



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İÇME SULARININ NANOKOMPOZİT MEMBRANLARLA
ARITIMI**

Öykü MUTLU

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Neşe TÜFEKÇİ

Haziran, 2015

İSTANBUL

Bu çalışma 23/07/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Mühendisliği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi:



Prof. Dr. Neşe TÜFEKÇİ (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



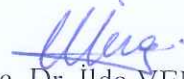
Prof. Dr. Gülen İSKENDER
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi



Doç. Dr. Yaşemin KAYA
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Sevgi KOCAOBA
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi



Doç. Dr. İlda VERGİLİ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterlięinin 41507 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmam süresince bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan her anlamda desteğini esirgemeyen yardımına koşan çok sevgili ve saygıdeğer hocam Prof. Dr. Neşe TÜFEKÇİ' ye sonsuz teşekkür ederim.

Laboratuvarını bana açan bu sayede tezimin membran üretimi kısmını tamamlamamı sağlayan sayın hocam Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAKÇI' ya çok teşekkür ederim.

Benden gerek tez gerekse diğer hususlarda deneyim ve yardımlarını esirgemeyen sevgili Arş. Gör. Dr. Güler TÜRKOĞLU DEMİRKOL' a ve yardımlarını benden esirgemeyip bana zaman ayıran Gökhan BALCIOĞLU başta olmak üzere tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yıldız Teknik Üniversitesi laboratuvarındaki arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, beni bugünlere getiren ve desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen çok sevgili aileme beni hiçbir zaman yalnız bırakmadıkları ve tüm emekleri için sonsuz teşekkür ederim, iyi ki varsınız.

Tez çalışmam boyunca her konuda desteğini ve ilgisini hep hissettiğim, her zaman usanmadan bana yardımcı olan, sıkıntılarımı paylaşıp çözüm bulduğum sevgili Ramazan SALMANLI' ya ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2015

Öykü MUTLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. ÇALIŞMANIN AMACI	2
1.2. ÇALIŞMANIN KAPSAMI.....	3
2. GENEL KISIMLAR	5
2.1. MEMBRAN SİSTEMLER	5
2.1.1. Membranların Ayırma Mekanizması	5
2.1.2. Membranların Yapısal Olarak Sınıflandırılması	7
2.1.2.1. Ayırma Mekanizmalarına Göre Sınıflandırılması	7
2.1.2.2. Morfolojilerine Göre Sınıflandırma.....	8
2.1.2.3. Geometrilere Göre Sınıflandırılması	9
2.1.2.4. Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılması.....	12
2.1.3. Membran Prosesler	12
2.1.3.1. Basınç Sürücülü Membran Prosesler	13
2.1.4. Batık Membran Sistemleri	16
2.2. MEMBRAN ÜRETİM TEKNİKLERİ	17
2.2.1. Faz İnversiyon.....	18
2.2.2. Arayüz Polimerizasyonu.....	19
2.2.3. Gerdirme (Strecthing).....	19
2.2.4. Boşluk oluşturma (track etching)	19
2.2.5. Elektrospinning	20
2.2.6. Membran Üretiminde Kullanılan Materyaller	20

3. MALZEME VE YÖNTEM.....	24
3.1. KULLANILAN KİMYASALLAR	24
3.2. MEMBRAN ÇÖZELTİLERİNİN HAZIRLANMASI.....	25
3.3. DÜZ PLAKA MEMBRANLARIN DÖKÜMÜ.....	27
3.4. MEMBRAN KARAKTERİZASYON ANALİZLERİ.....	28
3.4.1. Filtrasyon Sistemi.....	28
3.4.2. Geçirgenlik Değerinin Belirlenmesi.....	28
3.4.3. Temas Açısı Ölçümleri.....	29
3.4.4. Porozite Değerlerinin Belirlenmesi.....	30
3.4.5. SEM ve FT/IR Analizleri.....	30
3.5. SU PARAMETRELERİ ANALİZİ	31
3.5.1. TOK Ölçümleri	31
3.5.2. UV ₂₅₄ Ölçümleri.....	32
3.5.3. Bulanıklık Ölçümleri	32
3.5.4. Katı Madde Tayinleri	32
3.5.5. Demir ve Mangan Ölçümleri	33
3.5.6. Batık Membran Deney Düzeneği.....	33
4. BULGULAR.....	37
4.1. KARAKTERİZASYON DENEYLERİ.....	37
4.1.1. PEİ Polimeri İle Yapılan Deney Sonuçları.....	37
4.1.1.1. Geçirgenlik Deneyi Sonuçları	37
4.1.1.2. Temas Açısı Sonuçları.....	39
4.1.1.3. Porozite Değerleri	39
4.1.2. PSF Polimeri İle Yapılan Deney Sonuçları	40
4.1.2.1. Geçirgenlik Deneyi Sonuçları	40
4.1.2.2. Temas Açısı Sonuçları.....	41
4.1.2.3. Porozite Değerleri	42
4.1.3. PPS Polimeri İle Yapılan Deney Sonuçları	43
4.1.3.1. Geçirgenlik Deneyi Sonuçları	43
4.1.3.2. Temas Açısı Sonuçları.....	44
4.1.3.3. Porozite Değerleri	45
4.2. BATIK MEMBRAN SİSTEMİ.....	46
4.2.1. Akı Değişimleri	47
4.2.1.1. PEİ Polimeri İle Yapılan Deney Sonuçları	47

4.2.1.2. PSF Polimeri İle Yapılan Deney Sonuçları.....	49
4.2.1.3. PPS Polimeri İle Yapılan Deney Sonuçları	51
4.2.2. Fe(II) ve Mn(II) Giderim Verimleri	53
4.2.3. TOK ve UV ₂₅₄ Giderim Verimleri	58
4.2.4. AKM ve Bulanıklık Giderim Verimleri	61
4.2.5. SEM Analizleri.....	64
4.2.6. FT/IR Analizleri	77
5.TARTIŞMA VE SONUÇ	84
KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ	92

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Membran ayırma prosesi	6
Şekil 2.2: Membranların yapılarına göre sınıflandırma	7
Şekil 2.3: Membranların morfolojilerine göre sınıflandırılması.....	8
Şekil 2.4: Hallow fiber membran modülü.....	10
Şekil 2.5: Hallow fiber membran işletme modları.....	10
Şekil 2.6: Plaka ve çerçeve tipi membran modülleri	11
Şekil 2.7: Spiral sarımlı membran modülü.....	12
Şekil 2.8: Membran prosesleri ve por büyüklükleri	13
Şekil 2.9: Membranların su arıtımında kullanılış biçimleri	17
Şekil 2.10: Elde dökme bıçağı.....	18
Şekil 3.1: Membran döküm çözeltisi hazırlama aşamaları	26
Şekil 3.2: Düz plaka membran döküm aşamaları	27
Şekil 3.3: Filtrasyon deney düzeneği.	28
Şekil 3.4: Theta Lite optik tensiyometre cihazı.....	30
Şekil 3.5: SEM Cihazı	31
Şekil 3.6: FT/IR Cihazı	31
Şekil 3.7: TOK Cihazı	32
Şekil 3.8: Batık membran deney düzeneği şematik görünümü	34
Şekil 3.9: Batık membran deney düzeneği	35
Şekil 3.10: Batık membran deney düzeneği elemanları.....	36
Şekil 4.1: PEI membran geçirgenlik değerleri.	38
Şekil 4.2: PEI membran temas açısı değerleri.....	39
Şekil 4.3: PEI membran porozite değerleri	40
Şekil 4.4: PSF membran geçirgenlik değerleri	41
Şekil 4.5: PSF membran temas açısı değerleri	42
Şekil 4.6: PSF membran porozite değerleri	43
Şekil 4.7: PPS membran geçirgenlik değerleri.....	44
Şekil 4.8: PPS membran temas açısı değerleri.	45
Şekil 4.9: PPS membran porozite değerleri.	46

Şekil 4.10: 22 PEI 2PVP akı değişim grafiği	47
Şekil 4.11: 22 PEI 4PVP akı değişim grafiği	48
Şekil 4.12: 22 PEI 8 PVP akı değişim grafiği	49
Şekil 4.13: 22 PSF 2PVP akı değişim grafiği.....	50
Şekil 4.14: 22 PSF 4PVP akı değişim grafiği.....	50
Şekil 4.15: 22 PSF 8PVP akı değişimi	51
Şekil 4.16: 22 PPS 2PVP akı değişim grafiği	52
Şekil 4.17: 22 PPS 4PVP akı değişim grafiği	53
Şekil 4.18: 22 PPS 8PVP akı değişimi.....	53
Şekil 4.19: PEI membranların Fe(II) ve Mn(II) giderim verimleri	55
Şekil 4.20: PSF membranların Fe(II) ve Mn(II) giderim verimleri..	56
Şekil 4.21: PPS membranların Fe(II) ve Mn(II) giderim Verimleri..	58
Şekil 4.22: PEI membranların TOK ve UV ₂₅₄ giderim verimleri	58
Şekil 4.23: PSF membranların TOK ve UV ₂₅₄ giderim verimleri..	60
Şekil 4.24: PPS membranların TOK ve UV ₂₅₄ giderim verimleri	61
Şekil 4.25: PEI membranların Bulanıklık giderim verimleri.	62
Şekil 4.26: PSF membranların Bulanıklık giderim verimleri.....	63
Şekil 4.27: PPS membranların Bulanıklık giderim Verimleri	64
Şekil 4.28: Saf, Pvp Katkılı, Pvp+Kil katkılı temiz PEI membranlara ait SEM görüntüleri	68
Şekil 4.29: Saf, Pvp Katkılı, Pvp+Kil katkılı temiz PSF membranlara ait SEM görüntüleri	73
Şekil 4.30: Saf, Pvp Katkılı, Pvp+Kil katkılı temiz PPS membranlara ait SEM görüntüleri.....	76
Şekil 4.31: Saf, PVP ve PVP+Kil katkılı temiz PEİ membranlara ait FT/IR verileri.....	78
Şekil 4.32: Saf, Pvp Katkılı, Pvp+Kil katkılı temiz PSF membranlara ait FT/IR verileri	80
Şekil 4.33: Saf, Pvp Katkılı, Pvp+Kil katkılı temiz PPS membranlara ait FT/IR verileri.	82

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Sürücü kuvvetlerine göre membranlar	13
Tablo 2.2: Basınç sürücülü membranların özellikleri	14
Tablo 2.3: Membran üretiminde kullanılan polimerler	21
Tablo 2.4: Membran materyallerinin özellikleri	22
Tablo 2.5: Membran türünün mebran özelliklerine etkileri.....	23
Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan kimyasallar.....	24
Tablo 3.2: Çalışmada kullanılan kimyasalların oranı.....	32
Tablo 4.1: Su kalite parameteleri	37

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
J	: Akı ($L/m^2.sa$)
R	: Geçirgenlik ($L/m^2.sa.bar$)
ΔP	: Basınç (bar)

Kısaltmalar	Açıklama
AKM	: Askıda katı madde (mg/L)
CA	: Selüloz asetat
MF	: Mikrofiltrasyon
NF	: Nanofiltrasyon
NMP	: N metil 2 pirolidon
PAN	: Poliakrilonitril
PEİ	: Polieterimid
PPS	: Polifenilensülfon
PS	: Polisülfon
PVDF	: Poliviniliden florür
PVP	: Polivinilpirolidon
RO	: Ters osmoz
TOK	: Toplam organik karbon
UF	: Ultrafiltrasyon

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İÇME SULARININ NANOKOMPOZİT MEMBRANLARLA ARITIMI

Öykü MUTLU

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Neşe TÜFEKÇİ

Yeraltı suları, yüzeysel sular, denizler, okyanuslar ve hatta atık sulardan içme suyu elde etmek amacıyla çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Membran teknolojileri ise son yıllarda en yaygın şekilde kullanılan ve araştırılan teknolojilerdir. Gelişen teknoloji ile birlikte nanoteknoloji terimi de önem kazanmış ve membran teknolojilerinde de kullanılmaya başlanılmıştır. Özellikle nano malzemeler kullanılarak modifiye edilen membranlar ile modifiye edilmemiş membranlara göre daha iyi verim elde edilmektedir.

Bu çalışmanın amacı nanopartiküller kullanarak polimerik membranların üretilmesi ve üretilen bu membranların batık membran düzeneği ile içme suyu arıtım potansiyelini incelemektir. Polimer membran malzemesi olarak PEİ(polieterimid), PSF(polisülfon) ve PPS(polifenilensülfon) seçilmiştir. Nanokompozit membranlar üretilirken nano materyal olarak 25-30 wt. % methyl dihydroxyethyl hydrogenated tallow tipi kil kullanılmıştır. Üretim işlemi faz inversiyon (phase inversion) yöntemi ile yapılmıştır. Laboratuvar ölçekli batık membran düzeneğine üretilen nanokompozit membran plakaları yerleştirilerek Büyükçekmece Gölünden alınan su numuneleri ile arıtım deneyleri yapılmıştır. Deneyler sırasındaki membran akıları zamana bağlı olarak belirlenmiştir. Sistemin giriş ve çıkışında toplam organik karbon (TOK), bulanıklık, UV₂₅₄, askıda katı maddeler (AKM), Fe(II) ve Mn(II) analizleri yapılarak arıtım performansı belirlenmiştir. Temiz ve kirli membranlarda SEM ve FT/IR analizleri yapılarak morfolojik özellikler belirlenmiştir.

Haziran 2015, 105 sayfa.

Anahtar kelimeler: Membran sentezi, nanokompozit membranlar, içme suyu, batık membran, kil nanopartikül, PEİ, PSF, PPS, faz inversiyon.

SUMMARY

MS.c THESIS

DRINKING WATER TREATMENT BY NANOCOMPOSITE MEMBRANES

Öykü MUTLU

Istanbul University

Institute for Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Environmental Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Neşe TÜFEKÇİ

There are several methodologies applying to ground water, surface water, seas, oceans even waste water, for obtaining drinking water. Membrane technologies are most commonly used and researched technologies in recent years. Developing technologies has gained importance to nanotechnology and, nanotechnology has started using in membrane technologies. Especially using membranes modified with nanomaterials obtain more efficiency than unmodified membranes.

The aim of this study is to synthesise polymeric membranes using nanoparticles and research of drinking water treatment potential of these membranes with submerged membrane system. PEI, PSF and PPS is selected as polymer membrane material. Nanoclay 25-30 wt. % methyl dihydroxyethyl hydrogenated tallow will use as nano material for nanocomposite membrane. Phase inversion method was used for synthesis of membranes. Synthesized membranes adopted to laboratory scale of submerged membrane system. Total organic carbon (TOC), turbidity, UV₂₅₄, suspended solids (SS)

, Fe(II) and Mn(II) analyses were used to determine treatment performance. SEM and FT/IR analyses were used to determine the membranes morphological specialities.

June 2015, 105 pages.

Keywords: Membrane synthesis, nanocomposite membranes, drinking water, submerged membranes, clay nanoparticles, PEI, PSF, PPS, phase inversion.

1. GİRİŞ

Su, yeryüzünde yaşayan bütün canlılar için en önemli doğal kaynaklardan biridir. İçme ve kullanma, tarım, ulaşım, endüstri gibi birçok alanda suyun gerekliliği kaçınılmazdır. Ancak, özellikle son 20 yıl içinde artan insan nüfusu ve bunun sonucu olarak artan su talebi, küresel bir su krizini gündeme getirmiştir. Hızla artan dünya nüfusu ve su talebiyle birlikte ekonomik, politik ve çevresel konulardaki mücadeleler çok daha yaygın ve ciddi boyutlara ulaşmıştır. Günümüzde su kaynakları; miktar, kalite ve diğer tüm sektörel kullanımlar açısından oldukça ciddi sorunlarla karşı karşıyadır.

Su kaynaklarının neredeyse tamamının günümüzün ileri arıtma teknolojileriyle içme ve kullanma suyu olarak kullanıma uygun hale getirilebilmektedir. Yeni teknolojilerin kullanımı ile tuzluluğu yüksek kuyu sularını, yüzeysel suları, deniz sularını ve hatta atıksuları arıtarak içme ve kullanma suyu haline getirmek mümkündür.

Renk, koku, tat gibi suyun fiziksel özellikleriyle ilgili parametrelerin içme ve kullanma suları için belirli sınır değerlerde olması gerekir. Ayrıca, çoğu su kaynağının fiziksel özellikleri içme suyuna uygun olmasına rağmen kimyasal özellikleri nedeniyle içme suyu sınıfına dahil edilememektedir. Su kaynaklarının yüksek tuzluluk, sertlik ve zehirlilik gibi kimyasal özellikleri içme suyu sınıfına girmemesine neden olmaktadır.

Membran sistemler ile su kalitesinin iyileştirilmesi son yılların en etkili ve yaygın kullanılan ileri arıtma yöntemi olmuştur. İyon değiştirme, buharlaştırma, ters osmoz, elektrodializ gibi tuzluluk giderme yöntemlerinin yerini hızla membran sistemler almaya başlamıştır.

Ters osmoz, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon en yaygın kullanılan membran proseslerdir.

Membran proseslerde iki faz vardır. Bunlar besleme ve süzüntü akımlarıdır. Arıtma işlemi, birinci fazdaki bir bileşenin membran tarafından belli bir oranda tutulması esasına dayanır. Membrandan geçen akım iki kısma ayrılır. Bunlar, membrandan

geçen ve geçmeyen akımlardır. Membrandan geçen süzüntü akım, geçmeyen ise konsantre akım olarak adlandırılır. Membran proseslerinden en çok kullanılanlar ters osmoz (RO), nanofiltrasyon (NF), ultrafiltrasyon (UF) ve mikrofiltrasyon (MF) gibi basınç uygulamalı membran modülleridir. Bunların kullanımları son 30 yıl içinde her alanda oldukça artmıştır. Membran proseslerinin avantajları, sürekli işletme halinde olabilmesi, yer ihtiyacının çok az olması, modüler olarak kullanılabilmesi, çok yüksek konsantrasyonlu atıksu arıtımında uygulanabilmesi, taşınabilir olması, herhangi bir inşaat gerektirmemesi ve maliyetinin gün geçtikçe daha da aşağılara çekilmesidir (Koyuncu ve Topacık, 1999). Aynı zamanda, bunlar güvenilir ve oldukça iyi düzeyde çıkış suyu kalitesi sağlamaktadırlar.

Son yıllarda nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte polimer yapılı membranların hidrofilik özelliklerinin iyileştirilmesi, seçicilik ve tıkanma dirençlerinin artırılması için nano yapılı taneciklerin polimerlerin içerisine potansiyel güçlendirici ve membran özelliklerini iyileştirici malzeme olarak ilave edilmektedir (Luo ve diğ., 2005; Yang ve diğ., 2007; Zodrow ve diğ., 2009). Literatürdeki nanoparçacık katkılı membranlarla ilgili yürütülen çalışmalara bakıldığında, polimerik membranların yapısına ilave edilen pek çok nanoparçacık bulunduğu da görülmektedir.

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI

Doğal kaynakların aşırı kullanımı ve ekolojik sistem özümleme kapasitesini aşan miktardaki atığın doğaya bırakılması çevreyi tahrip etmektedir. Ülkemizde nüfusun hızlı artışı, sanayileşmenin büyümesi, tarımda gübre ve ilaç kullanımının yaygınlaşması ve çevre bilincinin yeterince yerleşmemesi gibi nedenlerle mevcut yüzey ve yeraltı sularında aşırı kirlenmeler saptanmıştır. Bu kirlenmeler su arıtımını daha da önemli hale getirmiştir. Ucuz, etkili, kolay uygulanabilir, fazla yer kaplamayan alternatif teknolojiler önem kazanmıştır. Nanoteknolojik yöntemler de bu konuda öne çıkan yöntemler arasında gösterilmektedir. Bu yöntemler son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanan arıtma yöntemlerinden membranlara uygulanmış nanokompozit membranlar olarak ortaya çıkmıştır.

Polimerik membranların üretiminde nanoparçacık kullanımı son yıllarda özellikle akının iyileştirilmesi ve tıkanmanın önlenmesi konularında oldukça önem kazanmıştır. Polimerik membran sentezi sırasında boyutları 4-100 nm arasında değişen nanoparçacık ve nanotüp ekleme girişimlerinin başarılı olduğu literatürdeki birçok çalışmada belirtilmektedir. Bu nanomateryallerin tıkanmanın azalmasında, süzüntü suyu karakterinin iyileşmesinde ve akının artmasında çok önemli rol oynadıkları belirtilmiştir. Titanyum, alumina, silika, gümüş, zeolit, demir ve karbon nanotüp gibi nano materyaller en çok tercih edilen nano malzemelerdir.

Bu çalışmanın amacı polimerik membranların sentezlenmesi ve bunu yaparken nanopartiküler maddelerin ilave edilmesi ve sentezlenen membranların içme suyu arıtım potansiyelinin incelemesidir. Polimer membran malzemesi olarak PEİ(polieterimid), PSF(polisülfon) ve PPS(polifenilensülfon) seçilmiştir. Bu polimerler değişik oranlarda 25-30 wt. % methyl dihydroxyethyl hydrogenated tallow tipi kil nanoparçacıkları kullanılarak sentezlenmiştir. Sentezleme işlemi faz inversiyon (phase inversion) yöntemi ile yapılmıştır. Sentezlenen membranlar batık membran deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Sistemin giriş ve çıkışından alınan numunelerde TOK, bulanıklık, UV₂₅₄, AKM, Fe(II) ve Mn(II) analizleri yapılarak ve akı değişimleri izlenerek arıtım performansı belirlenmiştir. Besleme suyu Büyükçekmece gölünden alınmıştır.

1.2. ÇALIŞMANIN KAPSAMI

Bu çalışma kapsamında içme sularındaki kirlетici maddelerin en iyi şekilde arıtılmasını sağlayacak nanokompozit membranların sentezlenmesi ve verimlerinin gözlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla yapılmış olan çalışmanın aşamaları aşağıda verilmiştir.

1.Aşama: Seçilen polimerler (PEİ, PSF ve PPS) ve nanomateryaller (25-30 wt. % methyl dihydroxyethyl hydrogenated tallow tipi kil nanoparçacıkları) ile membran sentezi gerçekleştirilmiştir. Membran sentezi faz inversiyon (phase inversion) yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

2.Aşama: Sentezlenen bu membranların karakterizasyonu yapılmıştır. Karakterizasyon çalışmaları kapsamında geçirgenlik, temas açısı, porozite, SEM ve FT/IR analizleri yapılmıştır.

3.Aşama: Arıtılabilirlik çalışmalarının yapılması. Bu aşamada batık membran düzeneği kullanılmıştır. Elde edilen düz plaka membranlar havalandırma havuzunu simüle eden bir tanka batırılmış ve sabit basınçla çalıştırılmıştır.

4.Aşama: Düzeneğe bağlı olan sistemde membran çıkış suları toplanarak akı değerleri hesaplanmış ve değişimleri grafiksel olarak belirlenmiştir. Sistemin giriş ve çıkışında TOK, bulanıklık, UV₂₅₄, AKM, Fe(II) ve Mn(II) analizleri yapılarak arıtım performansı belirlenmiştir.

5.Aşama: Arıtım deneylerinde kullanılan membranlarda kirlenmeyi görmek amacıyla FT/IR ve SEM analizleri yapılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. MEMBRAN SİSTEMLER

Dünya yüzeyinin %80' i sudur ve tüm suların %97' si deniz ve okyanuslardan oluşur. Kutuplardaki buzul halinde bulunan su oranı %2' dir. Ancak dünyadaki tüm suların sadece %1' i içilebilir niteliktedir.

Hızlı nüfus artışı, gelişen sanayileşme, aşırı tüketim ve günden güne artan kuraklık sebepleri ile tatlı su kaynakları hızla tükenmektedir. Artan bu talebi karşılayabilecek ekonomik ve pratik çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak günlük su gereksinimimiz bu içme suyunun yanı sıra temizlik, gıda ve benzer işlerden oluşmaktadır. İstanbul'da günde kişi başına yaklaşık 175 litre su tüketilmektedir. Bu da günde yaklaşık 2.5 milyon metreküp suya karşılık gelmektedir ve mevcut kaynaklar bu miktarı karşılayamamaktadır.

Membran prosesleri son yıllarda artan su talebini karşılayabilmek amacıyla yaygın bir şekilde başvurulan ve araştırılan teknolojiler olmuştur.

2.1.1. Membranların Ayırma Mekanizması

Membran, iki fazı birbirinden ayırarak seçici bir mekanizma ile maddelerin bir taraftan diğer tarafa geçişini sağlayan geçirgen veya yarı geçirgen bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Katı-sıvı, sıvı-sıvı ayırımı ve gaz ayırımı, gibi amaçlar için kullanılır. Membran filtrasyonu, partikül maddelerin, kolloidlerin, büyük moleküllerin, iyonların, askıda katı maddelerin ve çözünmüş maddelerin ayırımı amacıyla kullanılan bir teknolojidir.

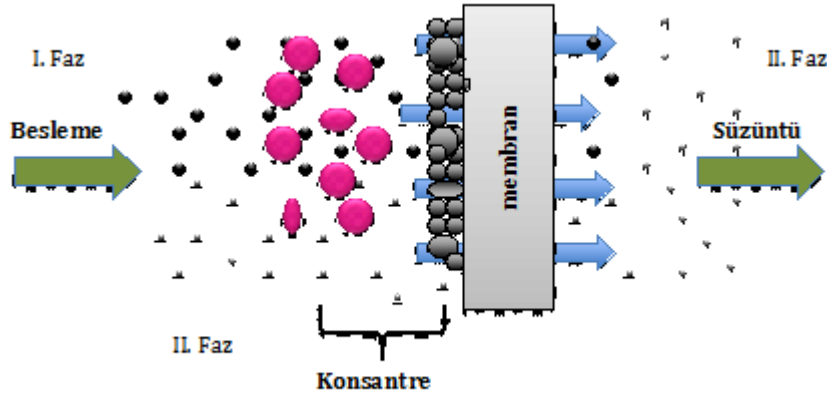
Bunlar genel olarak;

- 1- Sıvılardan ve gazlardan mikron boyutundaki partiküllerin filtrasyonu,
- 2- İyon boyutu da dahil olmak üzere sıvılardan kolloidlerin ve büyük ölçekli moleküllerin ayırımı,
- 3- Sadece iyonik türlerin ayırımı,

4- Sulardan veya diğer sıvılardan bütün askıda katı veya çözünmüş maddelerin ayırımı

olarak sınıflandırılabilir (Scott, 1995). Filtrasyon sırasında besleme çözeltisi membrandan geçerken, süzüntü ve konsantre olmak üzere iki akıma ayrılmaktadır. Membranın gözenek çapından daha küçük olan maddeler membrandan geçerek süzüntüye karışmakta, bu sırada daha büyük moleküller veya çözünmüş maddeler tutularak konsantre akımında kalmaktadırlar.

Basit bir membran ayırma prosesi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

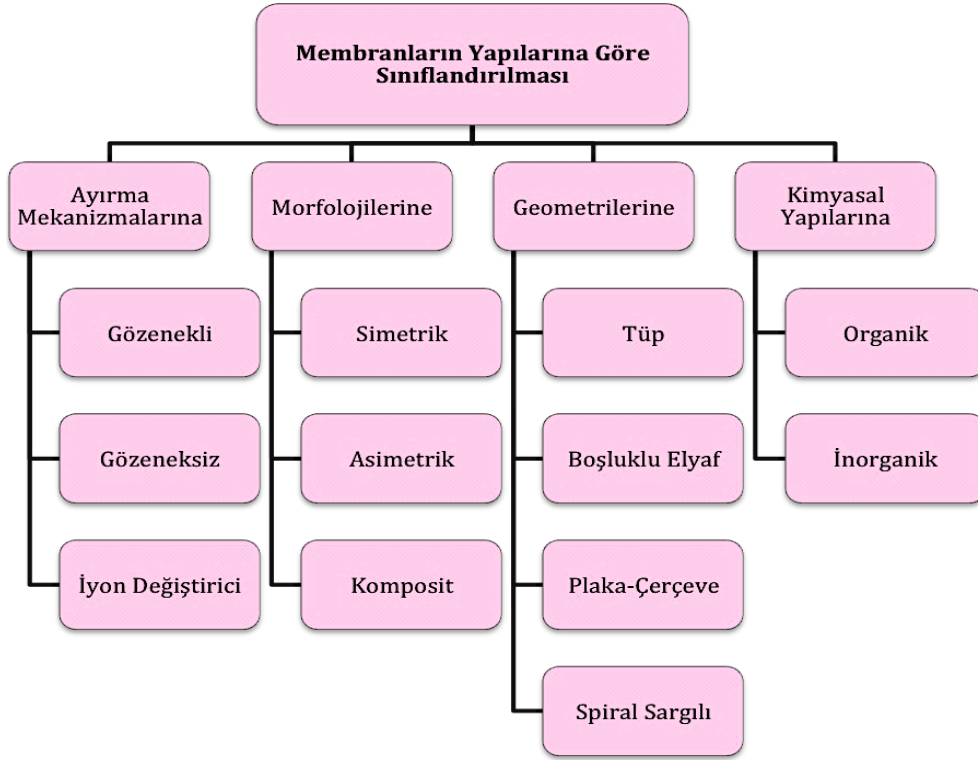


Şekil 2.1: Membran ayırma prosesi.

Membrandan süzüntü tarafına bir geçiş olması için sürücü bir kuvvetin uygulanması gerekir. Bu sürücü kuvvetler iki faz arasındaki sıcaklık (ΔT), konsantrasyon (ΔC), basınç (ΔP) ve elektriksel potansiyel (ΔE) farklarıdır.

2.1.2. Membranların Yapısal Olarak Sınıflandırılması

Membranlar yapılarına göre, doğal veya sentetik, organik veya inorganik, gözenekli veya gözeneksiz, simetrik veya asimetrik membranlar olarak gruplandırılabilir (Şekil 2.2) (Mulder, 1996).



Şekil 2.2: Membranların yapılarına göre sınıflandırılması (Mulder, 1996).

2.1.2.1. Ayırma Mekanizmalarına Göre Sınıflandırılması

Membranlar ayırma mekanizmalarına göre üçe ayrılmaktadır. Bunlar;

1. Gözenekli membranlar (mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF))

- Büyük gözenekli (>50nm)
- Orta gözenekli (2nm-50nm)
- Küçük gözenekli (<2nm)

2. Gözeneksiz (yoğun) membranlar (nanofiltrasyon (NF), ters osmoz (RO)) olarak sınıflandırılır.

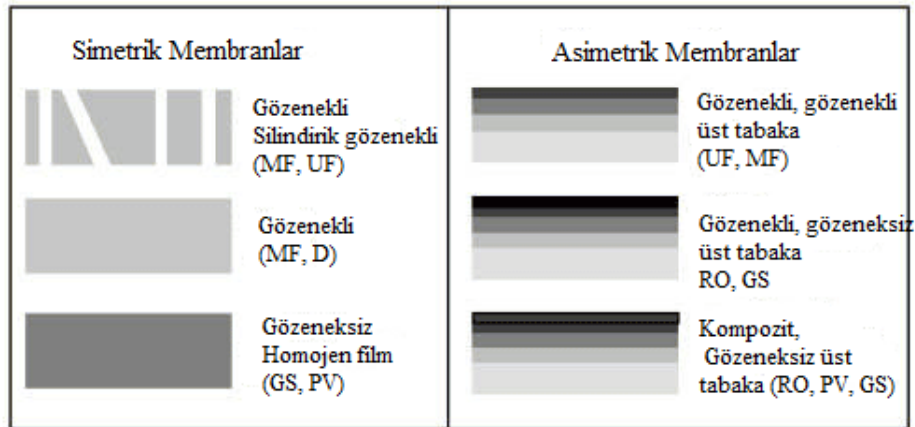
Eleme mekanizmasına göre gözenekli (boşluklu) membranlar, elektrokimyasal etkilere göre iyon değiştirici (yükü) membranlar ve çözünme-difüzyon mekanizmasına göre de gözeneksiz (boşluksuz) membranlarla çalışılmaktadır. Porlu membranlarda konvektif madde taşınımı, porsuz membranlarda çözünme-difüzyon modeli, iyon değiştirici membranlarda ise elektrokimyasal etkiler sözkonusudur.

2.1.2.2. Morfolojilerine Göre Sınıflandırma

Morfolojilerine göre, simetrik, asimetrik ve kompozit membranlar olarak üçe ayrılmaktadır.

Simetrik membranlar tek bir materyalden (homojen) oluşurken, kompozit membranlar farklı (heterojen) materyaller ile elde edilir, asimetrik membranlar ise homojen veya heterojen olabilir.

Simetrik membranlarda kesit alanı boyunca, yoğunluk ve gözenek yapısı özelliklerinde benzerlik ve tek biçimlilik söz konusudur. Yapı ve işlev olarak simetrik membranlar ticari filtrelelere benzemektedir. Ticari filtrelerden farkı 0.01 ile 1 mikrometre çapında çok küçük gözeneklere sahip olmasıdır. Asimetrik membranlarda ise kesit alanı boyunca yoğunluk değişikliği gösterebilmektedir (Baker, 2004, USEPA, 2005).



Şekil 2.3: Membran morfolojilerine göre şematik sınıflandırma (Baker, 2004).

2.1.2.3. Geometrilerine Göre Sınıflandırılması

Membranlar geometrilerine göre silindirik ve tabaka (levha) membranlar olarak sınıflandırılırlar. Tabaka membranlar plaka çerçeve ve spiral sargılı membranlar, silindirik membranlar ise tübüler ve boşluklu elyaf membranlar şeklinde bulunmaktadır.

Tübular membran modülü gözenekli paslanmaz çelik veya plastik bir tübe direkt olarak polimer çözeltisinin döküm yapılmasıyla hazırlandığı için membranlar paslanmaz çelik tüpler ile desteklenmiş olurlar. Çoğu tasarımda tüpler seri bağlı haldedir. Bu sebeple besi kanallarının çapı büyük verildiği sürece geri kazanımı maksimuma çıkarmak için bir modül çoklu geçişi konfigürasyonu şeklinde çalışabilir. Bu modül sisteminin avantajları besi çözeltisi akısı hızının kolayca ayarlanması ve besi kanalları ve daha da önemlisi ürün kanallarının mekanik olarak kolayca temizlenebilmesidir. Bu da sık temizliğin gerekli olduğu gıda ve günlük gıda uygulamaları için uygunluk sağlar. Tübular konfigürasyon temizliğinin kolay olması ile beraber başka bir önemli avantajı da çoğu şartlar altında çok fazla basınç düşmesi olmadan türbülans akısı sağlayacak kadar büyük bir tüp çapına (ters osmoz uygulamaları için tipik olarak 0.5 inch) sahip olmasından dolayı tıkanmaya karşı çok dirençlidir. Fakat bu modülün bazı dezavantajları da vardır. Bunlar:

- 1) geniş besi kanallarından dolayı yüksek enerji kullanımı ve
- 2) modüllerinin paketlenme yoğunluğunun düşük olmasından kaynaklanan yüksek yatırım maliyeti.

