



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



DOKTORA TEZİ

**KARBONNANOTÜP KATKILI POLİMERİK MEMBRANLARIN
İÇMESUYU ARITIMINDA KULLANILMASI**

Vildan CANSIZ SELÇUK

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

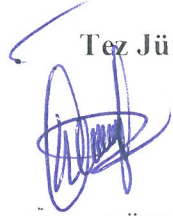
**DANIŞMAN
Prof. Dr. Neşe TÜFEKÇİ**

**II. DANIŞMAN
Prof. Dr. Vedat UYAK**

Eylül, 2017

İSTANBUL

Bu çalışma 26.09.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi


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



Prof. Dr. İsmail KOYUNCU
İTÜ
İnşaat Fakültesi



Prof. Dr. Semih MEMLİOĞLU
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Recep BONCUKCUOĞLU
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Abdurrahman AKYOL
GTÜ
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 44383 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, 110Y214 numaralı TÜBİTAK projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Gerek akademik anlamda gerekse özel yaşamımda her zaman yanımda olan, desteğini ve tecrübesini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Neşe TÜFEKÇİ'ye, 110Y214 nolu Tübitak projesinde yer almama izin vererek hem kendimi geliştirmeme hem de tez çalışmamı yapmama olanak sağlayan Prof. Dr. Vedat UYAK'a, İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesinde kurulan Ulusal Membran Teknolojileri Araştırma Merkezi'nde verimli ve başarılı bir çalışma ortamı için her türlü imkanı sağlayarak yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. İsmail Koyuncu'ya, proje partnerim Derya KARŞI'ya, çalışmalar boyunca bilgi ve önerilerinden sıkça yararlanma fırsatı bulduğum Doç. Dr. Derya Yüksel Köseoğlu İmer'e, yardımlarından dolayı Ar. Gör. Dr. Güler TÜRKOĞLU DEMİRKOL'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Hayatımın her aşamasında, attığım her adımda daima yanımda olan ve daima yanımda olacaklarını bildiğim sevgili aileme ve her zaman bana destek olan eşime çok teşekkür ederim.

Eylül 2017

Vildan CANSIZ SELÇUK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	xvii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xx
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. AMAÇ VE KAPSAM.....	3
2. GENEL KISIMLAR.....	5
2.1. MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ	5
2.1.1. Membran Prosesler	6
2.1.2. Membranların Sınıflandırılması	7
2.1.2.1. İzotropik Membranlar.....	9
2.1.2.2. Anizotropik Membranlar	9
2.1.3. Membran Üretim Teknikleri.....	10
2.1.3.1. Sinterleme	10
2.1.3.2. Gerdirme.....	11
2.1.3.3. Boşluk oluşturma	11
2.1.3.4. Kaplama.....	12
2.1.3.5. Faz ayırma	12
2.1.4. Membran Modifikasyonu	13
2.1.4.1. Döküm çözeltisi içindeki katkı maddeleri	13
2.1.4.2. Kopolimerin kullanımı	14
2.1.4.3. Kompozit membranlar	14
2.1.5. Membran Karakterizasyonu	15
2.1.5.1. Temas açısı ölçümleri	16
2.1.5.2. Mikroskopik teknikler	16
2.1.5.3. Mikrogözenekli membranların gözenek boyutunun ölçülmesi.....	17
2.2. KARBON NANOTÜP.....	18

