

## ÇÖP SIZINTI SUYU MEMBRAN BİYOREAKTÖR ARITMA TESİSİ NANOFİLTASYON KONSANTRESİNİN SABİT AKTİF KARBON ADSORPSİYON YÖNTEMİ İLE ARITILMASI

Şahan DEDE

İZAYDAŞ İzmit Atık ve Artıkları Yakma ve Değerlendirme A.Ş, Kocaeli, sahan.dede@izaydas.com.tr

Özgür Kaplan

Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği A.B.D, Kocaeli, ozgur.kaplan@kocaeli.edu.tr

Kadri Süleyman Yiğit

Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği A.B.D, Kocaeli, kyigit@kocaeli.edu.tr

### ÖZET

Kocaeli ili evsel atık düzenli depolama alanlarından kaynaklanan çöp sızıntı suları membran biyoreaktör yöntemi ile arıtmakta ve bu sistemde nanofiltrasyon konsantresi ortaya çıkmaktadır. Nanofiltrasyon konsantresinin çöp depolama sahasına geri döndürülerek yönetimi sağlansa da zamanla bu durum arıtma tesisine gelen çöp suyu kirlilik yükünü artmasına ve bu tesis giriş çöp suyunun daha zor arıtılmasına yol açmaktadır. Bu çalışmada membran biyoreaktör nanofiltrasyon ünitesinden çıkan konsantrenin adsorpsiyon yöntemi ile arıtılabilirliği çalışılmış, çapı 100 mm yüksekliği 110 cm olan sabit aktif karbon kolonu kullanılarak konsantre içindeki kirlilik yükünün aktif karbon üzerinde adsorpsiyonu araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda en uygun proses verilerinin 3,7 bar, 11,8 lt/sa debi, akış hızının 1,5 m/sa olduğu tespit edilmiş ve adsorpsiyon yöntemi ile konsantre KOİ gideriminin ancak % 20 seviyelerde sağlandığı tespit edilmiştir. Adsorpsiyon kapasitesinin artırılması amacı ile konsantrenin farklı pH seviyelerinde ve farklı adsorbantlar ile adsorpsiyon çalışmaları yapılmıştır.

*Anahtar Kelimeler:* Nanofiltrasyon Konsantresi, Adsorpsiyon, Aktif Karbon

152

## TREATMENT OF WASTE WATER MEMBRANE BIOREACTOR TREATMENT PLANT NANOFILTRATION CONCENTRATE WITH FIX BED ACTIVE CARBON ADSORPTION METHOD

### ABSTRACT

The leachate from the landfills of Kocaeli city is treated by membrane bioreactor (MBR) method and nanofiltration concentrate is emerged in this system. Although the nanofiltration concentrate is managed by pumping the leachate to the landfill area, as the time passes this leads to an increase in the pollution load of the leachate coming to the treatment plant, which leads to a more difficult treatment of the inlet leachate. In this study, the nanofiltration concentrate of MBR facility was investigated by adsorption method by using a 100 mm diameter and 110 cm height activated carbon column. In the experimental study, 20% COD removal was achieved at 3,7 bar, 11,8 lt/h flow rate and flow velocity of 1,5 m/h. In order to increase the adsorption capacity, experiments were conducted with various pH values and different adsorbents.

*Keywords:* Nanofiltration Concantration, Adsorption, Activated Carbon

## GİRİŞ

Evsel çöplerin depolanması ile kendi bünyesinde ve dışarıdan yağışlarla oluşan çöp sızıntı suyu, kirlilik yükü yüksek ve zor arıtılan suların başında olup klasik arıtma yöntemleri ile istenen seviyede arıtılamamaktadır. Son yıllarda çöp sızıntı sularının arıtılması için ileri arıtım yöntemlerinden Membran Bioreaktör (MBR) prosesi tercih edilmektedir. MBR arıtma prosesi biyolojik arıtmanın yapıldığı aerobik ve anoksik havuzlar, ultra filtrasyon ve ihtiyaç durumunda ardına konulan nanofiltrasyon membranlarından oluşmaktadır. Ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyon membranlarında arıtılan su kanala veya alıcı ortama verilebilecek niteliğe getirilmektedir. MBR arıtma tesisleri organik madde gideriminde yüksek verimliliğe sahip olması, arıtımı zor olan atıksulara uygulanabilmesi, düşük çamur üretimi, yüksek yükleme hızı ve kurulum alanının küçük olması gibi üstünlüklerinin olması yanında dezavantajı birim işletme maliyetinin yüksek ve arıtma sonrası nanofiltrasyon membranlarında oluşan konsantre sıvısıdır. Nanofiltrasyon membranlarında giriş atık suyun % 10 kadar konsantre oluşmakta, konsantre çöp depolama sahasına geri döndürülerek yönetimi sağlanmaktadır. Lagünde buharlaştırma, evaporasyon ve yakma işlemleri uygulanarak bertarafı sağlanabilse de maliyetin yüksek olması nedeni ile konsantrenin çöp depolama sahaslarına geri döndürülerek sorunun çözülmesine çalışılmaktadır. Bu durum zaman içinde arıtma tesisine gelen çöp suyu kirlilik yükünün artmasına ve bu tesis giriş suyun daha zor arıtılmasına yol açmaktadır.

Düzenli katı atık depolama sahaslarından kaynaklanan sızıntı suları, genellikle koyu renkli, ağır kokulu içerdikleri yüksek miktardaki organik maddeler (yağ asitleri ve humik asitler), makro inorganik maddeler (Ca, Mg, Na, K,  $\text{NH}_4^+$ , Fe, Mn,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), azotlu maddeler, ağır metaller (Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn) klorlanmış organik ve inorganik tuzlar ve düşük konsantrasyonda olsa bile aromatik hidrokarbonlar, fenol ve pestisitlerden dolayı hem toprak kirlenmesine hem de yer altı sularının kirlenmesine neden olmaktadır (Wang vd., 2002; Wagner vd., 2013). Düzenli depolama alanında bulunan evsel katı atıklar, yüksek molekül ağırlıklı bileşenlerin daha basit bileşenlere bir dizi fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunmalarına uğramakta, yağmur suyu ve çöp bileşenindeki sıvıların katı atıklardan geçerek süzülmesi ve hidrolik eğim yönünde dolgudan geçmesi sonucu sızıntı suyunun oluşmasına ve hareketine sebep olmaktadır. Sızıntı suyunun bir şekilde toprak ve alıcı ortama ulaşması kirliliğe neden olduğundan arıtılması önem kazanmıştır (Morawe vd., 1995).

