentrated leachate during advanced oxidation treatment: chemical analyses and bioanalytical tools". *Environmental Science and Pollution Research International*, 23(16), 16015-24, 2016.
- [8] Top S, Sekman E, Hoşver S, Bilgili MS. "Characterization and electrocaugulative treatment of nanofiltration concentrate of a full-scale landfill leachate treatment plant". *Desalination*, 268(1-3), 158-162, 2011.
- [9] Bruggen VB, Lejon L, Vandecasteele C. "Reuse treatment and discharge of the concentrate of pressure-driven membrane processes". *Environmental Science & Technology*, 37(17), 3733-3738, 2003.
- [10] Wang H, Li X, Hao Z, Sun Y, Wang Y, Li W, Tsang Y. "Transformation of dissolved organic matter in concentrated leachate from nanofiltration during ozone-based oxidation processes (O₃/O₃/H₂O₂ and O₃/UV)". *Journal of Environmental Management*, 191, 244-251, 2017.
- [11] He R, Tian BH, Zhang QQ, Zhang HT. "Effect of Fenton oxidation on biodegradability, biotoxicity and dissolved organic matter distribution of concentrated landfill leachate derived from a membrane process". *Waste Management*, 38, 232-239, 2015.
- [12] Kallel A, Ellouze M, Trabelsi I. "Co-management of landfill leachate concentrate with brick waste by solidification/stabilization treatment". *Arabian Journal of Geosciences*, 10(4), 81, 1-12, 2017.

- [13] Calabrò PS, Sbaffoni S, Orsi S, Gentili E, Meoni C. "The landfill reinjection of concentrated leachate: findings from a monitoring study at an Italian site". *Journal of Hazardous Materials*, 181, 962-968, 2010.
- [14] Long Y, Xu J, Shen D, Du Y, Feng H. "Effective removal of contaminants in landfill leachate membrane concentrates by coagulation". *Chemosphere*, 167, 512-519, 2017.
- [15] Xie WG, Tong XG, Luo JW, Deng ZG, Qi Q, Chu Y. "Design of Leachate concentrate treatment project based on DTZ evaporation". *China Water Wastewater*, 27, 56-60, 2011.
- [16] Talalaj IA, Biedka P. "Impact of concentrated leachate recirculation on effectiveness of leachate treatment by reverse osmosis". *Ecological Engineering*, 85, 185-192, 2015.
- [17] Peters TA. "Purification of landfill leachate with membrane filtration". *Filtration & Separation*, 35(1), 33-36, 1998.
- [18] Huncce SY, Akgul D, Demir G, Mertoglu B. "Solidification/stabilization of landfill leachate concentrate using different aggregate materials". *Waste Management*, 32(7), 1394-1400, 2012.
- [19] Qiao M, Zhao X, Wei X. "Characterization and treatment of landfill leachate membrane concentrate by Fe²⁺/NaClO combined with advanced oxidation processes". *Scientific Reports*, 8(1), 1-9, 2018.
- [20] Morello L, Cossu R, Raga R, Pivato A, Lavagnolo MC. "Recirculation of re-verse osmosis concentrate in lab-scale anaerobic and aerobic landfill simulation re-actors". *Waste Management*, 56, 262-270, 2016.
- [21] Dede Ş, Ulutaş A, Yiğit SK. "Research of leachate treatability with biological, physical, chemical and membrane bioreactor processes". *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 34(2), 199-209, 2016.
- [22] Bilgili MS, Demir A, Ozkaya B. "Influence of leachate recirculation on aerobic and anaerobic decomposition of solid wastes". *Journal of Hazardous Materials*, 143, 177-183, 2007.
- [23] Ledakowicz S, Kaczorek K. "Laboratory simulation of anaerobic digestion of municipal solid waste". *Journal of Environmental Science and Health, Part A. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 39(4), 859-71, 2004.
- [24] Öztürk İ, Onay TT, Çallı B, Mertoğlu B, Yıldız Ş. "Sızıntı Suyu Yönetimi İhtisas Komisyonu Taslak Çalışma Raporu". T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2009-2010.
- [25] Yiğit S. Treatment Alternatives for Reverse Osmosis Concentrate of Landfill Leachat. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [26] Wang H, Wang YN, Li X, Sun Y, Wu H, Chen D. "Removal of humic substances from reverse osmosis (RO) and nanofiltration (NF) concentrated leachate using continuously ozone generation-reaction treatment equipment". *Waste Management*, 56, 271-279, 2016.
- [27] Subramani A, Jacangelo JG. "Treatment technologies for reverse osmosis concentrate volume minimization: A review". *Separation and Purification Technology*, 122(10), 472-489, 2014.
- [28] Di Palma L, Ferrantelli P, Merli C, Petrucci E. "Treatment of industrial landfill leachate by means of evaporation and reverse osmosis". *Waste Management*, 22, 951-955, 2002.
- [29] Berge ND, Reinhart DR, Batarseh ES. "An assessment of bioreactor landfill costs and benefits". *Waste Management*, 29, 1558-1567, 2009.
- [30] Karahalios H. "The application of the AHP-TOPSIS for evaluating ballast water treatment systems by ship operators". *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 172-184, 2017.
- [31] Wang G, Qin L, Li G, Chen L. "Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China". *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2414-2421, 2009.
- [32] Dos Santos PH, Neves SM, Sant'Anna DO, Oliveira CH, Carvalho H.D. "The analytic hierarchy process supporting decision making for sustainable development: An overview of applications". *Journal of Cleaner Production*, 212, 119-138, 2019.
- [33] Saaty TL. "Decision making with the analytic hierarchy process". *International Journal of Services Sciences*, 1, 83-98, 2008.
- [34] Nasution MDTP, Rossanty Y, Daengs GS. A, Sahat S, Rosmawati R, Kurniasih N, Saleh Ahmar A, Susanto E, Novitasari Y, Suhardi S, Abd. Kadir I, Rahim R. "Decision support rating system with analytical hierarchy process method". *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2/3), 105-108, 2018.
- [35] Saaty TL. "A scaling method for priorities in hierarchical structures". *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 234-281, 1977.
- [36] Gong Y, Lu J, Jiang W, Liu S, Wang W, Li A. "Gasification of landfill leachate in supercritical water: Effects on hydrogen yield and tar formation". *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(51), 22827-22837, 2018.