2.3. CNT ESASLI MEMBRANLARIN İÇME SUYU ARITIMINDA KULLANILMASI.....	24
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	28
3.1. MEMBRAN SENTEZİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	28
3.1.1. Membran Sentezinin Gerçekleştirilmesi (PES/PVP)	28
3.1.2. CNT Taneciklerinin Modifiye Edilmesi.....	31
3.1.3. CNT İçeren Membran Sentezinin Gerçekleştirilmesi (CNT/PES/PVP)	32
3.2. MEMBRAN KARAKTERİZASYONUNUN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	35
3.2.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	35
3.2.2. Fourier Dönüşüm İnfrared (FTIR) Spektroskopi	36
3.2.3. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)	36
3.2.4. Temas Açısı (Contact Angle)	37
3.3. MEMBRAN FİLTASYON SİSTEMİ.....	38
3.3.1. Membranların Permeabilite Değerlerinin Belirlenmesi	38
3.3.2. Membranların MWCO Değerlerinin Belirlenmesi.....	39
3.3.3. Sentetik Sular Ve Göl Suyu Filtrasyon Çalışmaları	41
3.3.3.1. <i>Sentetik Suların Hazırlanması Ve Su Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi</i>	41
3.3.3.2. <i>Büyükçekmece ve Ömerli göl suyunun su kalite parametrelerinin belirlenmesi</i>	43
3.3.3.3. <i>Toplam Organik Karbon (TOK) Analizi</i>	44
3.3.3.4. <i>UV₂₅₄ Analizi</i>	45
3.3.3.5. <i>Sentetik sular ve göl sularının filtrasyonu ile her bir membranda elde edilen akı miktarı ve arıtma verimi belirlenmesi</i>	45
3.4. MEMBRAN TIKANMA PROFİLİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI.....	46
3.4.1. Filtrasyonu Tamamlanan Membranların FTIR Spektrumları.....	46
3.4.2. Filtrasyonu Tamamlanan Membranların SEM Görüntüleri	46
3.4.3. Filtrasyonu Tamamlanan Membranların AFM Görüntüleri.....	46
4. BULGULAR.....	47
4.1. MEMBRAN KARAKTERİZASYONU	47
4.1.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	47
4.1.2. Fourier Dönüşüm İnfrared (FTIR) Spektroskopi	62
4.1.3. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)	67
4.1.4. Temas Açısı (Contact Angle)	78
4.2. MEMBRAN FİLTASYON SİSTEMİ.....	84
4.2.1. Membranların Permeabilite Değerleri	84

4.2.2. Membranların MWCO Değerleri	88
4.2.3. Sentetik Sular Ve Göl Suyu Filtrasyon Çalışmaları Sonuçları.....	89
4.2.3.1. Sentetik Sular Filtrasyon Çalışmaları	89
4.2.3.2. Göl Suyu Filtrasyon Çalışmaları.....	95
4.3. MEMBRAN TIKANMA PROFİLİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI.....	123
4.3.1. Filtrasyonu Tamamlanan Membranların FTIR Spektrumları.....	123
4.3.2. Filtrasyonu Tamamlanan Membranların SEM Görüntüleri	128
4.3.3. Filtrasyonu Tamamlanan Membranların AFM Görüntüleri.....	145
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	158
KAYNAKLAR.....	165
ÖZGEÇMİŞ	168

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Membran ayırma prosesi.	6
Şekil 2.2: Membranların şematik olarak sınıflandırılması (Wang, 2011).....	8
Şekil 2.3: Farklı membran morfolojilerin şematik gösterimi (Mulder, 1996).	9
Şekil 2.4: Sinterleme işlemi şematik gösterimi (Mulder, 1996).	11
Şekil 2.5: Radyasyonla aşılama işleminin şematik gösterimi.	15
Şekil 2.6: Plazma polimerizasyonu reaktörünün şematik gösterimi.	15
Şekil 2.7: Arayüzey polimerizasyonun şematik gösterimi.....	15
Şekil 2.8: Temas açısı ölçümlerinin şematik gösterimi.	16
Şekil 2.9: Kabarcıklenme tayini yönteminin prensibi.....	17
Şekil 2.10: Karbon allotroplarının makroskopik durumları ve şematik yapıları: (A) grafit, (B) elmas, (C) C ₆₀ , Fulleren ve (D) CNT.	19
Şekil 2.11: Tek katmanlı ve çok katmanlı karbon nanotüpler.	20
Şekil 2.12: Farklı karbon nanotüplerin TEM görüntüleri : (A) tek katmanlı karbon nanotüpler ve (B) çok katmanlı karbon nanotüpler (Krätschmer ve diğ., 1990).....	21
Şekil 2.13: Altıgen kafesli bir grafenin farklı kiralitelerli bir CNT formuna yuvarlanması: (A) koltuk (armchair), (B) zigzag ve (C) kiral. (Dresselhaus ve diğ., 1995).	21
Şekil 3.1: PES/PVP çözeltisinin NMP içerisinde çözündürülmesi.....	29
Şekil 3.2: PES çözeltisi içerisindeki hava kabarcıklarının ultrason banyosunda uzaklaştırılması.....	29
Şekil 3.3: PES/PVP çözeltisinin bir cam tabaka üzerine SHEEN marka Otomatik Film Aplikasyon Cihazı ile dökülmesi.....	30
Şekil 3.4: PES film tabakası.....	30
Şekil 3.5: 8-15 nm tanecik çapına sahip karbon nanotüp bilgileri.....	32
Şekil 3.6: CNT taneciklerinin NMP solventi içinde ultrason homojenizatörü ile karıştırılması.....	33