Sızıntı suları, organik ve inorganik iyonlar ile metaller dışında mikro kirleticileri de içerebilmektedirler. Çöp suyu bünyesindeki yüksek KOİ, yüksek KOİ/BOİ oranı, amonyum içeriği, toksik kimyasal özelliklere sahip olması ve ağır metal iyonları gibi toksik kimyasalların varlığı çöp sızıntı sularının biyolojik arıtımındaki zorluklardır (Kargi ve Pamukoğlu, 2003). Sızıntı suyu arıtımı için geliştirilen metotlar fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ileri arıtma metotlarıdır. Biyolojik metotlar aerobik ve aneorobik metotlar olup organik madde ve amonyum azotunu gidermektedirler. Özellikle genç deponi alanları için oldukça verimli çalışırlar. BOİ/KOİ oranının yüksek olması durumunda bu verim geçerli olup BOİ/KOİ düştüğünde verim zamanla azalmaktadır. Bu metotlardan herhangi birini tek başına kullanarak yüksek oranda arıtma verimi ve çıkış suyu kalitesi elde etmek zordur. Bunun için sızıntı sularının arıtımında genellikle fiziksel, kimyasal ve biyolojik metotların kombinasyonu, ileri arıtma metotlarında ise adsorpsiyon ve membran teknolojileri kullanılmaktadır (Trebouet vd., 2001; Wiszniowski vd., 2006).

Sızıntı sularının arıtımında kullanılan kimyasal metotlar, koagülasyon-flokülasyon (Amokrane vd., 1997), kimyasal çöktürme ve kimyasal-elektrokimyasal oksidasyonlar; biyolojik metotlar ise aerobik, anaerobik ve anoksik proseslerin kombinasyonudur. Fiziko-kimyasal metotlar genellikle sızıntı suyundan biyolojik olarak giderilemeyen maddeleri gidermek için biyolojik metotlarla beraber kullanılırlar (Bohdziewicz vd., 2001).

Sızıntı suyu arıtımında sıklıkla tercih edilen arıtma yöntemleri Tablo 1.'de özetlemiştir. (Tchobanoglous vd., 1993).

Tablo 1. Çöp sızıntı suyu arıtma yöntemleri

Arıtma Prosesleri	Amaç	
<b>Fiziksel</b>	Çöktürme/flotasyon	Askıda katı madde giderimi
	Filtrasyon	
	Hava ile sıyırma	Amonyak ve uçucu organik madde giderimi
	Adsorpsiyon	Organik madde giderimi
	İyon değiştirme	Çözünmüş inorganik madde giderimi
	Ters Ozmoz	Organik ve inorganik madde giderimi
	Buharlaştırma/yakma	Ters ozmoz konsantresi bertarafı
<b>Kimyasal</b>	Nötralizasyon	pH kontrolü
	Kimyasal çöktürme	Ağır metal ve bazı anyonların giderimi
	Koagülasyon/flokülasyon	Çökelmeyen askıda katı madde giderimi
	Kimyasal oksidasyon	Organik madde giderimi, detoksifikasyon
<b>Biyolojik</b>	Aktif çamur	
	Ardışık kesikli reaktörler	
	Havalandırılmalı lagün/stabilizasyon havuzu	
	Biyofilm sistemleri (damlatmalı filtre, döner biyolojik diskler)	Organik karbon giderimi
	Havasız lagün ve temas tankları	
	Havasız (yukarı akışlı çamur yatağı, filtre veya hibrit) reaktörler	
	Nitrifikasyon/denitrifikasyon	Azot giderimi

Çöp sızıntı sularının arıtılmasında en uygun arıtma yöntemlerinden birisi MBR arıtma yöntemidir. Membran Biyoreaktör (MBR) sistemleri batık ve harici membran olarak kullanılmakta ve oldukça iyi verimler elde edilebilmektedir. Membran kullanımı ile çamur ayrımı oldukça yüksek verimlerde elde edilir ve çıkış suyunda çamur kaçakları minimum seviyede gerçekleşmektedir.

MBR çöp sızıntı suyu arıtma tesisleri fiziksel ön arıtma, dengeleme havuzu, anoksik-aerobik havuz, ultrafiltrasyon-nanofiltrasyon membranları ve çamur susuzlaştırma bölümlerinden oluşmaktadır. Biyolojik Arıtma havuzunda çöp suyunun kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve azot giderimi, amonyum azotunun nitrifikasyon ile nitrat ve nitrite dönüşümü gerçekleşmektedir.

Ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters ozmos gibi membran teknolojileri esasen kirlilikleri indirgemekte daha küçük bir hacme hapsederek konsantre hale getirmektedir (Chaudhari ve Murthy, 2010). Bu kirletici konsantrasyonu çok yüksek konsantrasyonun doğaya bertaraf edilebilmesi için de özellikle kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerinin standart değerlerin altına indirilmesi gerekmektedir. Sızıntı sularının membran teknikleri ile arıtılması sonucu ileri derece arıtılmış süzüntü suyu oluşmakta, membrandan süzulemeyen kısım ise konsantre kısmını teşkil etmektedir.