Boşluklu elyaf modüller insan saçı çapında borucuklar halinde üretilir. Silindirik geometrisi olan membranlar iç boşluk çapına göre sınıflandırılabilirler.

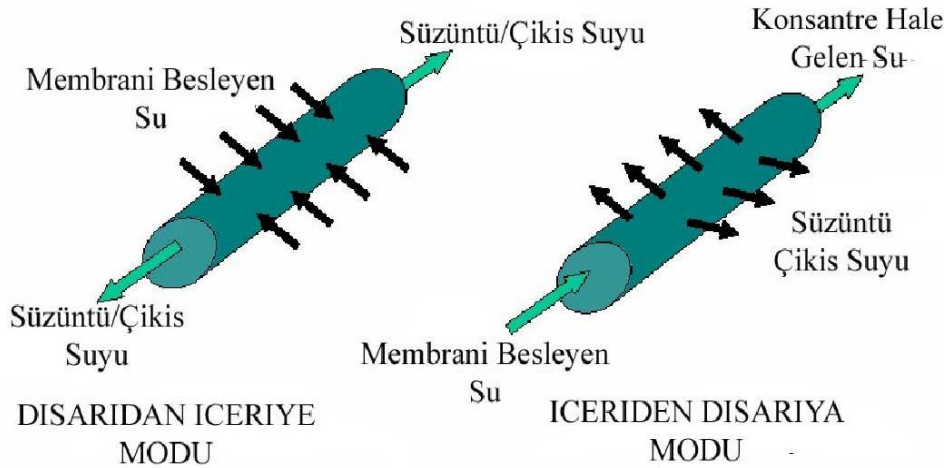
- 1) Hollow fiberler: 0.5-2.5 mm
- 2) İç çapı dar olan fiberler: 3-8 mm
- 3) İç çapı geniş olan fiberler: 10-25 mm



Şekil 2.4: Hollow fiber membran modülü.

Ticari fiber modüller 3 farklı konfigürasyonda çalıştırılabilir. Bunlar:

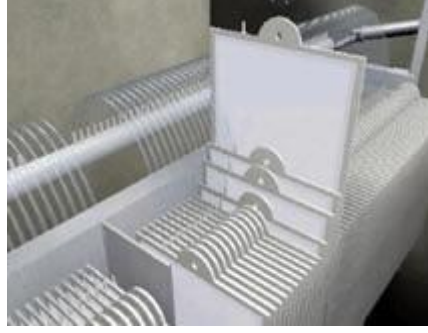
- 1) Besinin fiberin dış kısmından verildiği süzücüler: besi ve ürün zıt yönde akar
- 2) Besinin fiberin dış kısmından verildiği süzücüler: besi fibere teğet akar
- 3) Besinin fiberin iç kısmından verildiği süzücüler. Besi ve ürün zıt yönlerde akar



Şekil 2.5: Hollow fiber modüllerin işletim modları.

Plaka-çerçeve tipi membran modülleri spiral sarım modüllerde olduğu gibi iki düz tabaka membranın aynı zamanda ürün kanalı olan bir destek tabakasıyla ayrıldığı sandviç türü bir membran kullanılır. Bazı dizaynlarda membranlar disk formundadır.

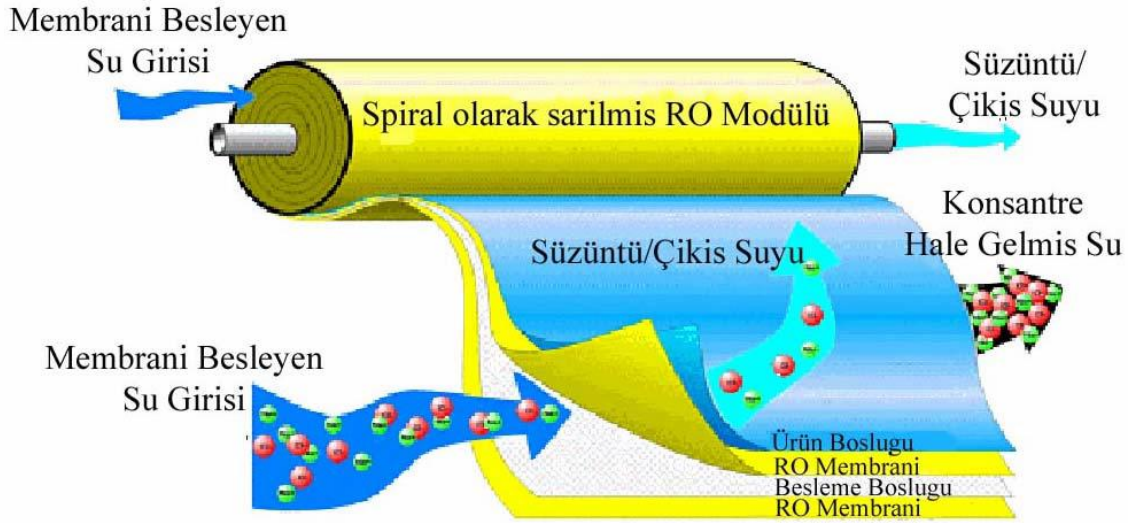
Membran diskleri ayırıcılarla birbirlerinden ayrılmıştır. Bunlar besi çözeltisinin membran halkasının bir tarafından radyal olarak içeri girmesine ve yine radyal olarak dışarı çıkmasına imkan verirler. Bu modül dizaynı yüksek geri kazanımları mümkün kılan uzun besi kanalları oluşturur.



Şekil 2.6: Plaka ve çerçeve tipi membranlar.

Spiral-sargılı modüller: Düz membran filmlerinden oluşan spiral sarım bir süzücü Şekil 2.7’ de gösterildiği gibi yapılıdır. İki membran tabakası, arasında bir ayırıcı ile beraber delikli bir tübe sarılır. İşlem sırasında basınçlı besi membranın dış yüzüyle temas eder. Besi membran üzerinden difüzlenir ve sonra sarılmış membran boyunca besiden daha düşük basınçlı toplama tüpüne doğru akar. Ürünün membran boyunca yolculuğu spiral bir harekete benzer ve zarfın merkezi olan perforeli tübe kadar devam eder. Tuz ya da atıklar modülün öbür ucundan çıkarlar.

Spiral sarım modüllerde besi ve ürün akışı birbiriyle ne aynı yönde ne de zıt yönde akarlar. Aksine, spiralin herhangi bir noktasındaki akış yaklaşık aynı düzlemedir fakat birbirlerine diktir. Spiral sarım bir modül elde etmek için membranlar bir basınç cihazının içine yerleştirilmelidir. Uzun, tek bir yaprağın toplama tüpü etrafına sarılması yerine her biri toplama tüpüne bağlı birden fazla zarf içeren çok zarflı ya da yapraklı modüller olabilir. Üretimi kolaylaştırmak ve uzun ürün kanallarından kaynaklanan basınç düşmelerinden kurtulmak için spiral sarım modüllerin çoğu çok yapraklı tiptedir.



Şekil 2.7: Spiral sarımlı membran modülü.

2.1.2.4. Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılması

Üretildikleri malzemeye yani kimyasal yapılarına göre ise membranlar; organik (polyethylene, polypropylene, cellulose acetate, polysulphone, polyeterimide), inorganik membranlar (seramik membranlar, sinterlenmiş metal, cam ve zeolit) ya da yüklü membranlar (iyon değiştirici membranlar) olabilirler. Organik membranların ana maddesi polimerlerdir. Polimerler, prosesin ihtiyacına, tıkanma eğilimine ve kullanılacak malzemenin termal ve kimyasal özelliklerine göre seçilmektedir.

2.1.3. Membran Prosesler

Membran proseslerde ayırma işlemi sürücü kuvvetlerin etkisiyle gerçekleşir. Sürücü kuvvetler, membranın besleme fazındaki bir bileşenin, öteki bileşen veya bileşenlerden daha kolay bir şekilde diğer tarafa geçmesini sağlar. Her membran proses kendine has özelliklere sahip olup, kullandıkları membranların özelliklerine ve kullandıkları sürücü kuvvetlerin türüne göre sınıflandırılabilir.

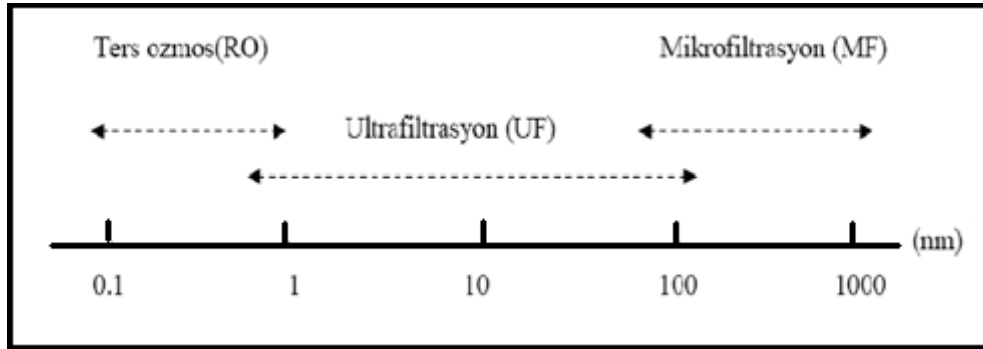
Tablo 2.1: Sürücü Kuvvetlerine Göre Membranlar (Mulder, 1996).

Basınç farkına göre	Konsantrasyon farkına göre	Sıcaklık farkına göre	Elektrik potansiyel farkına göre
Mikrofiltrasyon	Pervaporasyon		
Ultrafiltrasyon	Gaz Ayırımı	Sıcaklığa dayalı osmoz membran distilasyonu	Elektrodiyaliz
Nanofiltrasyon	Diyaliz		
Ters Osmoz	Sıvı Membranlar		

Basınç farkı, membran proseslerde uygulanan en yaygın sürücü kuvvettir (Koyuncu, 2009).

2.1.3.1. Basınç Sürücülü Membran Prosesler

Su ve atıksu arıtımında ve geri kazanımında en çok kullanılan membran prosesleri mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmozdur.

**Şekil 2. 8:** Membran prosesleri ve por büyüklükleri.

Basınç sürücülü membran proseslerin özellikleri Tablo 2.2' de gösterilmiştir.

Tablo 2.2: Basınç sürücülü membranların özellikleri (Zhang ve diğ., 2012).

Membran Prosesi	Ayırma Mekanizması	Gözenek Büyüklüğü	Basınç	Arıtılan Madde Türü	MWCO (Da)
Mikrofiltrasyon	Eleme	0.1-10	<2 bar	Katı partiküller	> 100,000
Ultrafiltrasyon	Eleme	0.01-0.1	1-5 bar	Makromoleküller ve kolloidler	>2,000-100,000
Nanofiltrasyon	Çözünme difüzyon	0.001-0.01	10-30 bar	Organik maddeler ve +2 değerlikli tuzlar	300-1,000
Ters Osmoz	Difüzyon	< 0.001	10-100 bar	Küçük molekül ağırlıklı çözülmüş maddeler	100-200

Mikrofiltrasyon

Gözenek boyutu 0.1-10 µm arasındaki bakteriler, kil, silt ve büyük kolloidler gibi maddeleri tutmak için kullanılır. 0-2 bar arasındaki basınçlarda çalıştırılırlar. MF membran prosesleri genellikle meşrubat, alkol, gıda, ilaç endüstrilerinde, saf su elde etmek için partikül uzaklaştırılmasında, metal iyonu geri kazanımında, yağlı su karışımlarının ayırımında ve atıksu arıtmada kullanılmaktadır. Ayrıca partiküllerin, kolloidal maddelerin ve bulanıklığın giderilmesi amacıyla diğer membran proseslerinden önce ön arıtım prosesi olarak da kullanılmaktadır. MF suda bulunan askıda katı maddelerin, *Giardia* ve *Cryptosporidium* gibi patojenik parazitlerin, bakterilerin ve virüslerin giderilmesi amacıyla kullanılır. Böylelikle dezenfeksiyon için kullanılacak dezenfektan miktarını düşürür. (Zhang ve diğ. 2012).

Ultrafiltrasyon

Ultrafiltrasyon membranları ile 0.1-0.01µm büyüklüğündeki partiküller tutulur. 1-10 bar aralığındaki işletme basınçlarında işletilmektedirler. Moleküler ağırlık engelleme sınırına (MWCO) göre karakterize edilmektedirler. UF membran tarafından moleküler ağırlıkları 1.000-100.000 Da arasında değişen maddeler tutulur (Scott, 1995).

UF, çoğu iyonların ve küçük molekül ağırlıklı organiklerin geçişine izin vererek daha büyük organikleri, kolloidleri, bakterileri ve virüsleri tutar. Giardia ve Cryptosporidium ve diğer mikroorganizmaların gideriminde etkili olur.

UF membranlar;

- gıda ve süt endüstrisi
- ilaç endüstrisi (enzimler, antibiyotikler)
- tekstil endüstrisi
- kimya endüstrisi (yağ-su karışımları, boya geri kazanımı)
- kağıt endüstrisi
- deri endüstrisi
- içme suyu arıtımı ve
- RO ve NF öncesinde ön arıtma amaçlı kullanılmaktadırlar.

Yeraltı suyundaki demir ve manganın arıtımı ve geri kazanımında ön arıtma ünitesi olarak kullanılır. Yüzeysel su kaynaklarının arıtılmasında kullanılır. UF nispeten düşük basınçlı membran filtrasyon olduğundan dolayı, enerji tüketimi düşüktür (Zhang ve diğ. 2012).

Nanofiltrasyon

Nanofiltrasyon, son zamanlarda kullanılmaya başlanmış ve moleküler ayırma ağırlık sınırı (200-2000 Dalton) UF ile RO arasında olan bir membran ayırma prosesidir. 5-30 bar aralığındaki basınçlarda işletilmektedir. Genellikle bakterilerin, virüslerin, organik kalıntıların ve sertliğin uzaklaştırılmasında kullanılır (Akdağlı, 2008).

NF teknolojisinde kirleticilerin ayırımı çözünme-difüzyon mekanizması ile gerçekleşir (Zhang ve diğ. 2012).

Nanofiltrasyon (NF) membranları çapı 0.001 μm ' den büyük olan moleküllerin gideriminde kullanılmaktadır. Özellikle +2 değerlikli iyonların ve sudaki bakiye klorun organik maddelerle birleşip oluşturduğu THM (trihalometan) bileşiklerinin sudan ayrılmasında kullanılmaktadır. Özellikle sudan sertlik giderilmesinde uygulanmaktadır. Bunun yanı sıra pestisit ve herbisitlerin sulardan uzaklaştırılması, ağır metallerin ayrılması ve renk gideriminde de nanofiltrasyon membranları kullanılmaktadır. NF membranlarının endüstride; içme suyu arıtımı, tekstil ve kağıt

endüstrisi atıksularından renk ve TOK giderimi, tuzlu peynir sularının arıtılması, süt endüstrisi atıksularının geri kazanılması, yüzey aktif madde içeren atıksulardaki tuzların giderimi ve şarabın alkolünün giderimi gibi uygulamaları bulunmaktadır (Çakmakcı, 2012).

Ters Osmoz

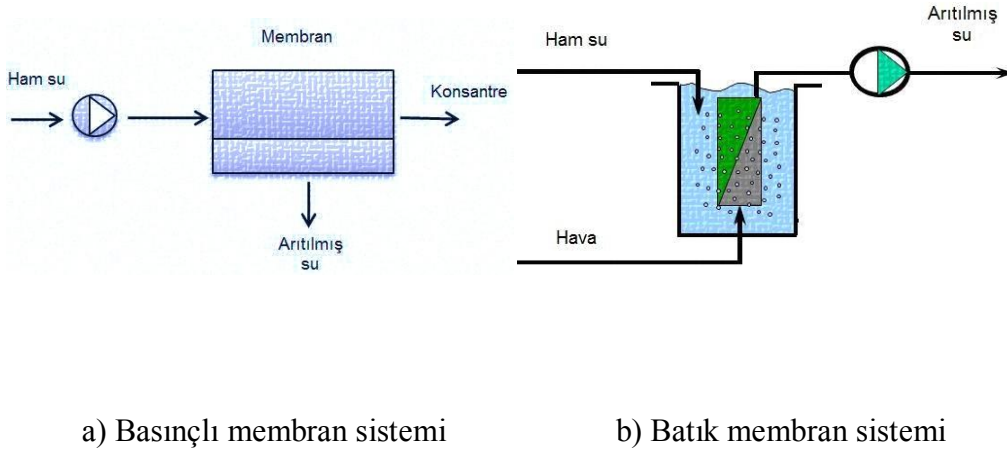
Ters ozmos, mümkün olan en yüksek seviyede süzmedir. Gözenek çapı $<0.001 \mu\text{m}$ 'dir. Ters osmoz membran, çözünmüş bütün tuzlara ve anorganik molekülleri ve molekül ağırlığı 100'den büyük olan organik moleküllere bir engel-bariyer görevi yapar. Çözünmüş tuzların arıtımı % 95-99 arasındadır. Transmembran basıncı 14-69 bardır (200-1000 psi) (Kitiş ve diğ. 2011).

Ters ozmos tuz gidermede yaygın olarak uygulanır RO prosesi atıksudan inorganik tuzları ayırmada ve atıksudaki belli organik çözücülerin gideriminde kullanılır. Birçok organik bileşiğe ek olarak mikroorganizmaların ve iyonik türlerin giderimini de sağladığından ilave bir avantaja sahiptir (Wang ve diğ. 2004). En küçük gözenek boyutuna sahip olan ve bu yüzden çok yüksek basınca ihtiyaç duyan RO prosesinin en yaygın uygulama alanı deniz suyu veya tuzlu sudan içme suyu elde edilmesidir . Bunun yanı sıra gıda işleme ve elektronik endüstrileri için ultrasaf su üretimi, ilaç sektöründe kullanılabilecek kalitede su eldesi, kağıt hamuru ve kağıt endüstrisi için su eldesi ve atık su muamelesi gibi geniş bir uygulama alanına sahiptir (Singh, 1998; Cheremisinoff, 2002).

2.1.4. Batık Membran Sistemleri

Batık membran sistemlerinde membranlar, bir tanka yerleştirilerek suyun vakum uygulanarak çekilmesi sağlanır. Membrandan geçemeyen konsantre kısım ise tank içerisinde kalmaktadır. Bu şekilde membranın ayrı basınçlı kaplarda uygulanması yerine, hali hazırda kullanılan havalandırma/koagülasyon gibi arıtma birimlerinin içine daldırılması ve iki işlemin bir arada yürütülmesi başarılabilmektedir. 1980' lerde geliştirilmesinin ardından batık membran konsepti, basitliği ve çapraz akımlı sistemler ile karşılaştırıldığında membran tıkanmasına karşı olan direnci ile su/atıksu arıtımında en çok kullanılan yöntemlerden biri olmuştur. Boşluklu elyaf ve yassı levha tip batık membranlar, konvansiyonel filtrasyon sistemlerinin yerini hızla almaktadır. Batık membran sistemi düşük vakum basıncına ihtiyaç duyması sebebi ile

de enerji tasarrufu sağlamaktadır. (Lee ve diğ. 2007). Aynı zamanda Batık membran sistemleri, basınçlı sistemler ile karşılaştırıldığında, daha düşük işletme maliyetine ve daha az alan ihtiyacı gereksinimine sebep olurlar (Chaea ve Yamamurab, 2009). Membranların içme suyu arıtımında kullanılış biçimleri Sekil 2.9’ da gösterilmiştir.



Şekil 2.9: Membranların su arıtımında kullanılış biçimleri.

İçme suyu arıtımında batık membran sistemler;

- Yüzeysel suların doğrudan filtrasyonu amacıyla,
- Doğal organik madde gideriminde koagülasyon sonrası filtrasyon amacıyla,
- Demir ve mangan gideriminde oksidasyon sonrası filtrasyon amacıyla,
- Ters osmoz öncesi yüzeysel suların ön arıtımı amacıyla

kullanılmaktadır.

2.2. MEMBRAN ÜRETİM TEKNİKLERİ

Membran üretimi için çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Membran üretimi için seçilecek yöntem istenilen membran yapısına ve seçilecek olan polimer tipine göre değişmektedir. En çok tercih edilen yöntemler faz inversiyon, arayüz polimerizasyonu, esnetme (stretching), boşluk oluşturma (track-etching) ve elektrospinning’ dir.

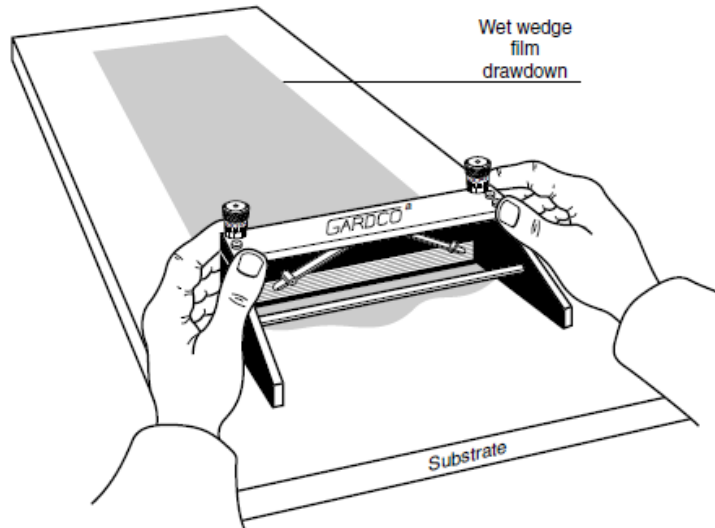
2.2.1. Faz İncersiyon

Faz incersiyon yöntemi homojen polimer çözeltisinin kontrollü bir biçimde sıvı halden katı hale dönüştürülmesi prosesidir. Bu dönüşüm farklı yollarla gerçekleştirilir (Mulder, 1996) :

(a) *Daldırmalı çöktürme*: Polimer çözeltisi çözücü olmayan koagülasyon banyosuna (genellikle su) daldırılır. Çökme solventin polimer çözeltisinden suyun ise koagülasyon banyosundan takası ile gerçekleşir.

(b) *Isıl güdümlü faz ayırma*: Bu metod sıcaklık düştüğünde solvent kalitesinin genellikle düşmesi görüşüne dayanır. Karışımındaki bileşenlerin ayrılmasından sonra, solvent ekstraksiyon, buharlaştırma veya dondurarak kurutma ile uzaklaştırılır.

(c) *Buharlaşma güdümlü faz ayırma*: Uygun polimer çözeltisi, ince bir film tabakası halinde kalıp dökme bıçağıyla beraber yüzeye yayılır. Dökümden sonra, çözelti beklemeye bırakılır ve solvent buharlaşarak ince, uniform polimer bir film tabakası oluşur. Bu metod aynı zamanda çözelti dökme yöntemi olarak da bilinir.



Şekil 2.10: Elde-dökme bıçağı (Baker, 2004).

Tercih edilen solventler orta derecede uçucu sıvılar, aseton, etil asetat ve siklohegzandır. Bunlardan oluşturulan filmler kısa saatler içerisinde kurumaktadır. Yüksek kaynama noktasına sahip solventler, dimetilformamid ya da N-metilpirolidon çözeltisi döküm için uygun değildir. Çünkü, düşük buharlaşma hızları nedeniyle uzun buharlaşma süresi gerekmektedir. Uzayan solvent buharlaşma süresinde, döküm

yapılan film tabakası yeterli miktarda atmosferik suyu polimeri çöktürmek için absorblar. Çok uçucu solventler metilen klorit gibi ayrıca probleme neden olur.

(d) *Buhar güdümlü faz ayırma*: Polimer çözeltisi genellikle su içeren çözücü olmayan atmosfere maruz bırakılır, çözücü olmayanın absorpsiyonu ayrılma/çökmeye sebep olur.

Bu yöntemler arasında daldırmalı çöktürme ve ısı güdümlü faz ayırma yöntemleri polimerik membran üretimi için en yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. (Pinnau ve Freeman, 2000; Liu ve diğ., 2011).

2.2.2. Arayüz Polimerizasyonu

Arayüz polimerizasyonu ticari ince film kompozit (TFC) RO ve NF membranların üretimi için en önemli metottur. İlk arayüz polimerizasyon TFC membranları Cadotte ve diğ. tarafından üretilmiş ve RO membranların performansı konusunda büyük bir buluş olarak görülmektedir. Arayüz polimerizasyon metodunda poliamin gibi su ile yapılmış reaktif bir polimer çözeltisi mikrogözenekli destek membranının gözeneklerine doldurulur. Daha sonra bu destek tabaka diasit klorit'in hegzan gibi bir madde içeren su ile karışmayan çözücü çözeltisine daldırılır. Daha sonra amin ve asit klorit 110 °C de ısı ile işlemle çapraz bağlı ince bir membran tabakası oluştururlar. Bu membranların tuz tutunumu ve su akıları oldukça yüksektir (Lalia ve diğ., 2013; Baker, 2004).

2.2.3. Gerdirme (Stretching)

MF, UF ve membran distilasyonunda kullanılan mikro gözenekli membranlar çoğunlukla gerdirme tekniği kullanılarak üretilmektedirler. Bu yöntem, polimerin erime noktasına kadar ısıtılıp porlu hale gelmesi için ince bir tabaka olana kadar gerdirilmesi esasına dayanan solventsiz bir yöntemdir (Trommer ve Morgenstern, 2010; Sadeghi ve diğ., 2007).

2.2.4. Boşluk oluşturma (track etching)

Bu yöntemde, porsuz ince polimer bir film bir nükleer reaktör veya radyasyon kaynağından sağlanan fisyon parçacıkları ile ısıtılır ve etkili parçacıklar filmin içinden geçerken polimer zincirlerini kırarak zarar gördürülmüş polimer

moleküllerinden oluşan bir yol oluştururlar. Film tabakası polimeri aşındırıcı bir solüsyondan geçirildiğinde bu yolları aşındırarak delikleri oluşturur (Baker, 2004).

2.2.5. Elektrospinning

Elektrospinning yöntemi polimer esaslı nanolif üretimi için en etkin yöntemlerden birisidir. Elektrospinning tekniğinde polimer uygun bir çözücünde çözülür veya ısı ile eritilir. Daha sonra hazırlanan çözelti ucunda küçük bir delik bulunan pipet veya şırınga içerisine yerleştirilerek polimer çözeltisinin çıktığı açık uç ile toplayıcı levha arasında gerilim uygulanır. Uygulanan elektriksel potansiyel fark bir eşik değerine ulaştığında elektrostatik kuvvetler yüzey gerilimi kuvvetine eşitlenir ve bu noktada polimer damlası şekil değiştirerek koni biçimini aldıktan sonra voltajdaki ufak bir artış jet oluşumu sağlar. Bu polimer jeti koni ucundan fışkırır (Güçlü,2012).

2.2.6. Membran Üretiminde Kullanılan Materyaller

Ticari amaçlı kullanılan ilk membranlar homojen bir yapıya sahiptiler. 1950'lerin sonunda Loeb ve Sourirajan, selüloz asetat membranların hazırlanması için faz dönüşümü (phase inversion) metodunu geliştirmişlerdir. Bu metotta esterinin bir çözücünde çözünmesiyle elde edilen viskoz çözelti, ince bir tabaka halinde cam üzerine dökülmekte ve ester, filmin üst yüzeyinin soğuk suyla teması sonucu katılaşmaktaydı. Daha sonra sentezlenen yapıyı sağlamlaştırmak üzere çeşitli gözenek oluşturmaya maddeler ve şartlandırıcı ajanlar ilave edilmiş ve böylece farklı büyüklüklerdeki gözenekler elde etmek mümkün olmuştur. 1960'ların başında Michaels asimetrik bir poliyonik membran sentezlemiş ve şimdi ise membran yapımında çok farklı yapıda ve özellikte polimerler kullanılmaktadır. Tablo 2.3 'de membran yapımında kullanılan çeşitli maddeler verilmiştir. Membran hazırlamanın diğer bir metodu ise bir polimer tabakasının çift taraflı gerilmesiyle (stretch) üretilirler. Birinci gerdirme (stretch) işleminde gözenekler oluşurken birinciye dik açılarla gerilme sonucu bu gözeneklerin açılması sağlanır. (Kitiş ve diğ., 2011).

Tablo 2.3: Membran üretiminde kullanılan polimerler (Kıtış ve diğ., 2011).

Silikon	Polipropilen	Polifuran
Polisüfon	Selüloz asetat	Hidrofilik poliolefinler
Polikarbonat	Selüloz nitrat	Polialkilsülfon
Polivinilidendiflorid	Polieterimid	Sülfolanmış polistiren
Poliakrilonitril	Akrilikler	Polimetilmetaakrilat
Naylon 6	Karbon	Polivinilklorid
Naylon 6,6	Sülfolanmış polisülfon	Polieteramid
Aromatik poliamid	Polistiren	Polieterüre
Alümina	Zirkonya	Paslanmaz çelik

Membranlar çeşitli materyallerden üretilirler. Seramik, polimer ve sinterlenmiş metaller en yaygın membran tipleridir. Seramik ve sinterlenmiş metaller endüstriyel uygulamalarda yer bulurken polimerik membranlar içme suyu arıtımı ve kentsel uygulamalar için oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Zularisam ve diğ. 2006). İçme suyu arıtımı amacıyla üretilen membranların neredeyse tamamı polimerik materyaller kullanılarak elde edilmektedir. Polimerik materyallerin en büyük avantajlarından birisi diğer malzemelere göre ucuz olmalarıdır. MF ve UF membranları genel olarak selüloz asetat (CA), polivinil florür (PVDF), poliakrilonitril (PAN), polipropilen (PP), polieter sülfon (PES) ve diğer polimerlerden üretilmektedir. NF ve RO membranları ise genellikle selüloz asetat (CA) veya poliamid (PA) materyalden üretilirler. Bütün bu materyaller farklı hidrofiliklik, pH ve oksidan toleransı, termal ve mekanik dayanıklılık ve esneklik gibi özelliklere sahiptirler (USEPA,2005).

Tablo 2.4 : Membran materyallerinin özellikleri (AWWA,2008).

Materyal	Tür	Hidrofobiklik	Oksidantlara Toleransı	pH aralığı	Kirlenmeye karşı direnci ve temizlenebilirliği
Polivinildien Florid	MF / UF	Modifikasyon sonic hidrofilik	Çok yüksek	2-11	Mükemmel
Polipropilen	MF	Hafif hidrofobik	Düşük	2-13	Kabul edilebilir
Polieter sülfon	UF	Çok hidrofilik	Yüksek	2-13	Çok iyi
Polisülfon	UF	Modifikasyon sonic hidrofilik	Normal	2-13	İyi
Selüloz asetat	UF	Doğal hidrofilik	Normal	6-8	İyi

Yapısal olarak simetrik, asimetrik ve kompozit membranlar şeklinde farklı membran türleri mevcuttur. Simetrik membranlar tek bir materyalden (homojen) oluşur, kompozit membranlar ise farklı (heterojen) materyaller ile elde edilirken, asimetrik membranlar homojen veya heterojen olabilir. Simetrik membranlarda kesit alanı boyunca, yoğunluk ve gözenek yapısı özelliklerinde benzerlik ve tek biçimlilik söz konusudur. Asimetrik membranlarda ise kesit alanı boyunca yoğunluk değişiklik gösterebilmektedir (USEPA, 2005).

Membranlar yapılarına göre doğal veya sentetik, organik veya inorganik, boşluklu veya boşluksuz, simetrik veya asimetrik membranlar olarak gruplandırılabilirler. Organik membranların ana maddesi polimerlerdir. İnorganik membranlar, kimyasal ve termal olarak organik membranlara göre daha iyi dayanım gösterirler (Mulder, 1991)

Membranların türü, yapısal özellikleri, üretildikleri malzemelerin özellikleri gibi bir çok parametre membran filtrasyonunu etkilemektedir. Bu parametreler ve etkileri Tablo 2.5’ de özetlenmiştir (Todaro, 1997).

Tablo 2.5: Membran türünün membran özelliklerine etkileri (Todaro, 1997).

Özellik		Akıya Olan Etkisi	Önemi
Membran Malzemesinin Türü	Simetrik	Fazla	Partiküllerin tutunması geridönüşsüz kirlenmeye sebep olabilir.
	Asimetrik	Fazla	Akı değerleri simetrik membran ile karşılaştırıldığında yüksektir.
Hidrofiliklik özelliği	Hidrofilik	Fazla	Membranların hidrofilikliği sulu çözeltilerin taşınımını artırır. Aynı zamanda organik maddeler nedeniyle oluşan kirliliği azaltabilir.
	Hidrofobik	Fazla	Genellikle sterilizasyon sistemlerinde avantaj sağlamaktadır. Atıksu arıtımında kirlenme problemi yüksektir.
Yüzey yükü	Zeta potansiyeli	Az	Membran yüzey yükleri, adsorbsiyon nedeniyle oluşan kirlenmeyi etkiler.
Gözenek yapısı	Gözenek boyutu	Fazla	Yüksek tutunma verimini sağlayan, yüksek akı değerlerinin optimize edilmesi aşamasında uygun gözenek boyutunun seçilmesi önemlidir.
	Boyut dağılımı	Az	Dar gözenek boyutu dağılımı iyi bir ayırma verimi sağlar.
	Boşluk oranı	Fazla	Yüksek boşluk oranına sahip membran, yüksek geçirgenliğe sahiptir. Suda doğal olarak akının artmasına sebep olur.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Deneysel çalışmalar laboratuvar ölçekli olarak 3 farklı aşamada gerçekleştirilmiştir.

1. *aşama* : Seçilen polimerlerle (%22 oranında) farklı oranlarda PVP (%2, %4 ve %8) ve kil nanoparçacığı (%0.5, %1 ve %2) kullanarak düz plaka nanokompozit membranların sentezlenmesi.

2. *aşama* : Sentezlenen membranların karakterizasyonu.

3. *aşama*: Sentezlenmiş olan membranlar ile Büyükçekmece gölünden alınan su numunelerinde batık membran düzeneğinde arıtılabilirlik çalışmalarının yapılması.

4. *aşama*: Arıtım deneyleri sonucunda toplanan süzüntülerde TOK, bulanıklık, UV₂₅₄, AKM, Fe(II) ve Mn(II) giderim verimlerine bakılması ve düzenekte çalıştırılan membranların akı değişimlerinin belirlenmesi.

5. *aşama*: Kirli membranlarda SEM ve FT/IR analizlerinin yapılması.

3.1. KULLANILAN KİMYASALLAR

Çalışmada kullanılan kimyasal maddeler Tablo 3.1' de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Çalışmada Kullanılan Kimyasallar.