Şekil 3.7: CNT dop çözeltisinin bir cam tabaka üzerine SHEEN marka Otomatik Film Aplikasyon Cihazı ile dökülmesi.....	34
Şekil 3.8: CNT içeren film tabakası.....	34
Şekil 3.9: Taramalı elektron mikroskobu.....	35
Şekil 3.10: Quorum SC7620 kaplama cihazı.	35
Şekil 3.11: Perkin Elmer Spectrum 100 marka FTIR cihazı.....	36
Şekil 3.12: Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM).	37
Şekil 3.13: Temas açısı ölçer enstürmanı.....	38
Şekil 3.14: Sterlitech HP4750 marka membran hücresi.	39
Şekil 3.15: Shimadzu VCP-N toplam organik karbon analiz cihazı.....	45
Şekil 3.16: Hach-Lange DR5000 marka spektrofotometre cihazı.	45
Şekil 4.1: %14 PES/%8 PVP membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.....	48
Şekil 4.2: %16 PES/%8 PVP membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.....	48
Şekil 4.3: %18 PES/%8 PVP membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.....	48
Şekil 4.4: %20 PES/%8 PVP membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.....	49
Şekil 4.5: %16 PES/%8 PVP/%0.5 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	50
Şekil 4.6: %16 PES/%8 PVP/%1 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	50
Şekil 4.7: %16 PES/%8 PVP/%2 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	50
Şekil 4.8: %16 PES/%8 PVP/%4 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	51
Şekil 4.9: %18 PES/%8 PVP/%0.5 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	51
Şekil 4.10: %18 PES/%8 PVP/%1 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	52
Şekil 4.11: %18 PES/%8 PVP/%2 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	52
Şekil 4.12: %18 PES/%8 PVP/%4 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	52

Şekil 4.13: %20 PES/%8 PVP/%0.5 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	53
Şekil 4.14: %20 PES/%8 PVP/%1 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	53
Şekil 4.15: %20 PES/%8 PVP/%2 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	54
Şekil 4.16: %20 PES/%8 PVP/%4 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	54
Şekil 4.17: %14 PES/%8 PVP/%0.5 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	55
Şekil 4.18: %14 PES/%8 PVP/%1 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	55
Şekil 4.19: %14 PES/%8 PVP/%2 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	55
Şekil 4.20: %14 PES/%8 PVP/%4 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	56
Şekil 4.21: %16 PES/%8 PVP/%1 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	56
Şekil 4.22: %16 PES/%8 PVP/%2 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	57
Şekil 4.23: %16 PES/%8 PVP/%4 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	57
Şekil 4.24: %18 PES/%8 PVP/%0.5 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	58
Şekil 4.25: %18 PES/%8 PVP/%1 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	58
Şekil 4.26: %18 PES/%8 PVP/%2 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	58
Şekil 4.27: %14 PES/%8 PVP/%1 CNT (30-50nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	59
Şekil 4.28: %16 PES/%8 PVP/%1 CNT (30-50nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	59
Şekil 4.29: %18 PES/%8 PVP/%1 CNT (30-50nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	60