Membran konsantresi yönetimi şu yöntemlerle yapılmaktadır. (Ayala vd., 2008)

- Yüzeysel sularına karıştırma
- Kanala deşarj
- Lagünde buharlaştırma
- Deniz derin enjeksiyon
- Yeşil alanlara spreyleme
- Çöp depolama sahalarına geri devir
- Evedorasyon, Yakma

Yüzeysel suyu deşarjı, toprak deşarjı, gömme, buharlaştırma lotları ve yakma metotlarında (Wiszniewski 2006; Khan 2009) havanın, temiz su kaynaklarının veya deşarj edilen ortamdaki canlı hayatının kirletilme riski vardır. Bu çalışmada membran arıtımından sonra oluşan konsantrasyonun sabit aktif karbon kolonu adsorpsiyon yöntemi ile arıtılabilirliği araştırılmıştır.

### **Nanofiltrasyon konsantrasyonunun sabit aktif karbon kolonu adsorpsiyon yöntemi ile arıtılması**

Adsorpsiyon, gaz veya sıvı karışımlardan ayrılması istenen bileşenlerin bir adsorplayıcıda tutularak uzaklaştırılmasıdır. Adsorpsiyon, içme sularından safsızlıkların ve renk verici maddelerin giderilmesi atık su ve yeraltı sularından zehirli organik ve inorganik bileşenlerin uzaklaştırılması çok bileşenli karışımların ayırma ve saflaştırılması gibi pek çok alanda kullanılmaktadır Adsorplanan moleküller ile adsorplayıcı yüzey arasındaki çekim kuvvetlerinin türüne bağlı olarak fiziksel, kimyasal, iyonik olmak üzere üç farklı adsorpsiyon tipi bulunmaktadır (Karaca vd., 2004). Adsorpsiyon prosesine etki eden parametreler yüzey alanı, adsorplayıcı ile adsorplanan maddenin cinsi ve özellikleri, ortamın pH ve sıcaklığı etkidir.

Adsorpsiyon prosesinde adsorbant olarak çok çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Çeşitli aktif karbon, zeolit, bazı reçineler, meyva ve sebzelerin yaprak ve çekirdekleri, kullanılan adsorbantlardır. Aktif karbonun yüzey alanının büyük ve porozitesinin yüksek olması tercih edilmesini nedeni olmakla beraber pahalı olması kullanımını kısıtlamaktadır. Bileşim olarak % 87-97 oranlarında karbon içermekte olup geri kalan oranlarda ise hidrojen, oksijen, kükürt ve azot bulunmaktadır. Aktif karbonun en önemli özelliği iç gözenek boşluklarını sınırlayan yüzeylerin oluşturduğu geniş yüzey alanıdır. Aktif karbonun yüzey alanı tipine göre 900-1200 m<sup>2</sup>/gr arasındadır. Kömür, hindistan cevizi ve odun esaslı üretimi

yapılan aktif karbonun çeşitli boyutlarda üretimi yapılabilmektedir. Değişik ebat ve formlarda üretilen aktif karbon görünümü Şekil 1’ de verilmiştir.



Şekil 1. Aktif karbon görünümü

Litaratürde NF konsantrisinin sabit aktif karbon kolon adsorpsiyonu çalışmalarında; Morawe (1995) ön arıtması yapılarak 879-940 mg/lt KOİ aralığına getirilen çöp suyunu seri bağlı iki adet 1250 mm yükseklik ve 60 mm çapında aktif karbon kolonlarından geçirmişlerdir. Aktif karbon olarak 14\*20 mesh granüler odun kullanılmıştır. Çalışma sonucunda KOİ nin % 91,5, BOİ’ nin ise % 67 giderildiği gözlemlenmiştir. Özellikle biyobozunur olmayan maddelerin ve rengin giderildiği tespit edilmiştir. Foo (2013) yaptıkları adsorpsiyon çalışmasında tamarind (demirhindi) meyvesinin tohumlarıyla modifiye hale getirilen aktif karbon ile sızıntı suyunda KOİ’yi % 79,93 oranında gidermiştir. pH değerinin 6, adsorbent dozunun ise 6 mg/200 mL olarak belirlendiği çalışmada tek tabaka adsorpsiyon kapasitesi 64,93 mg/g olarak hesaplanmıştır. Halim (2010) gerçekleştirdikleri çalışmada farklı adsorbent türleri ile başlangıç KOİ konsantrasyonu 2400 mg/L olan sızıntı suyu arıtmaya çalışılmıştır. Çalışmada en verimli adsorbent türü olarak aktif karbon belirlenirken, zeolitin KOİ gideriminde düşük kapasiteye sahip olduğu ortaya koyulmuştur. Li (2010) sızıntı suyunun aktif karbon kullanılarak arıtılması çalışmasında ise koagülasyon/flokülasyon ünitesinde arıtdıktan sonra adsorpsiyon prosesine gönderilen suyun KOİ değerinde % 53 oranında azaldığını tespit etmiştir.

156

#### METOD ve MALZEME:

İZAYDAŞ/Kocaeli MBR çöp sızıntı suyu arıtma tesisinde, nanofiltrasyon membranlarında oluşan konsantrinin özellikleri Tablo 2’ de sabit kolonda kullanılan aktif karbon özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 2. Nanofiltrasyon konsantrisi karakteristiği

<u>PARAMETRE</u>	<u>ANALİZ METODU</u>	<u>Birim</u>	<u>Değer</u>
pH	APHA SM 4500-H	-	6,5-8,5
Fe	EPA METHOD 6020A	mg/lt	5-8,6
Cr	TS EN ISO 17294-2:2007	mg/lt	0,2-2.1
Cu	TS EN ISO 17294-2:2007	mg/lt	0,05-1