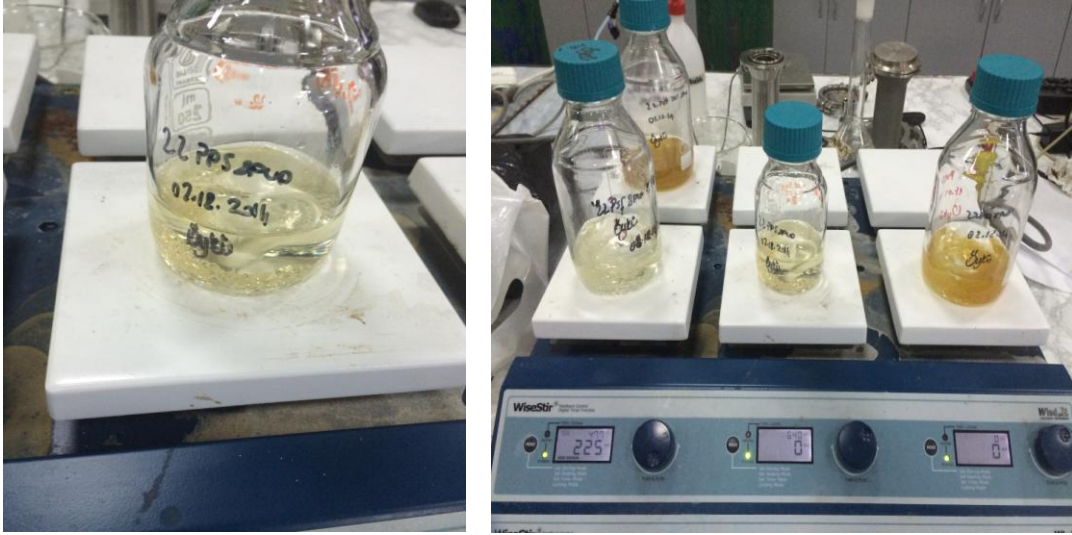
Kimyasal	Markası	Kodu
Polisülfon	Sigma Aldrich	428302
Polifenilensulfon	Sigma Aldrich	191094
Polieterimid	Sigma Aldrich	700193
Polivinilpirolidon	Sigma Aldrich	PVP10
Kil	Sigma Aldrich	682640
NMP	Merck	8.06072.2500

3.2. MEMBRAN ÇÖZELTİLERİNİN HAZIRLANMASI

Saf membran çözeltileri polimer, PVP (gözenek oluşturuucu kimyasal) ve solvent'ten (N-metil-2-pirolidon) (NMP) oluşmaktadır. Saf membran çözeltilerin hazırlanmasında, ilk olarak PVP kimyasalı solvent içerisine konulmuş ve manyetik karıştırıcıda yaklaşık 20 dakika karıştırılarak tamamen çözülmesi sağlanmıştır. PVP'nin solvent içerisinde tamamen çözünmesinin ardından polimerler eklenmiş ve tamamen homojen bir karışım elde etmek için 24 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmaları sağlanmıştır. Membran dökümü yapılmadan önce bu çözeltiler 20 dakika ultrasonik su banyosunda bekletilmişlerdir.

Nanomateriyalli membran çözeltilerinin hazırlanmasında ise kil nanoparçacığı solvent içerisine eklenerek ultrasonik prob ile 20 dakika solvent içerisinde çözünmesi sağlanmıştır. Nanomateriyal çözündükten sonra PVP eklenerek manyetik karıştırıcıda çözünene kadar karıştırılmıştır. Daha sonra polimer de bu çözeltinin içerisine ilave edilerek 24 saat Manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Membran dökümünden önce çözeltiler 20 dakika süre ile ultrasonikasyon banyosunda bekletilmişlerdir.





Şekil 3.1: Membran döküm çözeltisi hazırlama aşamaları.

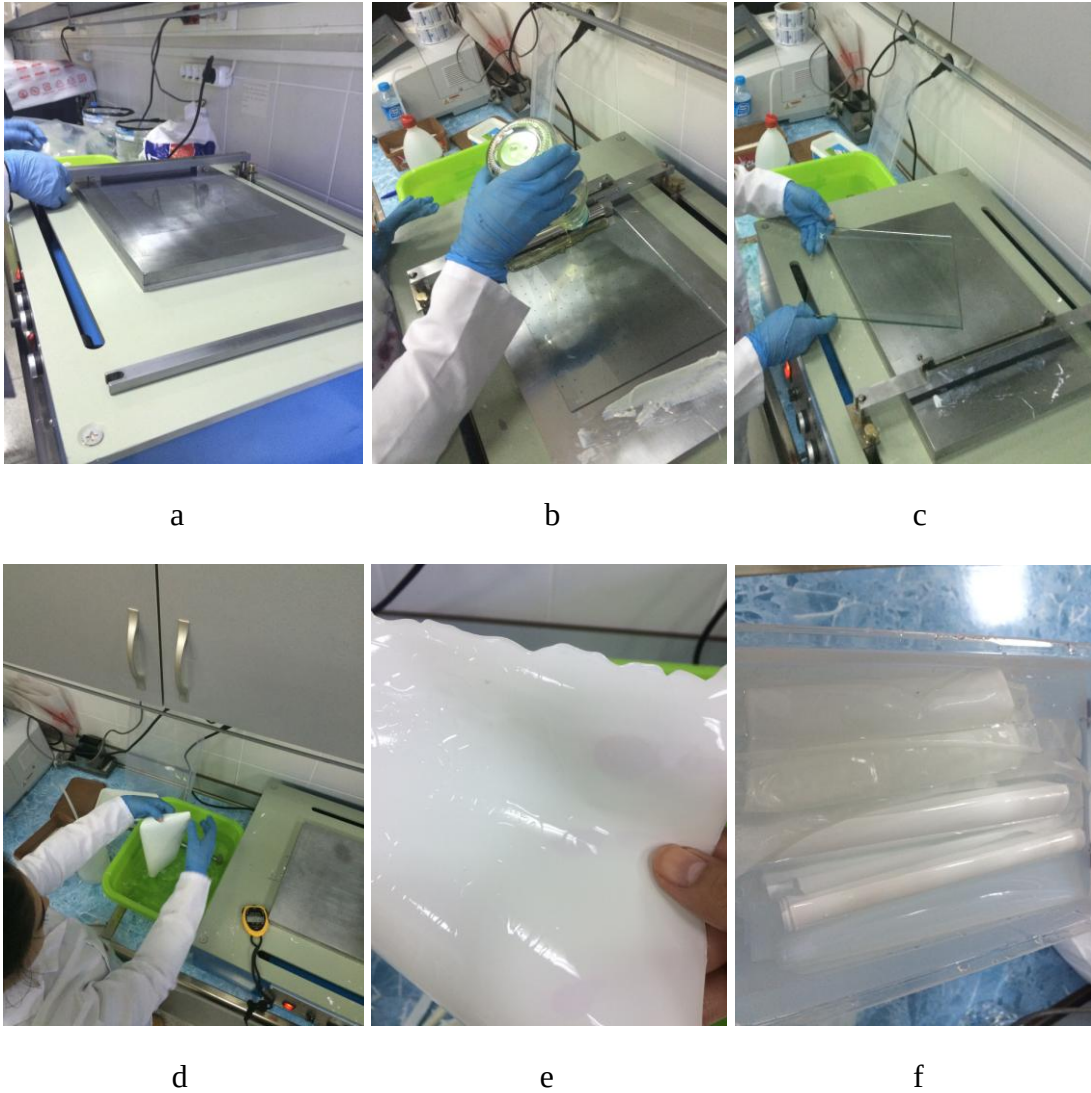
Çalışmada membran üretimi için hazırlanan polimer çözeltilerinde kullanılan kimyasalların oranı Tablo 3.2’ de özetlenmiştir.

Tablo 3.2: Çalışmada kullanılan kimyasalların oranı.

%22 PEI		%22 PSF		%22 PPS	
%22 PEI %2 PVP	%22 PEI %2 PVP %0.5 kil	%22 PSF %2 PVP	%22 PSF %2 PVP %0.5 kil	%22 PPS %2 PVP	%22 PPS %2 PVP %0.5 kil
	%22 PEI %2 PVP %1 kil		%22 PSF %2 PVP %1 kil		%22 PPS %2 PVP %1 kil
	%22 PEI %2 PVP %2 kil		%22 PSF %2 PVP %2 kil		%22 PPS %2 PVP %2 kil
%22 PEI %4 PVP	%22 PEI %4 PVP %0.5 kil	%22 PSF %4 PVP	%22 PSF %4 PVP %0.5 kil	%22 PPS %4 PVP	%22 PPS %4 PVP %0.5 kil
	%22 PEI %4 PVP %1 kil		%22 PSF %4 PVP %1 kil		%22 PPS %4 PVP %1 kil
	%22 PEI %4 PVP %2 kil		%22 PSF %4 PVP %2 kil		%22 PPS %4 PVP %2 kil
%22 PEI %8 PVP	%22 PEI %8 PVP %0.5 kil	%22 PSF %8 PVP	%22 PSF %8 PVP %0.5 kil	%22 PPS %8 PVP	%22 PPS %8 PVP %0.5 kil
	%22 PEI %8 PVP %1 kil		%22 PSF %8 PVP %1 kil		%22 PPS %8 PVP %1 kil
	%22 PEI %8 PVP %2 kil		%22 PSF %8 PVP %2 kil		%22 PPS %8 PVP %2 kil

3.3. DÜZ PLAKA MEMBRANLARIN DÖKÜMÜ

Düz plaka membranlar faz inversiyon (phase inversion) tekniği kullanılarak hazırlanmıştır. Homojen olarak çözünmüş polimer çözeltileri cam plaka üzerine dökülmüş, sabit kalınlığa getirilmiş dökme bıçağı çözeltinin üzerine yerleştirilerek laboratuvar ölçekli dökme makinası ile sabit hızda cam yüzey üzerinde film tabakası oluşturulmuştur. Evaporasyon süresi olarak 30 saniye seçilmiştir. 30 saniye sonunda cam plaka içerisinde saf su bulunan koagülasyon banyosuna daldırılarak membranların oluşması sağlanmıştır. Cam yüzeyden ayrılan membranlar içerisinde saf su bulunan temiz bir kaba aktarılaraq en az 1 hafta süresince +4 °C’de soğuk odada saklanmışlardır.



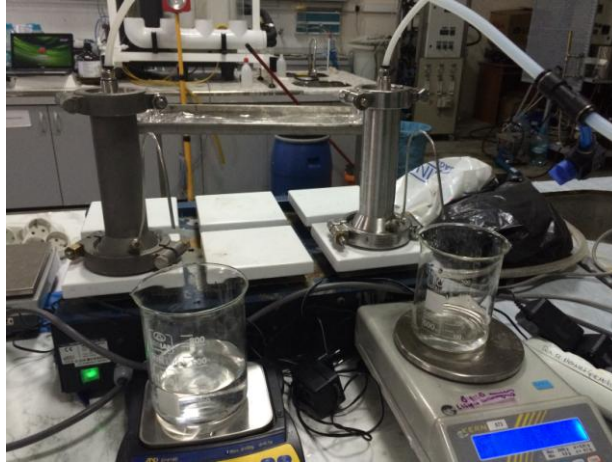
Şekil 3.2: Düz plaka membran döküm aşamaları.

3.4. MEMBRAN KARAKTERİZASYON ANALİZLERİ

Yaklaşık 1 hafta soğuk odada bekletilen membranlar karakterizasyon testlerine tabi tutulmuşlardır. Karakterizasyon deneylerinde Sterlitech HP4750 marka manyetik karıştırılmalı klasik filtrasyon hücresi kullanılarak geçirgenlik değerleri belirlenmiştir. KSV One attension marka temas açısı cihazı kullanılarak membranların temas açıları belirlenmiştir. Ayrıca membranların poroziteleri belirlenmiş ve SEM, FT/IR analizleri yapılmıştır.

3.4.1. Filtrasyon Sistemi

Filtrasyon deneylerinde azot gazı ile basıncın ayarlandığı 300 mL hacmindeki Sterlitech HP4750 marka manyetik karıştırılmalı klasik filtrasyon hücresi kullanılmıştır.



Şekil 3.3: Filtrasyon Deney Düzeneği.

3.4.2. Geçirgenlik Değerinin Belirlenmesi

Geçirgenlik değeri birim basınç ve zamanda, birim membran alanından geçen su miktarı olarak tanımlanmaktadır.

$$R = \frac{J}{\Delta P} \quad (3.1)$$

formülüne göre hesaplanır. Burada;

R: Geçirgenlik, $L/m^2.sa.bar$

J: Akı, $L/m^2.sa$

ΔP : Basınç, bar

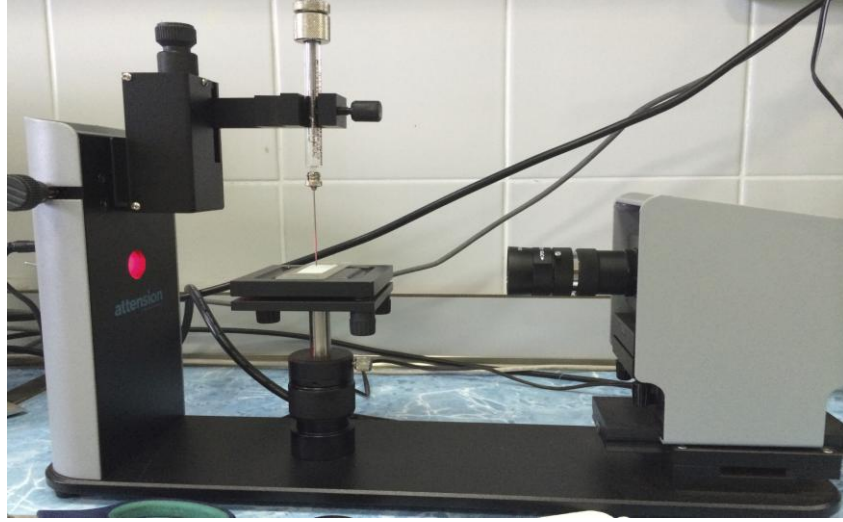
Geçirgenlik değerinin belirlenmesinden önce membranlar basınç altında 1 saat süre ile saf su filtrasyonuna tabi tutulmuşlardır. Bu işlemde, hazneye yaklaşık 300 ml distile su doldurulur, basınç ayarlanır ve 1 saat süreyle suyun akışı sağlanır. Bu esnada akı değerleri kaydedilmez. Bu işlemin ardından hücreye tekrar distile su eklenir ve üç farklı basınç altında 11 dakika süreyle filtrasyon gerçekleştirilir ve her basınç için akı değerleri kaydedilir. Daha sonra Microsoft Excel yardımı ile basınç değerlerine karşılık akı değerleri grafiğe yerleştirilir ve doğru denklemi elde edilir. Bu doğrunun eğimi membranın geçirgenlik değerini vermektedir. Bu işlem her bir membran türü için en az 3 farklı bölgeden kesilmiş membranlarda tekrar edilmiş ve ayrı ayrı geçirgenlik değerleri hesaplanmıştır. Böylelikle her bir membran için bulunan geçirgenlik değerlerinin ortalaması alınmış ve sonuçlar ortalama ve standart sapma değeri ile birlikte verilmiştir.

3.4.3. Temas Açısı Ölçümleri

Temas açısı ölçümleri en az üç membranda gerçekleştirilmiş sonuçlar ortalama olarak verilmiştir. Temas açısı, bir katı yüzeyi ile sıvı arasındaki temasta oluşan açı veya bir sıvı tarafından katının ıslatılabilirliğinin bir ölçüsü olarak tanımlanabilmektedir.

Temiz, kaplanmış ve kirli membranların hidrofilik ve hidrofobik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan temas açısı analizlerinde Attension marka Theta Lite Optik tensiyometre cihazı kullanılmıştır. Ölçüm yüzeyinin düz olması için kesilen parçalar lam camına yapıştırılmıştır. Analizde membran yüzeyine damlatılacak sıvı olarak saf su kullanılmıştır.

Ölçümlerin stabil olması amacıyla damla oluşturuğu iğne ölçüm yüzeyine belirli bir uzaklıkta sabitlenmiştir. Ölçüm 12 saniye devam etmiş ve ölçüm sonucu bu 12 saniyelik sürede ölçülen temas açılarının ortalaması alınarak belirlenmiştir. Aynı numunenin en az 3 farklı noktasında ölçüm yapılmış ve son ölçüm sonucu bu ölçümlerin aritmetik ortalamasının alınmasıyla belirlenmiştir.



Şekil 3.4: Theta Lite optik tensiyometre cihazı.

3.4.4. Porozite Değerlerinin Belirlenmesi

Membranların porozitelerini belirlemek için ıslak kuru ağırlık yöntemi kullanılmıştır. Distile suda bekletilen membranları tartmadan önce üzerindeki fazla su filtre kağıdı ile alınmıştır. Ardından membranlar 60 °C fırında 24 saat süre ile kurutulmuş ve kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Membranların porozitesi aşağıda verilen denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Ma ve diğ., 2012).

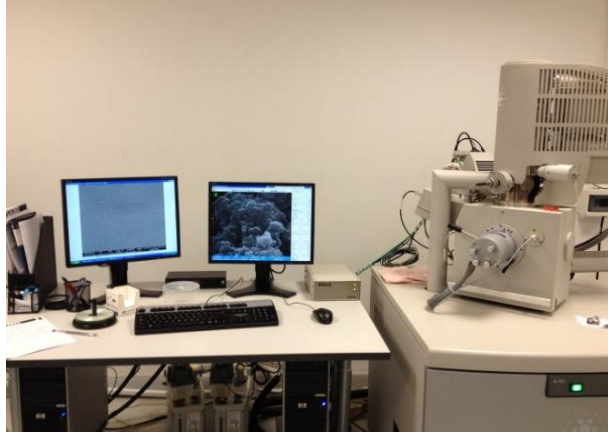
$$P \% = \frac{m_1 - m_2}{\rho_w \times A \times \delta} \times 100 \quad (3.2)$$

Membran ıslak ve kuru ağırlıkları (g) sırasıyla m_1 ve m_2 dir. ρ_w saf suyun yoğunluğu (g/cm³), A ıslak membranın alanı (cm²) ve δ ıslak membranın kalınlığıdır (cm). Her bir membran örneğinin porozitesi 3 kez ölçülmüş ve ortalama değerler verilmiştir.

3.4.5. SEM ve FT/IR Analizleri

Membranların yüzey ve kesit alanı morfolojilerini belirlemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Analizler İTÜ Ulusal Membran Araştırma

Merkezi (MEMTEK)' nde bulunan FEI marka Quanta Feg250 model elektron mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5: SEM cihazı.

FT/IR analizleri yine İTÜ Memtek' te bulunan Perkin Elmer markalı Spectrum 100 model FT/IR cihazı ile yürütülmüştür.



Şekil 3.6: FT/IR cihazı.

3.5. SU PARAMETRELERİ ANALİZİ

3.5.1. TOK Ölçümleri

TOK ölçümleri İstanbul Teknik Üniversitesi MEMTEK Ulusal Membran Araştırmaları Merkezi'nde bulunan Shimadzu markalı VCPH model TOC cihazı ile

yapılmıştır. Süzüntülerin ölçüm sonuçlarında çıkan değerlere göre giderim verimleri belirlenmiştir.



Şekil 3.7: TOK analiz cihazı.

3.5.2. UV₂₅₄ Ölçümleri

Su numunelerindeki UV₂₅₄ değerleri İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan WTW markalı 6600 UV-VIS cihazı ile ölçülmüştür. Sonuçlar hem absorbans değeri olarak hem de giderim verimi şeklinde belirtilmiştir.

3.5.3. Bulanıklık Ölçümleri

Bulanıklık ölçümleri İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan WTW markalı Turb 430T bulanıklık cihazı ile ölçülmüş NTU bulanıklık birimi ve giderim verimi cinsinden gösterilmiştir.

3.5.4. Katı Madde Tayinleri

Katı madde analizleri askıda katı madde türünden Standart Metotlarda belirtilen şekilde ölçülmüştür. Analizlerde cam yünü filtre ve süzme seti kullanılmıştır. Öncelikli olarak filtrenin etüvde 105°C de kurutulup desikatörde sabit tartıma getirilmesinin ardından darası belirlenmiştir (m_1). Daha sonra süzme setine yerleştirilen filtreden vakum altında su numunesi geçirilmiş ve filtre 105°C de kurutularak desikatörde nemi alındıktan sonra tartım gerçekleştirilmiştir (m_2). Bu tartım sonucu ile aşağıdaki formülden AKM miktarı hesaplanmıştır.

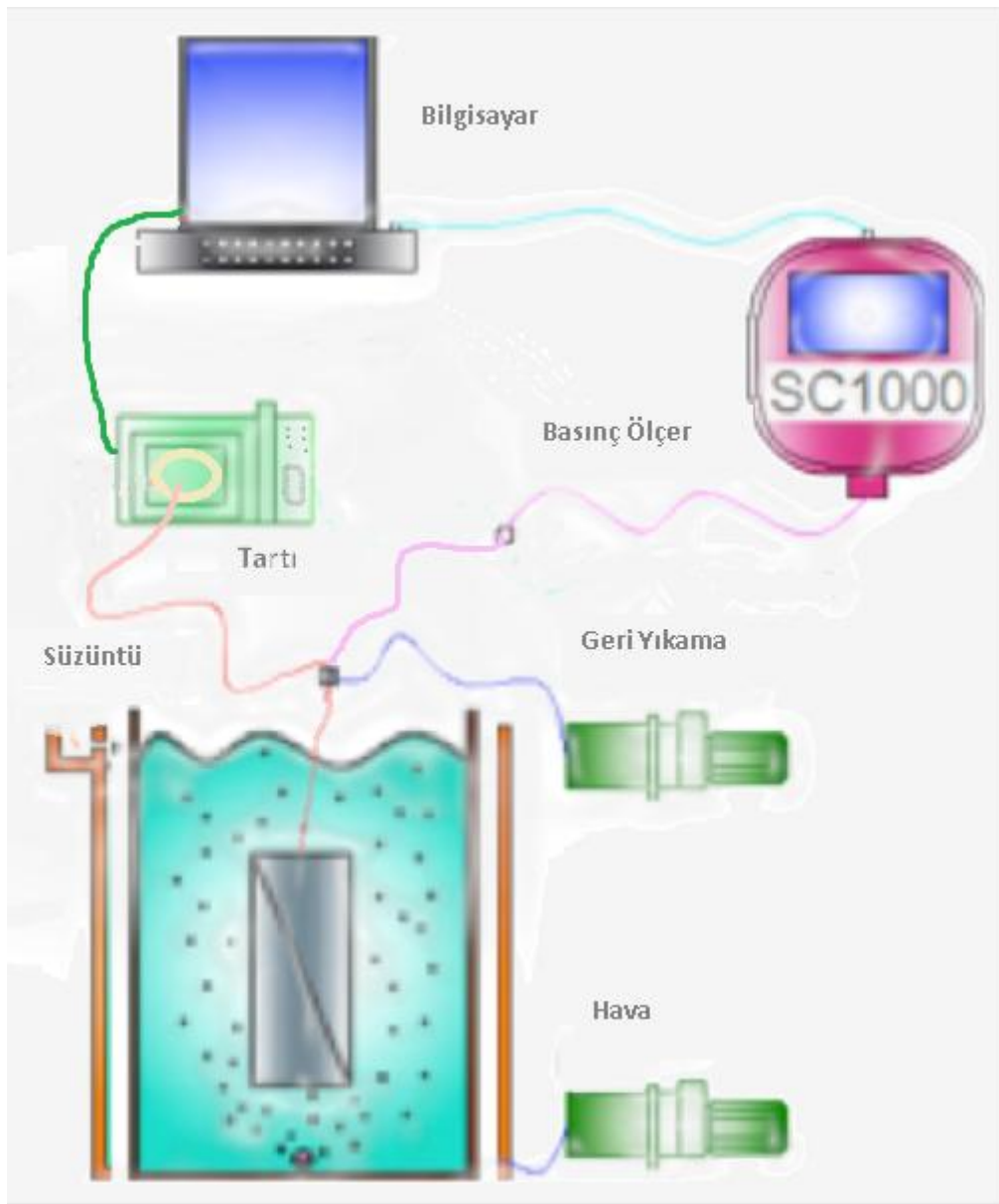
$$AKM \frac{mg}{L} = \frac{m_2 - m_1}{ml \text{ numune hacmi}} \times 1000 \quad (3.2)$$

3.5.5. Demir ve Mangan Ölçümleri

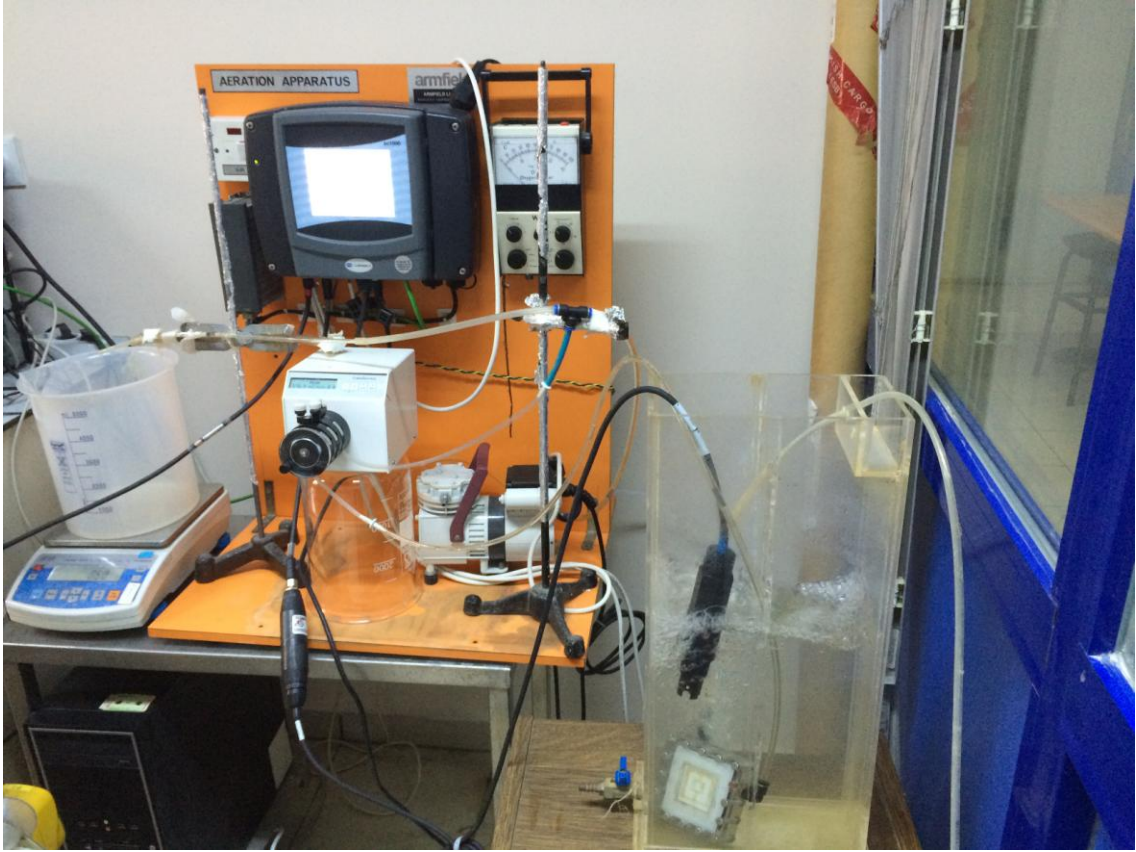
Numunelerdeki Fe(II) ve Mn(II) ölçümleri İstanbul Teknik Üniversitesi MEMTEK Ulusal Membran Araştırmaları Merkezinde yapılmıştır. Parametrelerin elde edilen sonuçlarına göre giderim verimleri belirlenmiştir.

3.5.6. Batık Membran Deney Düzeneği

Batık membran deney düzeneği içerisinde 1 adet 10cmx10cmx45cm boyutlarında pleksiglas reaktör, 1 adet Medorex marka peristaltik pompa, pleksiglas malzemeden membran plakası, akı değerlerini kaydetmek üzere 1 adet KERN marka hassas terazi, 1 adet geri yıkama pompası ve dataları kaydetmek için 1 adet Hach Lange SC 1000 data logger'dan oluşmaktadır. Sistemin şematik gösterimi Şekil 3.8 fotoğrafı ise Şekil 3.9' da gösterilmektedir.

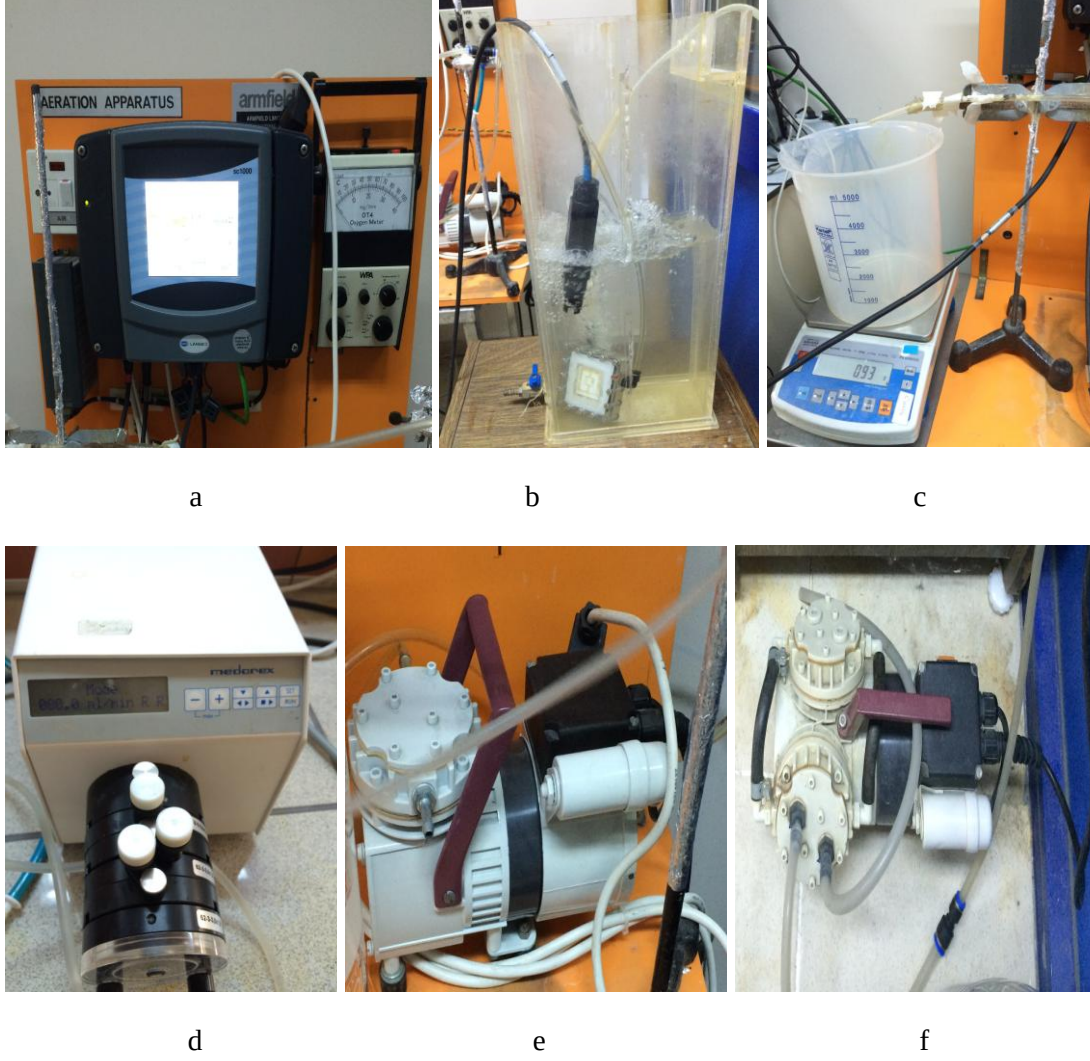


Şekil 3.8: Batık membran deney düzeneği şematik görünümü.



Şekil 3.9: Batık membran deney düzeneği.

Batık membran sisteminin elemanları Şekil 3.10' da: SC 1000, b: pleksiglas reaktör, c: terazi, d:peristaltik pompa, e: geri yıkama pompası f. havalandırma pompası olarak açıklanabilir.



Şekil 3.10: Batık membran deney düzeneğinin elemanları.

