



**İÇME SULARINDAN NANOFİLTRASYON İLE DEMİR
VE MANGAN GİDERİMİ**

Ayşe Didem BULUŞ

Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ali Rıza DİNÇER

Eş Danışman: Doç. Dr. Deniz İzlen ÇİFÇİ

2021

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İÇME SULARINDAN NANOFİLTRASYON İLE DEMİR VE MANGAN GİDERİMİ

Ayşe Didem BULUŞ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Doç. Dr. Ali Rıza DİNÇER
İkinci Danışman: Doç. Dr. Deniz İzlen ÇİFÇİ

TEKİRDAĞ-2021

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans/Doktora Tezi

İÇME SULARINDAN NANOFİLTRASYON İLE DEMİR VE MANGAN GİDERİMİ

Ayşe Didem BULUŞ

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ali Rıza DİNÇER

Eş Danışman: Doç. Dr. Deniz İzlen ÇİFÇİ

Bütün dünyada ve ülkemizde de olduğu gibi yeraltı, yerüstü sularını koruma bilinci artmaktadır. Dünya çapında yükselmekte olan nüfus, gıdaya olan ihtiyacın artmakta olması, tarımsal faaliyetler, sanayileşmenin artması, küresel ısınma ve insandan kaynaklanan sorunlar – erozyon gibi-, kullanılabilir yeraltı su havzalarında kirlenmeye ve azalmaya sebep olmuştur. Yakın zamanda su havzalarından kaynaklı dünya çapında anlaşmazlıklar olabileceği düşünülmektedir. Bir ülkenin sahip olduğu temiz su havları, o ülkenin zenginliği olacaktır. İçme suyuna bağlı sıkıntılar ülkemizde de görülmektedir. Dünya üzerinde bazı ülkeler, kullanılmayan su havzalarını arıtarak içilebilir seviyeye getirmişlerdir. Bazı ülkeler ise içilemez dedikleri deniz suyunu içilebilecek seviyeye kadar arıtmaya başlamışlardır. Bu problemler kaynaklı insanlığın membran teknolojilerinden beklentileri büyüktür. Membran teknolojileri ile yapılan çalışmalara her gün bir yenisi eklenmektedir. Henüz ekonomik olmasa da içme suyu problemini bir manada çözebileceğini göstermiştir. Bu çalışmada; içilebilir su havzaları gibi bir zenginlik yarışında, membran teknolojisi gibi günümüzde hızla gelişen teknolojilerden biri olması nedeniyle ülkemize takviye yapmak amacıyla ve ülkemizde içme suyu sıkıntısı yaşanmaması amacıyla hazırlanmış bulunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Demir, Mangan, Nanofiltrasyon, ileri arıtma

2021, 30 sayfa

ABSTRACT

MSc./PhD Thesis

IRON AND MANGANESE REMOVAL FROM DRINKING WATER BY

NANOFILTRATION

Ayşe Didem BULUŞ

Tekirdağ Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali Rıza DİNÇER

Co-Supervisor: Doç. Dr. Deniz İzlen ÇİFÇİ

As in the whole world and in our country, awareness of protecting underground and surface waters is increasing. Worldwide rising population, increasing need for food, agricultural activities, increased industrialization, global warming and human problems - such as erosion - have caused pollution and decline in usable groundwater basins. It is thought that there may be disputes around the world due to water basins in the near future. The clean water basins of a country will be the wealth of that country.

Problems related to drinking water are also seen in our country. Some countries around the world have made unusable water basins treated to a potable level. Some countries, on the other hand, have begun to purify the sea water, which they consider non-potable, to a drinkable level. Because of these problems, humanity has great expectations from its technology. A new one is added every day to the work done with membrane technologies. He could solve the drinking water problem in a way if it was not economical yet.

Today, we are in a race for wealth like technologies, in a race for wealth like potable water basins, to supplement our country and to avoid drinking water shortages in our country.

Keywords: Iron, Manganese, Nanofiltration, advanced treatment

2021, 30 pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	iv
ŞEKİL DİZİNİ.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	2
2.1. Demirin Genel Özellikleri	2
2.1.1. Demirin sağlık üzerine etkileri	2
2.1.2. Arıtma yöntemleri.....	3
2.2. Manganın Genel Özellikleri.....	3
2.2.1. Manganın sağlık üzerine etkileri	4
2.2.2. Arıtma yöntemleri.....	4
2.3. Membran Filtrasyon Prosesleri.....	5
2.3.1. Membran filtrasyon prosesinin genel özellikleri	5
2.3.2. Membran filtrasyonunun temel prensipleri	5
2.3.3. Ters osmoz ve nanofiltrasyon.....	6
2.3.4. Membran por boyutları ve filtrasyon verimi	8
2.3.5. Membran modülleri ve materyalleri	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1. Materyal.....	14
3.2. Deneysel Yöntem.....	15
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	17
4.1. Flux Deneyi	17
4.2. NP010 ve NP030 Filtrelerinde Demir Giderimi	18
4.3. NP010 ve NP030 Filtresinde Mangan Giderimi.....	21
4.4. NP010 Filtresinde Demir Ve Mangan Giderimi.....	23
5. SONUÇLAR.....	27
KAYNAKLAR.....	29
ÖZGEÇMİŞ	30

ÇİZELGE DİZİNİ

- Çizelge 2.1. İçme ve kullanma sularında müsaade edilen demir konsantrasyonu değerleri3
Çizelge 2.2. İçme ve kullanma sularında müsaade edilen mangan konsantrasyonu değerleri...4



ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 2.1. Osmoz ve ters osmozun gösterimi	7
Şekil 2.2. Değişik ayırım süreçlerinin uygulanabilirlik alanları.....	8
Şekil 2.3. Hollow-fiber membranlar.....	11
Şekil 2.4. Hollow-fiber membran modülü.....	11
Şekil 2.5. Sprial-wound membran yapısı	12
Şekil 2.6. Sprial-wound membran modülleri	13
Şekil 2.7. Membran kartuş filtreleri	13
Şekil 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan membran düzeneği	14
Şekil 4.1. Farklı basınçlarda zamanla sızıntı suyu miktarı değişimi (2 bar, 4 bar, 6 bar, Filtre tipi: NP010, Saf su)	17
Şekil 4.2. Farklı basınçlarda zamanla sızıntı suyu miktarı değişimi (2 bar, 4 bar, 6 bar, Filtre tipi: NP030, Saf su)	18
Şekil 4.3. 1 mg/L Fe ⁺² konsantrasyonunda farklı basınçlarda zamanla sızıntı miktarının dağılımı (Filtre Tipi: NP010).....	19
Şekil 4.4. 1 mg/L Fe ⁺² konsantrasyonunda zaman ve filtre basıncına bağlı olarak absorbansın değişmesi (Filtre Tipi: NP010).....	19
Şekil 4.5. 1 mg/L Fe ⁺² konsantrasyonunda farklı basınçlarda zamanla sızıntı miktarının dağılımı (Filtre Tipi: NP030).....	20
Şekil 4.6. 1 mg/L Fe ⁺² konsantrasyonunda zaman ve filtre basıncına bağlı olarak absorbansın değişmesi (Filtre Tipi: NP030).....	20
Şekil 4.7. 1 mg/L Mn ⁺² konsantrasyonunda farklı basınçlarda zamanla sızıntı miktarının dağılımı (Filtre Tipi: NP010).....	21
Şekil 4.8. 1 mg/L Mn ⁺² konsantrasyonunda zaman ve filtre basıncına bağlı olarak absorbansın değişmesi (Filtre Tipi: NP010).....	22
Şekil 4.9. 1 mg/L Mn ⁺² konsantrasyonunda farklı basınçlarda zamanla sızıntı miktarının dağılımı (Filtre Tipi: NP030).....	22
Şekil 4.10. 1 mg/L Mn ⁺² konsantrasyonunda zaman ve filtre basıncına bağlı olarak absorbansın değişmesi (Filtre Tipi: NP030).....	23
Şekil 4.11. 1 mg/L Fe ⁺² ve 1 mg/L Mn ⁺² konsantrasyonunda zaman ve filtre basıncına bağlı olarak sızıntı miktarının dağılımı (Filtre Tipi: NP010)	24
Şekil 4.12. 1 mg/L Fe ⁺² ve 1 mg/L Mn ⁺² konsantrasyonunda demirin zaman ve filtre basıncına bağlı olarak absorbansın değişmesi (Filtre Tipi: NP010).....	24
Şekil 4.13. 1 mg/L Fe ⁺² ve 1 mg/L Mn ⁺² konsantrasyonunda manganın zaman ve filtre basıncına bağlı olarak absorbansın değişmesi (Filtre Tipi: NP010).....	25
Şekil 4.14. 1 mg/L Fe ⁺² ve 1 mg/L Mn ⁺² konsantrasyonunda zaman ve filtre basıncına bağlı olarak sızıntı miktarının dağılımı (Filtre Tipi: NP030)	25
Şekil 4.15. 1 mg/L Fe ⁺² ve 1 mg/L Mn ⁺² konsantrasyonunda demirin zaman ve filtre basıncına bağlı olarak absorbansın değişmesi (Filtre Tipi: NP030).....	26
Şekil 4.16. 1 mg/L Fe ⁺² ve 1 mg/L Mn ⁺² konsantrasyonunda manganın zaman ve filtre basıncına bağlı olarak absorbansın değişmesi (Filtre Tipi: NP030).....	26

SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
dk	: Dakika
EPA	: ABD evre Koruma Kurumu
gr	: Gram
MF	: Mikrofiltrasyon
mg	: Miligram
mg/L	: Miligram/litre
mL	: Mililitre
μm	: Mikrometre
NF	: Nanofiltrasyon
NTU	: Nefelometrik bulanıklık birimi
pH	: Asitlik ve bazlık derecesini tarif eden ölçü birimi
PA	: Poliamid
RO	: Ters osmoz
UF	: Ultrafiltrasyon
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezimin her aşamasında bilgi ve desteğiyle yanımda olan, tecrübelerini aktaran danışmanım Doç. Dr. Ali Rıza Dinçer ve Doç. Dr. Deniz İzlen ÇİFÇİ Hocalarıma ve destekleri için aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mart, 2021

Ayşe Didem BULUŞ

Çevre Mühendisi



1. GİRİŞ

İçme suyunun genel tanımına bakarsak, uzun süreli kullanımında sağlık sorunlarına neden olmayan özelliğinde ki su olarak tanımlanmıştır. Dünya çapındaki sağlık kuruluşlarının hazırladıkları istatistiki verilerin ışığında, günümüz çağında yaklaşık olarak bir milyar insanın temiz içme suyuna ulaşamadığı gözlemlenmiştir. Son yıllarda içme suyu, ülkelerin siyasi coğrafyasında önemini belirleyen faktörlerden sayılmaya başlanmıştır. Farklı metotlar denenerek ve yeni teknolojiler geliştirilerek büyük miktarda kaynaklar ayrılarak güvenilir içme suyu sağlanmaktadır.

Bu araştırmada nanofiltrasyon yöntemi ile içme sularında demir ve mangan giderimi incelenmiş olup, demir ve mangan giderim verimini etkileyen derişim ve filtrasyon zamanı gibi değişken etkileri araştırıldı. Bruggen ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada nanofiltrasyonun en güzel uygulama alanının içme suyu üretimi olduğu ve daha yeni alanlarda da kullanılabileceğinden söz edilmektedir (Bruggen vd., 2008). Timmer yaptığı çalışmada her gün bir milyon metreküpten fazla suyun bütün dünyada nanofiltrasyon ve ultrafiltrasyon ile arıtıldığı belirtilmiştir (Timmer, 2001).

Demir ve manganın iyon halleri atıksular da ve içme sularında çözünmüş halde bulunur. Demir ve mangan iyonunun yüksek miktarda bulunması, işletmelerde sorun yaratır. Bu yüzden suların işletmelerde kullanılmadan önce demir ve mangan iyonlarından arındırılması gerekir. İşletme de sorun çıkarılması istenmiyorsa demir iyonu oranının 0.5 mg/L'den, manganın ise 0.1 mg/L'den az olması gerekmektedir. Demir ve manga iyonu suda çözündüklerinde okside olarak, katı partiküllere dönüşürler. Bu partiküller filtrelere tutunarak sudan ayrılırlar. Manga iyonuna kıyasla demir iyonu nötr ve alkali pH'larda daha kolay okside olur.

Demir iyonunun aksine mangan iyonunun katı hale getirilmesi çok zordur. Mangan iyonu ilk oksidasyonun pembe renkli bir koloidal dönüşür. Bu madde filtrelenebilecek kadar ufaktır. Daha sonra demir çözültisi ile reaksiyona sokularak. Farklı bir formülasyona dönüştürülür ve filtreye tutunabilir.