Pb	TS EN ISO 17294-2:2007	mg/lt	0-0,5
Zn	TS EN ISO 17294-2:2007	mg/lt	0,1-1,7
Cd	TS EN ISO 17294-2:2007	mg/lt	0,02-0,9
Hg	EPA METHOD 6020A:2007	mg/lt	<0,0003
Cr <sup>+6</sup>	14752 MERCK KİT	mg/lt	0,5-1,5
Toplam Fosfor	14729 MERCK KİT	mg/lt	0,5-1,6
Florür	TS EN 10304-1:2010	mg/lt	<0,05
Askıda Katı Madde	TS EN 872:2007	mg/lt	<30
KOİ	1454-4555-4691 MERCK	mg/lt	2000- 5000
BOİ	SM. 5210 B	mg/lt	5-100
Toplam Azot	14763 MERCK KİT	mg/lt	200-400
Toplam Kejdal Azotu	TS 7924 EN ISO 25663:1997	mg/lt	50-180
Toplam Siyanür	14561 MERCK KİT	mg/lt	0
SO <sub>4</sub> - (Sülfat)	TS EN 10304-1:2010	mg/lt	500-1000
Yağ ve Gres	SM. 5520 D	mg/lt	0
Toplam Organik Karbon	TS 8195 EN 1484:2000	mg/lt	800-2000
Toplam Katı Madde	SM. 2540 B	mg/lt	5000- 18000
Renk	SM.2120 C Sp.metrik	mgPt/lt	3500- 13000
İletkenlik	TS 9748 EN27888:1996	mS/cm	18-22
Klorür	TS EN 10304-1:2010	mg/lt	2200- 4100

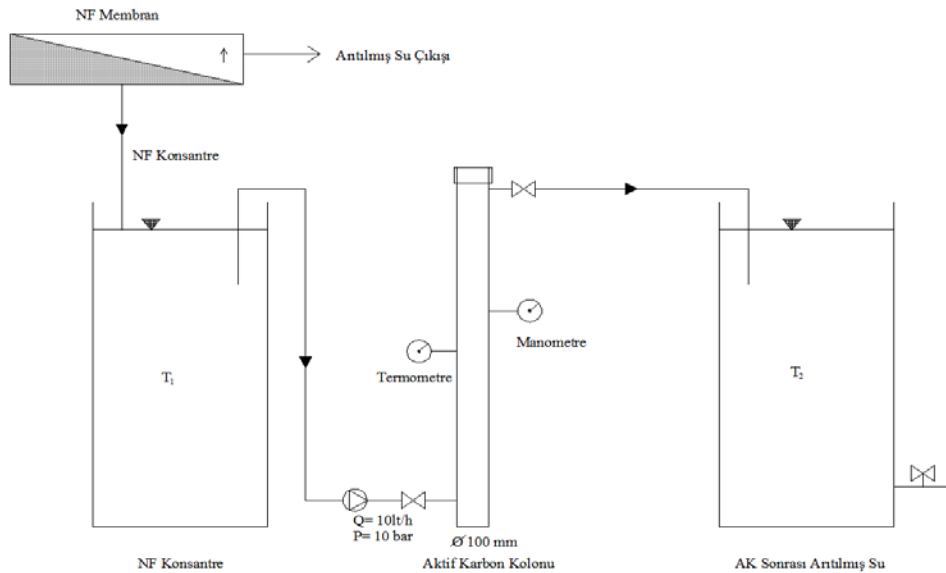
Tablo 3. Aquasorb1000 granül aktif karbonun özellikleri

İyod indeksi	min 850 mg/g
Yüzey alanı	900 m <sup>2</sup> /g
Yoğunluk	510 kg/m <sup>3</sup>
Nem	mak. % 5
Toplam kül	mak % 15
Sertlik	% 96

### Nanofiltrasyon Konsantresi Arıtımı Sabit Aktif Karbon Kolonu Adsorpsiyon Deney Düzenegi

Nanofiltrasyon konsantresinin sabit aktif karbon kolonu adsorpsiyon yöntemi ile arıtılabilirlik çalışmaları yapmak için 12 lt hacminde sabit kolon deney düzenegi tasarlanmıştır. Sabit aktif karbon kolonu paslanmaz çelikten silindirik yapıda imal edilmiş olup yüksekliği 1300 mm, çapı 100 mm ve et kalınlığı 2,5 mm boyutlarındadır. Kolon üzerinde basınç ve sıcaklık takibi yapılabilmesi için manometre ve termometre mevcuttur. Sabit aktif karbon kolonda konsantre su girişi alt kısımdan, konsantre çıkışı üst kısımdan alınmaktadır. Sabit kolon üst kısmında, aktif karbonun kolondan dışarı kaçmaması için 45 mesh delik boyutlarında elek konmuştur. Konsantrenin kolona basılmasını sağlayacak diyaframlı bir dozaj pompası monte edilmiş olup, pompa basma debisi 0- 40 lt/saat ve basıncı 0-10 bar aralığındadır. Nanofiltrasyon konsantresinin kolonda geçiş hızı, kolon çıkışında bulunan vana ile ayarlanmaktadır. Konsantre 100 lt hacminde T<sub>1</sub> kabına işlem gördükten sonra T<sub>2</sub> kabına alınmaktadır. T<sub>2</sub> kabı için 100 lt ve 1000 lt hacminde iki farklı depolama kabı kullanılmıştır. Pompa emme ve basma hatlarında 8 mm çapında elastik bağlantı parçaları kullanılmıştır. Sabit kolono doldurulan aktif karbon miktarının belirlenmesinde ve tüm debi ölçümlerinde dereceli cam beher kullanılmıştır. Deney düzenegi akış şeması Şekil 2, deney düzenegi görünümü Şekil 3’de verilmiştir.

158



Şekil 2. Sabit aktif karbon kolon adsorpsiyon deney düzenegi



Deney düzeneğinde 1-3 mm boyutunda (8-30 mesh) Jacobi Carbon Aquasorb1000 tipi granül aktif karbon kullanılmıştır. Aquasorb1000 aktif karbon genellikle atıksu arıtma ve endüstriyel alanlarda, atıksu içinde bulunan organik madde, pestisid ve çeşitli kimyasaların tutulmasında kullanılmaktadır.