4. BULGULAR

Kullanılan Büyükçekmece göl suyunun özellikleri Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1: Su kalite parametreleri.

pH	8,01	Alkalinite(mgCaCO ₃ /L)	130
İletkenlik(μs/cm)	920	Cl ⁻ (mg/L)	93
Bulanıklık(NTU)	5,42	Sertlik (mgCaCO ₃ /L)	190
UV ₂₅₄	0,0574	Mg ²⁺	8,2
Renk(Pt-Co)	17	Ca ²⁺	65
TOK (mg/L)	11,74	SO ₄ ²⁻	38
Fe(II)(mg/L)	0,136		
Mn(II)(mg/L)	0,27		
Br ⁻ (μg/l)	200		

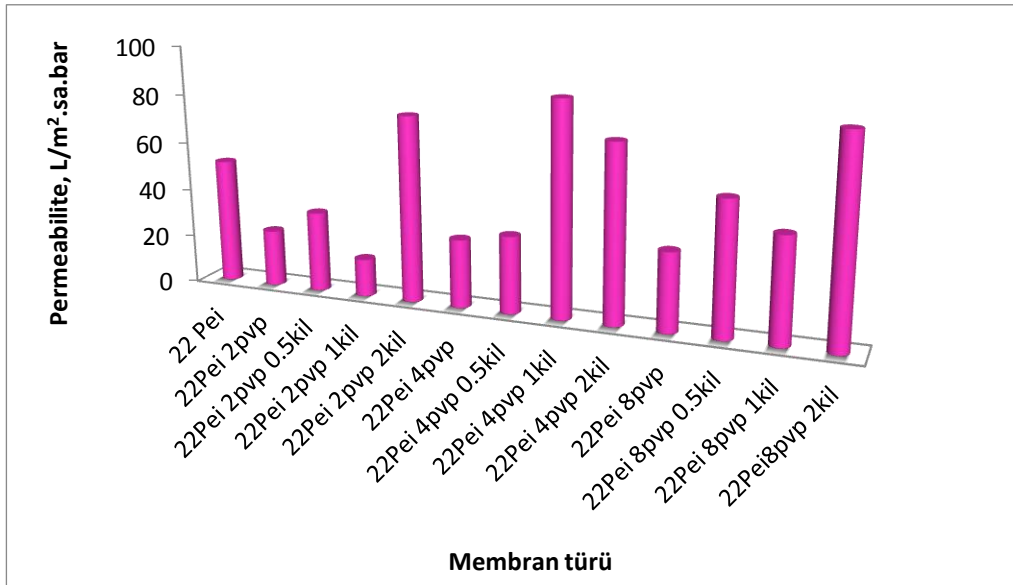
4.1. KARAKTERİZASYON DENEYLERİ

4.1.1. PEİ Polimeri İle Yapılan Deney Sonuçları

4.1.1.1. Geçirgenlik Deneyi Sonuçları

PEİ polimeri ile üretilen membranlarda en az 3 farklı membran ile 1 saat saf su ile yapılan sıkıştırma deneyinin ardından 3 farklı basınç değerinde 11 er dakikalık akı değerleri kaydedilmiş ve bulunan sonuçların ortalaması alınarak geçirgenlik değeri belirlenmiştir. Sonuçlar grafiksel olarak Şekil 4.1' de gösterilmiştir. %22 PEİ membranın geçirgenlik değeri 51.29 L/m².sa.bar bulunmuştur. PVP eklenen membranlarda geçirgenlik değerleri %2 PVP için 23.25 L/m².sa.bar, %4 PVP için

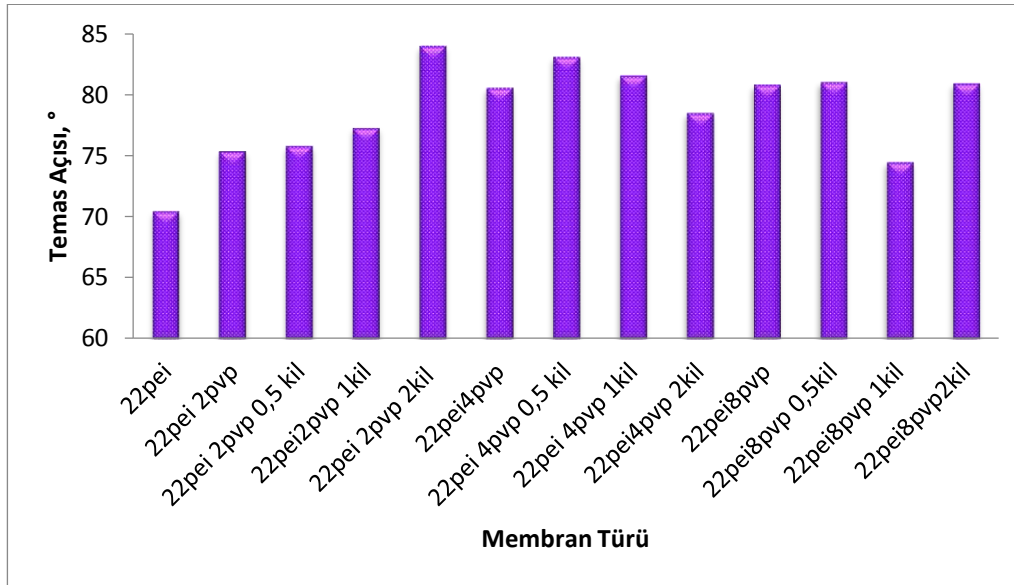
28.15 L/m².sa.bar, %8 PVP için 32.35 L/m².sa.bar olarak bulunmuştur. Her bir PVP oranı için %0.5, %1 ve %2 oranlarında kil nanoparçacığı ilave edilmesinin ardından geçirgenlik değerleri değişiklik göstermiştir. %2 PVP oranındaki membranlarda en yüksek geçirgenlik %2 oranında kil ilavesi ile elde edilmiştir. %2 PVP+%0.5 kil oranına sahip membranın geçirgenlik değeri 33.04 L/m².sa.bar, %2 PVP+%1 kil için 15.5 L/m².sa.bar ve %2 PVP+%2 kil için 76.5 L/m².sa.bar bulunmuştur. %4 PVP oranındaki membranlarda yine %1 kil oranı en yüksek geçirgenlik değerini vermiştir. %4 PVP+%0.5 kil oranındaki membranda 31.8 L/m².sa.bar, %4 PVP+%1 kil oranındaki membranda 87.6 L/m².sa.bar ve %4 PVP+%2 kil oranındaki membran için ise 72.75 L/m².sa.bar olarak bulunmuştur. %8 PVP oranında ise en yüksek geçirgenlik değeri %2 kil oranına sahip membran için elde edilmiştir. %8 PVP+%0.5 kil oranındaki membran için geçirgenlik değeri 54.9 L/m².sa.bar, %8 PVP+%1 kil oranındaki membran için 43.3 L/m².sa.bar ve %8 PVP+%2 kil oranındaki membran için ise 83.48 L/m².sa.bar olarak bulunmuştur. PVP ilavesi PEİ membranların geçirgenliği üzerine olumlu bir etki göstermemesine karşın kil ilavesi ile geçirgenlik değerinin arttığı görülmektedir. Tüm bu membranlar içerisinde en yüksek değere %4 PVP+%1 kil oranına sahip membranda ulaşılmıştır.



Şekil 4.1: PEİ membran geçirgenlik değerleri.

4.1.1.2. Temas Açısı Sonuçları

PEİ polimeri ile üretilen membranlarda membranın ıslanabilirliğinin bir ölçütü olan temas açısı ölçümleri Şekil 4.2' de grafiksel olarak gösterilmiştir. %22 PEİ için temas açısı değeri 70.47° bulunmuştur. PVP eklenen membranlarda %22PEİ 2 PVP için 75.37° , %22 PEİ 4 PVP için 80.53° , %22 PEİ 8 PVP için 80.78° bulunmuştur. Kil ilavesinin ardından %2 PVP oranındaki membranlarda kil oranı arttıkça temas açısı değeri artmıştır. %2 PVP+%0.5 kil için 75.79° , %2 PVP+%1 kil için 77.29° , %2 PVP+%2 kil için 83.96° olarak bulunmuştur. %4 PVP oranına sahip membranlar için kil oranı arttıkça temas açısı değeri düşmüştür en yüksek değere %0.5 kil oranında en düşük değere ise %2 kil oranında ulaşılmıştır. %4 PVP+%0.5 kil için 83.09° , %4 PVP+%1 kil için 81.54° , %4 PVP+%2 kil için 78.5° olarak bulunmuştur. %8 PVP oranındaki membranlarda temas açısı değerleri birbirlerine çok yakın çıkmış yalnızca %1 kil ilave edilen memranda daha düşük bir değer elde edilmiştir. %8 PVP+%0.5 kil için 81.03° , %8 PVP+%1 kil için 74.49° , %8 PVP+%2kil için 80.92° olarak bulunmuştur.

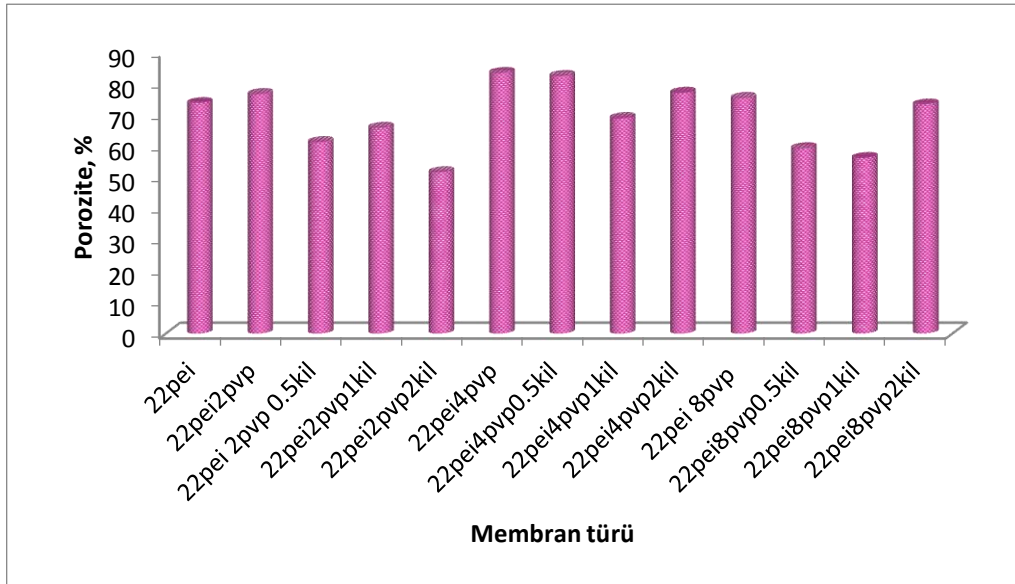


Şekil 4.2: PEİ membran temas açısı değerleri.

4.1.1.3. Porozite Değerleri

PEİ membranlarda membranların ıslak kuru ağırlık yöntemine göre hesaplanan porozite değerleri Şekil 4.3' de verilmiştir. PEİ membranlarda PVP ilavesinin membran porozitesini genel olarak arttırdığı görülmektedir. Saf membranın porozitesi %73.64, %2 PVP katkılı membranın porozite değeri %76.52, %4 PVP katkılı

membranın porozite değeri 83.3 ve %8 PVP katkılı membranın porozite değeri ise %75.3 olarak bulunmuştur. %2 PVP grubundaki membranlarda en yüksek porozite değerine sahip membran kil içermeyen %2 PVP oranına sahip membran olmuştur. %2 PVP+%0.5 kil içeren membranda porozite değeri %61.17, %2 PVP+%1 kil içeren membranda %65.7 ve %2 PVP+%2 kil oranına sahip membranda %51.51 olarak bulunmuştur. %4 PVP grubundaki membranlarda %4 PVP+%0.5 kil oranındaki membranda porozite değeri %82.32, %4 PVP+%1 kil katkılı mebranda %68.85 ve %4 PVP+%2 kil katkılı membranda ise %76.96 olarak bulunmuştur. %8 PVP oranına sahip membranlarda porozite değerleri %8 PVP+%0.5 kil için %59.16, %8 PVP+%1 kil için %56.06 ve %8 PVP+%2 kil için ise %73.2 olarak bulunmuştur.



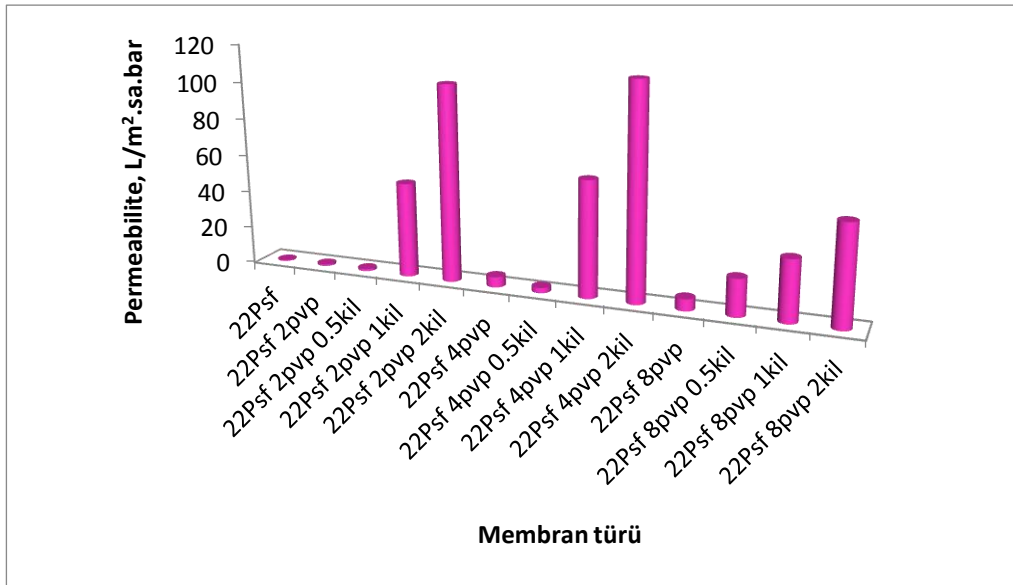
Şekil 4.3: PEİ membran porozite değerleri.

4.1.2. PSF Polimeri İle Yapılan Deney Sonuçları

4.1.2.1. Geçirgenlik Deneyi Sonuçları

PSF polimeri ile üretilen membranlarda en az 3 farklı membran ile 1 saat saf su ile yapılan sıkıştırma deneyinin ardından 3 farklı basınç değerinde 11 er dakika lık akı değerleri kaydedilmiş ve bulunan sonuçların ortalaması alınarak geçirgenlik değeri belirlenmiştir. Sonuçlar grafiksel olarak Şekil 4.4' de gösterilmiştir. %22 PSF membran için permeabilite değeri 0.48 L/m².sa.bar olarak bulunmuştur. 3 farklı oranda PVP ilavesinin ardından membranlarda ise geçirgenlik değerleri %2 PVP için 0.97 L/m².sa.bar, %4 PVP için 5.59 L/m².sa.bar, %8 PVP için 6.33 L/m².sa.bar olarak

bulunmuştur. Kil nanoparçacığının eklenmesinden sonra ise %2 PVP+%0.5 kil için permeabilite değeri 1.2 L/m².sa.bar, %2 PVP+%1 kil için permeabilite değeri 50.72 L/m².sa.bar, %2 PVP+%2 kil için permeabilite değeri 104.58 L/m².sa.bar, olarak bulunmuştur. %4 PVP+%0.5 kil oranındaki membran için geçirgenlik değeri 2.79 L/m².sa.bar, %4 PVP+%1 kil için 61.9 L/m².sa.bar, %4 PVP+%2 kil için 113.3 L/m².sa.bar olarak bulunmuştur. %8 PVP+%0.5 kil oranındaki membran için geçirgenlik değeri 19.92 L/m².sa.bar, %8 PVP+%1 kil için 32.67 L/m².sa.bar, %8 PVP+%2 kil için 53.4 L/m².sa.bar olarak bulunmuştur. %2 PVP oranı için %2 kil ilavesi en yüksek geçirgenlik değerini verirken, %4 PVP oranındaki membranlarda en yüksek geçirgenlik değeri %2 kil oranına sahip membranlarda bulunmuştur. %8 PVP oranındaki membranlarda ise en yüksek geçirgenlik değerine yine %2 kil oranında ulaşılmıştır. PVP ilavesi PSF membranların geçirgenliğini arttırmıştır. PVP oranı arttıkça geçirgenliğin arttığı gözlenmiştir. Kil ilavesi ile geçirgenlik değerinin oldukça fazla bir oranda arttığı görülmektedir.

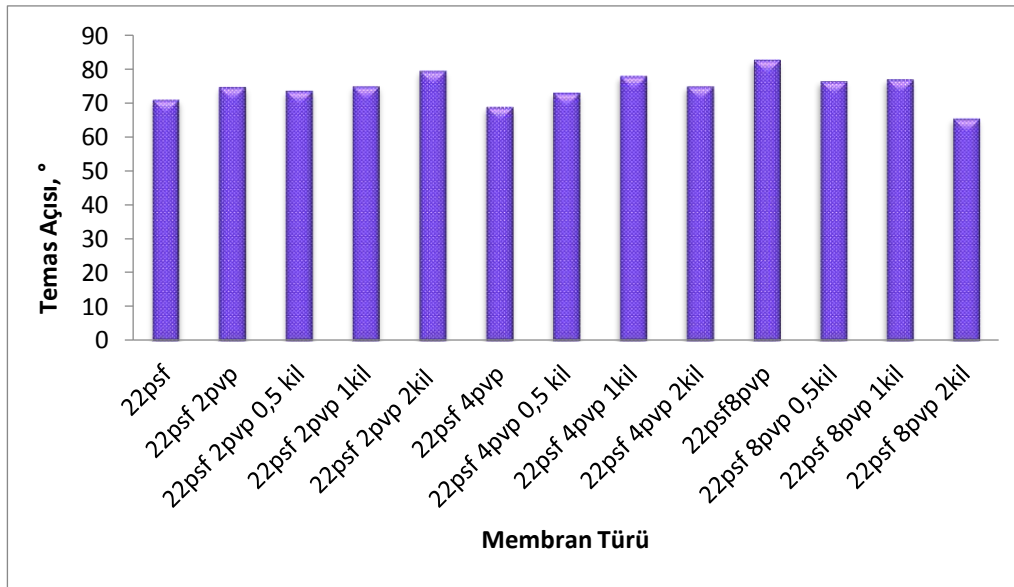


Şekil 4.4: PSF membran geçirgenlik değerleri.

4.1.2.2. Temas Açısı Sonuçları

PSF polimeri ile üretilen membranlarda membranın ıslanabilirliğinin bir ölçütü olan temas açısı ölçümleri Şekil 4.5' de grafiksel olarak gösterilmiştir. %22 PSF için 70.98° olarak ölçülmüştür. PVP katkılı membranlarda ise %22 PSF 2PVP için 74.76°, %22 PSF 4PVP için 68.81° ve %22 PSF 8PVP için de 82.62° olarak analiz edilmiştir. PVP ilavesi ile temas açısı değerlerinin arttığı gözlenmiştir. %2 PVP oranda en

yüksek temas açısı değeri %2 kil için bulunmuş diğerleri birbirlerine çok yakın sonuçlar vermiştir. %2 PVP+%0.5 kil için temas açısı değeri 73.61° , %2 PVP+%1 kil için temas açısı değeri 74.98° , %2 PVP+%2 kil için temas açısı değeri 79.52° olarak bulunmuştur. %4 PVP oranında kil ilavesi ile temas açısı değerleri genel olarak artmış ancak %2 kil oranında düşmüştür. En düşük değer kil ilavesi olmayan membranda görülmüş en yüksek değer ise %1 kil ilave edilen membran için elde edilmiştir. %4 PVP+%0.5 kil için temas açısı değeri 73.04° , %4 PVP+%1 kil için temas açısı değeri 77.98° , %4 PVP+%2 kil için temas açısı değeri 74.93° olarak bulunmuştur. %8 PVP oranı için kil ilavesi arttıkça temas açısı değerlerinin düştüğünü en düşük değere %2 kil oranında ulaşıldığını en yüksek değere ise kil bulunmayan membranda ulaşıldığını söylemek mümkündür. %8 PVP+%0.5 kil için temas açısı değeri 76.51° , %8 PVP+%1 kil için temas açısı değeri 77.05° , %8 PVP+%2 kil için temas açısı değeri 65.52° olarak bulunmuştur.

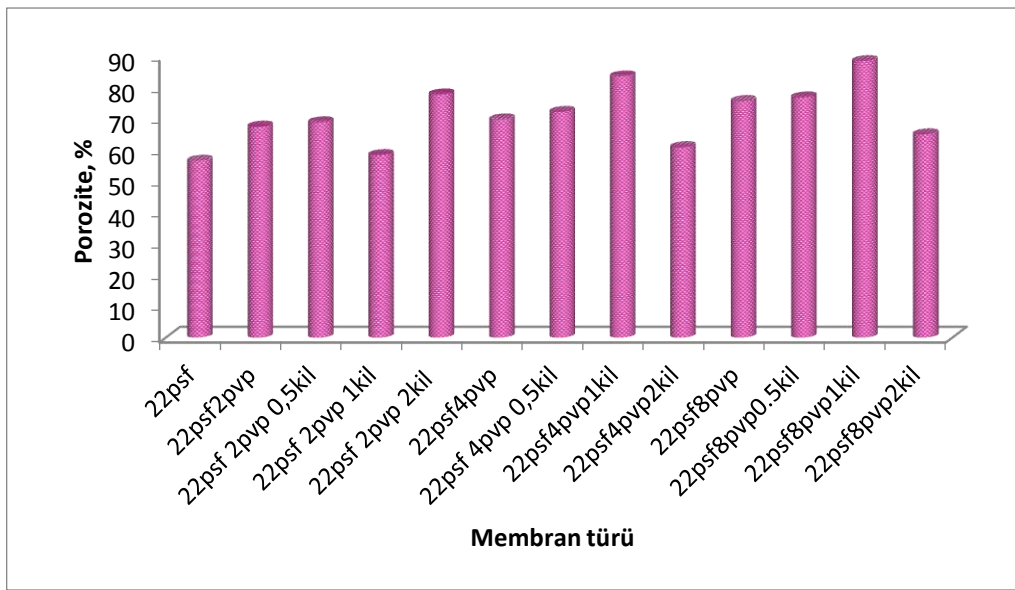


Şekil 4.5: PSF membran temas açısı değerleri.

4.1.2.3. Porozite Değerleri

PSF türündeki membranlara ait porozite değerleri Şekil 4.6' da grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere PVP ilavesi membranların porozite değerlerini arttırmıştır. Saf membranın porozitesi %56.44, %2 PVP katkılı membranın porozite değeri %67.4, %4 PVP katkılı membranın porozite değeri %69.68 ve %8 PVP katkılı membranın porozite değeri ise %75.58 olarak bulunmuştur. Kil ilavesi ile

birlikte %2 PVP grubundaki membranlarda en yüksek porozite değerine sahip membran %2 PVP+%2 kil oranına sahip membran olmuştur. %2 PVP+%0.5 kil içeren membranda porozite değeri %68.76, %2 PVP+%1 kil içeren membranda %58.27 ve %2 PVP+%2 kil oranına sahip membranda %77.7 olarak bulunmuştur. %4 PVP grubundaki membranlarda %4 PVP+%0.5 kil oranındaki membranda porozite değeri %72.13, %4 PVP+%1 kil katkılı mebranda %83.47 ve %4 PVP+%2 kil katkılı membranda ise %60.82 olarak bulunmuştur. %8 PVP oranına sahip membranlarda porozite değerleri %8 PVP+%0.5 kil için %76.74, %8 PVP+%1 kil için %88.38 ve %8 PVP+%2 kil için ise %64.91 olarak bulunmuştur.



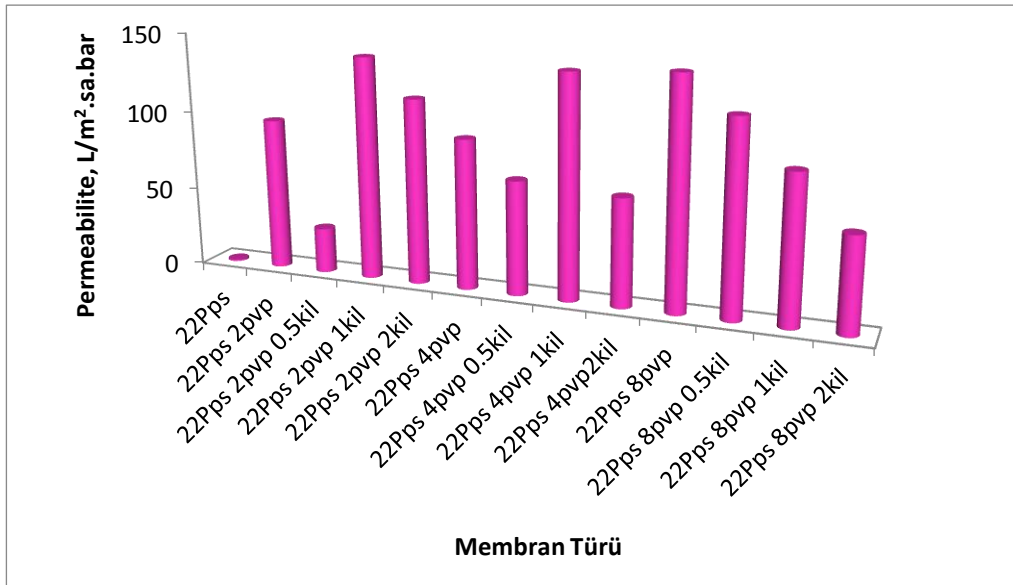
Şekil 4.6: PSF membran porozite değerleri.

4.1.3. PPS Polimeri İle Yapılan Deney Sonuçları

4.1.3.1. Geçirgenlik Deneyi Sonuçları

PPS polimeri ile üretilen membranlarda en az 3 farklı membran ile 1 saat saf su ile yapılan sıkıştırma deneyinin ardından 3 farklı basınç değerinde 11' er dakikalık akı değerleri kaydedilmiş ve bulunan sonuçların ortalaması alınarak geçirgenlik değeri belirlenmiştir. Sonuçlar grafiksel olarak Şekil 4.7' de gösterilmiştir. %22 PPS membranın geçirgenlik değeri $0.98 \text{ L/m}^2 \cdot \text{sa} \cdot \text{bar}$ bulunmuştur. PVP eklenen membranlarda ise geçirgenlik degerleri %2 PVP için $95.75 \text{ L/m}^2 \cdot \text{sa} \cdot \text{bar}$ %4 PVP için $94.15 \text{ L/m}^2 \cdot \text{sa} \cdot \text{bar}$ %8 PVP için $142.3 \text{ L/m}^2 \cdot \text{sa} \cdot \text{bar}$ olarak bulunmuştur. PVP ilavesi ile

geçirgenlik artırmıştır. %2 PVP oranı için %1 kil ilavesi en yüksek geçirgenlik değerini verirken, %4 PVP oranındaki membranlarda da en yüksek geçirgenlik değeri %1 kil oranına sahip membranlarda bulunmuştur. Geçirgenlik değeri %2 PVP+%0.5 kil oranı ile hazırlanan membranlarda $28.45 \text{ L/m}^2.\text{sa.bar}$, %2 PVP+%1 kil oranındaki membranlar için $139.88 \text{ L/m}^2.\text{sa.bar}$, %2 PVP+%2 kil oranı ile hazırlanan membranlarda ise $116.17 \text{ L/m}^2.\text{sa.bar}$ olarak hesaplanmıştır. %4 PVP+%0.5 kil oranı ile hazırlanan membranlarda geçirgenlik değeri $71.49 \text{ L/m}^2.\text{sa.bar}$, %4 PVP+%1 kil oranındaki membranlarda $138.9 \text{ L/m}^2.\text{sa.bar}$, %4 PVP+%2 kil oranı ile hazırlanan membranlarda ise $67.5 \text{ L/m}^2.\text{sa.bar}$ olarak hesaplanmıştır. %8 PVP oranındaki membranlarda ise en yüksek geçirgenlik değerine kil ilave edilmeyen membranda ulaşılmıştır. Geçirgenlik değerleri %8 PVP oranındaki membranlarda %0.5 kil oranı ile hazırlananlarda $120.31 \text{ L/m}^2.\text{sa.bar}$, %8 PVP+%1 kil oranındaki membranlar için $91.85 \text{ L/m}^2.\text{sa.bar}$, %8 PVP+%2 kil oranı ile hazırlanan membranlarda ise $59.33 \text{ L/m}^2.\text{sa.bar}$ olarak hesaplanmıştır.

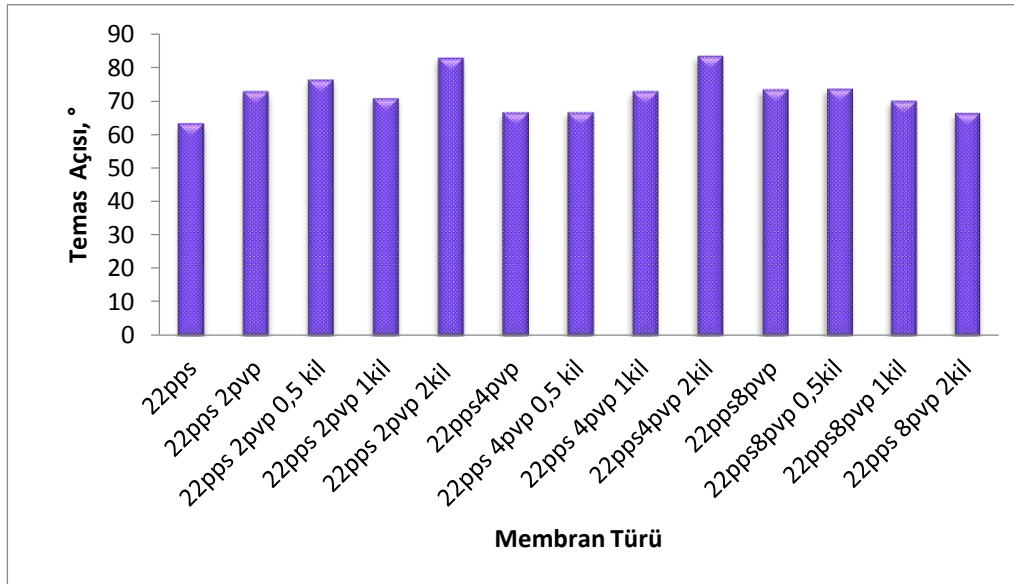


Şekil 4.7: PPS membran geçirgenlik değerleri.

4.1.3.2. Temas Açısı Sonuçları

PPS polimeri ile üretilen membranlarda membranın ıslanabilirliğinin bir ölçütü olan temas açısı ölçümleri Şekil 4.8' de grafiksel olarak gösterilmiştir. Ölçüm sonuçlarında %22 PPS nin 63.34° temas açısı değerine sahip olduğu bulunmuştur. %22PPS 2PVP için 73.04° , %22PPS 4PVP için 66.58° , %22PPS 8PVP için ise 73.63° olarak

belirlenmiştir. %2 PVP oranında en yüksek temas açısı değeri %2 kil oranında en düşük değer ise %1 kil oranında elde edilmiştir. %4 PVP oranı için kil oranı arttıkça temas açısı değerleri artmış ve en yüksek değer %2 kil oranında ulaşılmıştır. %8 PVP oranında ise kil oranı arttıkça temas açısı değerleri düşmüştür. . %2 PVP+%0.5 kil için temas açısı değeri 76.4°, %2 PVP+%1 kil için temas açısı değeri 70.82°, %2 PVP+%2 kil için temas açısı değeri 82.89°olarak bulunmuştur. %4 PVP+%0.5 kil için temas açısı değeri 66.74°, %4 PVP+%1 kil için temas açısı değeri 72.95°, %4 PVP+%2 kil için temas açısı değeri 83.48°olarak bulunmuştur. %8 PVP oranı için kil ilavesi arttıkça temas açısı değerlerinin düştüğünü en düşük değere %2 kil oranında ulaşıldığını söylemek mümkündür. %8 PVP+%0.5 kil için temas açısı değeri 73.77°, %8 PVP+%1 kil için temas açısı değeri 70.03°, %8 PVP+%2 kil için temas açısı değeri 66.45° olarak bulunmuştur.

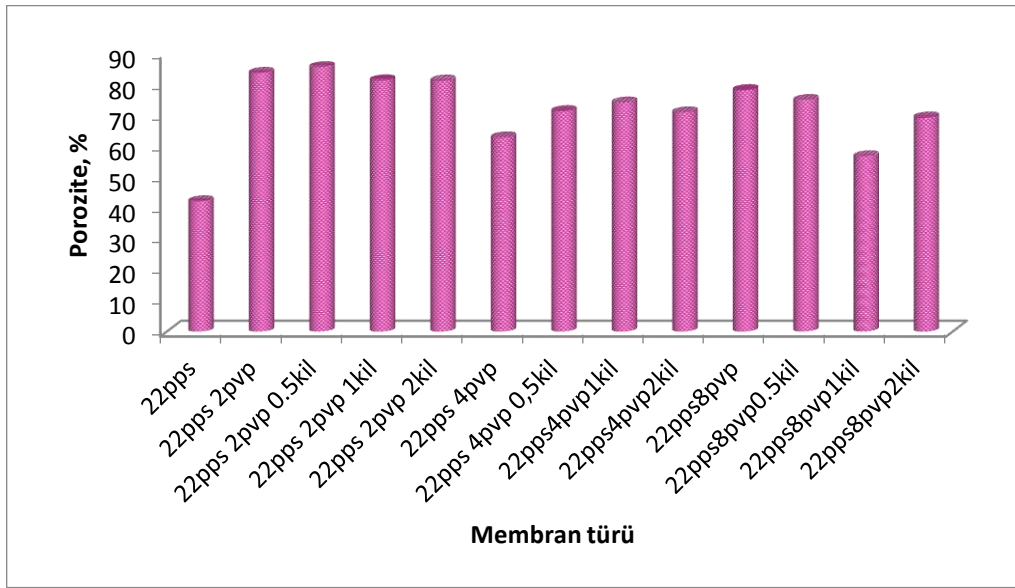


Şekil 4.8: PPS membran temas açısı değerleri.

4.1.3.3. Porozite Değerleri

PPS membranlara ait porozite değerlerini gösteren grafik Şekil 4.9' da verilmiştir. PVP ilavesi membranların porozite değerlerini arttırmıştır. Saf membranın porozitesi %42, %2 PVP katkılı membranın porozite değeri %83.58, %4 PVP katkılı membranın porozite değeri %62.67 ve %8 PVP katkılı membranın porozite değeri ise %78.01 olarak bulunmuştur. %2 PVP grubundaki membranlarda en yüksek porozite değerine sahip membran %2 PVP+%0.5 kil içeren membran olmuştur. %2 PVP+%0.5 kil

içeren membranda porozite değeri %85.43, %2 PVP+%1 kil içeren membranda %81.15 ve %2 PVP+%2 kil oranına sahip membranda %81.09 olarak bulunmuştur. %4 PVP grubundaki membranlarda %4 PVP+%0.5 kil oranındaki membranda porozite değeri %71.2, %4 PVP+%1 kil katkılı mebranda %73.96 ve %4 PVP+%2 kil katkılı membranda ise %70.79 olarak bulunmuştur. %8 PVP oranına sahip membranlarda porozite değerleri %8 PVP+%0.5 kil için %74.77, %8 PVP+%1 kil için %56.58 ve %8 PVP+%2 kil için ise %69.16 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.9: PPS membran porozite değerleri.

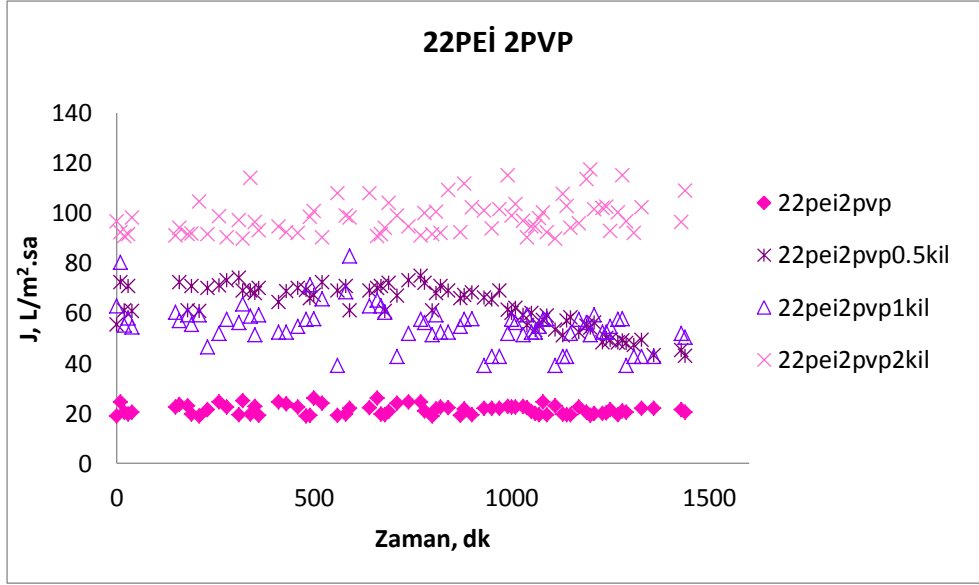
4.2.BATIK MEMBRAN SİSTEMİ

Deneylein ikinci aşamasında; optimum nanomateriyal/polimer/solvent/PVP oranında yine laboratuvar ölçeğinde üretilmiş membranlarda batık membran sisteminde Büyükçekmece gölünden alınmış su örneği ile içme suyu arıtımı gerçekleştirilmiştir. Sistem çalıştırılırken süzüntüler hassas terazinin üzerinde bulunan behere toplanmış ve akı değerleri kaydedilmiştir. Bu değerlere göre akı grafikleri çizilmiştir. Deneyler sırasında giriş ve çıkış sularında TOK, bulanıklık, UV₂₅₄, AKM, Fe(II) ve Mn(II) analizleri gerçekleştirilmiştir. Giderim verimleri belirlenmiştir.