Günümüze kadar değişik yöntemler kullanılarak metal iyonlarının suda okside olması denenilmiştir. Suyun pH derecesi, iletkenliği, sıcaklığı ve genel kimyasal analizi farklı olduğundan, farklı sularda bu iyonların oksitlenmesi için farklı yöntemler denenilmiştir. Bu çalışmada nanofiltrasyon yöntemi denenilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Demirin Genel Özellikleri

Dünya üzerinde en çok bulunan metallereinden biri demirdir. Fakat element olarak doğada bulmak çok zordur. Fe^{+2} ve Fe^{+3} demir iyonları oksijen ve sülfür içeren bileşiklerle birleşerek hidroksitleri, oksitleri, sülfatları ve karbonatları oluşturmaktadır. En fazla doğada oksitlenmiş hali karşılarız demirin. Konsantrasyonu doğal su kaynaklarında 0,5-50 mg/L aralığında değişir (WHO, 2011).

Demir kayaların ve minerallerin aşınmasından dolayı, atık su salınımlarında ve demir alanında çalışan endüstrilerden kaynaklı olarak suda bulunur (Ucar, 2012). Ayrıca demir, çelik ve dökme boruların korozyonundan ve ya demir bileşenli koagülantların kullanımından dolayı çeşme suyunda bulunur.

40 µg/L Fe^{+2} derişimleri, saf suda tat kontrol yoluyla tespiti sağlanır. Mineralize su havzasında toplam madde miktarı 500 mg/L, tat ile tat alma eşik değeri 0,12 mg/L'dir. 0,3 mg/L ve altında ki miktarlarda suyun ağızda bıraktığı tat da çoğunlukla dikkate değeri bir farklılık görülmez (WHO, 2003).

Kararsız yapıda davranan Fe^{+2} tuzları içme sularında, suda çözünmeyerek Fe^{+3} hidroksite dönüşürler. Su şebekesinde borularda çamurumsu bir kaplamayla tortu oluşmasına istenmeyen bakteriyel gelişime neden olur.

2.1.1. Demirin sağlık üzerine etkileri

Özellikle demir, demir iki oksit formundayken, insan vücudunun ihtiyacı olan elementlerden birisidir. Demirin insan sağlığına etkisi, 3 mg/L ve üzerine çıktığı takdirde bulunmaktadır. Fakat tadın eşik değeri belirtilen değeri epeyce altında kalması nedeniyle insanların kullanımı için önerilmemektedir. Demirin içme ve kullanma sularında fazla bulunması durumunda suda metalik bir tat oluşur ve renk meydana gelir. Bunlar sağlık problemi ortaya oluşturmasa da demirin leke oluşturması dolayısı ile de sulara fazla bulunması istenmez. İçme ve kullanma sularında müsaade edilen demir konsantrasyonu değeri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Türkiye'de İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (Resmi Gazete Tarih: 17.02.2005, Sayı: 25730) çerçevesinde demir için maksimum izin verilen konsantrasyon 0,2 mg/L'dir.

Çizelge 2.1. İçme ve kullanma sularında müsaade edilen demir konsantrasyonu değerleri

	Fe Konsantrasyonu (mg/L)
Türkiye	0,2
Avrupa Birliği (AB)	0,2
Dünya Sağlık Örgütü (WHO)	0,3
ABD Çevre Koruma Kurumu (EPA)	0,3

2.1.2. Arıtma yöntemleri

Demir arıtılmasında; demir iki formundaki demirin oksitlenme ile suda çözünemeyen formdaki Fe^{+3} 'e dönüştürülmesi kullanılan en genel yöntemlerdendir. Demirin oksidasyonu, havalandırma ve kimyasal oksidasyon yöntemi ile sağlanmaktadır. Bunun sonucunda çözünemeyen forma dönüşerek çökebilir hale getirilmektedir. Kimyasal oksidantlardan en sık kullanılanları; klor dioksit, klor, oksijen, ozon, permanganattır. İnorganik yan ürün oluşturması sebebiyle, yüksek oranda demir varlığında klordioksit kullanımı uygun olmamaktadır. Kimyasal oksidasyon, havalandırma, yumaklaştırma, durultma, iyon değiştirme, filtrasyon, MF/UF, yeraltına besleyerek oluşturulan kuyudan su çıkarma gibi değişik metotlar başka yöntemlerle birlikte kullanılabilir.

2.2. Manganın Genel Özellikleri

Demir gibi dünya üzerinde bol miktarda bulunan metallere biri olan mangan, çoğunlukla demirin bulunduğu yerlerde görülmektedir. Demirden farklı olarak sudaki yoğunluğu daha azdır. Demir ve çelik gibi alaşımların imalatında, temizlikte okside edici olarak, dezenfeksiyonda ve beyazlatmada (potasyum permanganat olarak), pek çok ürünün muhtevasında bulunmaktadır. Saf suda çoğunlukla 0,001-0,6 mg/L arasında yer almakta; 1 mg/L'yi aşan miktarlarda, manganlı minerallerin oksijensiz ortamda suyla teması veya bakterilerin aktivite olmuştur (DeZuane, 1997). Manganın 0,1 mg/L değerini aşmakta olan miktarlarda istenilmeyen tatla birlikte çamaşırlarda ve borularda lekelenmelere neden olmaktadır. 0,02 mg/L gibi az miktarlarda dahi su borularında katman oluşturabilmektedirler. Bu durum zamanla siyah çökelti olarak birikme yapabilmektedir. Çoğu ülke, renk değişimiyle

oluşan problemlerden dolayı, mangan için 0,05 mg/L sabit değer olarak seçilmiştir (WHO, 2011).

2.2.1. Manganın sağlık üzerine etkileri

Hayvanların ve insanların işlevlerinin sağlıklı olması (çoğu hücre enzimlerinin aktive olması ve büyük kısmının da çalışması gerekmektedir) için önemli olan elementtir. Sağlık bakımından sınır değeri 0,4 mg/L derişimini belirlemek olasıdır (WHO, 2011). Ancak içme suyu kaynaklarında mangan çoğunlukla bu derişimlerin daha çok aşağısında bulunmaktadır. Bu durumda suyun bakımından içilebilirliği (leke, tat, borularda birikme vb.) de bu derişimin aşağısında kaldığından sağlık bakımından sınır bir değer seçilmesine neden olmuştur. Fakat büyük miktarlarda mangan alımı sonucunda başta nörolojik etkiler olmak üzere, fizyolojik etkilerde gözlemlenmektedir (Gray, 1980).

İçme ve kullanma sularında müsaade edilen mangan konsantrasyonu değerleri Çizelge 2.2'de verilmiştir. Türkiye'de İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (Resmi Gazete Tarih: 17.02.2005, Sayı: 25730) çerçevesinde mangan için maksimum izin verilen konsantrasyon 0,05 mg/L'dir.

Çizelge 2.2. İçme ve kullanma sularında müsaade edilen mangan konsantrasyonu değerleri

	Mn Konsantrasyonu (mg/L)
Türkiye	0,05
Avrupa Birliği (AB)	0,05
Dünya Sağlık Örgütü (WHO)	0,1
ABD Çevre Koruma Kurumu (EPA)	0,05

2.2.2. Arıtma yöntemleri

Klasik arıtmada, kireçle yumuşatma, ters ozmos, iyon değişimi ve kimyasal çöktürme yöntemleriyle mangan giderilebilmektedir. Demir giderim yöntemi gibi, ilk önce çözünabilir biçimdeki mangan iki, oksidasyonla çözünmeyen mangan dört biçimine dönüşerek çöktürülebilir. Demire göre Manganın oksidasyon potansiyeli daha az, demir oksidasyonu basit havalandırma yöntemi ile yaygın olarak kullanılabilirken, bu yöntem mangan iki yeterli

derecede oksitlenmesini sağlayamamaktadır. Kimyasal yumaklaştırma metoduyla %50 ve üstünde; ozonlama, membran metotları ve klolarıyla da yüzde seksen giderim sağlanarak 0,05 mg/L değerini elde etmek mümkün olmaktadır. Filtrasyon ve oksidasyon metotlarıyla 0,05 mg/L değerleri içme suyu için sağlanabilmektedir (WHO, 2011)

2.3. Membran Filtrasyon Prosesleri

Membran kullanımı son yıllarda su arıtımı ve geri kazanımı alanında kullanımı oldukça artmış ve gün geçtikçe artmaktadır. Ters osmoz membranları (RO), 60'lı yıllardan itibaren tuz harcanmasında kullanılırken, nanofiltrasyon membranları (NF), daha geniş bir kullanım alanı bularak 80'li yıllardan itibaren toplam organik karbon giderimi ve yumuşatma amacıyla yararlanılmaktadır (Liikanen, 2001). Her ne kadar 90'lı yılların başlarında Hollow-fiber mikrofiltrasyon (MF) ile ters yıkama yapabilen ve ultrafiltrasyon (UF) membranlarının ticarileştirilmesi gerçekleştirilse de, bu membranların geniş kullanım alanları da onaylanmışlardır.

2.3.1. Membran filtrasyon prosesinin genel özellikleri

Basınç veya vakumla çalışan ayırma prosesi 1 mikrometre boyutundan büyük partiküllerin, tasarlanan bir bariyerle boyuta göre ayrılmasıdır. Belli başlı membran teknolojileri olan; UF, MF, RO ve NF için de bu tanım kullanılmaktadır. Kirleticileri gideren bir membran bariyere sahip olmakla birlikte, suyun geçişine izin vermektedirler. Çoğunlukla hollow fiber veya flat sheet olarak üretilen membran medyaları, membran modülüne yerleştirilmektedirler. Belli başlı membran modül yapıları hollow fiber (membran materyali hollow fiberden oluşmaktadır), spiral-wound (sheet membranlar merkezdeki toplama tüpüne yerleşmişlerdir) ve kartuş filtrelerdir (kullanıldığı alanın çoğaltılması için bükülmüş şekilde olan flat sheet membranlardan oluşur) (Childress, 2000). Değişik membran modüllerine ilaveten; değişik membran malzemeleri, hidrolik işletme modelleri, operasyonel sürücü kuvvetleri (vakum, basınç) bulunmaktadır. Değişik yapıdaki membran filtrasyonları için (MF, NF, UF, MCF, RO) uygulanmaktadırlar.

2.3.2. Membran filtrasyonunun temel prensipleri

LT2ESWTR (Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule) gereklerine göre, bir membran filtrasyon prosesinin iki esas amacı vardır. Bunlar;

1. Bir mikrometreden fazla olan parçacıkları bir araya getirmek için filtrasyon sistemleri, vakum veya basınç sürücü kuvvetlerinden birini kullanmaktadır. Hazırlanan bir engel yardımıyla ayırım gerçekleştirilmektedirler.

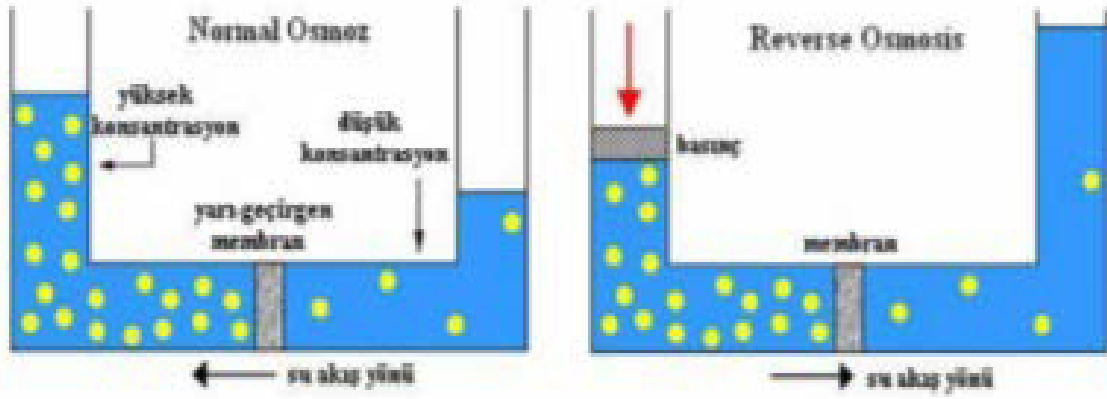
2. İşlem, hedef bir kirliliği iyi bir oranda giderebilmelidir. Doğruluk testlerinde, sistemin verimi onaylanabilmelidir. Membran filtrasyonun bütün bölümleri, değişik tanecik boyutlarındaki materyali tutan filtreler olsa da, NF/RO, MF/UF ve MCF sistemleri esas işletme ilkelerinde değişiklik gösterebilmektedir (Anonim, 2005).