Şekil 3. Sabit aktif karbon kolon adsorpsiyon deney düzeneği görünümü

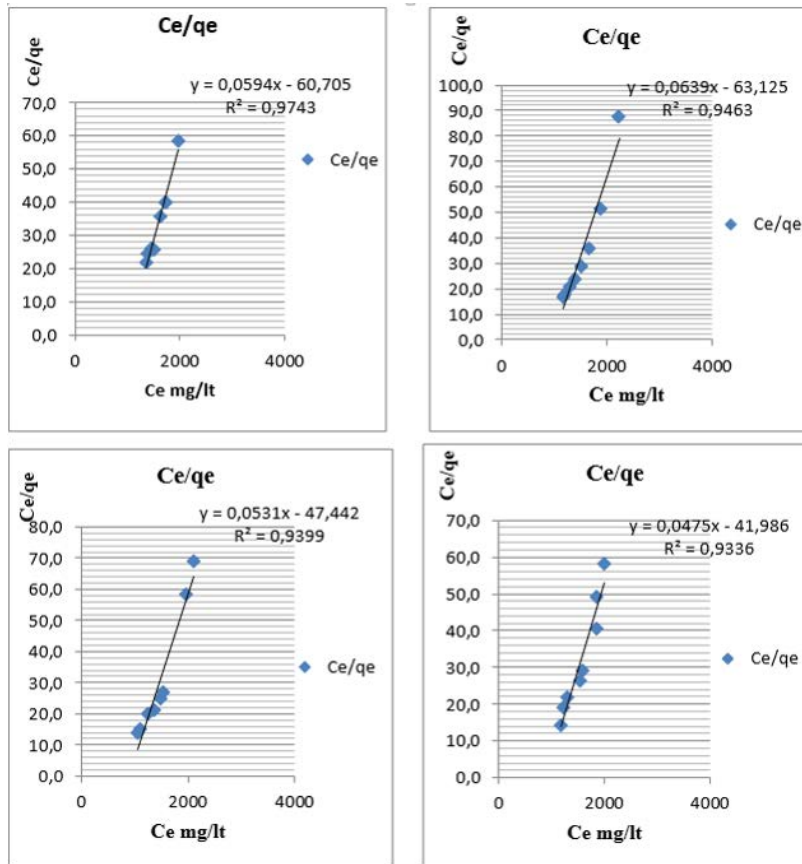
## ÇALIŞMA BULGULARI

### Nanofiltrasyon konsantrisinin farklı basınç, debi ve kontakt sürelerde sabit aktif karbon kolonu adsorpsiyon deneysel çalışmaları

NF konsantrisinin sabit aktif karbon kolonu adsorpsiyon yöntemi ile arıtılması için aktif karbon kolonu düzeneğinde 2,5 kg aktif karbon doldurularak farklı basınç, debi ve kontakt süresince deneyler yapılmıştır. Optimum çalışma basıncı, debi ve hız değerleri tespit edilmiştir. NF konsantrisinde KOİ giderimi bir başka deyişle adsorpsiyon kapasitesinin artırılması amacı ile nanofiltrasyon konsantrisi üzerinde ön işlemler yapıp denemeler tekrarlanmıştır. NF konsantrisi içine KOİ neden olan organik moleküllere klor bağlanması için hipoklorit, moleküllerin okside edilerek parçalanması için ozon verilmiştir. Bu çalışma ile molekül yapısı büyütülen veya parçalanarak küçültülen moleküllerin aktif karbon yüzeyine daha iyi tutulması sağlanmak istenmiştir. NF konsantrisi içine kostik ve hidroklorik asit katılarak pH ayarlaması yapılmış adsorpsiyon kapasitesi artırılmaya çalışılmıştır. Tüm çalışmalar ortam sıcaklığı şartlarında yapılmıştır.

Aktif karbon ile yapılan sabit aktif karbon kolonu adsorpsiyon çalışmalarında sabit kolon çalışma basıncı, konsantre debisi, konsantrinin kolon içindeki hızı ve aktif karbon yatak derinliği arıtılabilirliği etkileyen parametrelerdir. NF konsantrisinin arıtılabilirliği için sabit aktif karbon kolonu adsorpsiyon deney düzeneğinde basınç uygulanmadan ve 2, 4, 6 bar basınç, 5 lt/saat ve 10 lt/saat debi ve 15, 30 dakikalık kontakt süreleri ile deneyler yapılmıştır. Her bir basınçta deney süresi 20 saat olup deneyler çok kere tekrarlanmıştır. Sabit aktif karbon kolonundan geçirilmiş nanofiltrasyon konsantrisi ayrı bir kaba alınarak KOİ analizi yapılmıştır. Aktif karbon üzerinde gerçekleşen adsorpsiyon işleminin Langmuir izoterm verileri Şekil 4 ve Tablo 4' de gösterilmiştir.



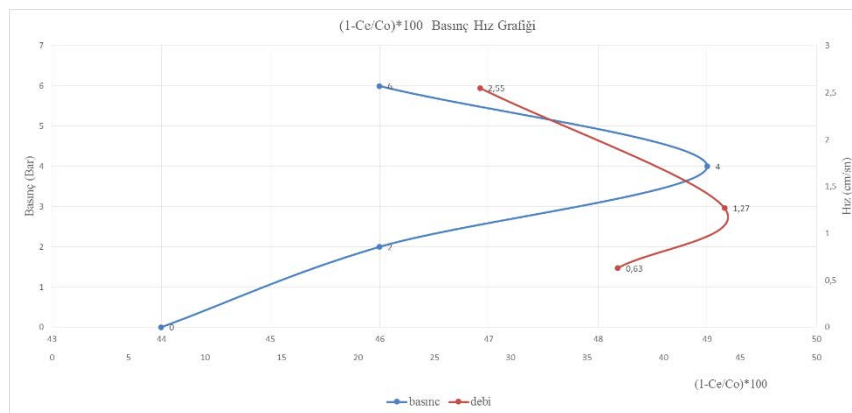


Şekil 4. İzoterm eğrileri

Tablo 4. Langmuir izoterm verileri

Basınç(bar)	qm	b	R <sup>2</sup>	Ce/Co
0	17,6	0,0010	1	0,61
2	28,7	0,0015	0,99	0,51
4	31,25	0,0014	0,99	0,49
6	21,4	0,0010	0,99	0,56