Şekil 4.30: %14 PES/%8 PVP/%1 CNT (>50nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	60
Şekil 4.31: %16 PES/%8 PVP/%1 CNT (>50nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	61
Şekil 4.32: %16 PES/%8 PVP/%1 CNT (>50nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.	61
Şekil 4.33: % 1 CNT (SWCNT) içeren membranların kesit alanı görüntüleri (a) %14 PES/%8 PVP, b) %16 PES/%8 PVP, c) %18 PES/%8 PVP).....	62
Şekil 4.34: % PES/% 8 PVP membranların FTIR spektrumları.	63
Şekil 4.35: Toz karbon nanotüpe ait FTIR spektrumu.....	64
Şekil 4.36: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların FTIR spektrumları.....	64
Şekil 4.37: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların FTIR spektrumları.....	64
Şekil 4.38: % 20 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların FTIR spektrumları.....	65
Şekil 4.39: % 14 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların FTIR spektrumları.	65
Şekil 4.40: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların FTIR spektrumları.	65
Şekil 4.41: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların FTIR spektrumları.	66
Şekil 4.42: % 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları.....	66
Şekil 4.43: % 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları.....	66
Şekil 4.44: % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları.....	67
Şekil 4.45: % PES/% 8 PVP içeren membranların AFM analiz sonuçları (a) % 14 PES (b) % 16 PES (c) %18 PES (d) % 20 PES.	68
Şekil 4.46: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların AFM analiz sonuçları (a) % 0.5 CNT (b) % 1 CNT (c) % 2 CNT (d) % 4 CNT.....	69
Şekil 4.47: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların AFM analiz sonuçları (a) % 0.5 CNT (b) % 1 CNT (c) % 2 CNT (d) % 4 CNT.....	70
Şekil 4.48: % 20 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların AFM analiz sonuçları (a) % 0.5 CNT (b) % 1 CNT (c) % 2 CNT (d) % 4 CNT.....	71
Şekil 4.49: % 14 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların AFM analiz sonuçları (a) % 0.5 CNT (b) % 1 CNT (c) % 2 CNT (d) % 4 CNT.....	72
Şekil 4.50: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların AFM analiz sonuçları (a) % 0.5 CNT (b) % 1 CNT (c) % 2 CNT (d) % 4 CNT.....	73

Şekil 4.51: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların AFM analiz sonuçları (a) % 0.5 CNT (b) % 1 CNT (c) % 2 CNT (d) % 4 CNT.....	74
Şekil 4.52: % 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 30-50 nm (b) >50 nm (c) SWCNT.....	76
Şekil 4.53: % 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 30-50 nm (b) >50 nm (c) SWCNT.....	77
Şekil 4.54: % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 30-50 nm (b) >50 nm (c) SWCNT.....	78
Şekil 4.55: % PES/% 8 PVP membranların temas açısı değerleri.	79
Şekil 4.56: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların temas açısı değerleri.....	80
Şekil 4.57: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların temas açısı değerleri.....	80
Şekil 4.58: % 20 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların temas açısı değerleri.....	80
Şekil 4.59: % 14 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların temas açısı değerleri....	81
Şekil 4.60: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların temas açısı değerleri....	82
Şekil 4.61: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların temas açısı değerleri....	82
Şekil 4.62: % PES/% 8 PVP/% 1 CNT (30-50 nm) membranların temas açısı değerleri.	83
Şekil 4.63: % PES/% 8 PVP/% 1 CNT (>50 nm) membranların temas açısı değerleri.....	83
Şekil 4.64: % PES/% 8 PVP/% 1 CNT (SWCNT) membranların temas açısı değerleri.	83
Şekil 4.65: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların permeabilite değerleri. ..	84
Şekil 4.66: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların permeabilite değerleri. ..	85
Şekil 4.67: % 20 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların permeabilite değerleri. ..	85
Şekil 4.68: % 14 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların permeabilite değerleri. ..	86
Şekil 4.69: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların permeabilite değerleri. ..	86
Şekil 4.70: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların permeabilite değerleri. ..	87
Şekil 4.71: % 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların permeabilite değerleri.	87
Şekil 4.72: % 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların permeabilite değerleri.	88
Şekil 4.73: % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların permeabilite değerleri.	88
Şekil 4.74: Sentetik numune filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT [8-15 nm]).	91