2.3.3. Ters osmoz ve nanofiltrasyon

Membran proseslerin, tuz giderme ve yumuşatma gibi çözülmüş katıların giderimi için NF ve RO kullanılır. MWCO (molecular weight cut-off) değerleri iki yüz ila bin Dalton aralığında Nanofiltrasyon membranları için farklılaşmaktadır. RO membranları değerler daha düşük olup, 100 Dalton'un altındadır. Çoğunlukla çözülmüş katıların filtreleri, NF ve RO sistemleri olarak tanımlanırlar. Bu sistemler olmayan yarı geçirgen membranlardır ve tanımlanabilir porları yoktur. Nanofiltrasyon ve Ters Osmoz düzenekleri, çözülmüş katıların ters osmoz prosesiyle gidermektedirler. Aynı zamanda bu membranlar tanecikler materyallere tutunması için bir engel görevi de gördüklerinden LT2ESWTR'da membran filtrasyonu adıyla adlandırılmaktadırlar.

Su gibi bir çözücünün, yarı geçirgen bir membranda, düşük yoğunluktaki bir solüsyondan daha yoğun ortama doğru doğal akışına osmoz denmektedir. Bu durum, yarı geçirgen membraların her iki tarafta da yoğunluklar eşitleninceye kadar sürer. Daha yoğun ortamdan, bu akışı engellemeye yetecek ölçüde uygulanan basınç, Osmotik basınçtır. Uygulanması gereken osmotik basınç için yaklaşık bir kural olarak denilebilir ki; suyun taze ya da çok az tuzlu olması gerekmektedir. Osmoz ve ters osmozun gösterimi Şekil 2.1'de verilmiştir.

İhtiyaç duyulan işletme basıncı; TDS miktarında belirtilen besi suyu kadar, sıcaklık ve membran özelliklerine bağlı olarakta değişmektedir. Basınç NF uygulamasında 100 psi'a kadar çıkarken, RO çalışmalarında, 1000 psi basınçlarla deniz suyu arıtımında karşılaşmak mümkün olmaktadır.

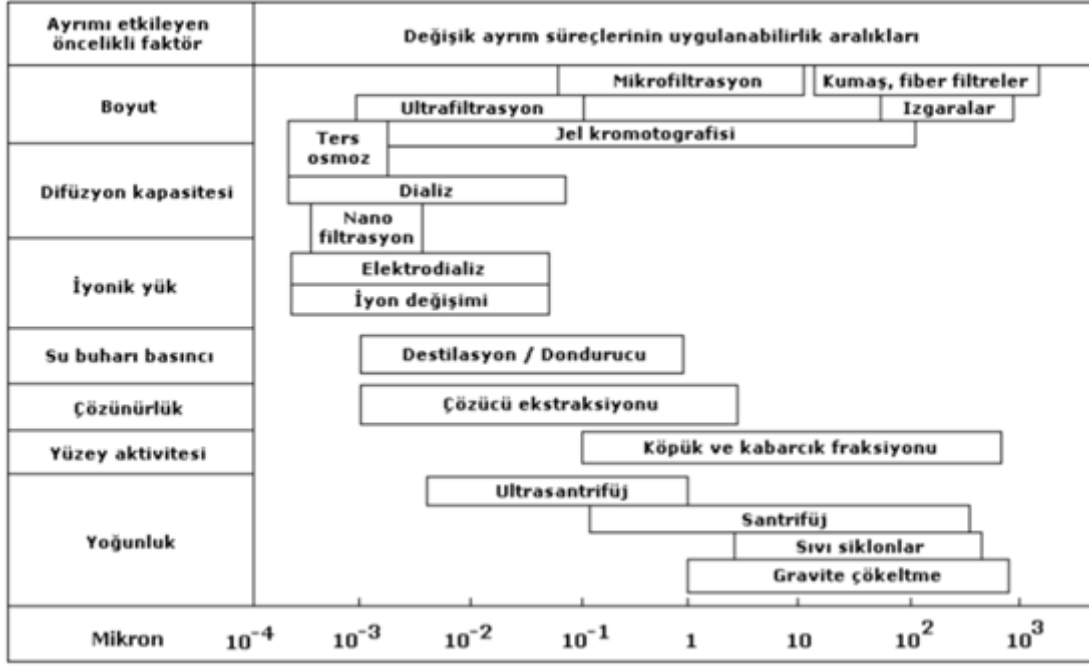


Şekil 2.1. Osmoz ve ters osmozun gösterimi

Hem RO hem de NFA için ayırma işlemlerinde, basınç sürücü kuvveti olan ve yarı geçirgen olan bir membran kullanılmaktadır. Çözülmüş maddelerin ve tek değerlikli iyonların gideriminde gösterdiği daha az verim, NF'un RO'dan değişiklik gösterdiği noktadır. Bu durumda nanofiltrasyon ayrı kullanım alanlarının gelişimine neden olmuştur. NF sertlik iyonlarının yok edilmesinde, ters osmozdan daha az bir basınçla, yüksek giderim sağlamaktadır. Sonuçta bakıldığında, NF genellikle yumuşatıcı membran olarak adlandırılmaktadır. Değişik ayırım süreçlerinin uygulanabilirlik alanları Şekil 2.2'de verilmiştir.

Nanofiltrasyon ve ters osmoz membranları gözenekli olmadıklarından dolayı, kullanım suyundaki mikroorganizmaları ve tanecikleri alıkoymazlar. Nanofiltrasyon ve ters osmoz membranları, tanecikleri alıkoymak için değil, TDS giderimini sağlamak amacıyla tasarlanmışlardır.

Sonuçta; nanofiltrasyon ve ters osmoz membranları arınma amacıyla kullanılamaz. Çünkü porları olmasa bile bir takım taneciklerin madde geçişine izin verdiği gözlenmiştir (Anonim 2005).



Şekil 2.2. Değişik ayırım süreçlerinin uygulanabilirlik alanları

2.3.4. Membran por boyutları ve filtrasyon verimi

Membranların giderim verimleri, por boyutları ve filtrasyon kapasiteleri ile eşleştiriliyor konsept aşırı kolayca indirgenmiş olup tam anlamıyla verimi yansıtamamaktadır. Örnek vermek gerekirse; membran yüzeyindeki por boyutlarıyla benzer ölçülerde olan taneciklerin giderimin de proses, eleme yöntemine göre karışıktır. Filtre membranlarının derinliği ile alakalı olarak, por boyutlarından bile geçebilecek kadar küçük taneciklerin dahi tutulduğu görülmüştür. Bazen membranların malzemelerinde, tanecikler elektriksel itme kuvvetleri ve adsorpsiyon sistemiyle tutulmaktadır. Değişik membran üretim süreçlerinde, por boyutlarını nitelenmek ve rapor etmek için sabit bir yöntem mevcut olmadığından, membran üretimi bütün membran imalatçılarında değişiklik göstermektedir. İlaveten NF ve RO membranlarında por bulunmadığından söz edilen membranlar için bir önemli değildir.

2.3.5. Membran modülleri ve materyalleri

Çeşitli membran gruplarında kullanılmakta olan değişik membran malzemeleri ve modülleri ile ilgili değişik yöntemler mevcuttur. Her ne kadarda membran filtrasyon teknolojisinde değişik membran modülleri kullanılsa da, çoğunlukla her bir membran teknolojisi sadece tek tür membran modülü ile eşleştirilmiştir ve kullanılmıştır. Genel olarak

UF ve MF, hollow fiber membranlar kullanılırken, RO ve NF, spiral wound membranlarda uygulanmadığını söylemek mümkündür.

Membran malzemesi; membranın yapıldığı materyali göstermektedir. Normal şartlarda membranlar yapay bir polimerden üretilmelerine rağmen, metal ve seramikten oluşan değişik membran malzemeleri de mevcuttur.

Seramik ve metalik membranlar, polimerik malzemelere göre daha pahalı olduğu için, günümüzde içme suyu üretiminde polimerik materyallerden üretilmiş membranlar kullanılmaktadır. Filtrasyon sisteminin dizaynı ve işletmesini membran materyallerinin özellikleri tesir etmektedir. Örnek olarak, klorlanmış besi suyu ile polimerden yapılmış olan membran kullanılırsa, oksidanlarla reaksiyona girmemesine dikkat edilmesi önemlidir.

Membranın materyali, bir membranın giderim özelliklerindeki belirlemektedir. İlaveten membranın ıslanıp ıslanamayacağını bir membranın hidrofilik veya hidrofobik özellikleri gösterir. Bu da materyalin tıkanmaya karşı ne kadar dirençli olduğunu göstermektedir. Ayrıca Selüloz ve polyamidden üretilen NF ve RO membranları çeşitli avantajlara ve dezavantajlara sahip olmaktadır. Biyolojik bozunmaya karşı daha duyarlı olduklarından selüloz membranların az bir pH aralığında – pH 4 ila 8 arasında - çalışması uygun bulunmaktadır. Fakat düşük düzeyde ki oksidanlara karşı da dayanıklıdır. Genel olarak baktığımızda biyoparçalanmayı 0.5 miligram/litre klor dozajı kontrol edilmektedir. Ayrıca membrana herhangi bir zarar vermeden biyolojik tıkanmayı da engelleyip kontrol edebilmektedir. Poliamid (PA) membranlara bakıldığında, daha geniş bir pH aralığında kullanılmakta ve biyoparçalanmaya uğramamışlardır. Bununla birlikte PA membranları güçlü oksidanlara karşı kısıtlı toleransa dayanabilmektedir. Bu yüzden sadece zayıf kloraminlerle kullanılabilir. İşletme esnasında çok az basınca ihtiyaç duyulduğundan çoğunlukla NF ve RO uygulamalarında PA membranlar uygun görülmektedir.

Membran yatay yüzeyindeki uniformluğu tanımlayan bir kalite parametresi olan trans-wall simetrisi diğer yandan tüm membranların performanslarını etkilen bir özelliktir. Membranların üretiminde simetrik, asimetrik ve komposit olmak üzere üç farklı tür vardır. Homojen olupta tek bir malzemedan üretilen membranlar simetrik membranlar olarak adlandırılır, heterojen olup farklı materyaller kullanılıp üretilen kompozit membranlarda asimetrik olarak adlandırılmıştır. Asimetrik membranlar heterojen veya homojen olmaktadır (Anonim 2005). Membran yüzeyinde ki yoğunluk ve por yapıları aynı olan membranlar

simetrik membranlar olmakla birlikte, asimetrik membranlarda ise yoğunluk ve por yapıları farklılık görülmektedir.

Yoğun filtrasyon tabakası ve destek yapısı arasında farklılıklar olan asimetrik membranlar vardır. Mekanik destek görevi gören, daha ince ve daha gözenekli yapıdaki alt katmanının yüzeyi yoğundur. Besi suyu önce filtrasyon bariyeri ile karşılaşılır (Arşuaga, 2007) (Dalwani, 2011).

İnce, yoğun tabakalar kompozit membranlarda filtrasyon bariyeri görevi görürler. Kompozit membranlarda yüzeyin üstündeki tabakaların ve altındaki tabakaların çeşitli malzemelerden üretimi gerçekleştirilmektedir (Anonim, 2005).

Nanofiltrasyon ve ters osmoz membranları çoğunlukla kompozit ve simetrik olmayan yapıda üretimi gerçekleştirilirken, UF, MF ve MCF membranların çoğunluğu asimetrik ve simetrik yapılarda üretimi yapılmaktadır. Membran filtrasyon medyaları hollow fiber veya flat sheet olarak üretilerek, değişik membran modüllerinin içine yerleştirilmelidir.

Membran modülü olan, LT2ESWTR'deki açıklamalara göre; membran yöntemindeki en küçük filtrasyon ünitesi olarak adlandırılmıştır. Membran modülleri uzun süreli kullanıma uygun olarak üretilmişlerdir. Esas olarak; spiral wound, kartuş ve hollow fiber olmak üzere üç farklı membran modül türü vardır (Anonim, 2005).