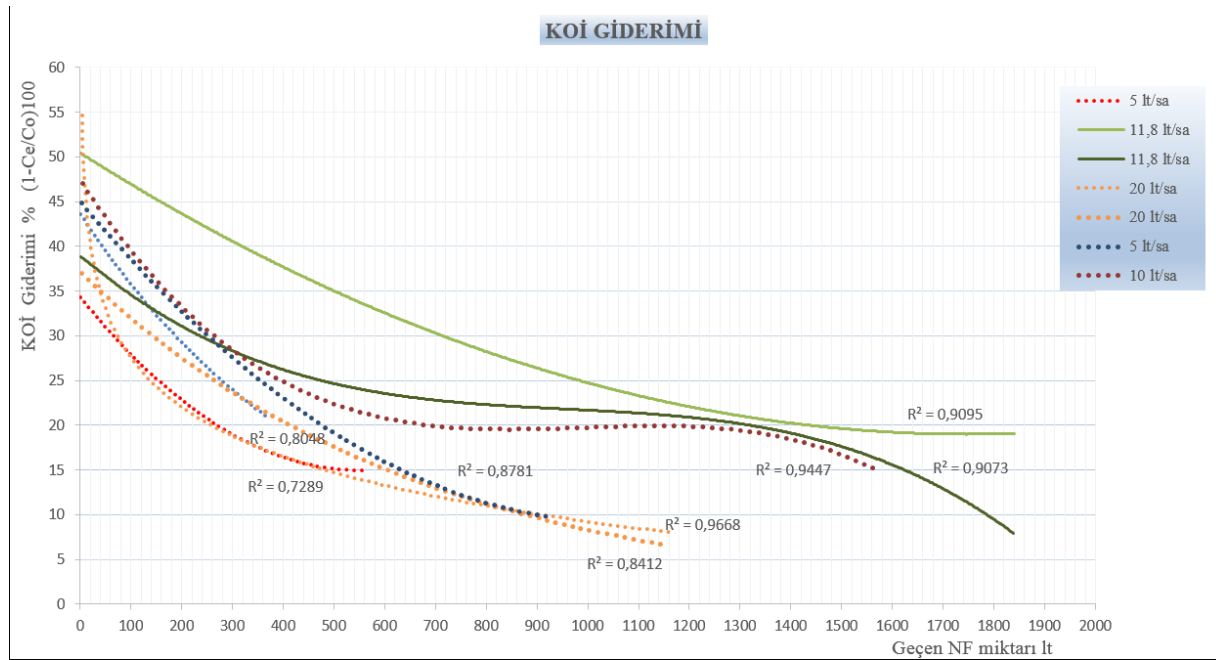
Bu deneyler sonucunda Şekil 5’de verilen eğrilerin optimum noktaları belirlenmiş ve en uygun çalışma basıncı 3,7 bar, debi 11,8 lt/sa ve bu debiye karşılık konsantre akış hızı 1,5 m/sa olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Basınç,debi, hız diyagramı

## Nanofiltrasyon Konsantresinin Zamana Göre Sabit Aktif Karbon Kolonu Adsorpsiyonu Deneysel Çalışmaları

Aktif karbon üzerinden ne kadar miktarda nanofiltrasyon konsantresi geçirildiğinde doygunluğa ulaştığının tespit edilmesi amacıyla kolona doldurulan 2,5 kg aktif karbon üzerinde 3,7 bar basınç uygulanarak 5,10 ve 20 lt/sa debileri ile aktif karbon üzerinden geçen debi ve zaman esas alınarak deneysel çalışma yapılmıştır. Nanofiltrasyon konsantresinin farklı debilerde zamana göre arıtılabilirliği ve adsorpsiyon kapasitesi Şekil 6'da verilmiştir. x ekseninde aktif karbon üzerinden geçirilen toplam nanofiltrasyon konsantresi, y ekseninde KOİ giderim adsorpsiyon verimi  $(1-C_e/C_o)*100$  görülmektedir.



161

Şekil 6. Aktif karbon üzerinden geçen NF miktarının değişim ve KOİ giderimi

Arıtılabilirliğin % 20 ye ulaştığı yani  $C_e/C_o$  değerinin 0,8 olduğu nokta baz alınarak ( $KOİ_{çıkış}/KOİ_{giriş} = 0,8$ ) en iyi adsorpsiyon kapasitesinin 11,8 lt/sa debide alındığı buna karşılık gelen kontakt süresinin 30 dk olduğu tespit edilmiştir.

Bu debi ve kontakt süresinde 3,7 bar basınç altında toplamda 1500 lt NF konsantresinin 2,5 kg aktif karbondan geçirildiği, ilk 100 lt için % 40-50, 300 lt geçişte % 30-40 civarında bir arıtma sağlandığı geçen NF konsantresi artıkça aktif karbonun dolduğu ve 1500 litrede adsorpsiyon işlevinin iyice azaldığını göstermektedir. %20 arıtma veriminde aktif karbon üzerinden geçirilen konsantre miktarının 1120 lt olduğu tespit edilmiştir.

### Nanofiltrasyon konsantresinin farklı pH seviyelerinde adsorpsiyon deneysel çalışmaları

Nanofiltrasyon konsantresinin arıtılabilirliği için sabit aktif karbon kolonu adsorpsiyonu deney düzeneğinde, konsantre içine sodyum hipoklorit katılması ve konsantrenin farklı pH seviyelerine getirilmesi ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. 100 lt NF konsantresi içine 500 ml sodyum hipoklorit

eklenmiş sonrasında kostik ve hidroklorik asit uygulanarak pH değerinin 4,5 ve 9 değerine getirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca NF konsantresine sadece kostik ve hidroklorik eklenerek konsantrede pH ayarlaması yapılmıştır. Bu şekilde hazırlanan konsantre sabit aktif karbon kolonundan geçirilmiştir. Çalışmaya ait deneysel veriler aşağıdadır. Burada sodyum hipoklorit (NaClO) kullanılmasının nedeni NF konsantresi içinde bulunan organik bileşenlere klor bağlanması sağlanarak molekül yapısının büyütülmesi ve aktif karbonun makro gözeneklerinde tutulması amaçlanmıştır. Böylece molekül ağırlığı büyüyen organik bileşenin aktif karbon üzerine adsorpsiyonu sağlanmak istenmiştir.