4.2.1. Akı Değişimleri

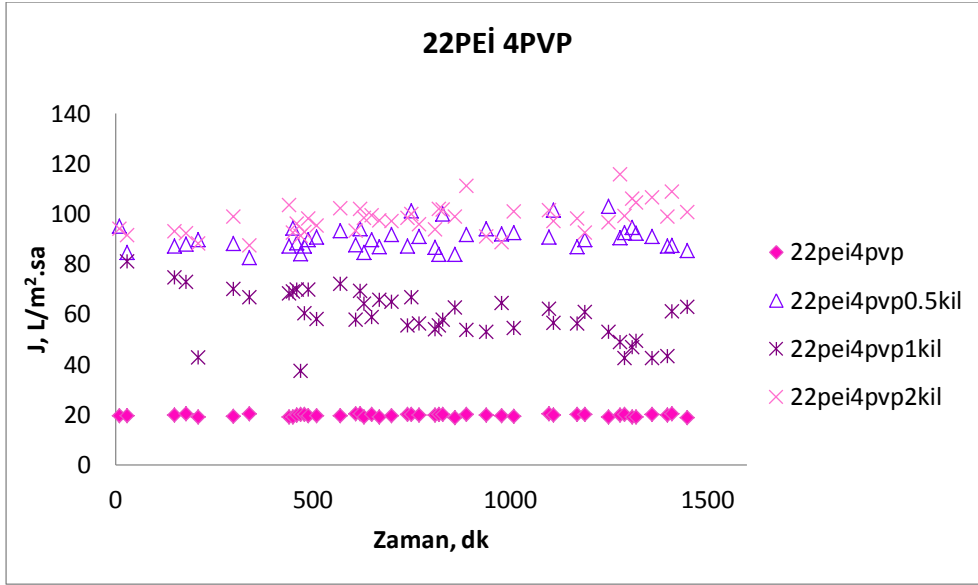
4.2.1.1. PEİ Polimeri İle Yapılan Deney Sonuçları

Arıtılabilirlik çalışmalarında PEİ polimeri ile üretilen membranlardan %22' lik yüzdeye sahip olan PVP katkı ve kil katkı membranlar kullanılmıştır. Akı değişimleri PVP yüzdelere göre gruplandırılarak Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12' de gösterilmiştir.



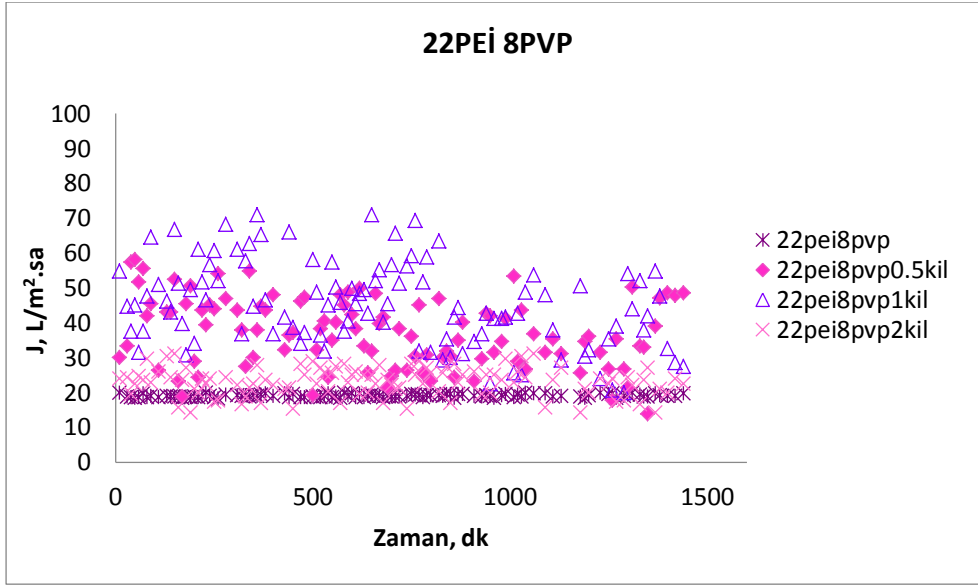
Şekil 4.10: 22 PEİ 2PVP akı değişim grafiği.

%2 PVP grubunda kil oranı arttıkça akı değerinin de arttığını söylemek mümkündür. Bu da kil nanoparçacığının akıyı arttırdığının açık bir göstergesidir. Her bir membranın başlangıç ve denge akıları arasında açık bir fark görülmemiştir. %0.5 ve %1 kil içeren membranlarda akı değerleri birbirine oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Ancak J_0 ve J_{denge} akıları bakımından en yüksek akı değerlerine %2 kil içeren membranda ulaşılmıştır. En düşük değerlere ise kil ilave edilmemiş membranlarda ulaşılmıştır. %2 kil içeren membranda J_{denge} değeri $\sim 100-110 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ bulunurken saf membranda bu değer $20-25 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ bulunmuştur.



Şekil 4.11: 22 PEİ 4PVP akı değişim grafiği.

%2 PVP grubunda olduğu gibi kil ilavesi %4 PVP içeren membranlarda da akı değerinde artışa sebep olmuştur. Ancak %0.5 kil oranına sahip membranda J_{denge} akı değeri %1 kil içeren membrandan daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca %2 kil ihtiva eden membranın J_0 akı değeri de %0.5 kil içeren membranla çok yakın değerler vermiştir. %4 PVP oranında membran akısı bakımından optimum kil oranının %0.5 olduğunu söylemek mümkündür. J_{denge} değerleri kil içermeyen membranda ~ 20 L/m².sa, %0.5 kil içeren membranda $\sim 80-100$ L/m².sa, %1 kil içeren membranda ~ 50 L/m².sa ve %2 kil içeren membranda ise $\sim 90-100$ L/m².sa olarak bulunmuştur.

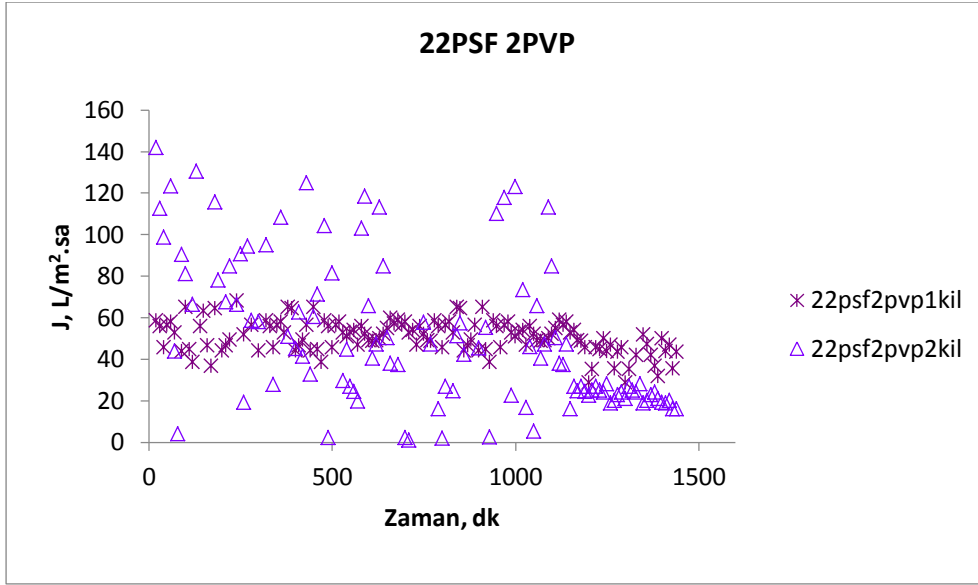


Şekil 4.12 : 22 PEİ 8 PVP akı değişim grafiği.

%8 pvp içeren membran grubunda %2 kil içeren membran ile saf membranın akı değerleri birbirlerine oldukça yakın gözlenmiştir. %0.5 ve %1 kil içeren membranların akı değerleri de benzer değerler göstermiş ancak daha dalgalı bir grafik elde edilmiştir. %0.5 ve %1 kil içeren membranların J_{denge} değerleri $\sim 50-55 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ olarak bulunmuştur. Kil içermeyen membranda bu değer $\sim 20 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ iken %2 kil içeren membranda $\sim 30-35 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ olarak hesap edilmiştir.

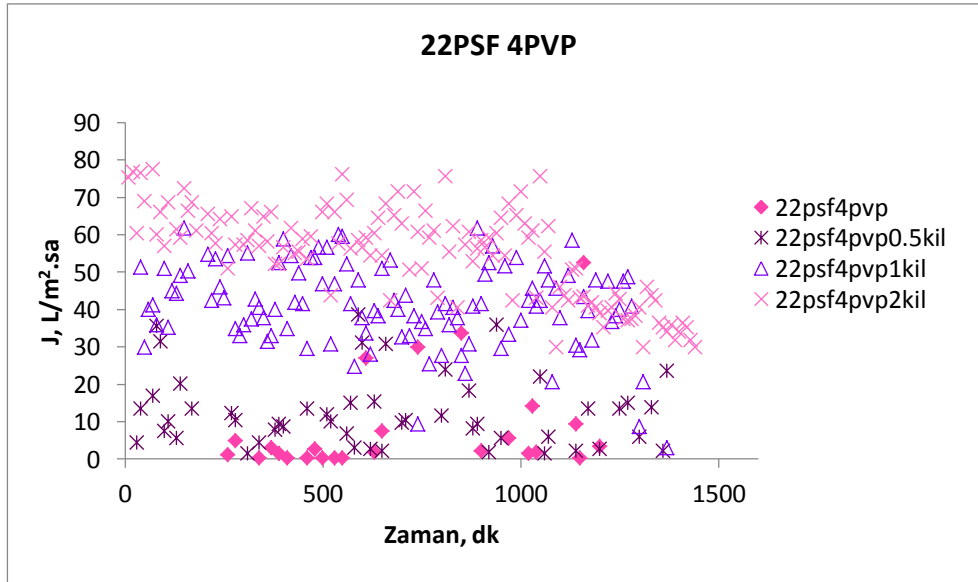
4.2.1.2. PSF Polimeri İle Yapılan Deney Sonuçları

Arıtılabilirlik çalışmalarında PSF polimeri ile üretilen membranlardan PVP katkılı olan membranlar kullanılmıştır. PVP katkısı olmayan saf membran, %2 PVP katkılı membran ve %2 PVP+%0.5 kil katkılı membranlar yüksek basınç gereksinimi nedeni ile batık membran sisteminde kullanılamamıştır. Akı değişimleri Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’ de gösterilmiştir.



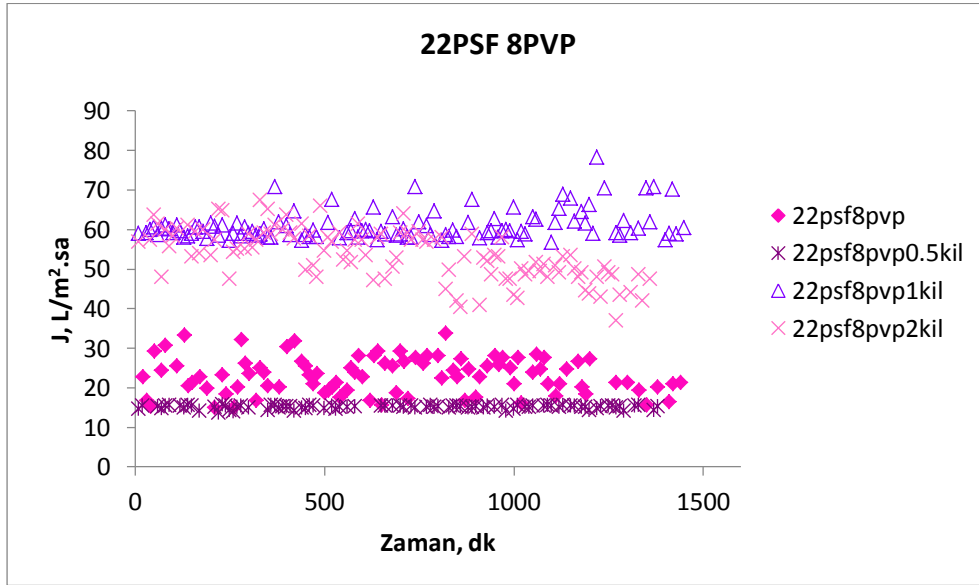
Şekil 4.13: 22 PSF 2PVP akı değişim grafiği.

%2 PVP grubunda denenen membranlarda %1 kil oranına sahip membranın akısı %2 kil oranına sahip membrana kıyasla daha stabil bir gidişat göstermiştir. J_{denge} akıları karşılaştırıldığında %1 kil oranına sahip membranda $J_{denge} \sim 50 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ iken %2 kil oranına sahip membranda $\sim 100 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ olarak gözlenmiştir.



Şekil 4.14: 22 PSF 4PVP akı değişim grafiği.

%4 PVP oranına sahip membran grubunda çizilen akı grafikleri sonucunda en yüksek akı değerine sahip membranın %2 kil oranına sahip membran olduğu görülmektedir. Kil içermeyen membran ise en düşük akı değerine sahip membrandır. J_{denge} değerleri kil içermeyen membran için $\sim 15\text{-}20 \text{ L/m}^2.\text{sa}$, %0.5 kil içeren membran için $\sim 15\text{-}20 \text{ L/m}^2.\text{sa}$, %1 kil içeriğine sahip membranda $\sim 40\text{-}45 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ ve %2 kil oranındaki membranda $\sim 70 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ olarak hesap edilmiştir.

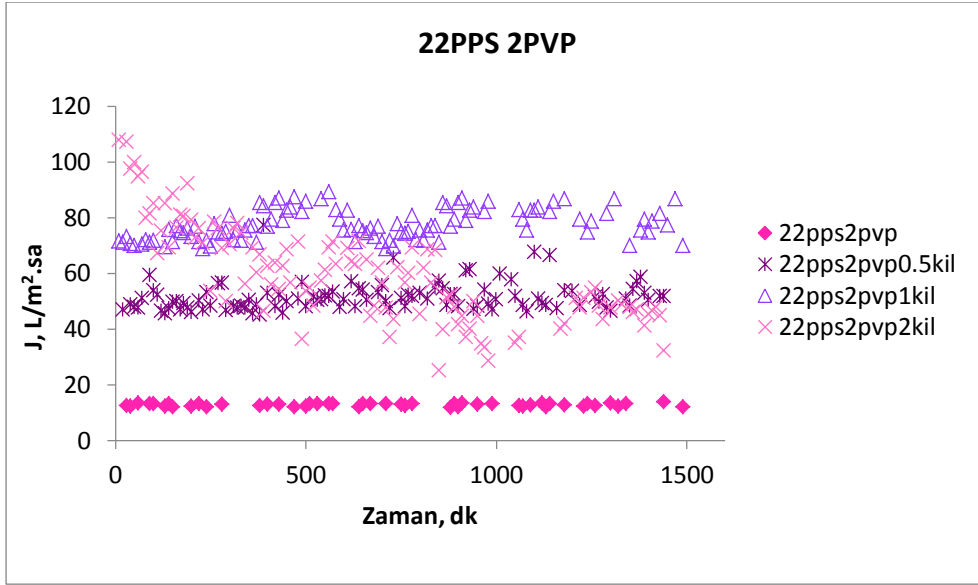


Şekil 4.15: 22 PSF 8PVP akı değişimi.

%8 PVP oranına sahip membranlar içerisinde %1 ve %2 kil ihtiva eden membranlarda akı değerleri birbirine oldukça yakın ve J_{denge} değerleri %1 kil oranındaki membran için $\sim 60\text{-}65 \text{ L/m}^2.\text{sa}$, %2 kil oranındaki membran için ise $\sim 55 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ olarak bulunmuştur. %0.5 kil içeren membranın akı değeri ise kil içermeyen membrandan daha düşük ve $\sim 15 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ bulunmuştur. Kil içermeyen saf membranın J_{denge} değeri ise $\sim 24 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ bulunmuştur.

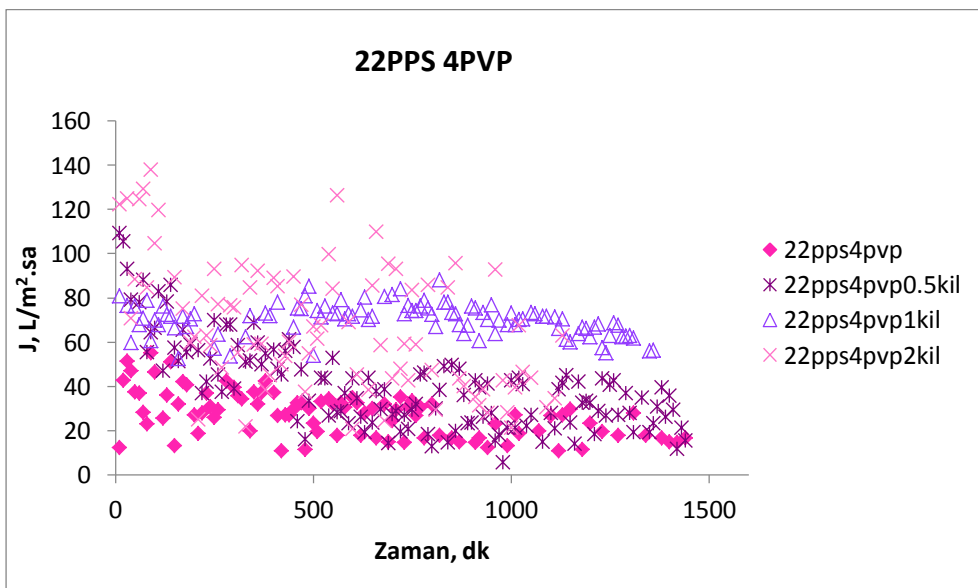
4.2.1.3. PPS Polimeri İle Yapılan Deney Sonuçları

Arıtılabilirlik çalışmalarında PPS polimeri ile üretilen membranlardan su arıtımı deneyleri için batık membran sisteminde kullanılan membranların zamanla akı değişim grafikleri Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’ de gösterilmiştir.



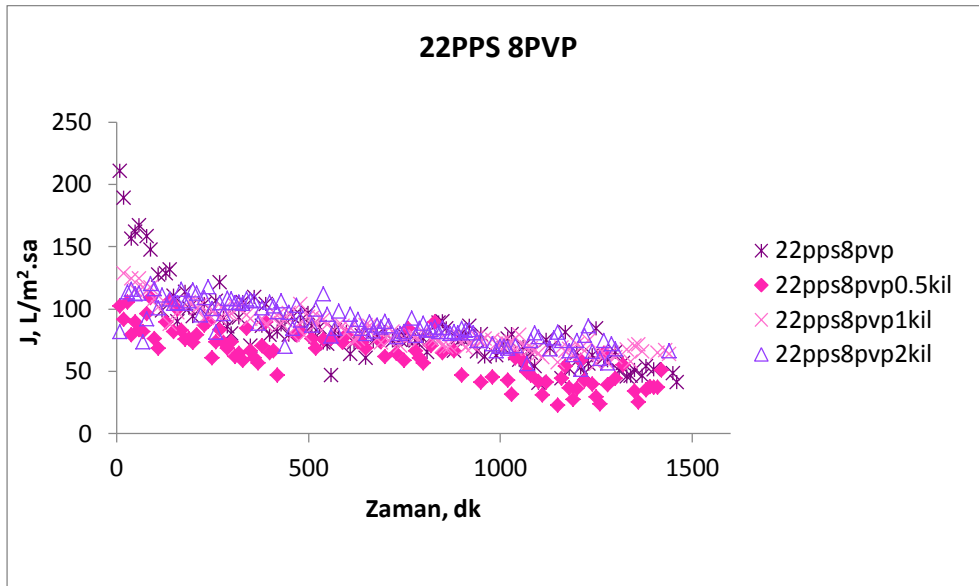
Şekil 4.16: 22 PPS 2PVP akı değişim grafiği.

%2 PVP oranına sahip membranlar arasında kil ilavesinin membranların akı değerini arttırdığı açıkça görülmektedir. J_0 değeri açısından %2 kil oranına sahip membranın akı değeri $\sim 100 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ ile en yüksek iken J_{denge} değerlerine bakıldığında en yüksek akı değerine sahip membran $\sim 70\text{-}80 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ ile %1 kil içeren membrandır. J_{denge} değerleri %0.5 kil içeren membran için $\sim 50 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ iken %2 kil içeren membran için $\sim 50\text{-}60 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ ve kil içermeyen membran için $\sim 12\text{-}14 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.17: 22 PPS 4PVP akı değişim grafiği.

%4 PVP içeren membranlar arasında başlangıç akıları kıyaslandığında J_0 değeri en yüksek olan membranın %2 kil oranına sahip membran olduğu görülmektedir. Denge akılarına bakıldığında %1 ve %2 kil içeren membranların birbirine yakın değerler gösterdiği ve diğer membranlardan daha yüksek değerlere sahip oldukları söylenebilir. %0.5 kil oranına sahip membranda J_{denge} değeri $\sim 40\text{-}50 \text{ L/m}^2\text{.sa}$, %1 kil oranındaki membranda $\sim 65 \text{ L/m}^2\text{.sa}$, %2 kil oranındaki membranda $\sim 50\text{-}60 \text{ L/m}^2\text{.sa}$ ve saf membranda $\sim 36\text{-}41 \text{ L/m}^2\text{.sa}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.18 : 22 PPS 8PVP akı değişimi.

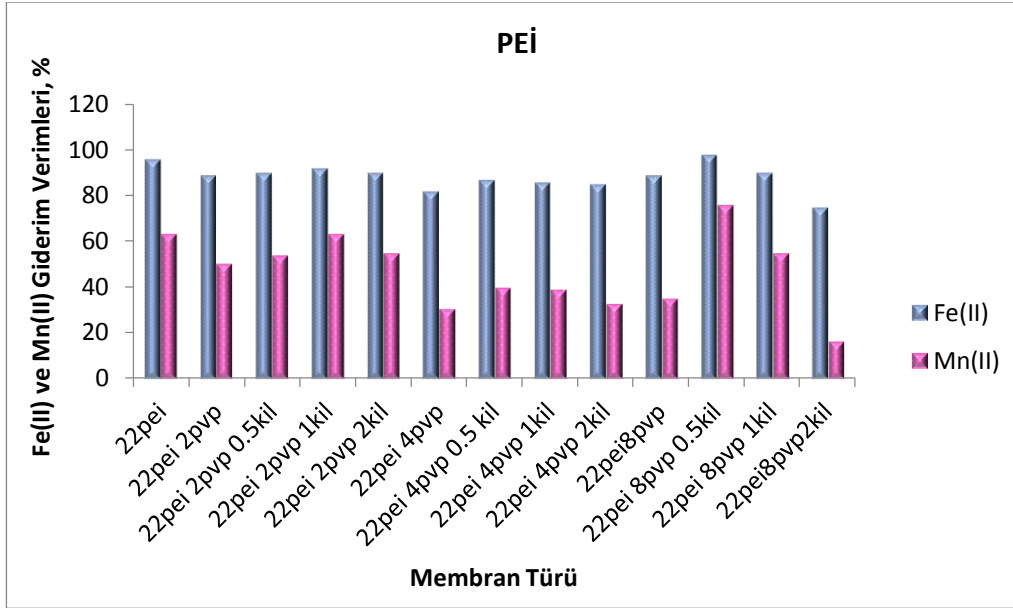
%8 PVP oranına sahip membranlarda J_0 değeri en yüksek olan membran kil içermeyen membrandır ve J_0 değeri $\sim 200 \text{ L/m}^2\text{.sa}$ ’dır. Denge akıları J_{denge} ise tüm membran türlerinde yaklaşık değerler vermiştir. O halde kil ilavesinin %8 pvp içeriğine sahip Pps membranları için çok anlamlı olmadığını söylemek mümkündür. %0.5 kil içeren membranda J_{denge} değeri $\sim 40\text{-}50 \text{ L/m}^2\text{.sa}$, %1 kil içeren membranda $\sim 60\text{-}80 \text{ L/m}^2\text{.sa}$, %2 kil içeren membranda $\sim 80 \text{ L/m}^2\text{.sa}$ ve saf membranda $\sim 50\text{-}60 \text{ L/m}^2\text{.sa}$ olarak bulunmuştur.

4.2.2. Fe(II) ve Mn(II) Giderim Verimleri

PEI polimeri ile hazırlanan membranların batık membran düzeneğinde çalıştırılması ile elde edilen Fe ve Mn metallerinin giderim verimleri Şekil 4.19’da gösterilmiştir. Mn giderim verimi %22 PEİ saf membranda %62.9 olarak bulunmuştur. %2 oranında

PVP ilave edilen membran grubunda en yüksek giderim verimine %2 PVP+%1 kil içeren membranda ulaşılmıştır. %2 PVP' li membranın giderim verimi %50.09 bulunurken kil ilavesi ile %2 PVP+%0.5 kil oranına sahip membranda verim %53.66 , %1 kil oranına sahip membranda %62.99 ve %2 kil oranına sahip membranda da %54.43 olarak bulunmuştur. PVP oranı %4' e çıkan membranlarda en iyi giderim verimi %0.5 kil içeriğine sahip membranda elde edilmiştir. Kil içermeyen membranda %30.33 , %0.5 kil içeren membranda %39.66, %1 kil içeren membranda %38.88 ve %2 kil içeren membranda ise %32.74 giderim verimine ulaşılmıştır. PVP oranı %8' e çıkarılan membranlarda ise en yüksek giderim verimi %0.5 kil içeren membranda gözlenmiştir. Kil içermeyen membranda %34.99, %0.5 kil içeriğine sahip membranda %75.43, %1 kil içeren membranda %54.43 ve %2 kil içeriğine sahip membranda %16' lık giderim verimlerine ulaşılmıştır. Tüm membranlar arasında en iyi giderim verimine sahip membran %8 PVP+%0.5 kil oranına sahip membranda en düşük giderim verimine ise %8 PVP+%2 kil içeriğine sahip membranda ulaşılmıştır.

Fe giderim verimlerine bakıldığında %22 PEİ saf membranda %96 olarak bulunmuştur. %2 oranında PVP ilave edilen membran grubunda en yüksek giderim verimine %2 PVP %1 kil içeren membranda ulaşılmıştır. %2 PVP' li membranın giderim verimi %88.88 bulunurken kil ilavesi ile %2PVP %0.5 kil oranına sahip membranda verim %90.06 , %1 kil oranına sahip membranda %92.2 ve %2 kil oranına sahip membranda da %90.5 olarak bulunmuştur. PVP oranı %4 e çıkan membranlarda en iyi giderim verimi %0.5 kil içeriğine sahip membranda elde edilmiştir. Kil içermeyen membranda %82.12 , %0.5 kil içeren membranda %87.09, %1 kil içeren membranda %86 ve %2 kil içeren membranda ise %85.97 giderim verimine ulaşılmıştır. PVP oranı %8 e çıkarılan membranlarda ise en yüksek giderim verimi %0.5 kil içeren membranda gözlenmiştir. Kil içermeyen membranda %88.88, %0.5 kil içeriğine sahip membranda %98, %1 kil içeren membranda %90.43 ve %2 kil içeriğine sahip membranda %75.43' lük giderim verimlerine ulaşılmıştır. Tüm membranlar arasında en iyi giderim verimine sahip membran %8 PVP+%0.5 kil oranına sahip membranda en düşük giderim verimine ise %8 PVP+%2 kil içeriğine sahip membranda ulaşılmıştır.

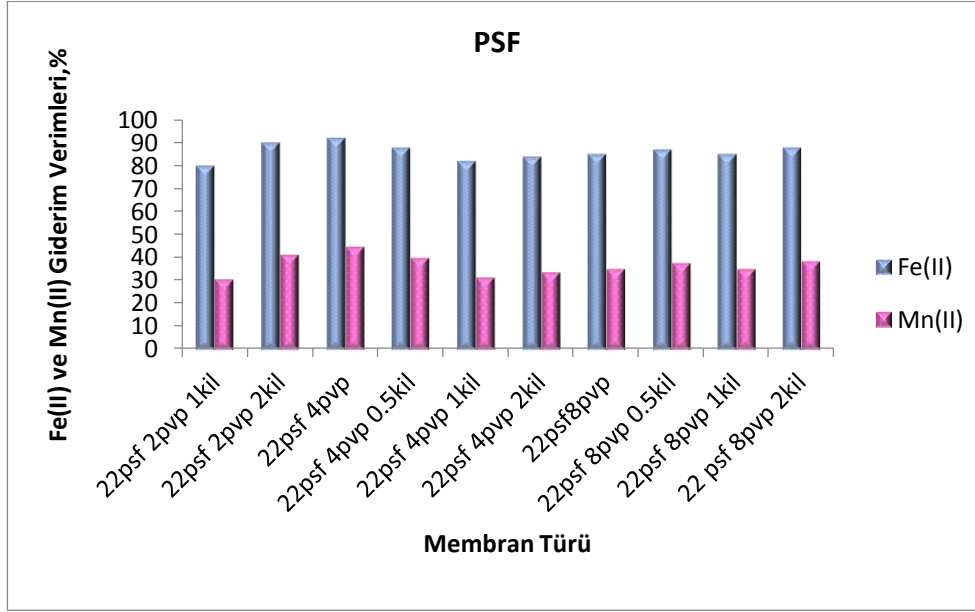


Şekil 4.19: PEİ membranların Fe(II) ve Mn(II) giderim verimleri.

PSF polimer türü ile hazırlanan düz plaka membranların batık membran düzeneğinde çalıştırılması sonucunda elde edilen Fe ve Mn giderim verimleri Şekil 4.20' de gösterilmiştir. Saf, %2 PVP ve %2 PVP %0.5 kil içeriğine sahip membranların bu düzeneğe yüksek basınç gereksinimi sebebiyle çalıştırılmamasından dolayı bu membranların giderim verimleri belirlenememiştir. %2 PVP %1 kil oranına sahip membranda Mn(II) giderim verimi %30.33 bulunurken %2 kil içeren membranda verim %41.17 bulunmuştur. %4 PVP oranına sahip membran grubunda en yüksek giderim verimine kil içermeyen %4PVP oranına sahip membranda ulaşılmıştır. %4 PVP içeren membranda verim %44.32 bulunurken, %0.5 kil içeren membranda %39.66, %1 kil içeren membranda %31.1 ve %2 kil içeren membranda da %33.44 olarak elde edilmiştir. PVP oranı %8' e çıkarılan membranlarda en yüksek giderim verimine %2 kil içeren membran ulaşırken en düşük verime kil içermeyen ve %1 kil oranına sahip membranlarda %34.99 olarak ulaşılmıştır. %0.5 kil içeren membran ise %37.32 giderim verimine ulaşmıştır. Tüm membranlar arasında en iyi Mn(II) giderim verimine sahip membran %4PVP içeren membran iken en düşük verime sahip membran da %2 PVP+%1 kil içeren membran olarak bulunmuştur.

Fe(II) giderim verimleri. %2 PVP+%1 kil oranına sahip membranda %80.35 bulunurken %2 kil içeren membranda verim %90.7 bulunmuştur. %4 PVP oranına sahip membran grubunda en yüksek giderim verimine kil içermeyen %4 PVP oranına

sahip membranda ulaşılmıştır. %4 PVP içeren membranda verim %92.07 bulunurken, %0.5 kil içeren membranda %88, %1 kil içeren membranda %82.1 ve %2 kil içeren membranda da %84.64 olarak elde edilmiştir. PVP oranı %8' e çıkarılan membranlarda en yüksek giderim verimine %2 kil içeren membran ulaşırken en düşük verime kil içermeyen ve %1 kil oranına sahip membranlarda %85 olarak ulaşılmıştır. %0.5 kil içeren membran ise %87.32 giderim verimine ulaşmıştır.

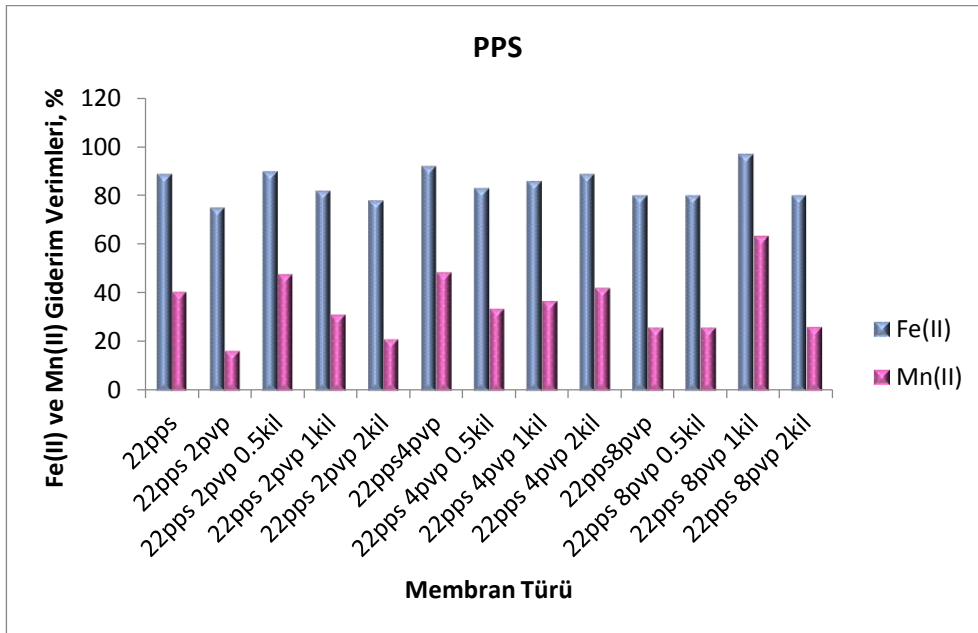


Şekil 4.20: PSF membranların Fe(II) ve Mn(II) giderim verimleri.