2.3.5.1. Hollow-fiber modüller

Hollow fiber modülleri genellikle, içme suyu uygulamalarında kullanılmaktadır. Hollow-fiber membran Şekil 2.3'de ve membran görüntüsü de Şekil 2.4'de verilmiştir. Partiküler maddeleri tutabilmesi için içerisinde gözenekli MF ve UF membranları olacak şekilde üretilmektedir. İçleri boş lifler biçimindedir. Uzun ve ince tüpler olarak düşünmek mümkün olmaktadır. Hollow fiber membranları uzunlamasına bir araya getirilerek her iki uçta reçineye batırılıp. Sonrada basınçlı bir kaba konulması üreticiler tarafından tercih edilen konfigürasyondur. İlgili modüllerin boyutları, her üreticiye göre değişiklik göstermesine rağmen, çoğunlukla dikey olarak tasarlanmışlardır. Hollow fiber imalatında kullanılan boyutlar aşağıdaki gibidir;

- Dış çap: 0.5 – 2.0 mm
- İç çap: 0.3 – 1.0 mm

- Fiber duvar kalınlığı: 0.1 – 0.6 mm
- Fiber uzunluđu: 1 – 2 metre



Şekil 2.3. Hollow-fiber membranlar



Şekil 2.4. Hollow-fiber membran modülü

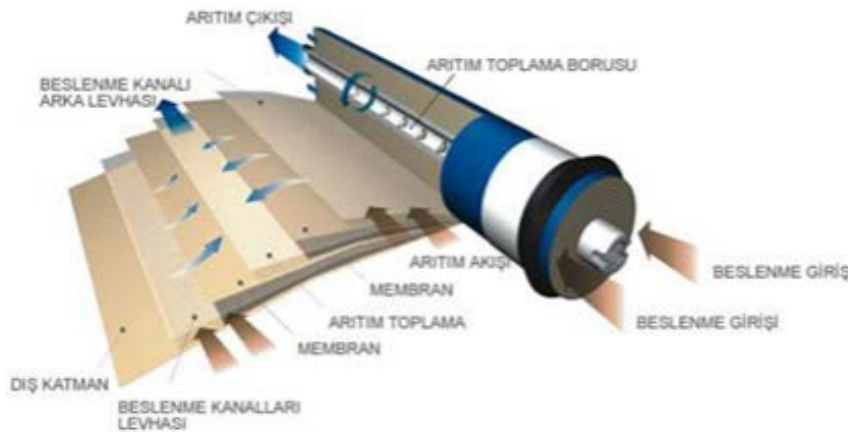
Hollow fiber membran modüllerinde ki akış, fiberin içeriden dışarıya doğru veya dışarıdan içeriye doğru akmaktadır. Besi suyunun fiber boşluğundan girerek, fiber duvarında radyal olarak filtrelenmesi içerden dışarı akış olan yapısıdır. Radyal olarak filtrelenen su, fiberin dış yüzeyinden toplanmaktadır. Membran duvarı besi suyu dışarıdan girer. Besi suyu fiber boşluğuna dolar ve model dıştan içeri akışlı olur. Bu akışta filtrelenmiş su, fiber içerisindeki boşlukta toplanmıştır. Hollow fiber membranların çoğu kapalı uç ya da direkt filtrasyon

moduyla çalışmaktadır. Membran yüzeyinde biriken katıların uzaklaştırılması için düzenli olarak yıkanmaktadırlar (Anonim, 2005).

2.3.5.2. Spiral-wound modüller

Çoğunlukla NF/RO proseslerinde kullanılan spiral-wound modeller bir direk membran modül tipidir. Spiral-wound membran yapısı Şekil 2.5’de ve membran modülü Şekil 2.6’da verilmiştir. Membran yarı geçirgen yapısıyla çözünmüş katıların giderilmesi verimli konfigürasyonlar tasarlanılmışlardır. Spiral wound modülün temelini; merkezde delikli bir tüp ve tüpün etrafına sarılmış flat sheet membranlardan olmaktadır. Bu yapıya en basit tabirle yaprak denmektedir. Arka arakaya sarılmış iki flat sheet membran yaprağı oluşturur. Yaprığın arasında kumaş bir tabaka bulunur, bu tabakaya permeat taşıyıcısı denir. Spiral-wound modülü, 20 cm çapındadır. 20 kadar yapraktan oluşabilir. Yaprakların her biri delikli plastik bir örgü ile ayrılmış olup, bu örgünün görevi besi suyu kanalları oluşturmaktır. Merkezdeki delikli tüpe paralel olarak hareket eden besi suyu, plastik örgünün kanallarından geçmektedir.

Membran boyunca akan besi suyu kendisini çevreleyen iki membran tabakası ile ermeat taşıyıcı üzerinde yarı geçirgen membran sayesinde çözünerek tanecikleri tutar. Filtre edilen su merkezdeki kollektör tüp içerisinde spiral olarak hareket eder. Plastik örgü üzerinde kalan suyun membran tabakasını geçmesi mümkün olmadığı için yüzey boyunca süzülmemekte ve daha konsantre hale gelmektedir. Konsantre olan su besi suyunun ters yönünde ve merkezdeki tüpe paralel olarak modülden ayrılır.



Şekil 2.5. Sprial-wound membran yapısı



Şekil 2.6. Sprial-wound membran modülleri

2.3.5.3. Kartuş membranlar

Bir diğerk modül türüde; membran kartuşlarıdır. Membran kartuş filtreleri bir besi ve filtrat desteğinin flat sheet membran arasına yerleştirilmesiyle üretilmektedirler. Membran kartuş filtreleri Şekil 2.7’de verilmiştir. Kartuş içine katlanarak yerleştirilen membranın yüzey alanını arttırmak için katlanılır. Muhafaza kabının içinde üretilen çoğu membran kartuş filtresi tek kullanımlıktır. Sistem maksimum değere ulaştığında ve filtre tıkanıldığında kartuş değiştirilir. Kimyasal kullanımı ve ters yıkama gerektirmeyen kartuş filtreler, tek kullanımlıktır ve ucuzdur (Anonim, 2005).



Şekil 2.7. Membran kartuş filtreleri

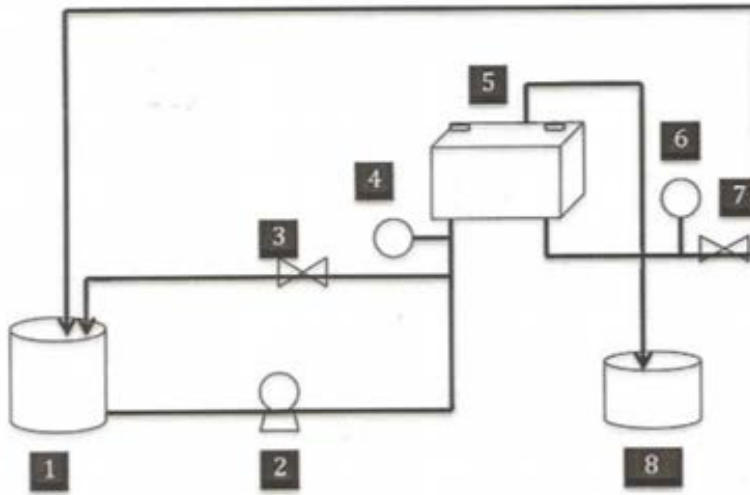
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Deneysel çalışmalarda laboratuvar ölçekli çapraz akışlı bir filtrasyon ünitesi kullanılmıştır. Modülün iki parçaya ayrılabilen gövdesinin içine membran yerleştirilerek deneylerde kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda modülü iki parçaya ayrılabilen gövdeye membran yerleştirilmiştir. Bu gövdenin üst bölümünde permeat taşıyıcı ve membran desteği olarak görev yapan 20 mikron gözenekli destek bulunmaktadır.

Modülün gövdesinin alt kısmında 4 vida bulunmaktadır ve modül bu vidalar ile tutturulmuştur ve bu da modülün basınç altında çalışması sağlamaktadır. Atıksu çıkış akımı modülün alt kısmındadır. Bir manifold yardımıyla akışın membran üzerindeki oyuklardan akması sağlanmaktadır. Akış membran boyunca yüzeysel akmaya devam eder.

Atıksu akımının bir kısmı membran üzerinde bulunan permeat taşıyıcıya doğru hareket eder. Sonra akım membran modülünün üstünde bulunan manifolddan ayrılır. Membrana takılan kirlilik ve konsentrat akımı membran üzerinde hareketine devam ederek bir manifoldda toplanır. Besi suyu tankından ayrı bir hatla konsentrat akımı geri dönmektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan membran düzeneği Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan membran düzeneği

- (1) Konsentrat / Besi tankı (5 L plastik tank)

- (2) Besi pompası
- (3) By-pass Vanası
- (4) Barometre
- (5) CF042 Membran Modülü
- (6) Barometre
- (7) Konsentrat Kontrol Vanası
- (8) Permeat Kollektörü

Deneyisel çalışmalarda NP010 ve NP030 olmak üzere 2 farklı membran kullanılmıştır. NP010 ve NP030 membran modüllerin işletme faktörleri aşağıda görüldüğü şekildedir (Üretici firma kataloğu);

- (9) • Etkin membran alanı: 42 cm²
- (10) • Maksimum basınç: 69 bar (1000 psi)
- (11) • Maksimum işletme sıcaklığı: 80 °C
- (12) • pH Aralığı: kullanılan membrana göre ayarlanmaktadır

Deney düzeneğinde besleme suyu olarak, 5 L hacminde plastik bir kap vardır. İlgili suyu pompaya iletmek için 3/8'' lik hortum bağlanmıştır. Arıtılan su, modülün üst kısmından permeat kollektörüne toplanmıştır. Deneylerde permeat kollektörü olarak 100mL'lik mezür ve 10mL fotometre küveti ile yapılmıştır. Membrandan geçemeyen su, modülün altında bulunan konsentrat hattı olarak görev yapan 1/4'' naylon hortum yardımıyla tekrar besi suyu tankına beslenilmektedir. Modül çıkışında bulunan bir barometrede izlenen değer ile modül girişinde bulunan bir barometredeki değerler karşılaştırılarak, membrandaki tıkanma ve buna bağlı olan basınç artışı gözlemlenmiştir. Deneylerde NP030 ve NP010 ticari isimli membranlar kullanılmıştır. İki membran da filtreye uyacak biçimde kesilmiştir. Her iki membran da ince film kompozit yapıdadır. Deneylerde demir ve manga ölçümleri, spektrofotometre yardımı ile yapılmıştır. Demir ve manga kitleri kullanılarak, spektrumda ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan demir ve mangan ölçüm metodu standart metotlara uygun yapılmıştır.

3.2. Deneysel Yöntem

Deneylerde mangan ve demir konsantrasyonunun, gideriminde etkisinin araştırılmak için farklı demir ve mangan konsantrasyonlarındaki sentetik sularla çalışılmıştır. Demir içeren sentetik su gerekli FeSO₄.7H₂O (CAS numarası: 7782-63-0) distile suya ilave edilerek

hazırlanmıştır. Mangan içeren sentetik su ise gerekli $MnSO_4 \cdot H_2O$ (CAS numarassı: 10034-96-5) distile suya ilave edilerek hazırlanmıştır. İçme sularındaki demir ve mangan limitlerinden yüksek ve daha önce bu konuda yapılmış olan akademik çalışmalara paralel olarak; 1 mg/L demir ve mangan konsantrasyonunda çalışılmıştır. 1 mg/L konsantrasyonunda ki sentetik suyun hazırlanılmasında, deney düzeneğine ait ve 5 L hacmindeki besi suyu tankı kullanılarak, demir (Fe^{+2}) ve mangan (Mn^{+2}) konsantrasyonu ayrı ayrı ölçülmüştür. 5'er L distile su kullanılmıştır. Demir ve manganın molekül ağırlığı ve sabit su hacmi üzerinden yapılan hesaplamayla, konsantrasyon için gerekli olan demir ve mangan miktarları belirlenmiştir. Hassas terazi yardımıyla tartılan demir ve mangan, besi suyu tankı içerisinde hem birlikte hem de ayrı ayrı mekanik karıştırma yardımıyla çözülmüştür. Nitrat giderim verimine işletme basıncının etkisinin incelenmesi için 1 mg/L konsantrasyonundaki numuneler için tek tek 2 bar, 4 bar ve 6 bar işletme basınçları uygulanmış ve alınan örnekler analize konmuştur (Kang, 2009). Filtrasyon süresinin demir ve mangan giderim verimi üzerine etkisinin incelenmesi içinde çalışmalar yapılmış bulunmaktadır. Her farklı konsantrasyon ve her farklı basınçtaki işletme koşulu için, numuneler sıfır anından itibaren, 15. dakikadan itibaren ve 90. dakikadan itibaren olmak üzere 6 farklı zaman dilimlerinde toplanmış ve analiz edilmişlerdir. Deneylerde filtre edilen su 100 mL ve 10 mL'lik mezürlarda toplanmış olup ve daha sonra demir veya mangan analizi yapılmıştır.