Deney sonuçları NF konsantresine sodyum hipoklorit eklenmesi ve farklı pH uygulamalarında adsorpsiyon arıtma verimliliği üzerinde olumlu etkiler ortaya koymadığını göstermiştir. Deneyler üçer kere tekrarlanmış olup ortalama sonuçlar Tablo 5’ de verilmiştir.

Tablo 5. KOİ giderim tablosu

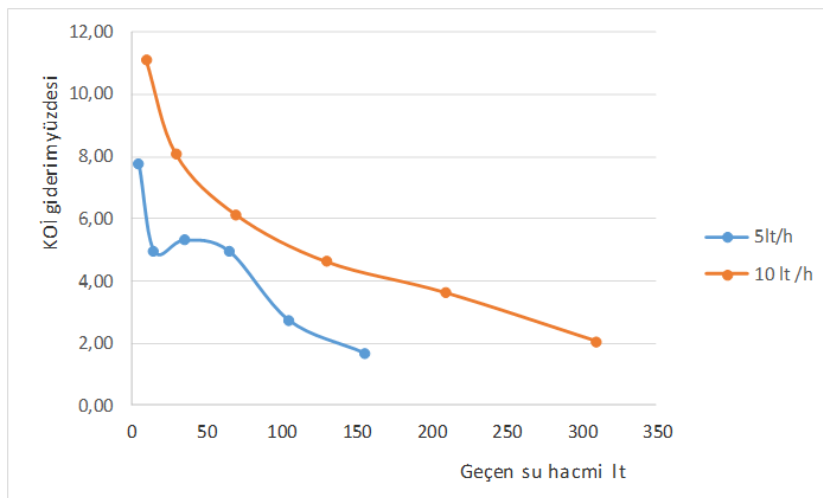
NF Ön işlem Metodu	KOİ giderimi %
NaClO+ HCl	34
NaClO+ Kostik	37
Kostik	34
HCl	30

### Farklı adsorbant malzemeleri ile yapılan adsorpsiyon deneysel çalışmaları

Sabit aktif karbon kolonu adsorpsiyon düzeneğinde zeolit ve hindistan ceviz esaslı aktif karbon (coconut AC) kullanılarak NF konsantresinin KOİ giderimi irdelenmiştir.

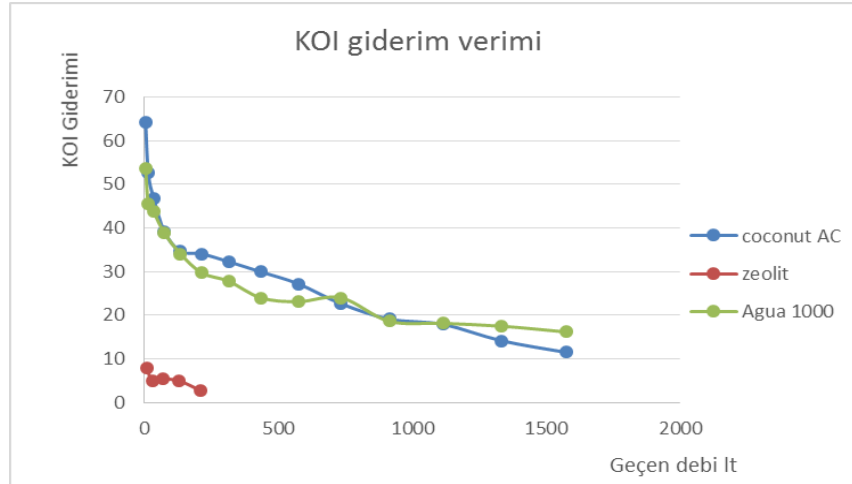
Zeolit fildişi beyaz görümlü, porozitesi % 45-50 yüzey alanı 39 m<sup>2</sup>/g, yoğunluğu 0,65 g/cm<sup>3</sup>, %90-95 klinoptilolit minarel, SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kimyasal içeriğe sahiptir. Aktif karbon hindistan ceviz esaslı olup 1000-1200 m<sup>2</sup>/g ve yoğunluğu 0,485 gr/cm<sup>3</sup> ve 8-30 mesh boyutlarındadır. Hindistan ceviz esaslı aktif karbonlar porozitesi mikro gözenekli olduğundan küçük moleküllü kirleticilerin adsorbe edilmesinde kullanılmaktadır (Küçükgül, 2004). 1-3 mm granül zeolit ile yapılan çalışmada zeolit üzerinden 5 ve 10 lt/sa debide 3,7 bar basınç uygulanarak deney yapılmış, zeolit üzerinde istenen miktarda adsorpsiyon gerçekleşmediği tespit edilmiştir. Şekil 7’deki grafikten görüldüğü üzere zeolitle yapılan deneysel çalışmada 300 lt NF konsantresi için % 2’ lik bir KOİ giderimi sağlanmıştır.

162



Şekil 7. Zeolit adsorbantı kullanımında KOİ giderimi

Hindistan cevizi esaslı aktif karbon(coconut AC), Aguasorb 1000 karbon ve zeolit KOİ giderim verimleri arasındaki durum Şekil 8’ de verilmiş olup hindistan cevizi esaslı aktif karbon ve Aguasorb 1000 aktif karbon KOİ giderim verimleri birbirine yakın çıkmıştır.