PPS polimeri kullanılarak sentezlenen düz plaka membranlarda batık membran düzeneği kullanılarak gerçekleştirilen arıtım deneyleri neticesinde elde edilen Fe(II) ve Mn(II) giderim verimleri Şekil 4.21' de gösterilmiştir. Mn(II) giderim verimleri saf membran için %40.22, %2 PVP oranına sahip membran grubunda kil ihtiva etmeyen membranda %16.33 olarak bulunmuştur. Kil ilavesi ile %0.5 kil içeren membranda giderim verimi %47.43, %1 kil içeren membranda %31.1 ve %2 kil içeren membranda %20.99 olarak bulunmuştur. PVP oranı %4' e çıkarılan membranlarda %4 PVP muhtevası olan membranın giderim verimi %48.21 olarak elde edilirken bu oran %0.5 kil muhtevası olan membranda %33.44, %1 kil içeriğine sahip olan membranda %36.7 ve %2 kil muhtevası olan membranda %41.92 olarak bulunmuştur. PVP oranı %8' e çıkarıldığında kil içermeyen saf membran ve %0.5 kil içeren membranda giderim verimi %25.66, %1 kil içeren membranda % 62.99 ve %2 kil içeren membranda %26.07 olarak bulunmuştur, Tüm membranlar içerisinde Mn(II)

giderim verimi açısından en yüksek verime sahip membran %8 PVP ve %1 kil içeren membran olarak bulunurken en düşük giderim verimine sahip membran ise %2 PVP içeriğine sahip membran olarak bulunmuştur.

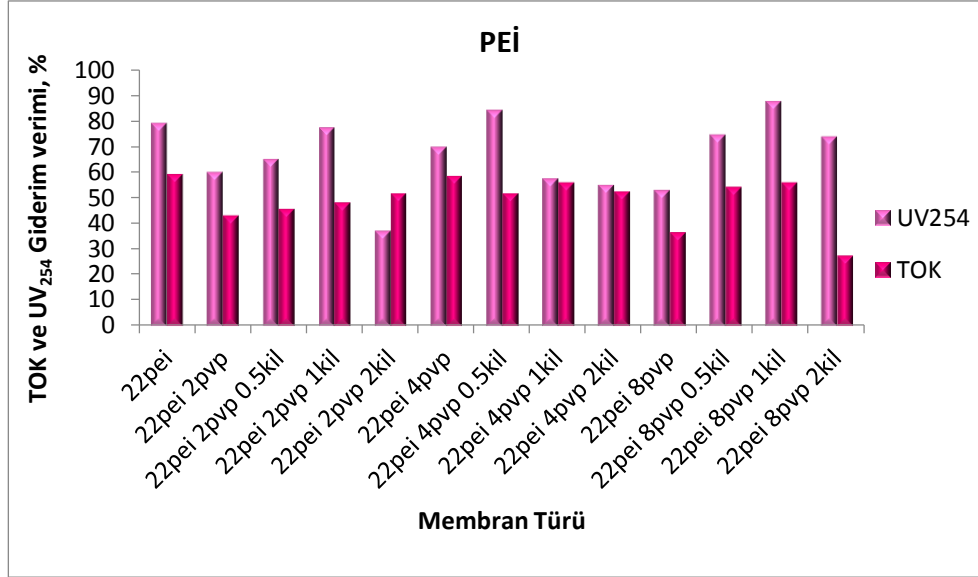
Fe(II) giderim verimleri saf membran için %88.88, %2 PVP oranına sahip membran için %75 olarak bulunmuştur. Kil ilavesi ile %0.5 kil içeren membranda giderim verimi %90.66, %1 kil içeren membranda %82.3 ve %2 kil içeren membranda %78.82 olarak bulunmuştur. PVP oranı %4' e çıkarılan membranlarda %4 PVP muhtevası olan membranın giderim verimi %92 olarak elde edilirken bu oran %0.5 kil muhtevası olan membranda %83.07, %1 kil muhtevası olan membranda %86.7 ve %2 kil muhtevası olan membranda %88.88 olarak bulunmuştur. PVP oranı %8' e çıkarıldığında kil içermeyen saf membran ve %0.5 kil içeren membranda giderim verimi %80, %1 kil içeren membranda % 97.23 ve %2 kil içeren membranda %80 olarak bulunmuştur, Tüm membranlar içerisinde Mn(II) giderim verimi açısından en yüksek verime sahip membran %8PVP ve %1 kil içeren membran olarak bulunurken en düşük giderim verimine sahip membran ise %2 PVP içeriğine sahip membran olarak bulunmuştur.



Şekil 4.21: PPS membranların Fe(II) ve Mn(II) giderim verimleri.

4.2.3. TOK ve UV₂₅₄ Giderim Verimleri

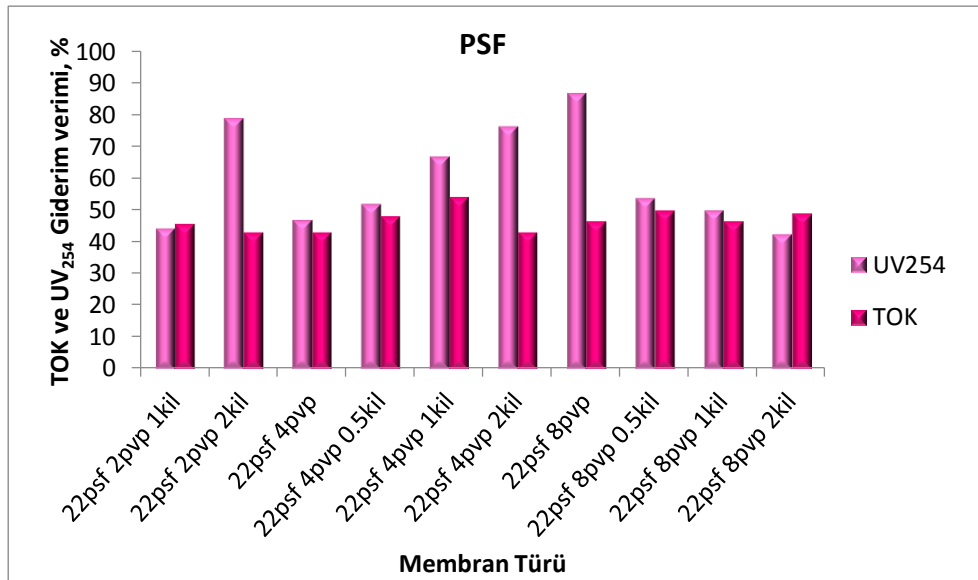
Doğal organik maddenin bir ölçütü olan toplam organik karbon parametresi batık membran sisteminde gerçekleştirilen arıtım deneylerinde giriş ve çıkış değerleri olarak ölçülmüş ve giderim verimleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.22: PEİ membranların TOK ve UV₂₅₄ giderim verimleri.

PEİ türündeki membranlara ait TOK ve UV₂₅₄ giderim verimleri Şekil 4.22’ de verilmiştir. TOK için en yüksek giderim verimi saf PEİ membran için bulunurken en düşük giderim verimi %8 PVP+ %2 kil içeren membran için bulunmuştur. %2 PVP grubundaki membranlarda kil ilavesi ile giderim verimi artmıştır. %2 PVP oranına sahip membran için giderim verimi %43, %2 PVP +%0.5 kil için %45.48, %2 PVP +%1 kil içeren membranda %48.04 ve %2 kil içeren membranda %51.44 olarak bulunmuştur. %4 PVP eklenen membranlarda en yüksek verimi kil katkısı olmayan membranda elde edilirken en düşük verim %0.5 kil içeren membranda elde edilmiştir. %4 PVP için giderim verimi %58.26 olarak elde edilirken bu oran %0.5 kil muhtevası olan membranda %51.44, %1 kil muhtevası olan membranda %55.7 ve %2 kil muhtevası olan membranda %52.29 olarak bulunmuştur. %8 PVP içeren membranlara kil ilavesi ile giderim verimi belirgin bir şekilde artmış ancak kil oranı %2’ ye çıktığında giderim verimi oldukça düşmüştür. Kil içermeyen saf membranda giderim verimi %36.43, %0.5 kil içeren membranda %54, %1 kil içeren membranda %55.7 ve %2 kil içeren membranda %27.47 olarak bulunmuştur.

UV₂₅₄ giderim verimlerine bakıldığında ise en yüksek giderim veriminin %8 PVP+%1 kil içeren membran olduğunu, en düşük giderim verimine sahip membranın ise %2 PVP+%2 kil oranındaki membran olduğunu görmek mümkündür. UV₂₅₄ giderim verimleri; saf membran için %79.09, %2 PVP içeren membran için %60, %2 PVP+%0.5 kil için %65.15, %2 PVP+%1 kil için %77.35, %2 PVP+%2 kil için %37.28, %4 PVP için %70, %4 PVP+%0.5 kil için %84.32, %4 PVP+%1 kil için %57.60, %4 PVP+%2 kil için %55 olarak, %8 PVP grubundaki membranlarda kil içermeyen membran için %52.96, %8 PVP+%0.5 kil için %74.73, %8 PVP+%1 kil için %87.8 ve %8 PVP+%2 kil için %73.86 olarak bulunmuştur.

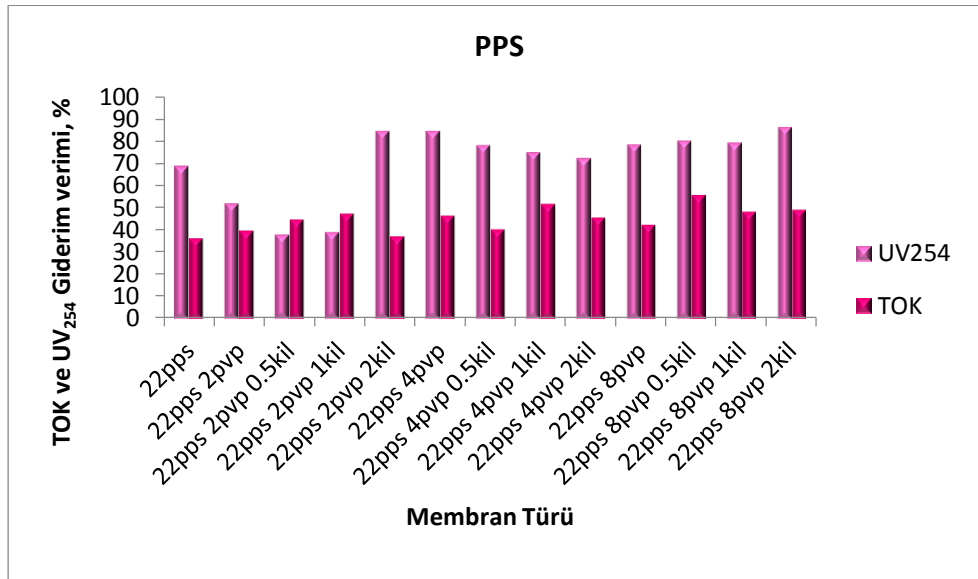


Şekil 4.23: PSF membranların TOK ve UV₂₅₄ giderim verimleri.

PSF membranlara ait giderim verimlerinin verildiği Şekil 4.23’ deki grafiğe bakıldığında en yüksek giderim verimine sahip membranın %4 PVP+%1 kil içeren membran olduğu açıkça görülmektedir. %2 PVP grubu için %1 kil oranına sahip membran %2 kil oranına sahip membrandan daha fazla TOK giderirken %4 PVP grubunda kil oranı arttıkça giderim artmış ancak kil oranı %2 ye çıkınca verim düşmüştür, %8 PVP grubu için kil ilavesi giderim verimini arttırmıştır demek mümkündür. TOK giderim verimleri; %2 PVP oranına sahip membran grubunda %1 kil içeren membranda %45.48 ve %2 kil içeren membranda %42.93 olarak

bulunmuştur. PVP oranı %4' e çıkarılan membranlarda %4 PVP muhtevası olan membranın giderim verimi %42.93 olarak elde edilirken bu oran %0.5 kil muhtevası olan membranda %48.04, %1 kil muhtevası olan membranda %54 ve %2 kil muhtevası olan membranda %42.93 olarak bulunmuştur. PVP oranı %8' e çıkarıldığında kil içermeyen saf membranda giderim verimi %46.30, %0.5 kil içeren membranda %49.74, %1 kil içeren membranda %46.33 ve %2 kil içeren membranda %48.72 olarak bulunmuştur,

UV₂₅₄ giderim verimlerine bakıldığında ise en yüksek giderim veriminin %8 PVP içeren membran olduğunu, en düşük giderim verimine sahip membranın ise %8 PVP+%2 kil oranındaki membran olduğunu görmek mümkündür. UV₂₅₄ giderim verimleri %2 PVP+%1 kil için %44.25, %2 PVP+%2 kil için %79.09 ve %4 PVP için %47, %4 PVP+%0.5 kil için %52, %4 PVP+%1 kil için %66.89, %4 PVP+%2 kil için %76.48 olarak, %8 PVP grubundaki membranlarda kil içermeyen membran için %86.93, %8 PVP+%0.5 kil için %53.83, %8 PVP+%1 kil için %50.1 ve %8 PVP+%2 kil için %42.5 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.24: PPS membranların TOK ve UV₂₅₄ giderim verimleri.

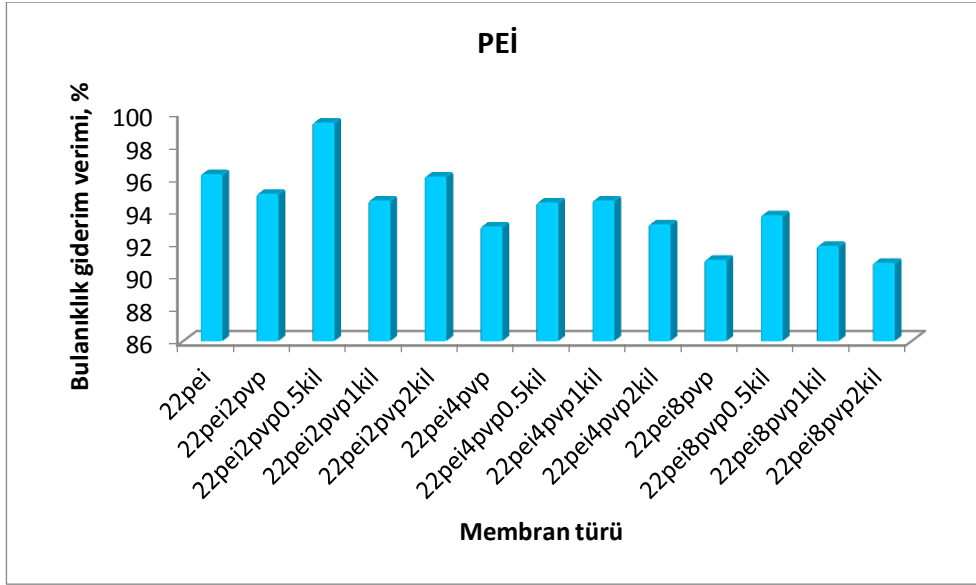
Şekil 4.24' te verilen PPS türündeki membranların TOK giderim verimlerine bakıldığında en yüksek verime ulaşan membranın %8 PVP+%0.5 kil oranına sahip membran olduğu görülmektedir. En düşük giderim verimine sahip membran ise %2 PVP+%2 kil oranındaki membrandır. TOK giderim verimleri; saf membran için %36.11, %2 PVP oranına sahip membran grubunda kil ihtiva etmeyen membranda

%39.52 olarak bulunmuştur. Kil ilavesi ile %0.5 kil içeren membranda giderim verimi %44.63, %1 kil içeren membranda %47.18 ve %2 kil içeren membranda %36.96 olarak bulunmuştur. PVP oranı %4' e çıkarılan membranlarda %4 PVP muhtevası olan membranın giderim verimi %46.33 olarak elde edilirken bu oran %0.5 kil muhtevası olan membranda %40.37, %1 kil muhtevası olan membranda %51.44 ve %2 kil muhtevası olan membranda %45,48 olarak bulunmuştur. PVP oranı %8' e çıkarıldığında kil içermeyen saf membranda giderim verimi %42.37, %0.5 kil içeren membranda %55.70, %1 kil içeren membranda %48.04 ve %2 kil içeren membranda %48.89 olarak bulunmuştur,

UV₂₅₄ giderim verimlerine bakıldığında ise en yüksek giderim veriminin %8 PVP+%2 kil içeren membran olduğunu, en düşük giderim verimine sahip membranın ise %2 PVP+%0.5 kil oranındaki membran olduğunu görmek mümkündür. Saf membranda giderim verimi %68.64, %2 PVP içeren membranda %51.8, %2 PVP+%0.5 kil için 37.86, %2 PVP+%1 kil için %39.02, %2 PVP+%2 kil ve %4 PVP için %84.32, %4 PVP+%0.5 kil için %78, %4 PVP+%1 kil için %74.73, %4 PVP+%2 kil için %72.12 olarak, %8 PVP grubundaki membranlarda kil içermeyen membran için %78.22, %8 PVP+%0.5 kil için %79.96, %8 PVP+%1 kil için %79.09 ve %8 PVP+%2 kil için %86.06 olarak bulunmuştur.

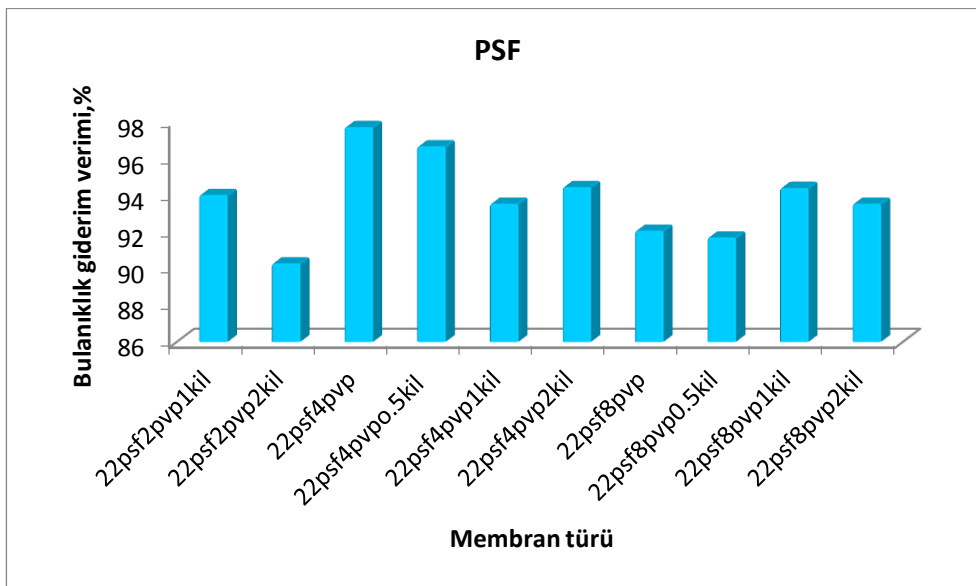
4.2.4. AKM ve Bulanıklık Giderim Verimleri

3 farklı polimer kullanılarak hazırlanan düz plaka membranların batık membran sistemindeki bulanıklık giderim verimleri grafiksel olarak Şekil 4.25, 4.26 ve 4.27' de verilmiştir. AKM ölçümleri neticesinde elde edilen sonuçlar çok düşük çıktığı ve referans aralığı dışında kaldığı için grafiksel olarak gösterilmemiştir.



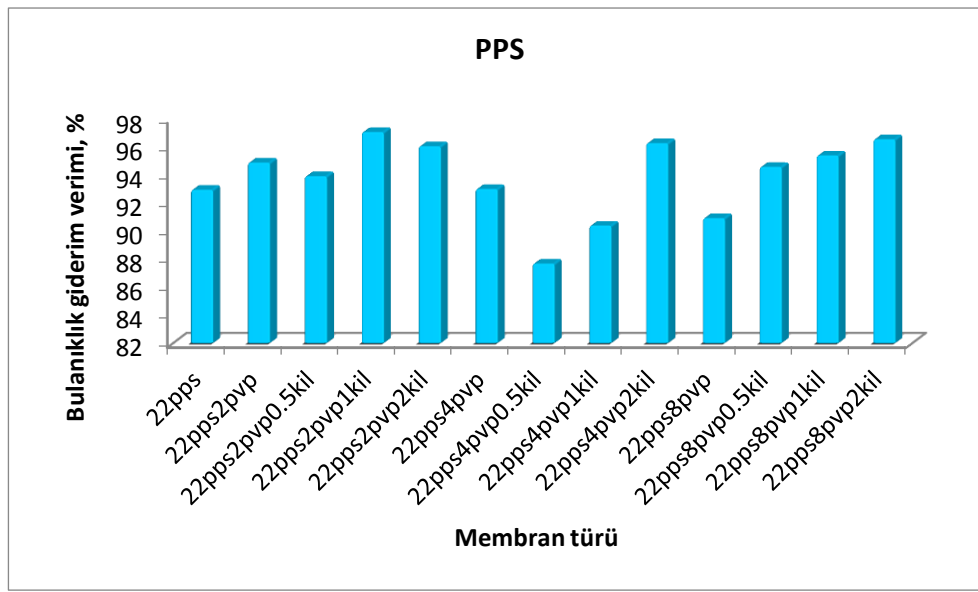
Şekil 4.25: PEİ membranların bulanıklık giderim verimleri.

PEİ membranlar için ölçülen bulanıklık giderim verimi değerleri Şekil 4.25' te verilmiştir. En yüksek giderim verimi %2 PVP+%0.5 kil oranındaki membranda elde edilmiştir. En düşük giderim verimi ise %8 PVP+%2 kil içeren membranda %90.77 olarak bulunmuştur. Bulanıklık giderim verimleri %90-99 arasında değişiklik göstermiştir. %4 PVP grubundaki membranlarda kil oranı arttıkça verim artmış ancak kil oranı %2' ye çıkarıldığında düşmüştür. %8 PVP oranına sahip membranlarda kil katkısı giderim verimini genel olarak arttırmıştır ancak en yüksek giderim %0.5 kil içeren membran için elde edilmiştir.



Şekil 4.26: PSF membranların bulanıklık giderim verimleri.

PSF türündeki membranlara ait giderim verimleri Şekil 4.26' daki grafikte gösterilmiştir. En yüksek giderim verimine sahip membran %97.6 ile %4 PVP katkılı membran olmuştur. En düşük giderim verimine sahip membran ise %90.25 verim ile %2 PVP+%2 kil içeren membran olmuştur. Bulanıklık giderim verimleri PSF türündeki membranlar için %90.25 ile %97.66 arasında değişmiştir. %2 PVP grubundaki membranlarda kil oranı %1' den %2' ye çıkarıldığında bulanıklık giderim veriminde düşüş olmuştur. %4 PVP grubundaki membranlarda kil ilavesi verimi düşürmüştü ancak %1' den %2' ye çıktığında verimde artış olmuştur. %8 PVP grubu için ise %1 ve %2 kil katkısının verime olumlu etki yaptığını görmek mümkündür.

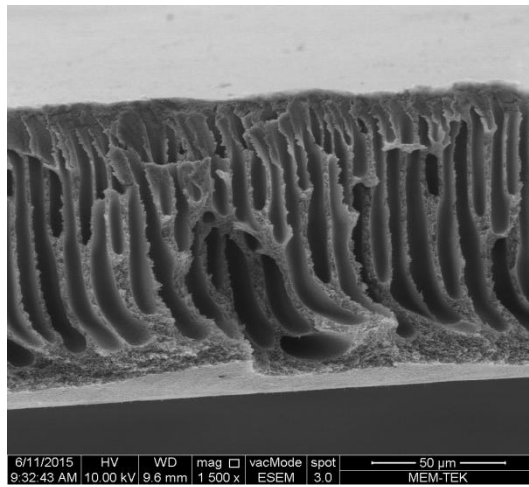


Şekil 4.27: PPS membranların bulanıklık giderim verimleri.

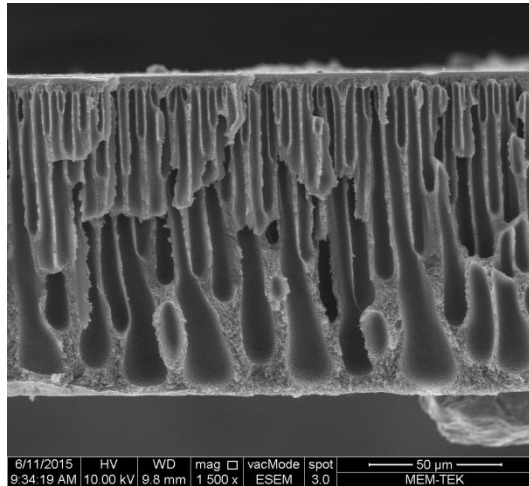
PPS membranlara ait bulanıklık giderim verimlerinin gösterildiği Şekil 4.27' deki grafiğe baktığımızda en yüksek verime sahip membranın %97.01 verime ulaşan %2 PVP+%1 kil içeriğine sahip membran olduğunu görmekteyiz. En düşük verime sahip membran ise %87.64 verime ulaşan %4 PVP+%0.5 kil içeriğindeki membrandır. Bu membran türünde de bulanıklık giderim verimleri %87.64-%97.01 aralığında değişmiştir. %8 PVP içeren membran grubunda kil oranı arttıkça giderim verimi de artmıştır. %4 PVP içeren membranlarda kil ilavesi verimi düşürmüştü ancak kilin oranı arttıkça giderim verimi artmıştır.

4.2.5. SEM Analizleri

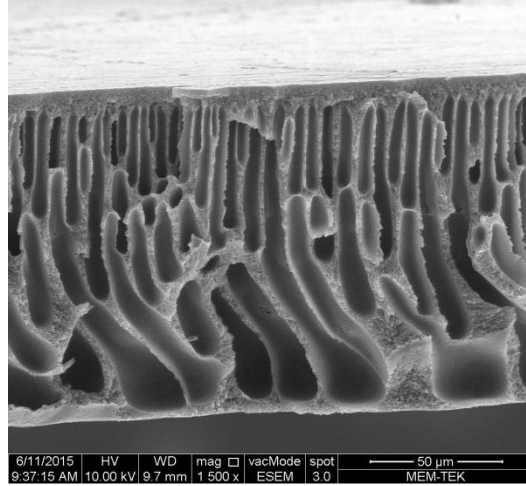
Membranlara ait SEM görüntüleri şekil 4.28, 4.29 ve 4.30 da sırasıyla PEI, PS ve PPS türündeki membranlar için verilmiştir. Membran yüzeyinden 600X, 1500X, 5000X ve 24000X büyütme değerlerinde taramalı elektron mikroskobu görüntüleri elde edilmiştir. Membranların hem temiz hem kirli hallerinin görüntüleri alınmış kirli membranlarda yüzeydeki kirlenmeyi görmek amacı ile yüzey görüntüleri de alınmıştır.



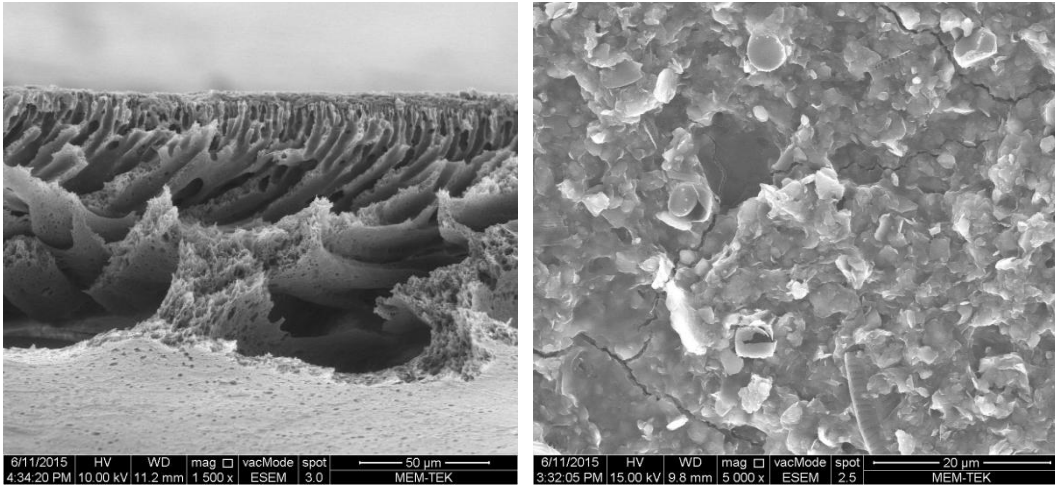
(a) Saf PEİ temiz membran



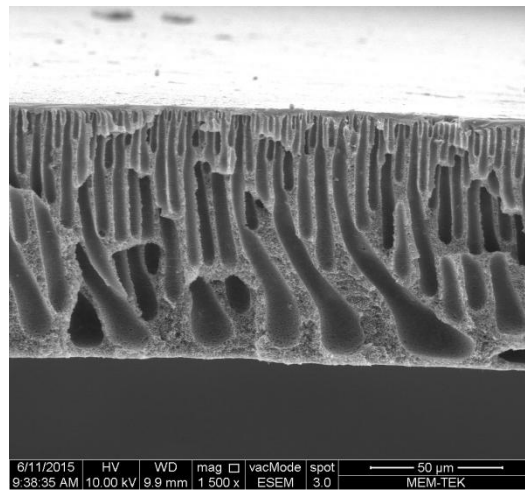
(b) %2 PVP PEİ temiz membran



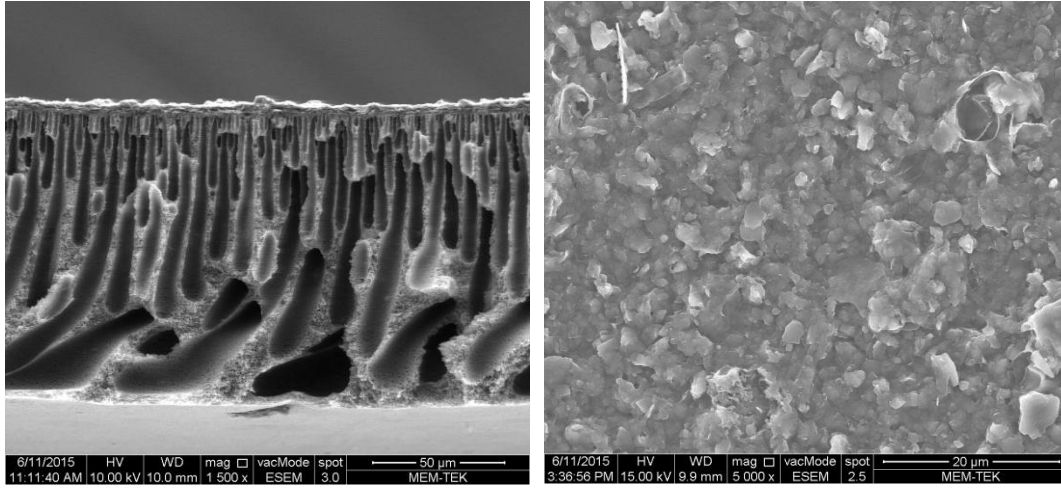
(c) %4 PVP PEİ temiz membran



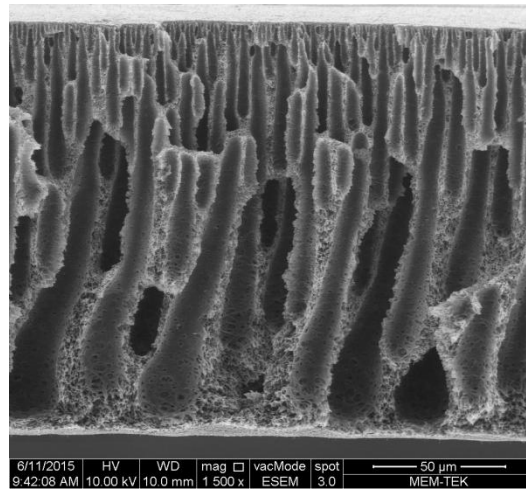
(d) %4 PVP PEİ kirli membran



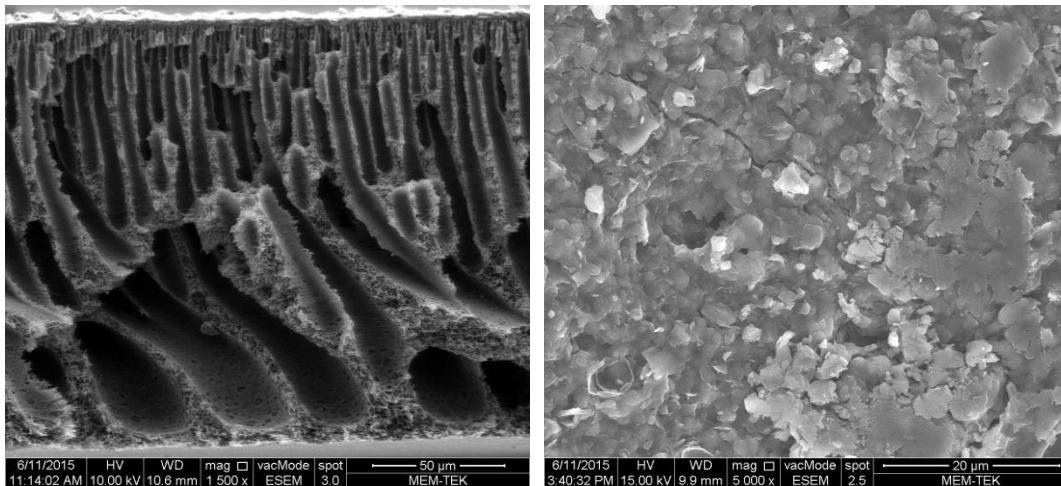
(e) %4 PVP+%0.5 kil PEİ temiz membran



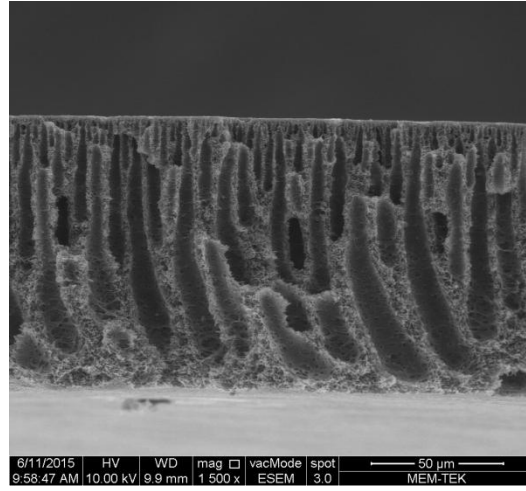
(f) %4 PVP+ %0.5 kil katkılı PEİ kirli membran



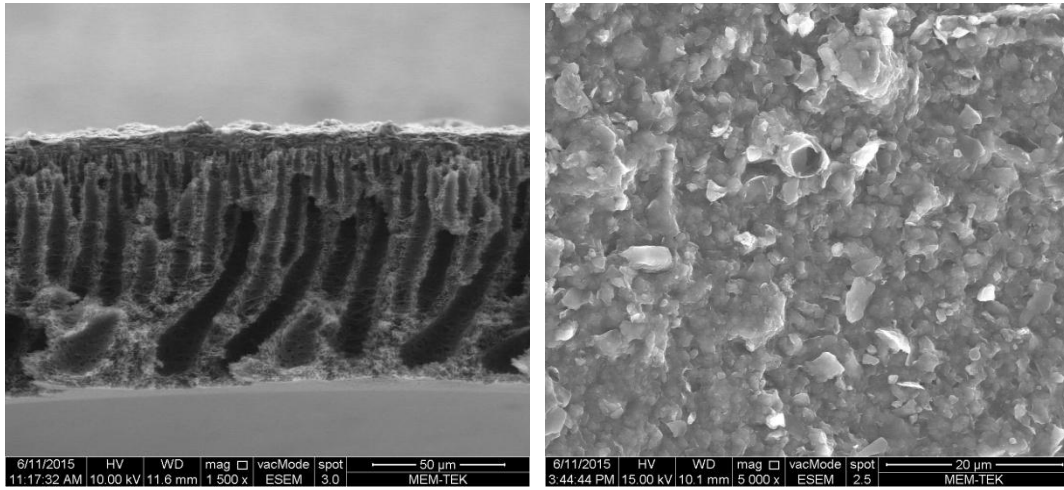
(g) %4 PVP+%1 kil PEİ temiz membran



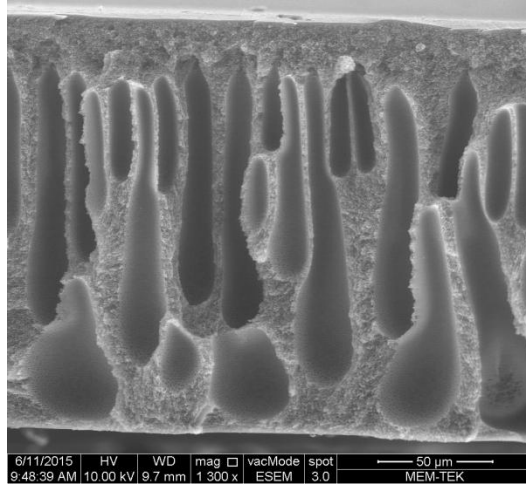
(h) %4 PVP+ %1 kil katkılı PEİ kirli membran



(i) %4 PVP+%2 kil PEİ temiz membran



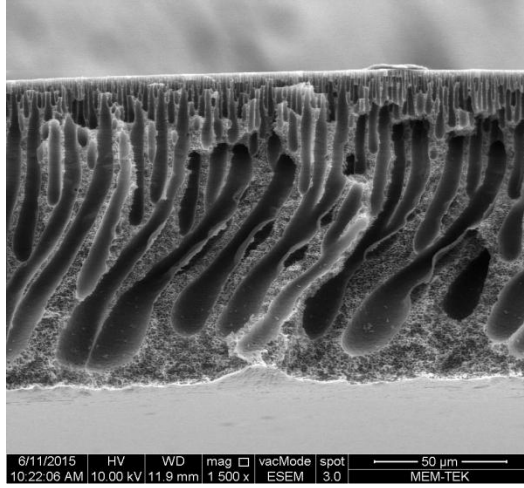
(j) %4 PVP+ %2 kil katkılı PEİ kirli membran



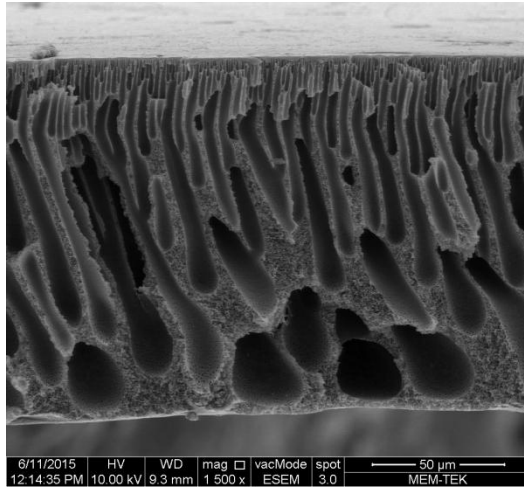
(k) %8 PVP PEİ temiz membran

Şekil 4.28: Saf, PVP Katkılı, PVP+Kil katkılı temiz ve kirli PEİ membranlara ait SEM görüntüleri.