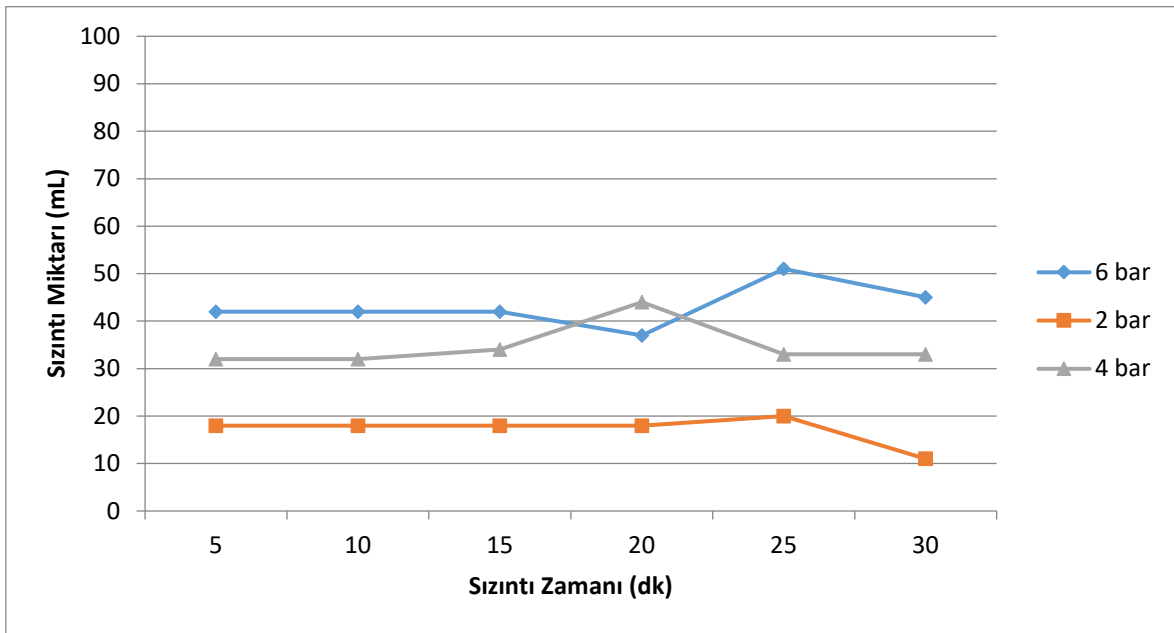
Demir (Fe) ve mangan (Mn) analizi sırasıyla Merck 1.14761.0001 ve Merck 1.14770.0001 test kitleri kullanılarak spektrofotometrik yöntem ile analiz edilmiştir. Spektrofotometre olarak Shimadzu UV-2401 PC marka spektrofotometre kullanılmıştır.

İlk andan itibaren alınan örneklerde, mezür membran modülünün filtre edilmiş olan su çıkışına, cihazın çalıştırıldığı anda yerleştirilmiş ve 15'er dakikalık süreler dolana kadar numune toplanılmıştır. Farklı membran çeşitlerinin, demir ve mangan giderim verimlerinin kıyaslanabilmesi için tüm deneyler iki farklı membran çeşidi ile tekrar tekrar yapılmıştır. Deneylerde kullanılan iki membran da aynı membran materyalinden imal edilmiş ve aynı üretici firmaya aittir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Flux Deneyi

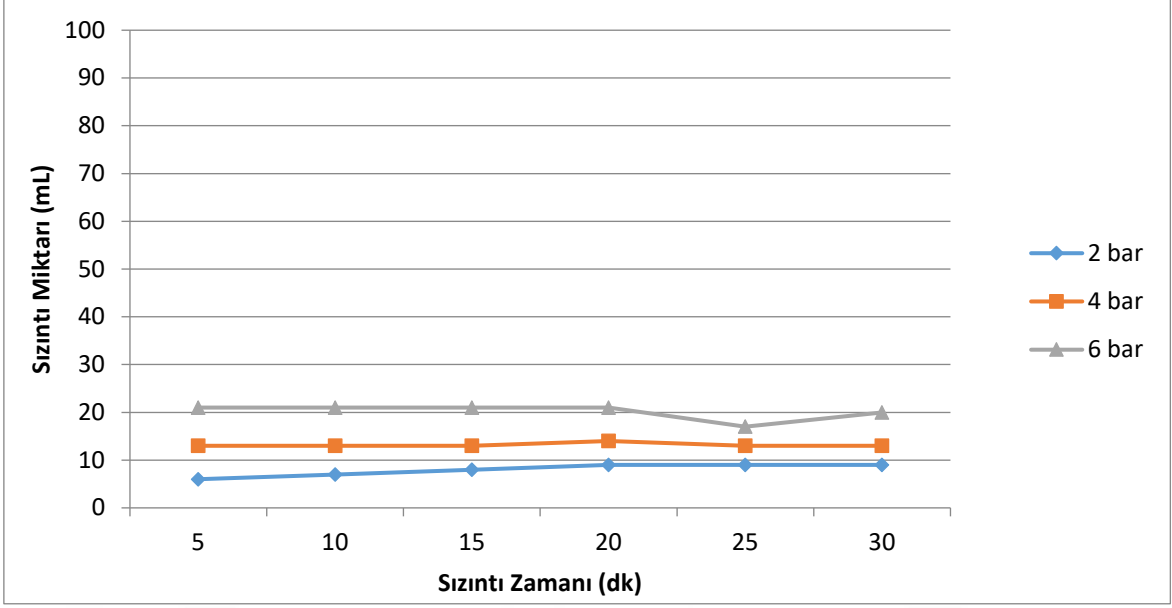
Deneysel çalışmalarda ilk olarak membranlardan saf su geçirilerek membranları flux (akı) değerleri belirlenmiştir. Saf suyun 2 bar, 4 bar ve 6 bar'da membrandan geçiş süresi hesaplanmıştır. NP010 ve NP030 filtreleri denenmiştir. NP010 membranı için elde edilen sızıntı suyu miktarları Şekil 4.1'de verilmiştir. Basıncın 2 bardan 6 bara kadar kademeli arttırılmasına paralel olarak sızıntı suyu miktarının da arttığı görülmektedir.



Şekil 4.1. Farklı basınçlarda zamanla sızıntı suyu miktarı değişimi (2 bar, 4 bar, 6 bar, Filtre tipi: NP010, Saf su)

Genel olarak baktığımızda NP010 filtresinde saf suyun farklı basınçlarda zamanla değişimi sabit olmaktadır.

NP030 membranı için farklı basınçlarda elde edilen sızıntı suyu miktarları Şekil 4.2'de verilmiştir. NP010 filtresinde olduğu gibi NP030 filtresinde de saf suyun farklı basınçlarda değişimi sabit olmaktadır. Bu filtrenin tıkanmadığını ve filtrasyonun sabit olduğunu göstermektedir.

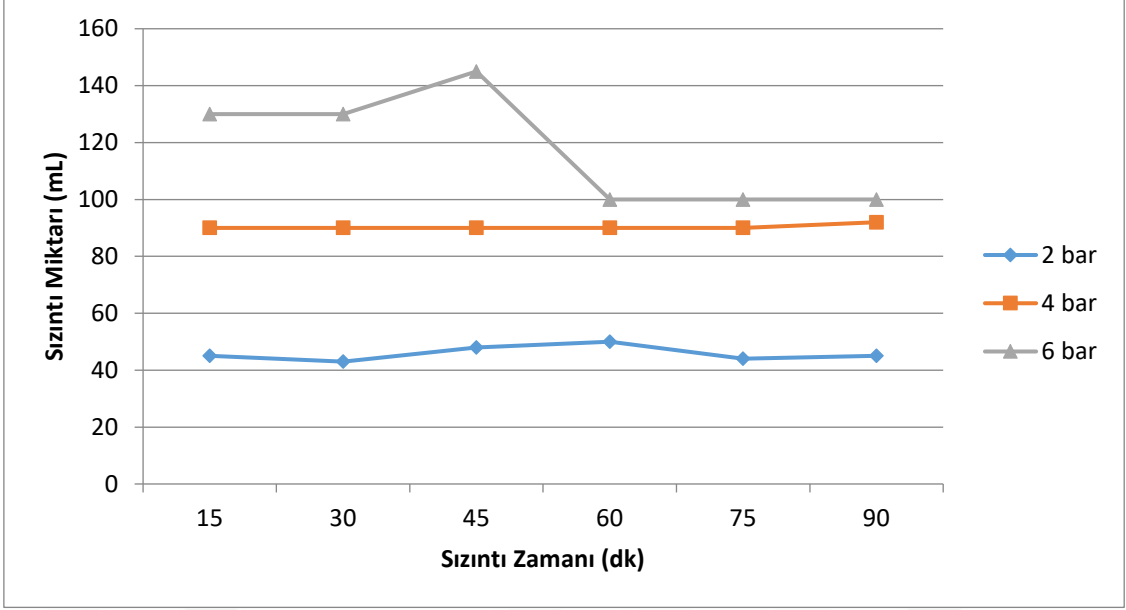


Şekil 4.2. Farklı basınçlarda zamanla sızıntı suyu miktarı değişimi (2 bar, 4 bar, 6 bar, Filtre tipi: NP030, Saf su)

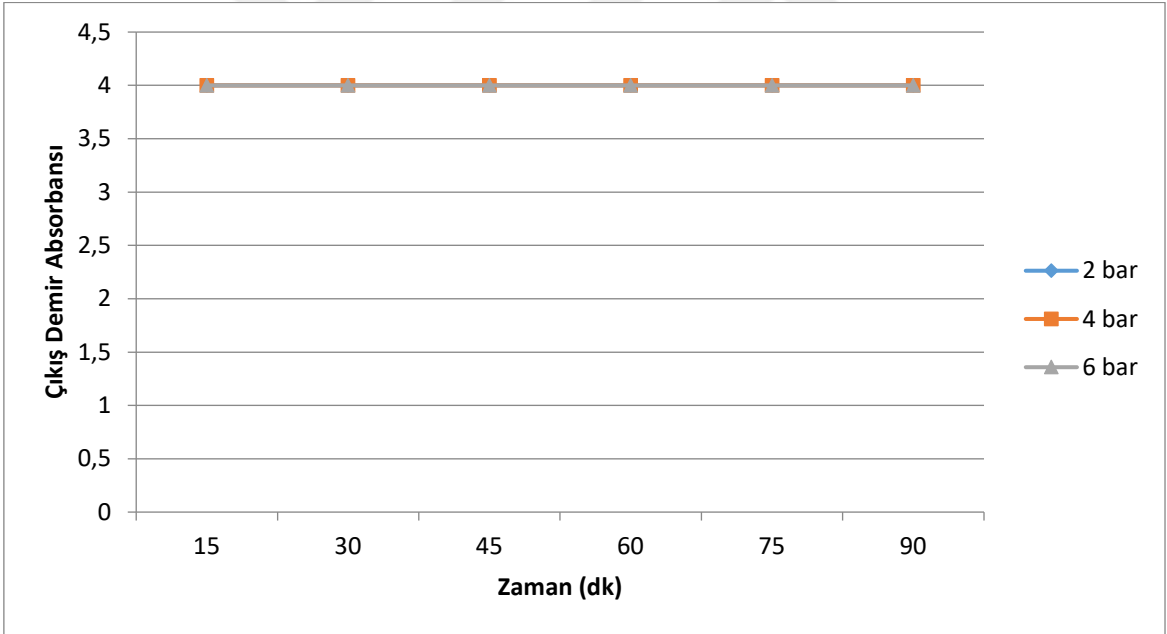
4.2. NP010 ve NP030 Filtrelerinde Demir Giderimi

Yapılan araştırmalarda 1 mg/L demir derişimine sahip giriş suyunda, 2 membran (NP010 ve NP030) ile farklı basınç ve zamanların demir giderim verimi üzerindeki etkisine bakılmıştır. Şekil 4.3'de NP010 membranı için 1 mg/L Fe^{+2} konsantrasyonunda farklı basınçlarda elde edilen sızıntı suyu miktarları verilmiştir. Şekil 4.4'te ise NP010 membranı çıkışında elde edilen Fe^{+2} adsorbans değerleri verilmiştir. NP030 membranı için 1 mg/L Fe^{+2} konsantrasyonunda farklı basınçlarda elde edilen sızıntı suyu miktarları Şekil 4.5'de verilmiştir. Şekil 4.6'da ise NP030 membranı çıkışında elde edilen Fe^{+2} adsorbans değerleri verilmiştir.