Şekil 8. Zeolit, coconut, aquasorb 1000 adsorbantları KOİ giderimi

## SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

MBR arıtma tesisi nanofiltrasyon konsantre arıtımı sabit aktif karbon adsorpsiyon deneysel çalışmasında nanofiltrasyon konsantresi KOİ giderimi farklı basınç, debi ve kontakt sürelerde incelenmiştir. 3,7 bar basınç, 30 dakikalık kontakt süresinde 11,8 lt/sa debiye karşılık gelen 1,5 m/sa hızda en yüksek adsorpsiyon sağlanarak KOİ giderimin yapıldığı, 2,5 kg aktif karbon üzerinde geçen ilk 100 lt için KOİ gideriminin % 50 olarak bulunduğu, sabit kolon üzerinden 1120 lt NF konsantresi geçtiğinde aktif karbonun dolduğu ve KOİ gideriminin % 20 lere düşerek adsorpsiyon işleminin tamamlandığı tespit edilmiştir.

Sabit aktif karbon kolonu adsorpsiyonun Langmuir izotermine uygun olduğu ve adsorpsiyon kapasitesinin 15 dk kontak süresi için 18,83 mg/g, 30 dk kontak süresi için 31,25 mg/g olduğu tespit edilmiştir.

Nanofiltrasyon konsantresi içine hipoklorit (NaOCI ) katılarak fonksiyonel guruplara klor bağlanması ve molekül yapısının büyütülerek aktif karbon yüzeyinde tutulması amaçlanmış ve konsantrenin farklı pH seviyelerine getirilerek KOİ giderimi incelenmiştir. pH ayarlaması kostik ve hidroklorik asit ile yapılmış, deneysel çalışmada adsorpsiyon kapasitesinin ve KOİ giderim veriminin artırılmadığı tespit edilmiştir. NF konsantre içine hipoklorit eklenmesi ve pH ayarlaması ilgili yapılan her iki deneysel çalışma verilerinde sabit aktif karbon kolonundan 100 lt NF konsantresi geçirilmiş % 30-37 aralığında KOİ giderimi sağlanabilmiştir.

NF konsantresi arıtımı için % 90-95 klinopolit içerikli doğal zeolit ve hindistan cevizi esaslı aktif karbon kullanılarak adsorpsiyon kapasitesi deneysel çalışması yapılmıştır. Deneysel çalışmada zeolit adsorbenti kullanımında 100 lt NF konsantresi için ancak % 2’ lik KOİ giderimi sağlanmıştır. Kullanılan zeolit yüzey alanı 39 m<sup>2</sup>/gr, olup adsorpsiyon kapasitesinin düşük olması yüzey alanının küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Hindistan cevizi esaslı aktif karbon kullanımında ise KOİ giderim verimi Aguasorb 1000 AC ile yakın olduğu tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Amokrane, A., Comel, C. ve Veron, J. (1997) Landfill leachate pretreatment by coagulation-flocculation, *Water Research*, 31(11), 2775-2782,
- Ayala P., Smith D., Gamal M., Membran Cocentrate Management Options, Publised on the NRC Research Pres, 2009, 36, 1107-1119.
- Bohdziewicz J., Bodzek M., Gorska J., Application of Pressure-Driven Membrane Techniques to Biological Treatment of Landfill Leachate, *Process Biochemistry*, 2001, 36(7), 641-646.
- Chaudhari, L. B., Murthy, Z. V., Treatment of Landfill Leachates by Nanofiltration, *Journal of Environmental Management*, 2010, 91, 1209-1217.
- Foo K. Y., Lee L. K., Hameed B. H., Batch Adsorption of Semi-Aerobic Landfill Leachate by Granular Activated Carbon Prepared by Microwave Heating, *Chemical Engineering Journal*, 2013, 222, 259-264.
- Halim A. A., Aziz H. A., Johari M. A. M., Ariffin K. S., Comparison Study of Ammonia and COD Adsorption on Zeolite, Activated Carbon and Composite Materials in Landfill Leachate Treatment, *Desalination*, 2010, 262, 31-35.
- Kargi F., Pamukoğlu M. Y., Powdered Activated Carbon Biological Treatment of Pre-Treated Landfill Leachate in Fed-Batch Reactor, *Biotechnology Letters*, 2003, 25, 695-699.
- Karaca S., Gürses A., Bayrak R., Effect of Some Pre-Treatments on the Adsorption of Methylene Blue by Balkaya Lignite, *Energy Conversion and Management*, 2004, 45, 1693-1704.
- Khan S. J., Murchland D., Rhodes M., Waite T. D., Management of Concentrated Waste Streams from High-Pressure Membrane Water Treatment Systems, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2009, 39, 367-415
- Li W., Hua T., Zhou Q., Zhang S., Li F., Treatment of Stabilized Landfill Leachate by the Combined Process of Coagulation/Flocculation and Powder Activated Carbon Adsorption, *Desalination*, 2010, 264, 56-62.
- Morawe B., Ramteke D. S., Vogelpohl A., Activated Carbon Column Performance Studies of Biologically Treated Landfill Leachate, *Chemical Engineering and Processing*, 1995, 34, 299-303.
- Öztürk İ., Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları, İSTAÇ Yayınları, İstanbul, 2010.
- Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S. A., *Integrated Solid Waste Management*, McGraw Hill Inc., 1993
- Trebouet D., Schlumpf JP., Jaquen P., Quemeneur F., Stabilized Landfill Leachate Treatment by Combined Physicochemical-Nanofiltration Processes, *Water Res*, 2001, 35(12), 2935-2942.
- Wagner G. M., Miriam C.S. A., Lisete C. L., Evaluation of Landfill Leachate Treatment by Advanced Oxidative Process by Fentons Reagent Combined with Membrane Separation System, *Waste Management*, 2013, 3389-101
- Wiszniewski J., Robert D., Surmacz-Gorska J., Miksch K., Weber J. V., Landfill Leachate Treatment Methods: A Review, *Environ Chem Lett*, 2006, 4, 51-61.
- Wang Y., Li X., Zhen L., Zhang H., Zhang Y., Wang C., Electro-Fenton Treatment Of Concentrates Generated In Nanofiltration of Biologically Pretreated Landfill Leachate, *Journal of Hazardous Materials*, 2012, 229-230, 115-121.