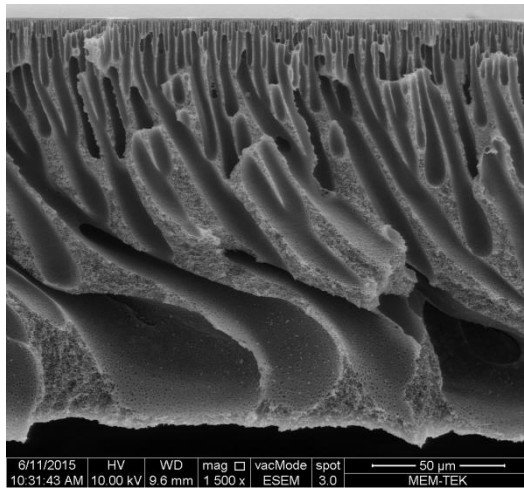
PEİ türündeki membranlara ait SEM görüntüleri Şekil 4.28’ de verilmiştir. Tüm görüntüler incelendiğinde membranların yoğun üst tabaka (dış tabaka ve hava yüzü) ve porlu alt tabakaya sahip asimetric bir yapıya sahip oldukları görülmektedir. Dış tabaka ayırma tabakası olarak çalışmaktadır. Alt tabakanın finger like denilen parmak şeklindeki boşluklara sahip olduğu ve alt yüzey tabakanın yakınlarında büyük boşluklar olduğu görülmektedir (Ma ve diğ., 2012). PVP katkısının etkisini görmek amacıyla a, b, c ve k’ deki görüntüler kıyaslandığında PVP oranı arttıkça parmak şeklindeki porların genişlediği ve alt tabakadaki boşlukların büyüdüğünü söylemek mümkündür. %4 PVP katkılı membranların c, e, g ve i’ deki görüntüleri karşılaştırıldığında kil oranı arttıkça parmak yapıların arttığı ve bu yapılar üzerinde süngerimsi şekilde deliklerin oluştuğu görülmektedir. %4 PVP katkılı membranın c ve d şıklarındaki temiz ve kirli görüntülerine bakıldığında kirlenme yüzeyde olmakla beraber porların da yapısını değiştirmiştir. %0.5 kil katkılı membranda kirlenmenin yüzeyde daha yoğun olduğunu porların yapısını belirgin bir şekilde değiştirmediğini e ve f’ deki görüntülere bakarak söyleyebiliriz. %1 kil katkılı membranın g ve h’ deki görüntüleri ile %2 kil katkılı membranın i ve j’ deki görüntüleri de yine kirlenmenin yüzeyde olduğunu göstermektedir.



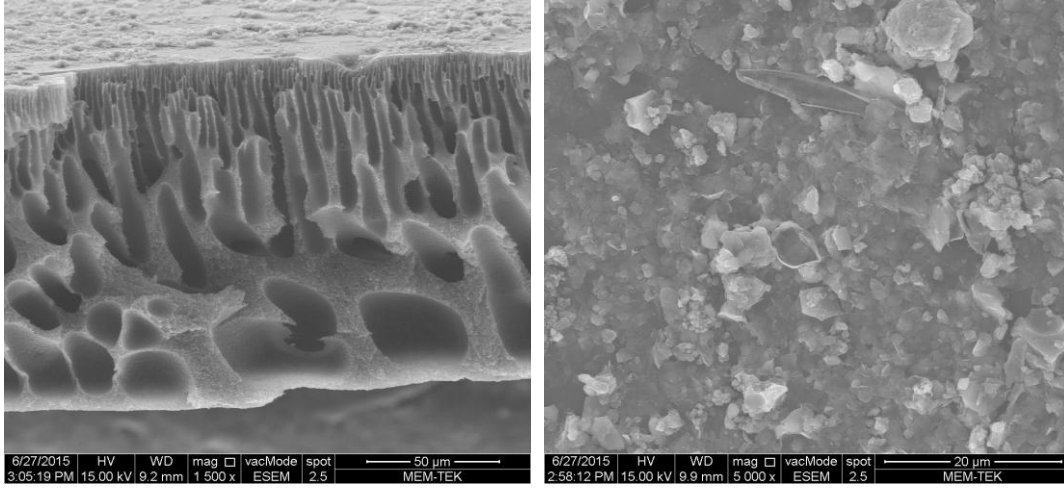
(a) Saf PSF temiz membran



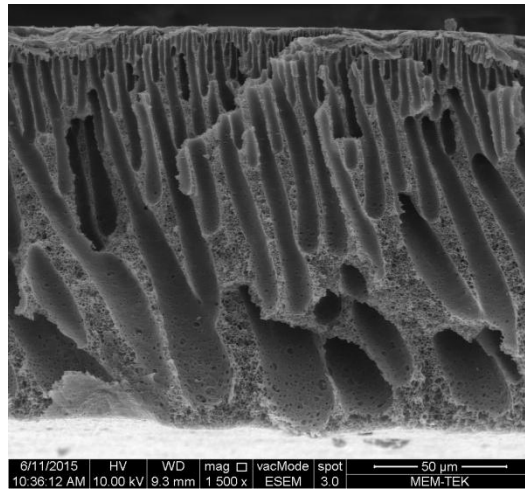
(b) %2 PVP katkılı PSF temiz membran



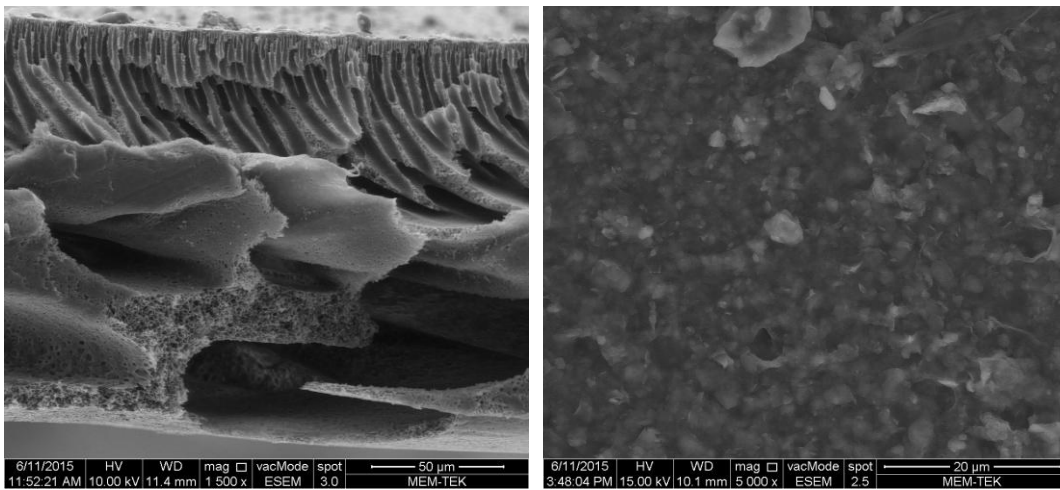
(c) %4 PVP katkılı PSF temiz membran



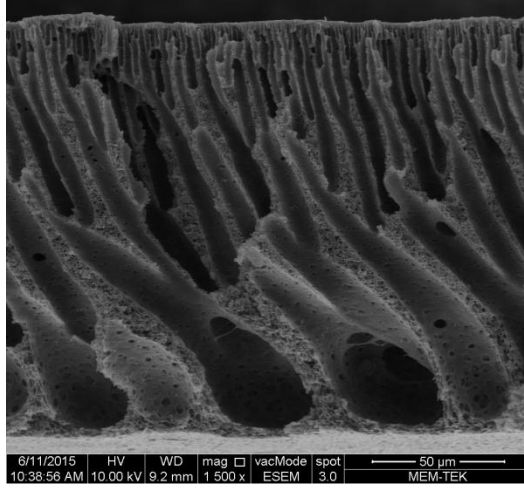
(d) %4 PVP katkılı PSF kirli membran



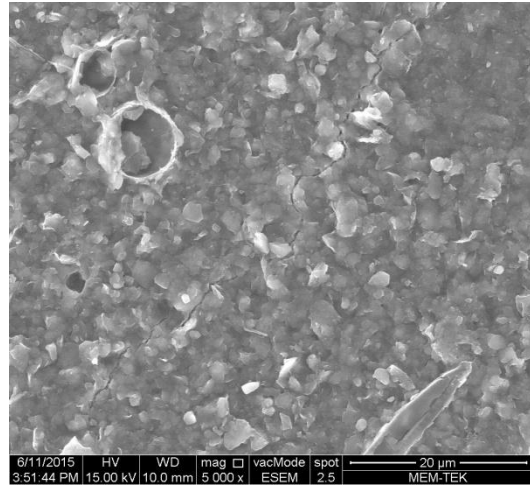
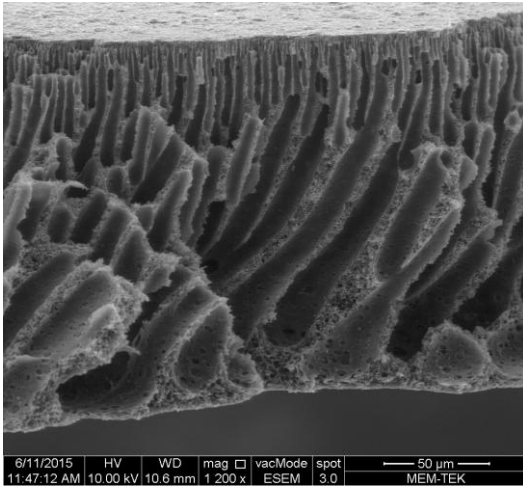
(e) %4 PVP+%0.5 kil katkılı PSF temiz membran



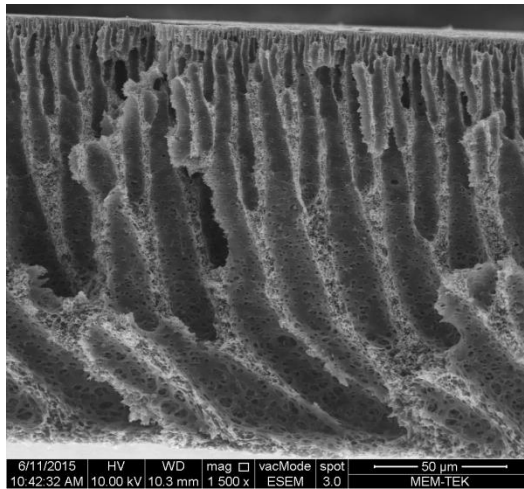
(f) %4 PVP+ %0.5 kil katkılı PSF kirli membran



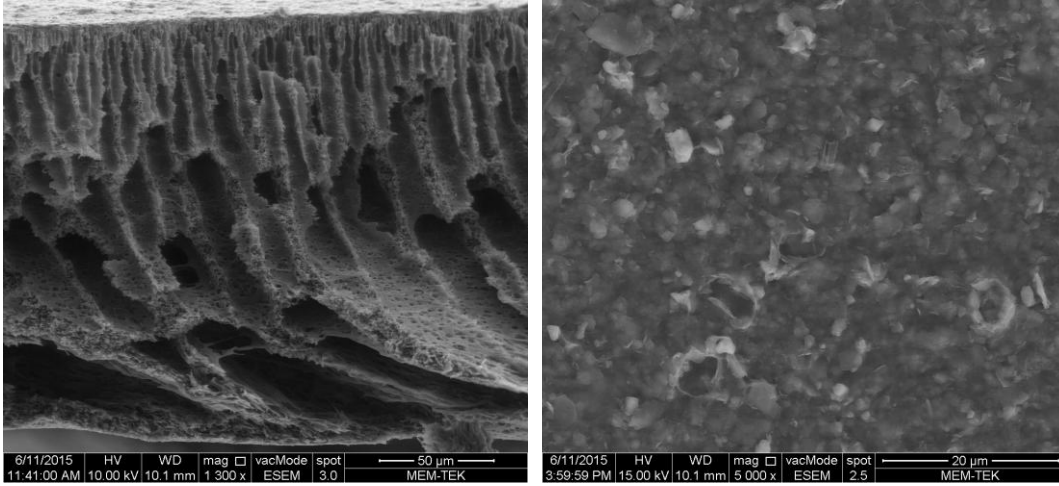
(g) %4 PVP+%1 kil katkılı PSF temiz membran



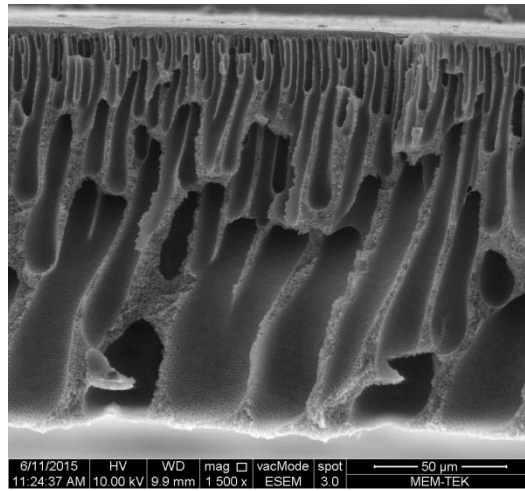
(h) %4 PVP+ %1 kil katkılı PSF kirli membran



(i) %4 PVP+%2 kil katkılı PSF temiz membran



(j) %4 PVP+%2 kil katkılı PSF kirli membran

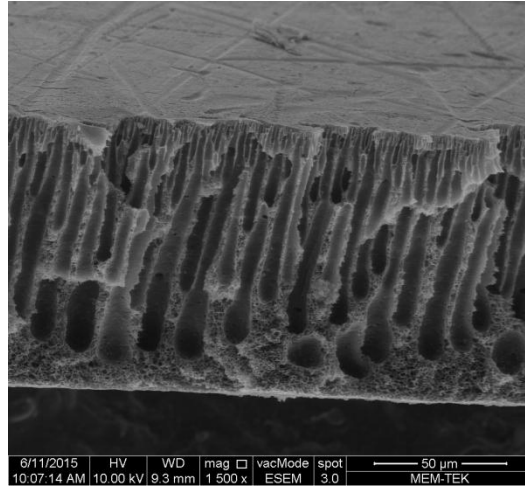


(k) %8 PVP katkılı PSF temiz membran

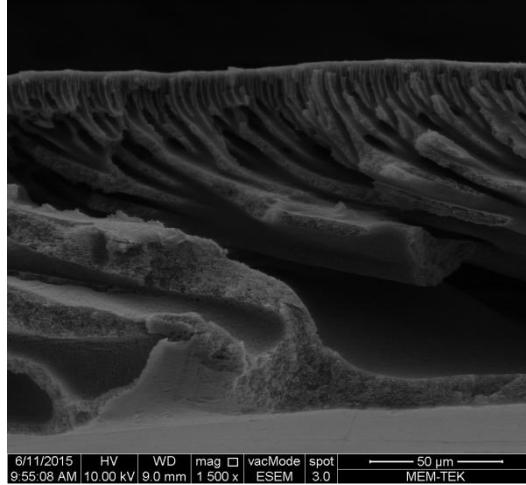
Şekil 4.29: Saf, PVP Katkılı, PVP+Kil katkılı temiz PSF membranlara ait SEM görüntüleri.

PSF membranlara ait Şekil 4.29' daki SEM görüntülerinde PEİ membranlarda olduğu gibi yoğun yüzey tabakası ve porlu bir alt tabaka görülmektedir. Porlar yine parmak şeklinde yapılar olarak ortaya çıkmıştır. PVP oranının artmasıyla a, b, c ve k görüntülerinden anlaşıldığı üzere parmak şeklindeki yapılar artmış ve alt kısımdaki boşluklar genişlemiştir. Kil ilavesi ve oranının artmasıyla birlikte c, d, g ve i görüntülerine bakıldığında parmaksı yapıların uzadığı ve daha delikli hale geldiği görülmektedir. Kil oranı %0.5' den %1' e çıkarıldığında alt tabakada bulunan boşlukların genişlediği ancak %1' den %2' ye çıkarıldığında alt tabakadaki boşlukların daraldığını söylemek mümkündür. Kirilenmenin nasıl olduğunu görmek

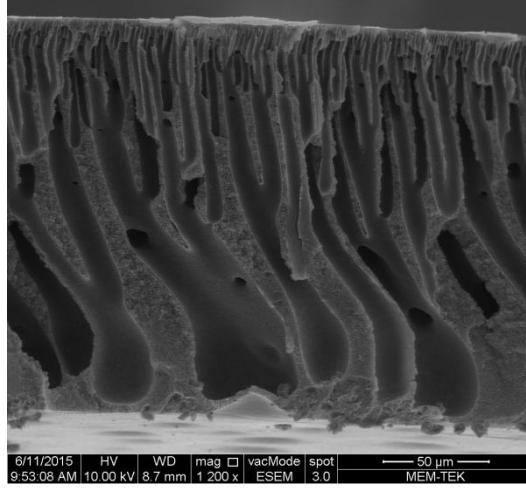
amacıyla %4 PVP+%0.5 kil katkılı membranın e ve f' deki görüntülerine bakıldığında kirliliğin yüzeyde yoğunlaştığı ancak alt tabakadaki boşlukları parçalanmış gibi görünen daha büyük yapılar haline getirdiğini görmek mümkündür. %1 kil katkılı membranda g ve h görüntülerinde kirlenme yüzeyde yoğunlaşırken %2 kil katkılı membranda yüzey kirlenmesinin yanında alt tabakadaki boşlukların da yapısında değişme olarak genişlediğini i ve j' deki görüntülere bakarak söyleyebiliriz.



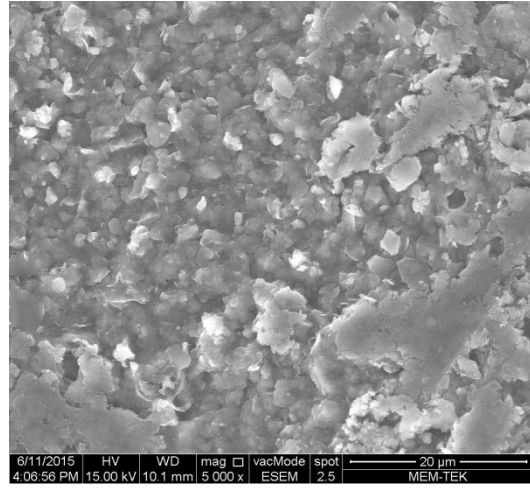
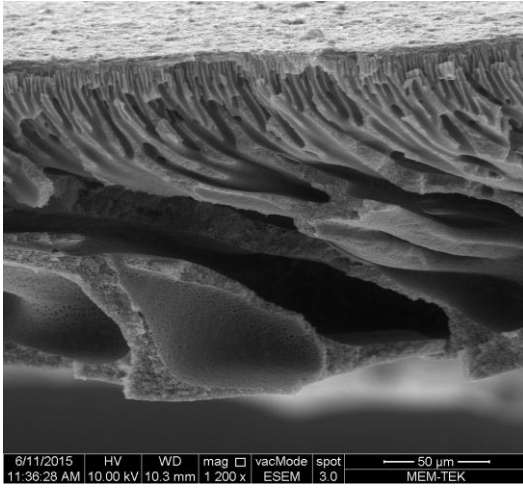
(a) Saf PPS temiz membran



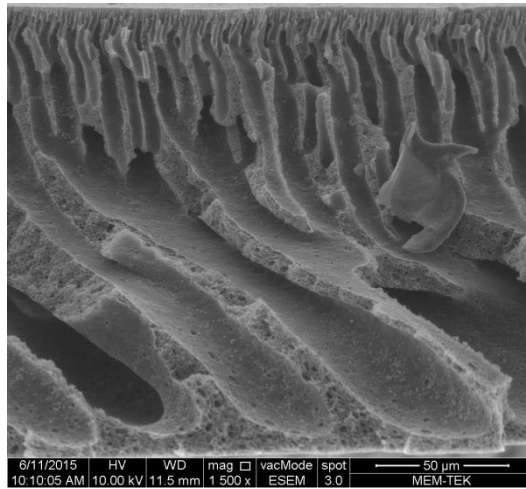
(b) %2 PVP katkılı PPS temiz membran



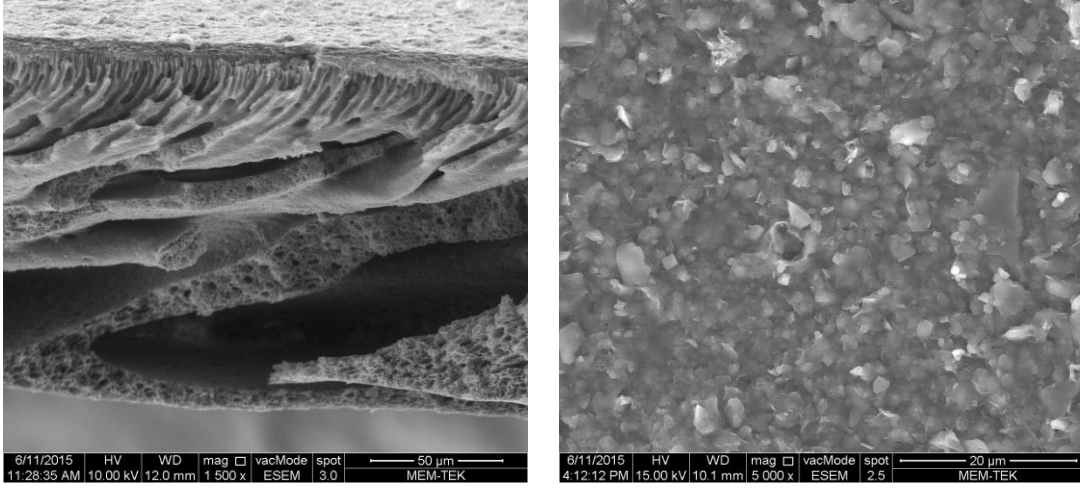
(c) %4 PVP katkılı PPS temiz membran



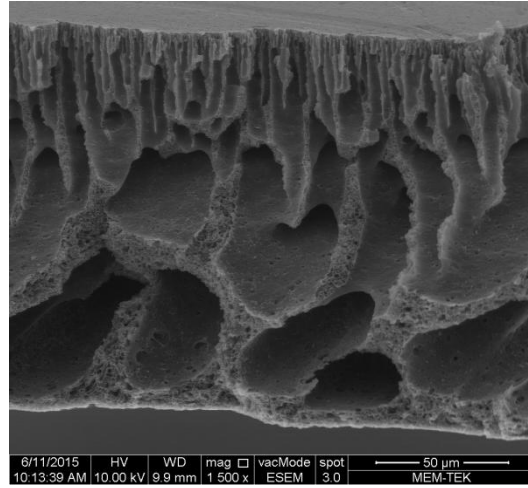
(d) %4 PVP katkılı PPS kirli membran



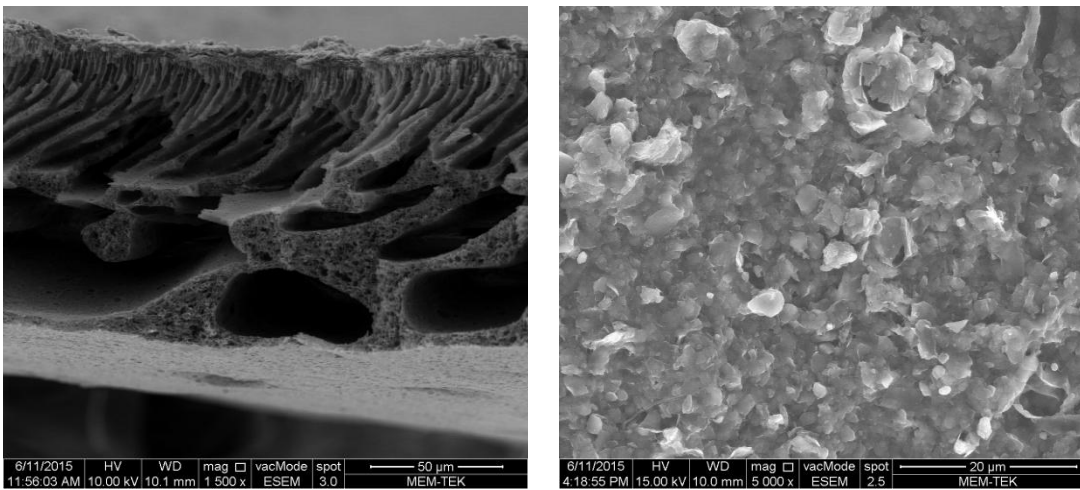
(e) %4 PVP + %0.5 kil katkılı PPS temiz membran



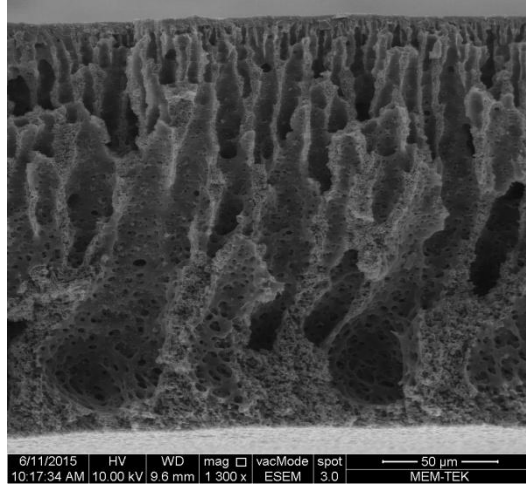
(f) %4 PVP+%0.5 kil katkılı PPS kirli membran



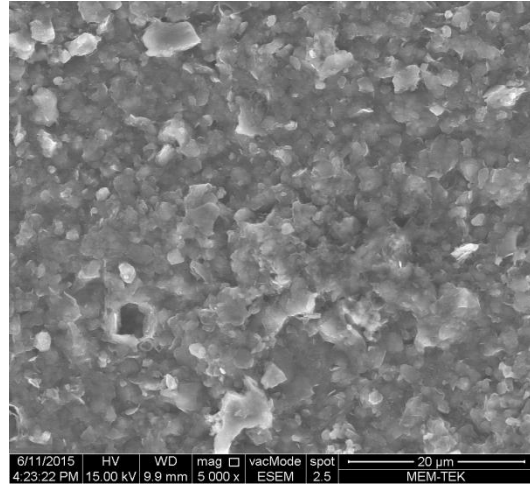
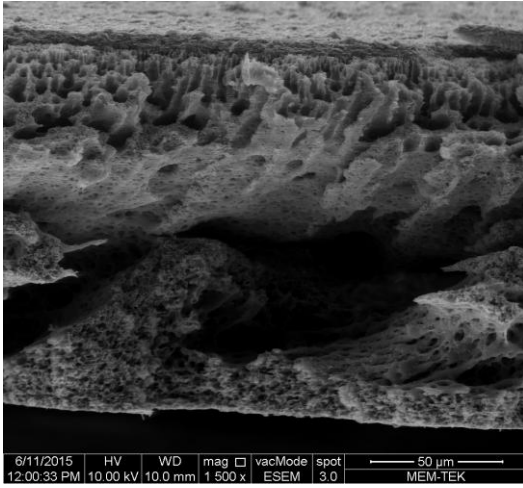
(g) %4 PVP + %1 kil katkılı PPS temiz membran



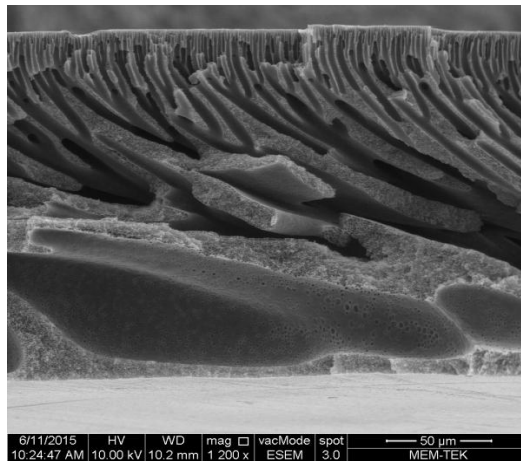
(h) %4 PVP+%1 kil katkılı PPS kirli membran



(i) %4 PVP + %2 kil katkılı PPS temiz membran



(j) %4 PVP+%2 kil katkılı PPS kirli membran



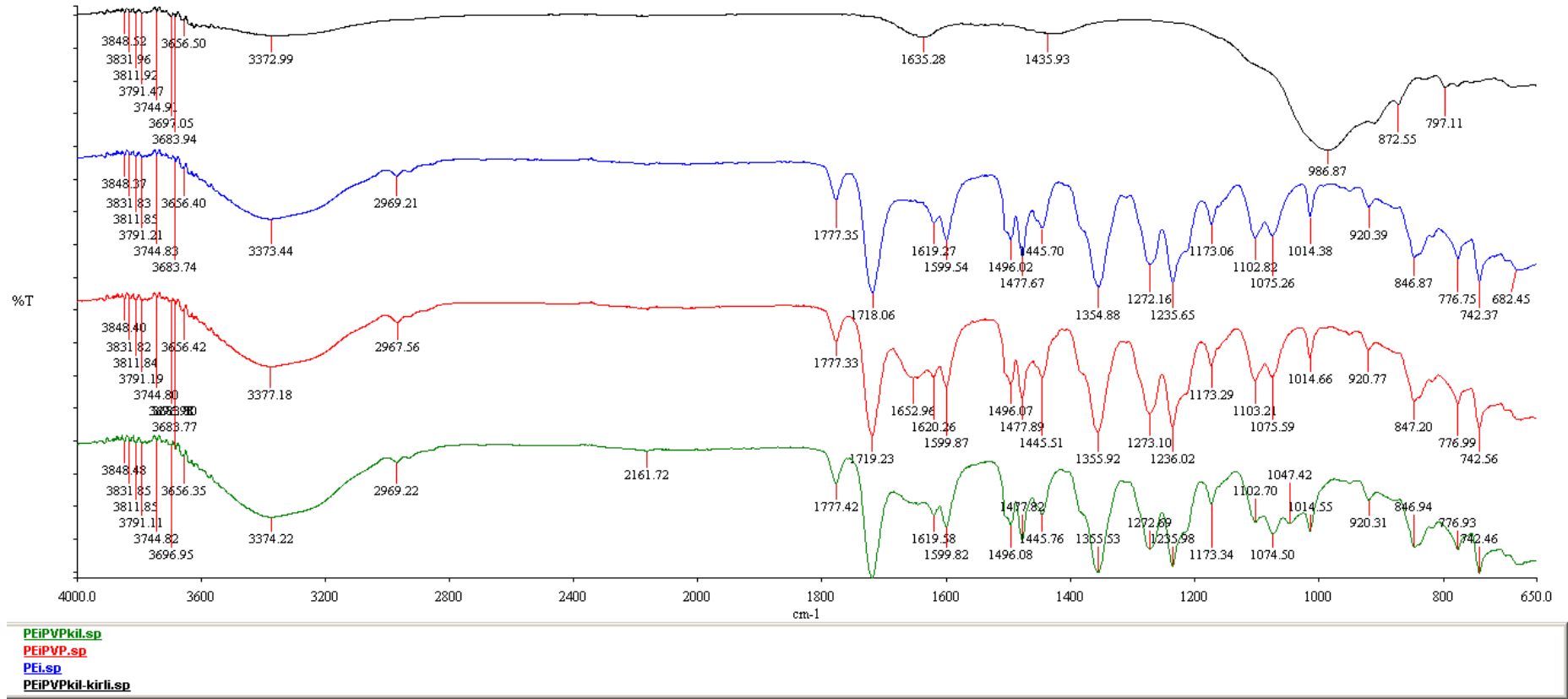
(k) %8 PVP katkılı PPS temiz membran

Şekil 4.30: Saf, PVP Katkılı, PVP+Kil katkılı temiz ve kirli PPS membranlara ait SEM görüntüleri.