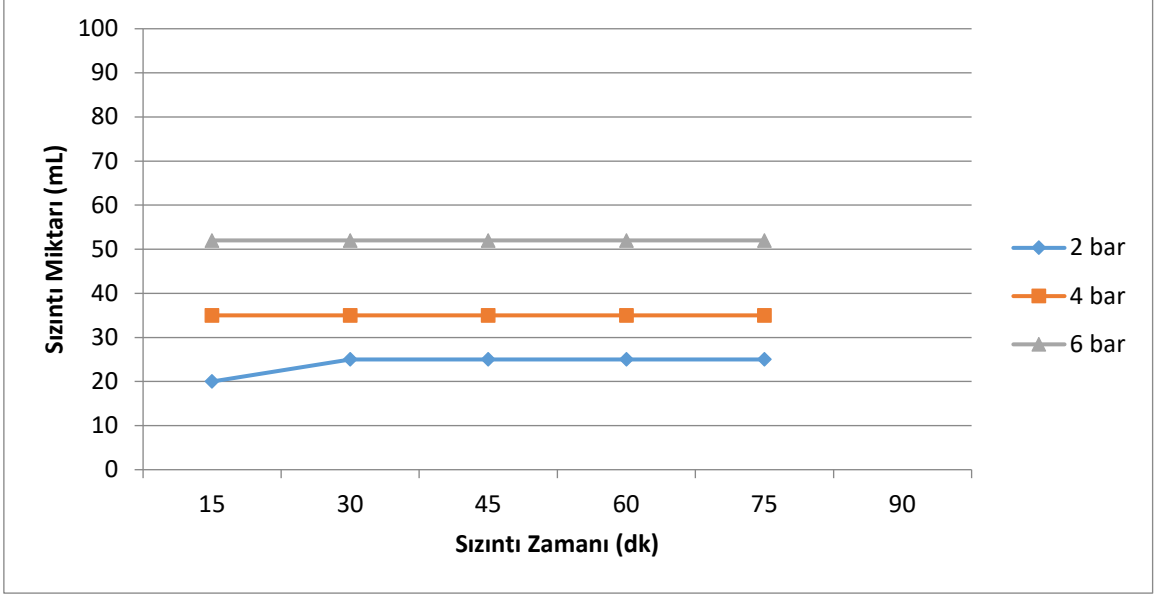
1 mg/L Fe^{+2} konsantrasyonunda hazırlanan sentetik su ile yapılan araştırmalarda, her iki membranda da giderim veriminin, giriş suyu derişiminde ki artıştan etkilenmediği görülmüştür. Demir konsantrasyonunun giderim verimi üzerine etkisinin incelendiği araştırmalarda, her bir deney 2 bar, 4 bar ve 6 bar basınçlar için tekrarlanmış ve değişik işletme basınçlarında 1 mg/L Fe^{+2} derişimde sentetik suların, membranlar ve giderim verimleri üzerine etkilerine bakılmıştır. 1 mg/L Fe^{+2} içeriğine sahip sentetik su ile yapılan artırım çalışmalarında basınç arttıkça sızıntı miktarında da artış gözlenmiştir. Membran çıkış akımındaki demir adsorbansında ise farklı basınç uygulamalarında bir değişim gözlenmemiştir. NP010 membranında çıkış akımında demir adsorbans değeri NP030 membranına göre daha yüksek ölçülmüştür.



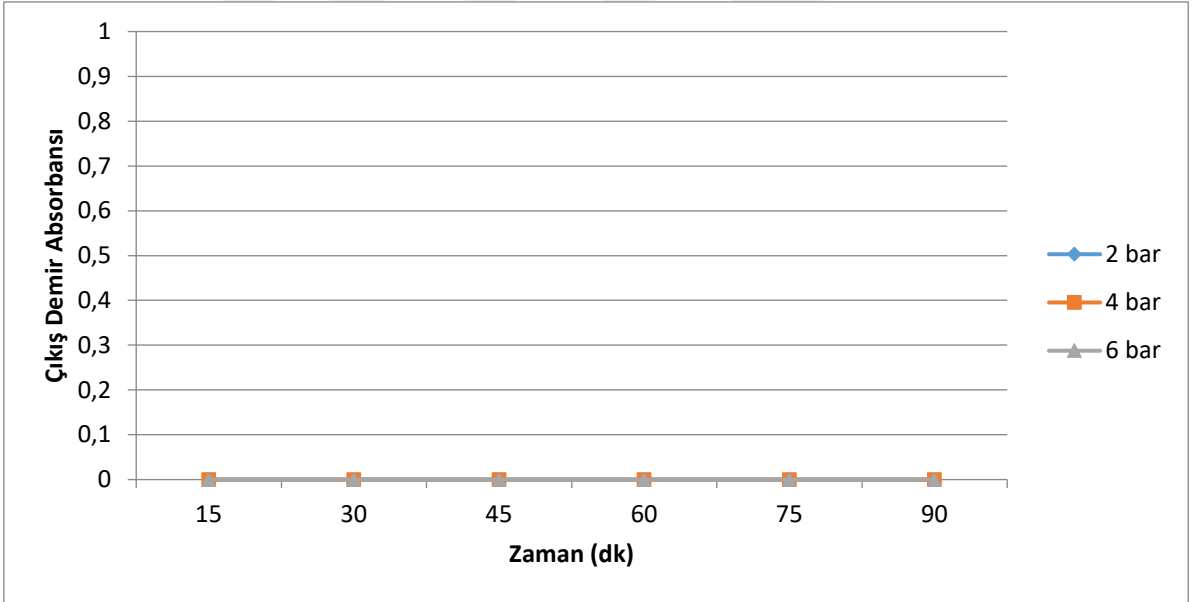
Şekil 4.3. 1 mg/L Fe⁺² konsantrasyonunda farklı basınçlarda zamanla sızıntı miktarının dağılımı (Filtre Tipi: NP010)



Şekil 4.4. 1 mg/L Fe⁺² konsantrasyonunda zaman ve filtre basıncına bağlı olarak absorbansın değişmesi (Filtre Tipi: NP010)



Şekil 4.5. 1 mg/L Fe⁺² konsantrasyonunda farklı basınçlarda zamanla sızıntı miktarının dağılımı (Filtre Tipi: NP030)



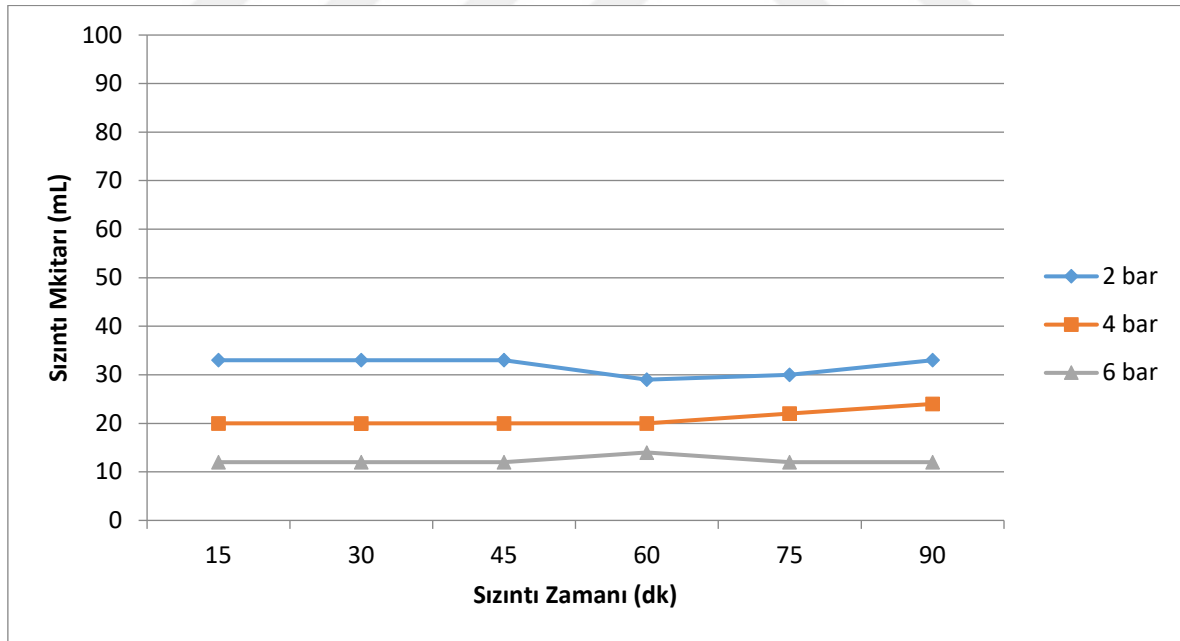
Şekil 4.6. 1 mg/L Fe⁺² konsantrasyonunda zaman ve filtre basıncına bağlı olarak absorbansın değişmesi (Filtre Tipi: NP030)

Sonuç olarak; araştırmalarda denenen her iki membran için de, değişik basınçlarda uygulanan derişim araştırmalarda elde edilen sonuçlar şöyledir; giriş suyundaki demir derişimi yükseldikçe verim sabit kalmakta ve bu etki, yüksek derişimde demir içeren sularda, işletme basıncı arttıkça daha belirgin şekilde gözlenmiştir.

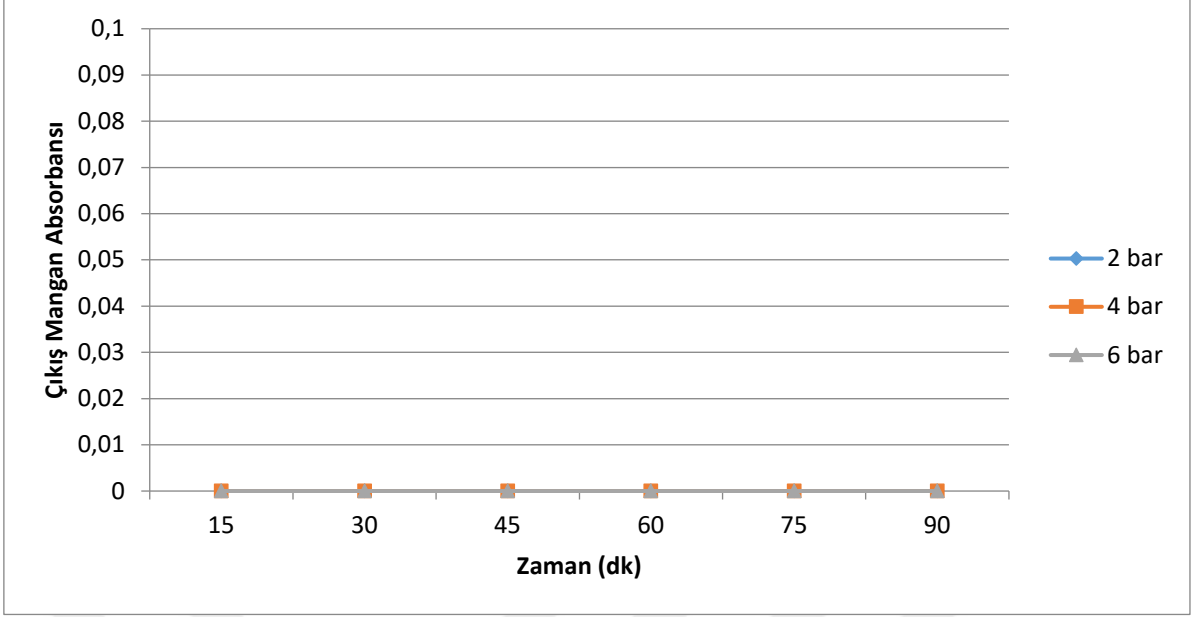
4.3. NP010 ve NP030 Filtresinde Mangan Giderimi

Giriş suyu mangan derişiminde (1 mg/L), 2 farklı membran ile farklı basınç ve zamanların mangan giderim verimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Şekil 4.7’de NP010 membranı için 1 mg/L Mn^{+2} konsantrasyonunda farklı basınçlarda elde edilen sızıntı suyu miktarları verilmiştir. Şekil 4.8’de ise NP010 membranı çıkışında elde edilen Mn^{+2} adsorbans değerleri verilmiştir. NP030 membranı için 1 mg/L Mn^{+2} konsantrasyonunda farklı basınçlarda elde edilen sızıntı suyu miktarları Şekil 4.9’da verilmiştir. Şekil 4.10’da ise NP030 membranı çıkışında elde edilen Mn^{+2} adsorbans değerleri verilmiştir. NP010 ve NP030 membranlar için, farklı işletme basınçlarında uygulanan derişimlerden elde edilen sonuçları göstermektedir.

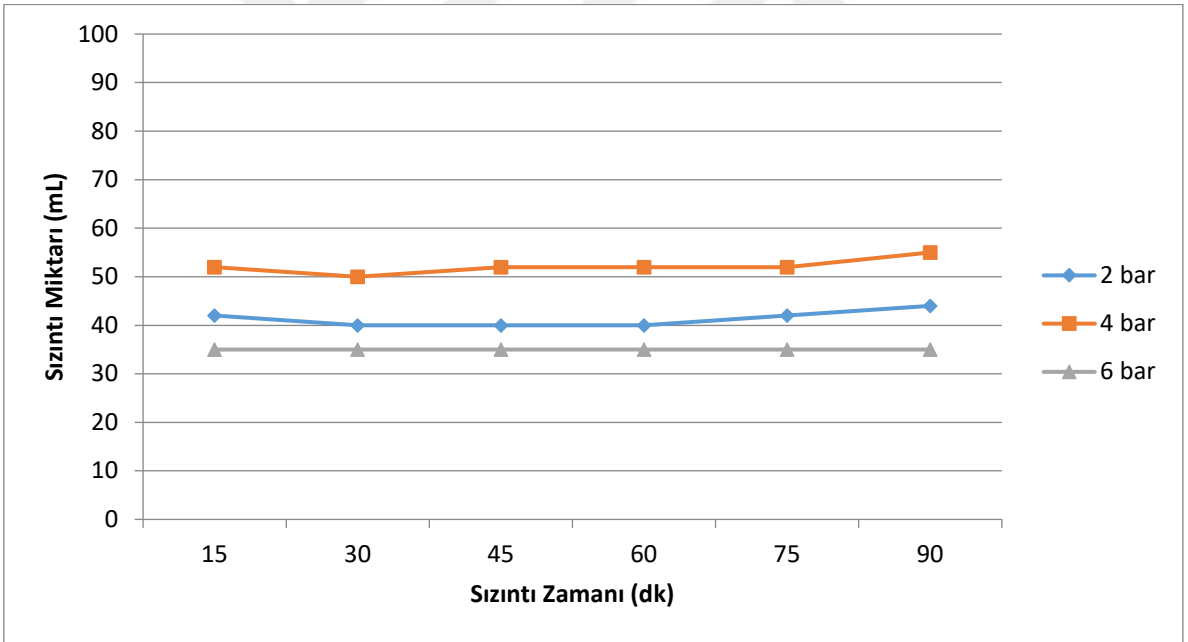
1 mg/L Mn^{+2} derişiminde hazırlanan sentetik su ile yapılan araştırmalarda, her iki membranda da giderim veriminin, giriş suyu derişimindeki yükselişten membranın özelliğine göre sonucun değiştirdiği gözlemlenmiştir. Derişimin, giderim verimi üzerinde etkisi incelendiğinde araştırmalarda, her bir deney 2 bar, 4 bar ve 6 bar basınçlar için tekrarlanmış ve farklı işletme basınçlarında farklı derişimleri olan sentetik suların, membranlar ve giderim verimleri üzerine etkileri de incelenmiştir.



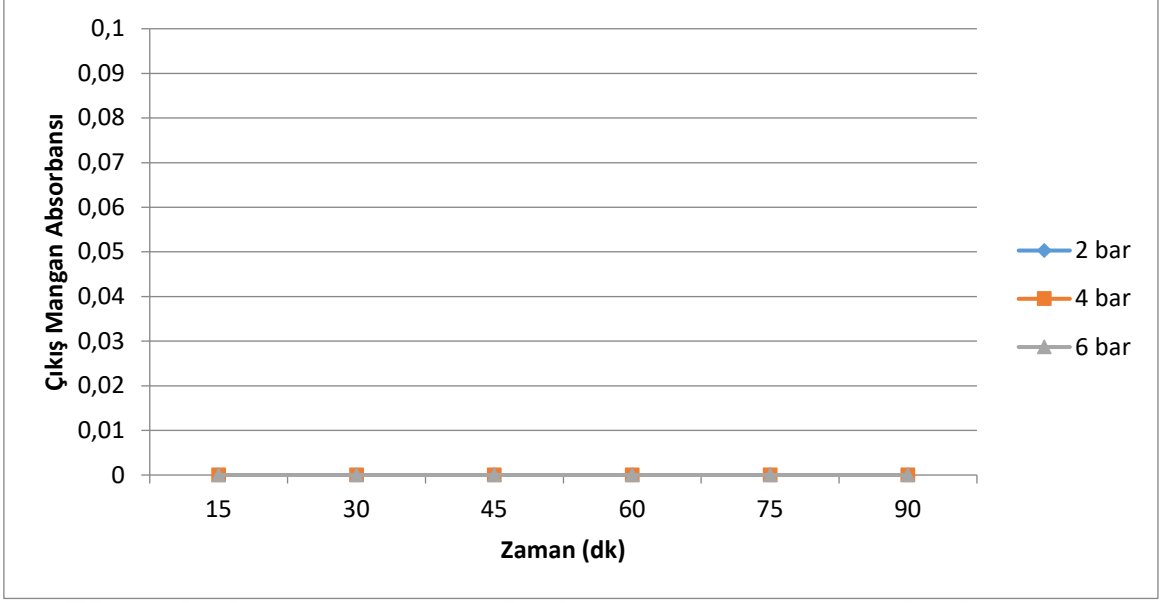
Şekil 4.7. 1 mg/L Mn^{+2} konsantrasyonunda farklı basınçlarda zamanla sızıntı miktarının dağılımı (Filtre Tipi: NP010)



Şekil 4.8. 1 mg/L Mn⁺² konsantrasyonunda zaman ve filtre basıncına bağlı olarak absorbanstın değışmesi (Filtre Tipi: NP010)



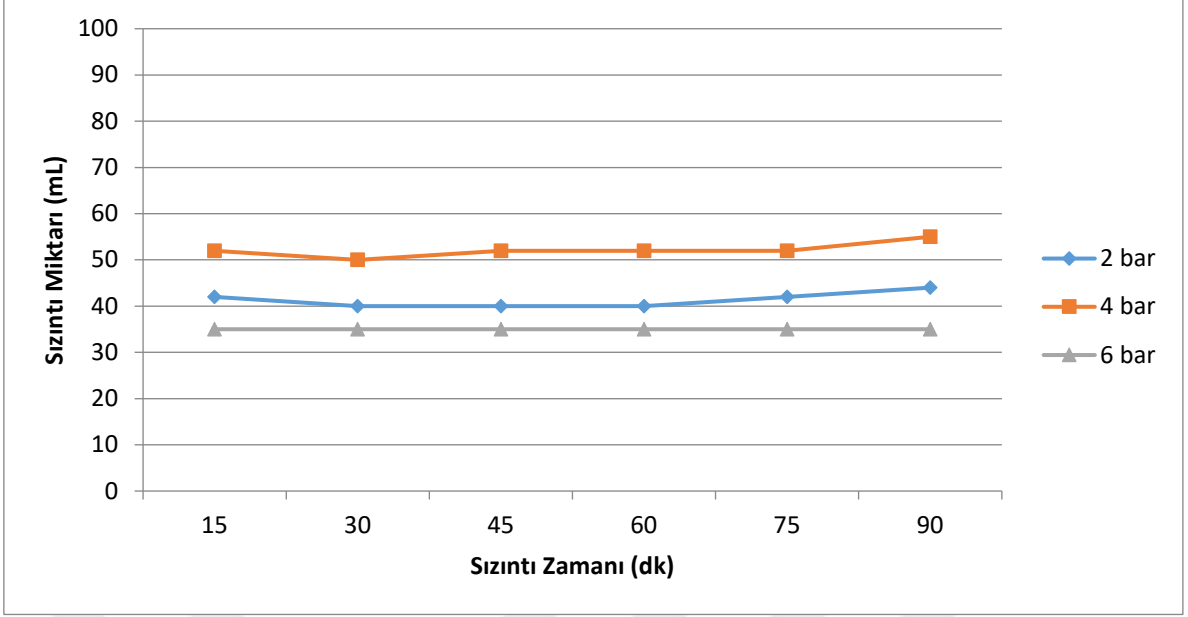
Şekil 4.9. 1 mg/L Mn⁺² konsantrasyonunda farklı basınçlarda zamanla sızıntı miktarının dağılımı (Filtre Tipi: NP030)



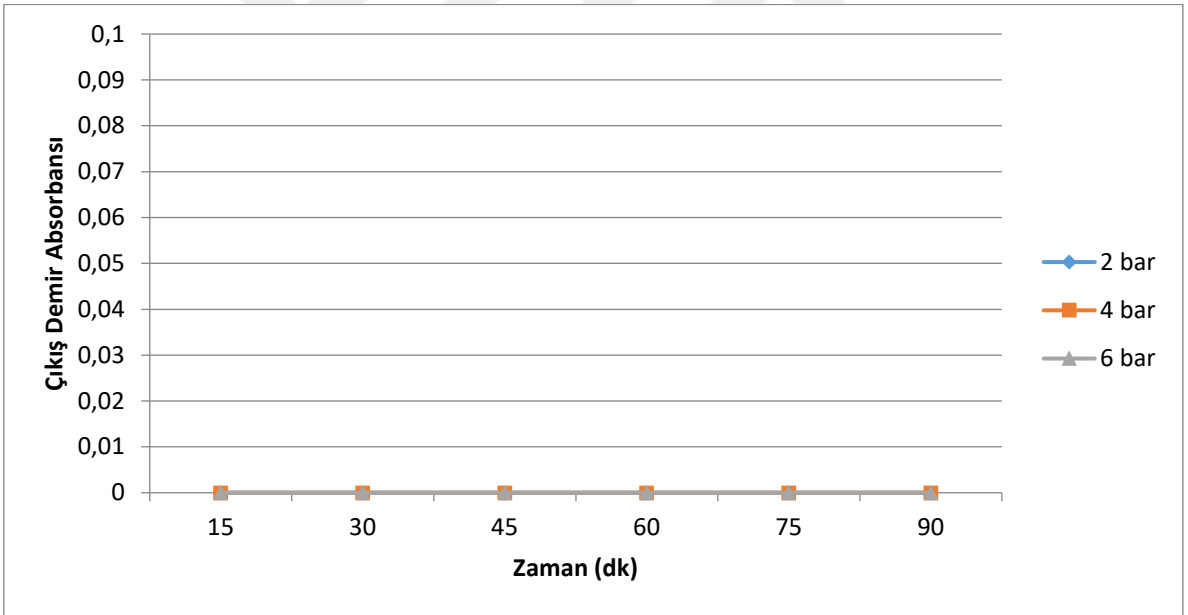
Şekil 4.10. 1 mg/L Mn²⁺ konsantrasyonunda zaman ve filtre basıncına bağı olarak absorbanstın değışmesi (Filtre Tipi: NP030)

4.4. NP010 ve NP030 Filtresinde Demir ve Mangan Giderimi

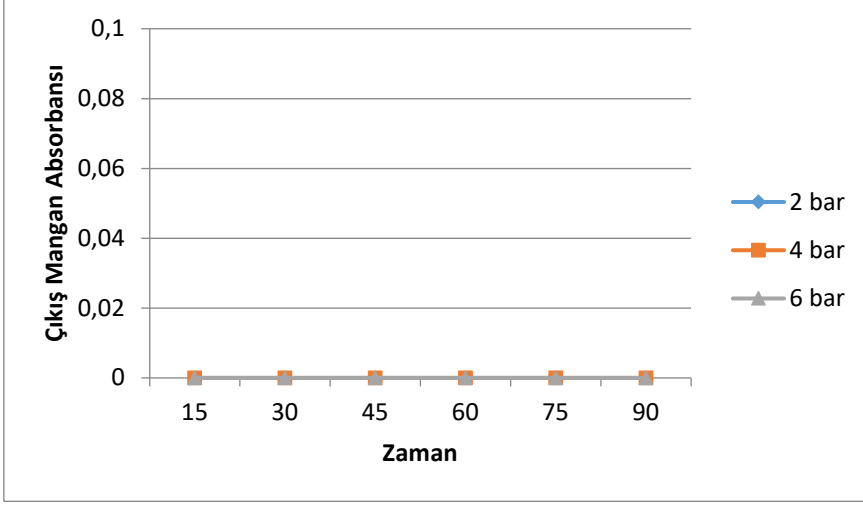
Deneysel çalışmalarda ayrıca 1 mg/L Fe²⁺ ve 1 mg/L Mn²⁺ konsantrasyonuna sahip su hazırlanmış olup, bu sudaki demir ve mangan giderimi incelenmiştir. Çalışmada 2 farklı membran (NP010 ve NP030) ile farklı basınç ve zamanların demir ve mangan giderimine etkisi araştırılmıştır. 1 mg/L Fe²⁺ ve 1 mg/L Mn²⁺ konsantrasyonuna sahip suyun NP010 membranından farklı basınçlarda arıtılması ile elde edilen sızıntı miktarları Şekil 4.11’de verilmiştir. Şekil 4.11’de görüldüğü üzere değışen zamanla birlikte filtrede tıkanma görülmemekte, konsantrasyondan sabit şekilde verim alınmaktadır. NP010 membranında farklı basınç ve zamanlarda demir konsantrasyonu değışimi Şekil 4.12’de ve mangan konsantrasyonu değışimi Şekil 4.13’de verilmiştir. Şekile baktığımızda NP010 membranını çıkış suyunda demir ve mangan absorbanst değeri zamana göre bir değışiklik olmamıştır