Şekil 4.30' da verilen PPS türündeki membranların SEM görüntülerine bakıldığında diğer polimer türündeki membranlarda olduğu gibi yoğun üst tabaka ve porlu alt tabakadan oluşmuşlardır. Saf membrana ait a şıkkındaki görüntüde uzun parmaklı yapıların olduğu görülmektedir. Ancak b' deki görüntüye bakıldığında PVP ilavesinin parmaklı yapıları kısaltarak uzun ve büyük boşluklar oluşturduğunu söyleyebiliriz. b, c ve k' deki görüntüler kıyaslandığında PVP oranı %2' den %4' e çıkarıldığında parmaklı yapıların daha düzenli bir hal alarak alt tabakadaki boşlukların daraldığı ancak PVP oranı %8' e çıkarıldığında alt taraftaki boşlukların tekrar genişlediğini görmek mümkündür. Kil ilavesi ile c ve e görüntülerinden anlaşıldığı üzere alt taraftaki boşluklarda genişleme olmuştur. Kil oranının %0.5' den %1' e çıkarılması ile e ve g' deki görüntülere bakılarak parmaklı yapıların kısalıp boşlukların yuvarlak ve büyük boşluklar haline geldiğini görmekteyiz. Kil oranı %2' ye çıkarıldığında ise parmaklı yapıların iyice belirginliğini yitirerek süngerimsi bir yapının olduğu açıkça görülmektedir. Kirlenmenin bu polimer türündeki membranlarda yine yüzeyde yoğunlaştığını ve üst yüzeye yakın porlarda kirlenme olduğunu söylemek mümkündür.

4.2.6. FT/IR Analizleri

FT/IR çalışmaları, Perkin Elmer Spectrum 100 FT/IR spektrofotometresinde gerçekleştirilmiştir. PVP katkısız, PVP katkılı ve PVP+kil katkılı membranların temiz hallerinin FT/IR spektrumları değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.31, 4.32 ve 4.33' de verilmiştir.

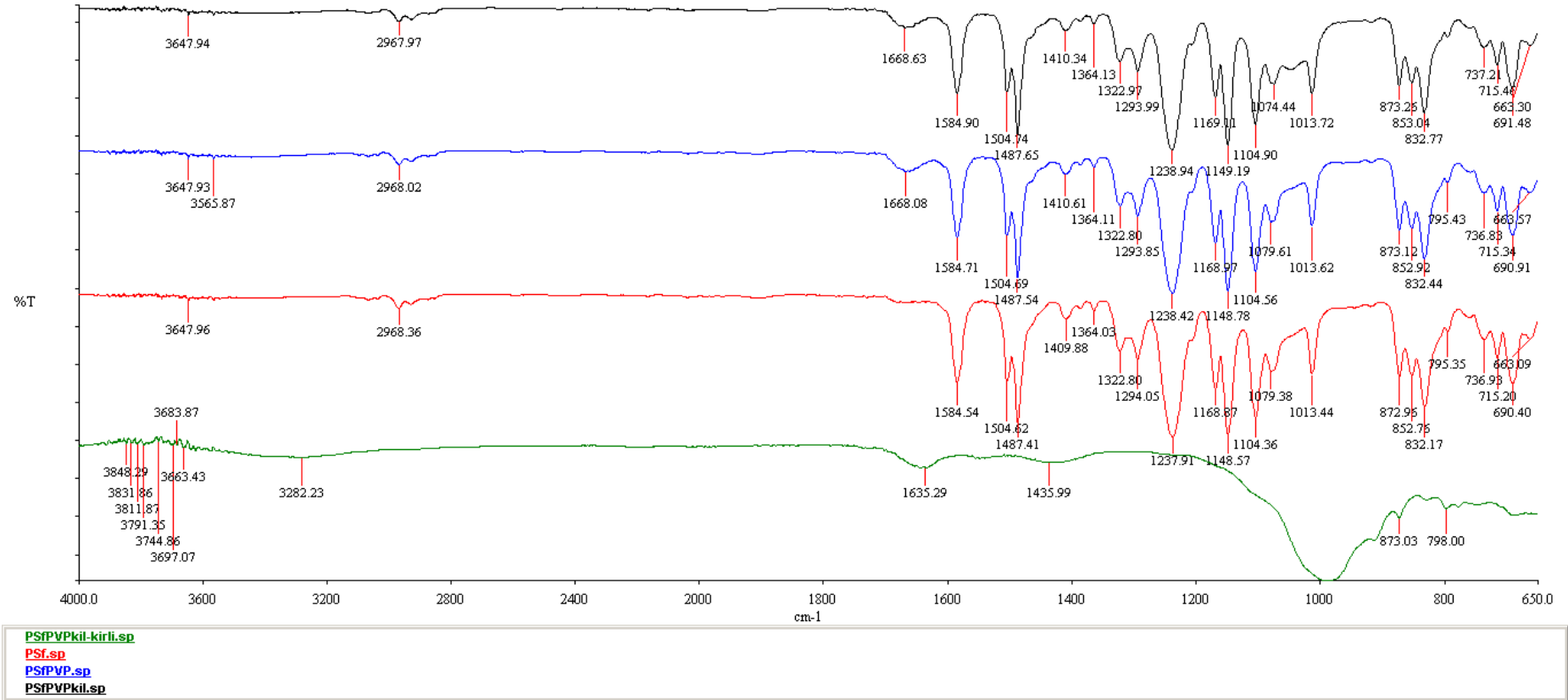


Şekil 4.31: Saf, PVP ve PVP+Kil katkılı temiz ve PVP+kil katkılı kirli PEİ membranlara ait FT/IR verileri.

Saf ve katkılı PEİ membranlara ait FT/IR spektrumunda farklı dalga boylarında birçok pikin olduğu görülmektedir. Her bir dalga boyu membrandaki organik bağları ve grupları ifade etmektedir.

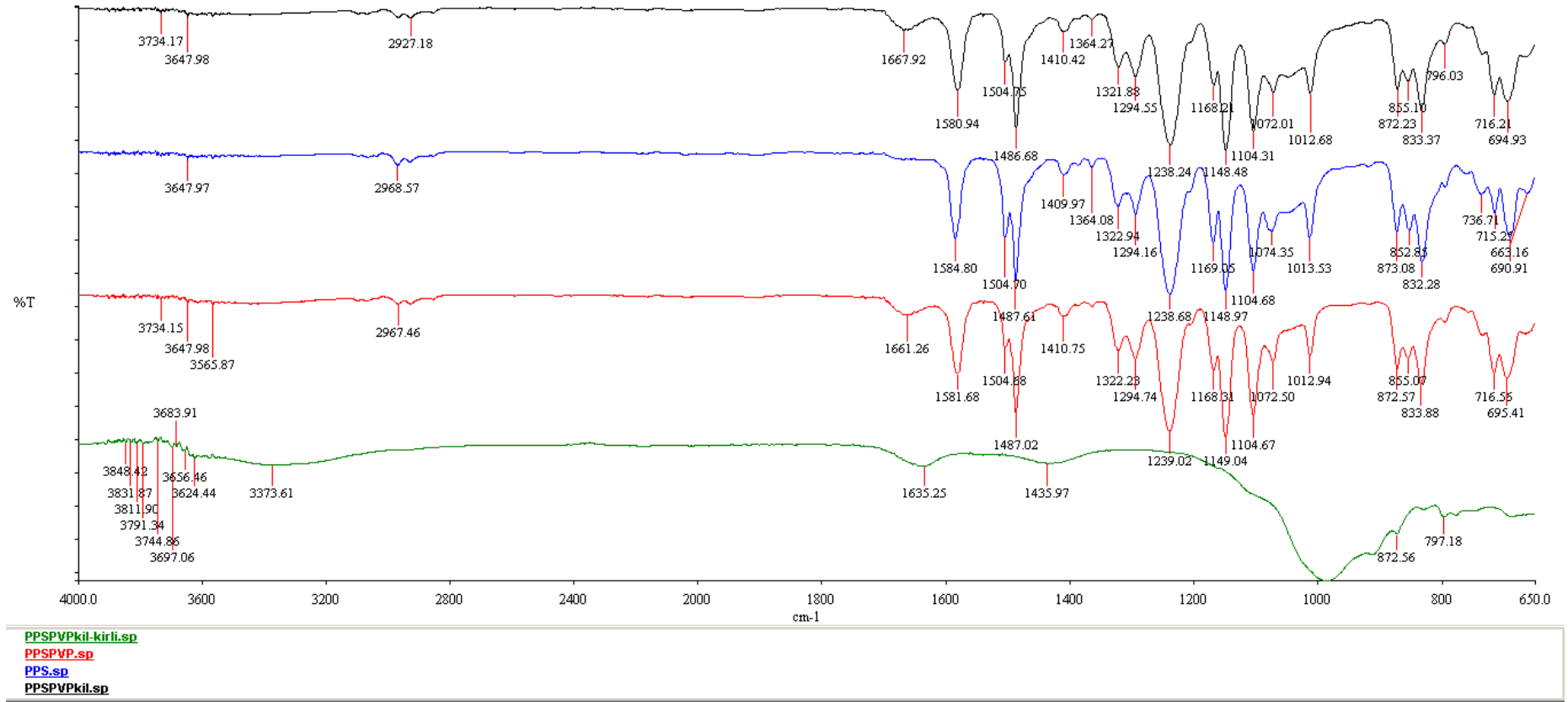
PEİ membranın FT/IR spektrasına bakıldığında 1777 ve 1718 cm^{-1} de karakteristik imid gruplarının tipik imid karbonil asimetrik ve simetrik gerilmeleri görülmektedir. 1355 ve 742 cm^{-1} de C-N gerilme ve eğilmesi, ve 1235 cm^{-1} dalga boyunda C-O-C aromatik eter grubu görülmektedir (Le-Clech ve diğ., 2006). 2969 cm^{-1} dalga boyunda CH_3 e bağlı C-H gerilmesi görülmektedir. Kil katkılı membranda 1047 cm^{-1} dalga boyunda Si-O gerilmesinden kaynaklı pikler görülmektedir (Anadao ve diğ., 2013). 1619 da C=N gerilmesi ve 1599 da fenil kaynaklı gerilmeler olmuştur.

Kirli membrana ait spektruma bakıldığında 2969 ve 1777 cm^{-1} arasındaki tüm grubun kaybolduğu görülmektedir. Ayrıca 1619 ve 986 cm^{-1} arasındaki aromatik eter gruplarının C-O-C bağları, C-N gerilme ve eğilmesi ve Si-O gerilmeleri kaybolmuştur. 986 cm^{-1} de organik kirlenmeye bağlı bir pik oluşmuş, 776 ve 742 deki piklerin yerine 797 cm^{-1} de Si-O-Al titreşimi görülmektedir (Anadao ve diğ., 2013).



Şekil 4.32: Saf, Pvp Katkılı, Pvp+Kil katkılı temiz ve PVP+kil katkılı kirli PSf membranlara ait FT/IR verileri.

Saf, PVP katkılı ve PVP+kil katkılı PSF membranlara ait FT/IR spektrumları Şekil 4.32’ de verilmiştir. 1487 cm^{-1} dalga boyunda benzen halkasından gelen aromatik bantlar görülmektedir. 1322 cm^{-1} ’ de CSO_2C asimetric gerilmesi oluşmuştur. 1238 cm^{-1} dalga boyunda aromatik eterlerden kaynaklı $\text{C}=\text{C}$ gerilmesi görülmektedir. 1013 cm^{-1} dalga boyunda asimetric $\text{C}-\text{O}$ gerilmesinden kaynaklı pikler oluşmuştur(Anadao ve diğ., 2013). PVP katkılı membranlarda PVP ilavesinden dolayı 1668 cm^{-1} dalga boyunda birincil amid gerilmesi gözlenmiştir (Susanto ve Ulbricht, 2009). Kirli membrana bakıldığında 2967 cm^{-1} deki dalga kaybolmuştur ve 3282 cm^{-1} ’ e yükselmiştir. 1668 cm^{-1} deki dalga 1635 ’ e gerilemiştir. Kirletici gruplar $1584\text{-}1013\text{ cm}^{-1}$ arasındaki pikleri kapatmıştır. Bunun dışında 987 cm^{-1} ’ de organik kirlenmeye bağlı ve 798 cm^{-1} $\text{Si}-\text{O}-\text{Al}$ titreşimine bağlı pikler görülmüştür.



Şekil 4.33: Saf, PVP Katkılı, PVP+Kil katkılı temiz ve PVP+kil katkılı kirli PPS membranlara ait FT/IR verileri.

Saf, PVP katkılı ve PVP+kil katkılı PPS membranlara ait FT/IR spektrumu Şekil 4.33' de verilmiştir. 1487 cm^{-1} dalga boyunda benzen halkasından gelen aromatik bantlar görülmektedir. 1238 cm^{-1} dalga boyunda aromatik eterlerden kaynaklı C=C gerilmesi görülmektedir (Susanto ve Ulbricht, 2009). 1322 cm^{-1} CSO₂C asimetrik gerilmesinden kaynaklı bir pik oluştuğu görülmektedir. 1012 cm^{-1} dalga boyunda asimetrik C-O gerilmesinden kaynaklı pikler oluşmuştur (Anadao ve diğ., 2013). PVP+kil katkılı membranlarda 2927 cm^{-1} dalga boyunda C-H gerilmesinden kaynaklı bir pik oluşmuştur. PVP katkılı membranda 1661 cm^{-1} dalga boyunda PVP+kil katkılı membranda ise 1667 cm^{-1} dalga boyunda --C=C bağı gerilmesi söz konusudur. PVP+kil katkılı membranda 796 cm^{-1} Si-O-Al titreşimine bağlı pik oluşmuştur. Kirli membranda 1364 cm^{-1} ve 1148 cm^{-1} dalga boylarındaki pikler kaybolmuştur. 987 cm^{-1} dalga boyunda ise yine kirlenmeye bağlı bir pik görülmektedir.

5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında polimerik nanokompozit membranlar faz inversiyon tekniği kullanılarak sentezlenmiş, daha sonra sentezlenen bu membranlardan uygun olanları ile Büyükçekmece gölünden alınan su numunelerinde batık membran düzeneğinde arıtılabilirlik çalışmaları yapılmıştır.

Membran üretimi için PEİ, PSF ve PPS polimerleri kullanılmıştır. Çözücü olarak NMP kullanılmıştır. Ayrıca gözenek oluşturuucu madde olan PVP kullanılmıştır. Nanoparçacık olarak kil seçilmiştir.

Seçilen polimerlerle (%22 oranında) farklı oranlarda PVP (%2, %4 ve %8) ve kil nanoparçacığı (%0.5, %1 ve %2) kullanarak düz plaka nanokompozit membranlar sentezlenmiştir.

Sentezlenen membranların karakterize edilmesi amacıyla geçirgenlik, temas açısı ve porozite ölçümleri yapılmıştır. PEİ membran için tüm membranlar içerisinde en düşük geçirgenlik değerine (15.5 L/m².sa.bar) %2 PVP+%1 kil oranına sahip membranla, en yüksek geçirgenlik değerine (87.6 L/m².sa.bar) %4 PVP+%1 kil oranına sahip membran ile ulaşılmıştır. PSF membran için tüm membranlar içerisinde en düşük geçirgenlik değerine (0.48 L/m².sa.bar) %22 PSF saf membran ile, en yüksek geçirgenlik değerine (113.3 L/m².sa.bar) %4 PVP+%2 kil oranına sahip membran ile ulaşılmıştır. PPS membran için tüm membranlar içerisinde en düşük geçirgenlik değerine (0.98 L/m².sa.bar) %22 PPS saf membran ile, en yüksek geçirgenlik değerine (142.3 L/m².sa.bar) %8 PVP oranına sahip kil içermeyen membran ile ulaşılmıştır.

PEİ membran için tüm membranlar içerisinde en düşük temas açısı (70.47°) %22 PEİ saf membran, en yüksek temas açısı ise (83.96°) %2 PVP+%2 kil oranına sahip membran ile elde edilmiştir. PSF membran için tüm membranlar içerisinde en düşük temas açısı (68.81°) %4 PVP membranda, en yüksek temas açısı ise (82.62°) %8 PVP oranına sahip membran ile elde edilmiştir. PPS membran için tüm membranlar içerisinde en düşük temas açısı (66.58°) %4 PVP membran, en yüksek temas açısı ise (83.48°) %4 PVP+%2 kil oranına sahip membran ile elde edilmiştir.

PEİ membran için tüm membranlar içerisinde en düşük porozite değeri (%51.51) %2 PVP+%2 kil içeren membran, en yüksek porozite değeri ise (%83.3) %4 PVP membran ile elde edilmiştir. PVP katkısı porozite değerlerinde genel olarak artışa sebep olmuştur, kil katkısı ve oranındaki değişimlerin porozite üzerinde net bir artış ya da azalış göstermediğini söyleyebiliriz. PSF membran için tüm membranlar içerisinde en düşük porozite değeri (%56.44) kil ve PVP içermeyen saf membranda, en yüksek porozite değeri ise (%88.38) %8 PVP+%1 kil oranına sahip membran ile elde edilmiştir. Bu polimer türündeki membranlarda da PVP katkısı porozite değerlerini arttırırken kil için net bir durum söz konusu olmamıştır. PPS membran için tüm membranlar içerisinde en düşük porozite değeri (%42) saf membran, en yüksek porozite değeri ise (%85.43) %2 PVP+%0.5 kil katkılı membran ile elde edilmiştir. %2 PVP oranına sahip membranlarda kil oranı arttıkça porozite değerlerinin düştüğünü, %4 PVP oranına sahip membranlarda ise kil oranı arttıkça porozite değerlerinin değişken olmakla beraber genel olarak arttığını söylemek mümkündür. %8 PVP grubundaki membranlarda ise kil ilavesi ile porozite değerleri yine değişken olmakla beraber genel olarak bir düşüş göstermiştir.

Deneyler için kullanılan su Büyükçekmece gölünden alınmış ve karakterizasyonu yapılmıştır. Çalışmada kullanılan suyun değerleri; TOK= 11.74 mg/L, Fe(II)= 0.136 mg/L, Mn(II)= 0.27 mg/L, UV_{254} = 0.0574, bulanıklık=5.42 NTU olarak bulunmuştur.

Çalışmanın 4. aşamasında sentezlenen membranlar ile batık membran deney düzeneğinde arıtım deneyleri yapılmıştır. Batık membran sisteminde 1 gün süre ile akı değerleri toplanmıştır.

PEİ membranlarda %2 PVP içeren grupta J_0 ve J_{denge} akıları bakımından en yüksek akı değerlerine %2 kil katkılı membranda ulaşılmıştır. En düşük değerlere ise kil ilave edilmemiş membranda ulaşılmıştır. %2 kil içeren membranda J_{denge} değeri $\sim 100-110$ L/m².sa bulunurken %0.5 kil içeren membranda bu değer $\sim 20-25$ L/m².sa bulunmuştur. %4 PVP oranında membran akısı bakımından en düşük J_{denge} değerleri kil içermeyen membranda $\sim 20-30$ L/m².sa, en yüksek J_{denge} değeri %2 kil içeren membranda $\sim 90-100$ L/m².sa olarak bulunmuştur. %8 PVP içeren membran grubunda %2 PVP ve %4 PVP içeren membranlara göre genel olarak daha düşük değerler elde edilmiştir. %2 PVP ve %4 PVP içeren membranlarda kil oranı arttıkça akı değerinin de arttığını söylemek mümkündür.

PSF membranlarda %2 PVP içeren grupta J_{denge} akıları karşılaştırıldığında %1 kil oranına sahip membranda $J_{\text{denge}} \sim 50 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ iken %2 kil oranına sahip membranda $\sim 100 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ olarak gözlenmiştir. %4 PVP oranında sahip membran akısı bakımından en yüksek akı değerine sahip membranın %2 kil oranına sahip membran olduğu görülmektedir. Kil içermeyen membran ise en düşük akı değerine sahip membrandır. J_{denge} değerleri kil içermeyen membran için $\sim 15-20 \text{ L/m}^2.\text{sa}$, %2 kil oranındaki membranda $\sim 70 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ olarak hesap edilmiştir. %8 PVP içeren membran grubunda en yüksek J_{denge} değeri %1 kil oranındaki membran için $\sim 60-65 \text{ L/m}^2.\text{sa}$, en düşük J_{denge} değeri %0.5 kil içeren membran için akı değeri ise $\sim 15 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ bulunmuştur. PSF membranlarda genel olarak kil oranı arttıkça akı değerleri artmıştır.

PPS membranlarda %2 PVP oranına sahip membranlar arasında kil ilavesinin membranların akı değerini arttırdığı açıkça görülmektedir. J_{denge} değerlerine bakıldığında en yüksek akı değeri $\sim 70-80 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ ile %1 kil içeren membran, en düşük akı değeri $\sim 50 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ ile %0.5 kil içeren membran olarak bulunmuştur. %4 PVP içeren membranlar arasında Denge akılarına bakıldığında en düşük akı değeri saf membranda $\sim 36-41 \text{ L/m}^2.\text{sa}$, en yüksek akı değeri %1 kil oranındaki membranda $\sim 65 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ olarak bulunmuştur. %8 PVP oranına sahip membranlarda denge akılarına bakıldığında en düşük akı değeri %0.5 kil içeren membran için $\sim 40-50 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ en yüksek akı değeri %2 kil içeren membran için $\sim 80 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ olarak bulunmuştur. %2 ve %4 PVP içeren membranlarda kil ilavesi membranların akı değerlerini genel olarak arttırmıştır. %8 PVP içeren grupta ise kil ilavesinin çok anlamlı olmadığını söylemek mümkündür. Bu polimer türünde PVP oranı arttıkça akı değerleri de artmıştır.

Fe(II) ve Mn(II) giderim verimlerine bakıldığında PEİ membran için en yüksek giderim %8 PVP+%0.5 kil oranında, en düşük giderim verimi ise %8 PVP+%2 kil oranında elde edilmiştir. PSF membran için en yüksek giderim verimi %4 PVP oranında, en düşük giderim verimi %2 PVP+%1 kil oranında elde edilmiştir. PPS membran için en yüksek giderim verimi %8 PVP+%1 kil oranında, en düşük giderim verimi ise %2 PVP oranında elde edilmiştir.

TOK giderim verimlerine bakıldığında PEİ membran için en yüksek giderim (%59) %22 PEİ saf membranda, en düşük giderim verimi ise (%27) %8 PVP+%2 kil oranında elde edilmiştir. PSF membran için en yüksek giderim verimi (%54) %4 PVP+%1 kil oranında, en düşük giderim verimi (%43) %2 PVP+%2 kil, %4 PVP ve %4 PVP+%2 kil oranında elde edilmiştir. PPS

membran için en yüksek giderim verimi (%56) %8 PVP+%0.5 kil oranında, en düşük giderim verimi ise (%36) %22 PPS saf membranda elde edilmiştir.

UV₂₅₄ giderim verimlerine bakıldığında PEİ membran için en yüksek giderim (%88) %8 PVP+%1 kil oranında, en düşük giderim verimi ise (%37) %2 PVP+%2 kil oranında elde edilmiştir. PSF membran için en yüksek giderim verimi (%87) %8 PVP oranında, en düşük giderim verimi (%42) %8 PVP+%2 kil oranında elde edilmiştir. PPS membran için en yüksek giderim verimi (%86) %8 PVP+%2 kil oranında, en düşük giderim verimi ise (%38) %2 PVP+%0.5 kil oranında elde edilmiştir.

Bulanıklık giderim verimlerine bakıldığında PEİ membran için en yüksek giderim verimi (%99) %2 PVP+%0.5 kil oranında, en düşük giderim verimi ise (%91) %8 PVP oranında elde edilmiştir. PSF membran için en yüksek giderim verimi (%98) %4 PVP oranında, en düşük giderim verimi (%90) %2 PVP+%2 kil oranında elde edilmiştir. PPS membran için en yüksek giderim verimi (%97) %2 PVP+%1 kil, en düşük giderim verimi ise (%88) %4 PVP+%0.5 kil oranında elde edilmiştir.

FT/IR sonuçları incelendiğinde PEİ membran ait temiz ve kirli membranlar karşılaştırıldığında kirlenmeye bağlı olarak 2969 ve 1777 cm^{-1} arasındaki tüm grubun ve 1619 ve 986 cm^{-1} arasındaki aromatik eter gruplarının C-O-C bağları, C-N gerilme ve eğilmesi ve Si-O gerilmeleri kaybolmuştur. 986 cm^{-1} de organik kirlenmeye bağlı bir pik oluşmuş, 776 ve 742 deki piklerin yerine 797 cm^{-1} de Si-O-Al titreşimi görülmektedir (Anadao ve diğ., 2013). PSF membrana ait temiz ve kirli membranlar karşılaştırıldığında kirlenmeye bağlı olarak 2967 cm^{-1} deki dalga kaybolmuştur ve 3282 cm^{-1} e yükselmiştir. 1668 cm^{-1} deki dalga 1635' e gerilemiştir. Kirletici gruplar 1584-1013 cm^{-1} arasındaki pikleri kapatmıştır. Bunun dışında 987 cm^{-1} de organik kirlenmeye bağlı ve 798 cm^{-1} Si-O-Al titreşimine bağlı pikler görülmüştür. PPS membrana ait temiz ve kirli membranlar karşılaştırıldığında kirlenmeye bağlı olarak 1364 cm^{-1} ve 1148 cm^{-1} dalga boylarındaki pikler kaybolmuştur. 1000 cm^{-1} dalga boyunda ise yine kirlenmeye bağlı bir pik görülmektedir.

SEM görüntülerine bakıldığında tüm membran türleri için kirlenme yoğun olarak yüzeyde görülürken PPS türündeki membranlarda yüzeye yakın porlarda da kirlenme olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak;

- Sentezlenen polimerik nanokompozit düz plaka membranlar ile yüksek oranda bulanıklık, UV_{254} , AKM, Fe(II) giderim verimlerine ulaşılmıştır.
- Üretilen tüm membranlar için optimum PVP oranları %2 ve %4 tür.
- Tüm membranlar içerisinde en yüksek akıda en yüksek giderim verimlerine sahip membran %22 PEI %4 PVP+%0.5 kil oranındaki membrandır.
- TOK giderim verimleri açısından düşünüldüğünde bu membranların ön arıtım amacıyla ya da ilave arıtım kademeleri ile birlikte kullanımı daha uygun gözükmektedir.

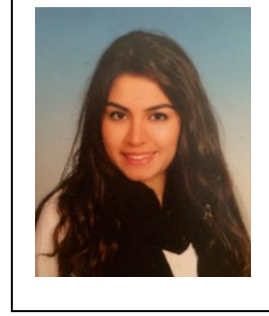
KAYNAKLAR

- Akdağlı M., Arslan S., 2008, *Ters Ozmos İleri Arıtma Sistemleri ile Çok Amaçlı Su Arıtımında Proses Tasarımı*, İ.Ü., Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- American Water Works Association, 2008, Microfiltration and ultrafiltration membranes for drinking water, *Journal*, 100 (12), 84-97.
- Anadao P., Montes R. R., Larocca N. M., Pessan L. A., 2013, Influence of the clay content and the polysulfone molar mass on nanocomposite membrane properties, *Applied Surface Science*, 275, 110-120.
- Baker R.W., 2004, *Membrane Technology and Applications*, 2nd ed., NewYork, McGraw-Hill.
- Chaea S., R., Yamamurab, H., 2009, Fouling characteristics of pressurized and submerged PVDF (polyvinylidene fluoride) microfiltration membranes in a pilot-scale drinking water treatment system under low and high turbidity conditions, *Desalination*, 244, 215–226.
- Cheremisinoff, N.P., 2002, *Handbook of Water and Waste Water Treatment Technologies*, Butterworth-Heinemann, USA, ISBN: 0-7506-7498-9, 360-367.
- Cadotte J.E., Petersen R.J., Larson R.E., Erickson E.E., 1980, New thin-film composite seawater reverse-osmosis membrane, *Desalination*, 32, 25–31.
- Çakmakcı M., 2012, *Membran Uygulamaları Ders Notları*, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Fane A. G., Cho B. D, 2002. Fouling transients in nominally subcritical flux operation of a membrane bioreactor, *Journal of Membrane Science*, 209 (2), 391–403.
- Güçlü S, 2012, İki Farklı Polimerden Simultane Olarak Elektrospinning Yöntemiyle Nanolif ve Membran Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ.
- Kitiş M., Yiğit N. Ö., Köseoğlu H., Bekaroğlu Ş. Ş., 2011, *İleri Atıksu Arıtma ve Atıksuların Tekrar Kullanılması Ders Notu*, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Temel Mühendislik Eğitimi Programı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Koyuncu İ., Topacık, D., 1999, Sızıntı Sularının Membran Teknolojisi ile Arıtımı, *Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Semp '99*, İstanbul.
- Koyuncu İ., 2009, *Çevre Mühendisliğinde Membran Prosesler Ders Notları*, İTÜ.
- Lalia B.S., Kochkodan V., Hashaikeh R. , Hilal N., 2013, A review on membrane fabrication: Structure, properties and performance relationship, *Desalination*, 326, 77–95.

- Lee S., Park P.K., Kim J. H., Yeon K. M., Lee C. H., 2008, Analysis of filtration characteristics in submerged microfiltration for drinking water treatment, *Water Research*, 42 (12), 3109-3121.
- Le-Clech P., Chen V., Fane T. A. G., 2006, Review: Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment, *Journal of Membrane Science*, 284, 17–53.
- Liu F., Hashim N.A., Liu Y.T., Abed M.R.M., Li K., 2011, Progress in the production and modification of PVDF membranes, *Journal of Membrane Science*, 375, 1–27.
- Luo M. L., J. Q. Zhao, et al., 2005, Hydrophilic modification of poly(ether sulfone) ultrafiltration membrane surface by self-assembly of TiO₂ nanoparticles, *Applied Surface Science*, 249(1-4), 76-84.
- Ma Y., Shi F., Zhao W., Wu M., Zhang J., Ma J., Gao C., 2012, Preparation and characterization of Psf/clay nanocomposite membranes with LiCl as a pore forming additive, *Desalination*, 303, 39-47.
- Mulder M., 1991, *Basic Principles of Membrane Technology*, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Mulder M., 1996, *Basic principles of membrane technology*, 2nd ed., Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, ISBN 0–923–9248–8.
- Pinnau I., Freeman B.D., 2000, Formation and modification of polymeric membranes: overview, *Membrane Formation and Modification*, 744, 1–22.
- Sadeghi F., Ajji A., Carreau P. J., 2007, Analysis of microporous membranes obtained from polypropylene films by stretching, *Journal of Membrane Science*, 292 (1-2), 62-71.
- Scott K., 1995, *Handbook of industrial membranes*: Elsevier, Oxford, ISBN 1-85617-233-3.
- Singh, R., 1998, Industrial Membrane Separation Processes, *Chemtech*, 4, 33-44,
- Susanto H., Ulbricht M., 2009, Characteristics, performance and stability of polyethersulfone ultrafiltration membranes prepared by phase separation method using different macromolecular additives, *Journal of Membrane Science*, 327, 125-135.
- Todaro C. L., Edited by Vogel H. C., and Todaro, C. L., 1997, *Fermentation And biochemical engineering handbook: principles, process design, and equipment*, Noyes Publications, USA, 243-244.
- Trommer K., Morgenstern B., 2010, Nonrigid microporous PVC sheets: preparation and properties, *Journal of Applied Polymer Science*, 115, 2119–2126.
- Yang Y., Zhang, H., Wang, P., Zheng, Q., Li, J., 2007, The influence of nano-sized TiO₂ fillers on the morphologies and properties of PSF-UF membrane, *Journal of Membrane Science*, 288, 231-238.

- United States Environmental Protection Agency, 2005. *Membrane Filtration Guidance Manual* : 33-34 , 52-56.
- Wang L.K., Hung, Y.T., Shamas, N.K., 2004, *Physicochemical Treatment Processes*, Handbook of Environmental Engineering Series, Vol 3, Humana Press, USA.
- Zhang T. C., Surampalli, R. Y., Vigneswaran, S., Tyagi, R., Ong, S. L., & Kao, C., 2012, *Membrane Technology and Environmental Applications*, Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers, USA, ISBN 978-0-7844-7689-5.
- Zodrow K., L. Brunet, Mahendra S., Li D., Zhang A., Li Q., Alvarez P. J. J., 2009, Polysulfone ultrafiltration membranes impregnated with silver nanoparticles show improved biofouling resistance and virus removal, *Water Research*, 43(3), 715-723.
- Zularisam A.W., Ismail, A.F., Razman S., 2006, Behaviours Of Natural Organic Matter In Membrane Filtration For Surface Water Treatment — A Review, *Desalination*, 194, 211–231.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Öykü MUTLU
Uyruğu	T.C.
Doğum tarihi, Yeri	Ankara, 1990
Telefon	05367833347
E-mail	Mutluoyku@gmail.com

Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Yüksek Lisans	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü/Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı /Çevre Mühendisliği Programı	2015
Lisans	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü/Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı /Çevre Mühendisliği Programı	2012
Lise	Ankara Cumhuriyet Anadolu Lisesi	2008

Makaleler / Bildiriler

Mutlu Ö., Tüfekci N., “ PVDF Membranların Üretimi ve Polimer Konsantrasyonunun Membranların Karakteristiği Üzerindeki Etkileri”, Sağlıklı Su Yönetimi Kongresi, ERZURUM, TÜRKİYE, 20-22 Mayıs 2015, s.60.

Çelik S.Ö., Tüfekci N., Mutlu Ö., Türkoğlu Demirkol G., "Farklı Yüzeylerde Kitosan Katkısı İle Düz-Plaka Membran Üretimi Ve Karakterizasyonu", Sağlıklı Su Yönetimi Kongresi, ERZURUM, TÜRKİYE, 20-22 Mayıs 2015, s.100.

Ormancı T., Türkoğlu Demirkol G., Güneş Durak S., Mutlu Ö., Tüfekçi N.,
"Removing Of Fe(II) And Humic Acid Together By Adsorption And
Coagulation Process ", International Conference on Environmental Science
and Technology, NEVŞEHİR, TÜRKİYE, 18-21 Haziran 2013, pp.280-281.