Şekil 4.11. 1 mg/L Fe^{+2} ve 1 mg/L Mn^{+2} konsantrasyonunda zaman ve filtre basıncına bağlı olarak sızıntı miktarının dağılımı (Filtre Tipi: NP010)

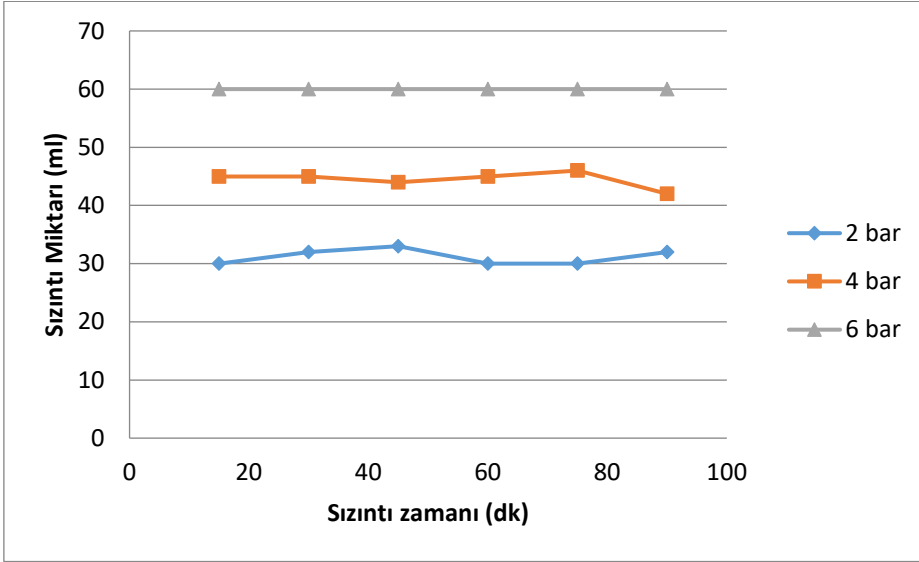


Şekil 4.12. 1 mg/L Fe^{+2} ve 1 mg/L Mn^{+2} konsantrasyonunda demirin zaman ve filtre basıncına bağlı olarak absorbansın değişmesi (Filtre Tipi: NP010)

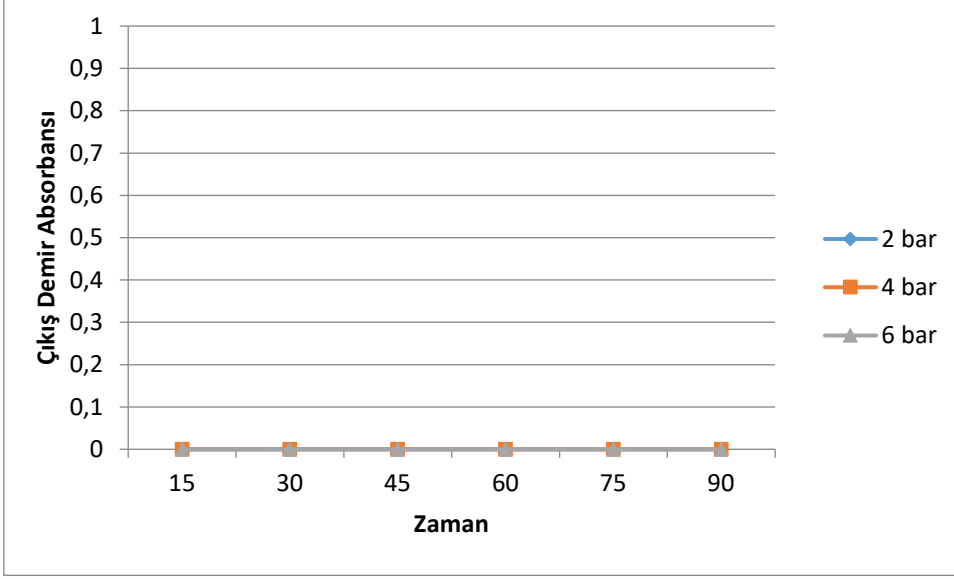


Şekil 4.13. 1 mg/L Fe⁺² ve 1 mg/L Mn⁺² konsantrasyonunda manganın zaman ve filtre basıncına bağlı olarak absorbansın değişmesi (Filtre Tipi: NP010)

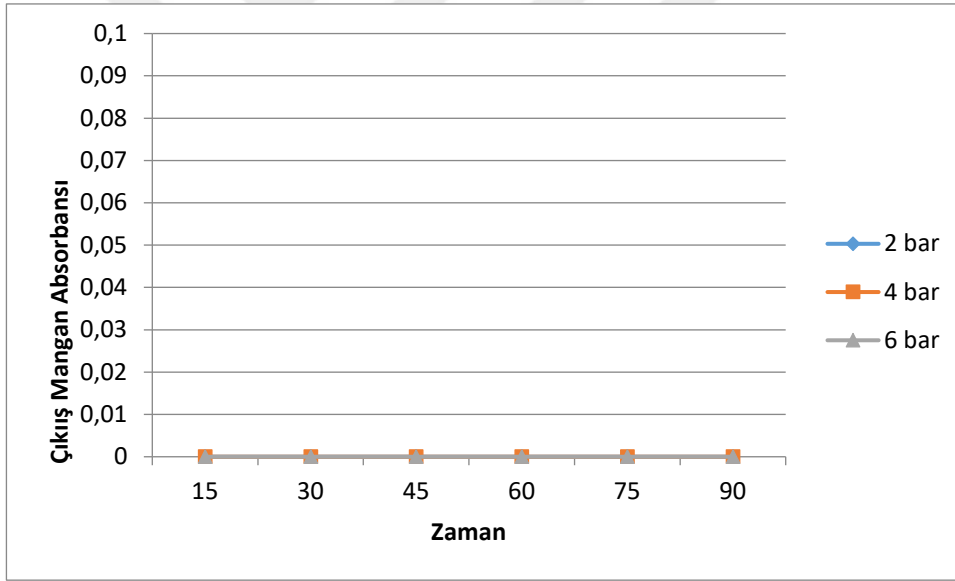
NP030 membranı ile 1 mg/L Fe⁺² ve 1 mg/L Mn⁺² konsantrasyonuna sahip sudaki demir ve mangan giderimi incelenmiştir. Yapılan çalışmada NP030 membranında farklı basınç ve zamanlarda sızıntı miktarı değişimi Şekil 4.14’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere değişen zamanla filtrasyon genel olarak sabit ilerlemiş olup, filtrede tıkanma görülmemektedir. Çalışmada NP030 membran arıtımı sonrasında demir ve mangan adsorbans değerleri Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.14. 1 mg/L Fe⁺² ve 1 mg/L Mn⁺² konsantrasyonunda zaman ve filtre basıncına bağlı olarak sızıntı miktarının dağılımı (Filtre Tipi: NP030)



Şekil 4.15. 1 mg/L Fe²⁺ ve 1 mg/L Mn²⁺ konsantrasyonunda demirin zaman ve filtre basıncına bağlı olarak absorbansın değişmesi (Filtre Tipi: NP030)



Şekil 4.16. 1 mg/L Fe²⁺ ve 1 mg/L Mn²⁺ konsantrasyonunda manganın zaman ve filtre basıncına bağlı olarak absorbansın değişmesi (Filtre Tipi: NP030)

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada; demir ve mangan giderimi içme sularında nanofiltrasyon yönteminin kullanılabilirliği ve giderme verimini etkileyen parametrelere bakılmıştır. Sonuçlara göre, nanofiltrasyon membranları kullanıldığında demir ve mangan gideriminin de en önemli parametrenin membran olduğu gözlenmiştir. Genellikle bazı literatür kaynaklarında tanecik madde giderimi için üretilmiş nanofiltrasyon membranlarının, çözünmüş iyonların giderimine uygun olmadığı anlatılmış olsa da tersini gösteren bir çok akademik çalışma bulunmaktadır. Aynı malzemeden yapılan iki membranın yüzeyi negatif yüklü olduğu için verim farkı ve yapısal özelliklerindeki farklılıklar vardır.

Nanofiltrasyon ünitesinin endüstriyel boyutlu olanları, üretilmeden önce, laboratuvar çalışmaları yapılarak doğru membranın seçilmesi gerekmektedir. Bu araştırmadaki deneyler boyunca, kullanılan nanofiltrasyon membranlarının, derişim ve işletme basıncına bağlı olarak yer yer tıkandığı ve veriminin azaldığı bulunmuştur. Endüstriyel boyuttaki nanofiltrasyon biriminde, başlangıç basıncındaki artışa göre kimyasal membran yıkaması yapılmıştır. Bu arada hiçbir antiskalant madde ilave edilmedi. Endüstriyel boyutta ki bir tesiste antiskalant kullanılması, membrandaki tıkanmanın neden olduğu tıkanma süresini geçebilir ve verim kaybı düşebilir. Testler sırasında, nanofiltrasyon membran modülüne uygulanan basınç yükseldikçe, demir ve mangan giderim veriminin de aynı oranda arttığı ve sabit kaldığı görülmüştür

Normal boyutta bir nanofiltrasyon bölümü tasarımında yok edilmesi istenen kirleticilerin türü de dikkate alınarak optimal giderim birimi optimal işletme basıncı hesaplanarak ekonomik olması sağlanmalıdır. Bu şekilde işlendiğinde kirleticilerden olan mangan ve demir, bir ters osmoz sisteminin çalışması, nanofiltrasyon ünitesinin çalışmasından gerekli olan basıncın düşük olması nedeniyle veriminde artış gerçekleşmektedir. Artan kirletici derişim membranların daha az zamanda tıkanmasına yol açmaktadır. Yüksek derişim ve yüksek basınç kombinasyonu normalden daha az zamanda daha çok kirleticinin membran yüzeyinde yığılmasına ve yol açmaktadır.

Yapılan deneylerde uygulanan basınç miktarı, membran modülünden sağlanan permeatın miktarını çoğalttığı görülmüştür. Nanofiltrasyonun çalışma basıncıyla, üniteden sağlanan permeat arasında doğru orantılı olduğunu ifade edebiliriz. Kısaca içme sularında demir ve manganın temizlenmesi amacıyla üretilecek endüstriyel boyutta bir nanofiltrasyon biriminin dizaynında; kirleticilerin atık su içinde açıklanması ve elektriksel yüklerinin

belirlenmesi, kirleticilerin yüklerine uygun yüzeysel yükü taşıyan nanofiltrasyon membranlarının belirlenmesi, en uygun randıman için ihtiyaç duyulan basıncın belirlenmesi ve membranların tıkanmasına karşı korunması gerekmektedir. Nanofiltrasyon ihtiyaç duyulan işleme şartları sağlandıktan sonra içme sularındaki demir ve mangan temizlenmesinde kullanılacak önemli bir yöntemdir.



KAYNAKLAR

- Anonim (2005). Membrane filtration guidance manual. United States Environmental Protection Agency.
- Arsuaga, J.M., Lopez-Munoz, M.J., Aguado, J. ve Sotto, A. (2007). Temperature, pH and concentration effects on retention and transport of organic pollutants across thin-film composite nanofiltration membranes. *Desalination*, 221, 253-258.
- Bruggen, B.V. ve Geens, J. (2008). Nanofiltration, advanced membrane technology and applications. *Wiley Online Library*, 11, 271-295
- Childress, A. ve Elimelech, M. (2000). Relating nanofiltration membrane performance to membrane charge (electrokinetic) characteristics. *Environmental Science & Technology*, 34, 3710-3716.
- Dalwani, M.R. (2011). Thin film composite nanofiltration membranes for extreme conditions. PhD Thesis, University of Twente.
- DeZuane, J. (1997). Handbook of Drinking Water Quality, 2nd Edition, Wiley Online Library, pg.126
- Gray, L.E. ve Laskey, J.W. (1980) Multivariate analysis of the effects of manganese on the reproductive physiology and behavior of the male house mouse. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 6, 861-867.
- Kang, M., Jeong, T. ve Hwang, I. (2009). Nitrate by nanofiltration in very small drinking water systems. *World Applied Sciences*, 5, 41-45
- Liikanen, R., Yli-Kuivila, J. ve Laukkanen, R. (2001). Efficiency of various chemical cleanings for nanofiltration membrane fouled by conventionally treated surface water. *Journal of membrane Science*, 195, 265-276
- Timmer, J.M.K. (2001). Properties of nanofiltration membranes; model development and industrial application. PhD Thesis, Technische Universiteit Eindhoven.
- Uçar, T. (2012). İçme Sularında Nanofiltrasyon Yöntemiyle Nitrat Giderimi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 1-38
- WHO (2003). Iron in Drinking-water, second edition, page 1-9
- WHO (2011). Guidelines for drinking-water quality, fourth edition, Chap.12, page 381