Şekil 4.75: Sentetik numune filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT [8-15 nm]).	92
Şekil 4.76: Sentetik numune filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT-Tanin).	93
Şekil 4.77: Sentetik numune filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT-Tanin).	94
Şekil 4.78: Sentetik numune filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT-Tanin).	95
Şekil 4.79: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).	98
Şekil 4.80: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).	99
Şekil 4.81: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).	101
Şekil 4.82: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).	102
Şekil 4.83: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 18 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).	104
Şekil 4.84: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 18 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).	105
Şekil 4.85: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 16 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).	107
Şekil 4.86: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 16 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).	108
Şekil 4.87: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 16 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).	110
Şekil 4.88: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 16 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).	111
Şekil 4.89: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 16 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).	113
Şekil 4.90: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 16 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).	114
Şekil 4.91: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 14 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).	116

Şekil 4.92: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 14 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).	117
Şekil 4.93: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 14 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).	119
Şekil 4.94: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 14 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).	120
Şekil 4.95: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 14 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).	122
Şekil 4.96: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 14 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).	123
Şekil 4.97: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları.	124
Şekil 4.98: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları.	124
Şekil 4.99: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları.	125
Şekil 4.100: Sentetik numune filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların FTIR spektrumları.	125
Şekil 4.101: Büyükçekmece Göl suyu filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları (Temmuz 2013).	126
Şekil 4.102: Büyükçekmece Göl suyu filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları (Ekim 2013).	126
Şekil 4.103: Büyükçekmece Göl suyu filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları (Aralık 2013).	127
Şekil 4.104: Ömerli Göl suyu filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları (Temmuz 2013).	127
Şekil 4.105: Ömerli Göl suyu filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları (Ekim 2013).	128
Şekil 4.106: Ömerli Göl suyu filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları (Aralık 2013).	128
Şekil 4.107: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey alanı görüntüleri (a) 20-30 nm, b) 30-50 nm, c) >50 nm, d) SWCNT).	129

Şekil 4.108: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey alanı görüntüleri (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).....	130
Şekil 4.109: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey alanı görüntüleri (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).....	131
Şekil 4.110: Büyükçekmece Göl suyu (Temmuz 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey görüntüleri (a) CNT'siz, b) 8-15 nm, c) 20-30 nm, d) 30-50 nm, e) >50 nm, f) SWCNT).....	133
Şekil 4.111: Büyükçekmece Göl suyu (Temmuz 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların kesit alanı görüntüsü ile EDS analizi.	134
Şekil 4.112: Ömerli Göl suyu (Temmuz 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey görüntüleri (a) CNT'siz, b) 8-15 nm, c) 20-30 nm, d) 30-50 nm, e) >50 nm, f) SWCNT).....	135
Şekil 4.113: Ömerli Göl suyu (Temmuz 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların kesit alanı görüntüsü ile EDS analizi.	136
Şekil 4.114: Büyükçekmece Göl suyu (Ekim 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey görüntüleri (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).....	137
Şekil 4.115: Büyükçekmece Göl suyu (Ekim 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların kesit alanı görüntüsü ile EDS analizi.	138
Şekil 4.116: Ömerli Göl suyu (Ekim 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey görüntüleri (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).....	139
Şekil 4.117: Ömerli Göl suyu (Ekim 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların kesit alanı görüntüsü ile EDS analizi.	140
Şekil 4.118: Büyükçekmece Göl suyu (Aralık 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey görüntüleri (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).....	141
Şekil 4.119: Büyükçekmece Göl suyu (Aralık 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların kesit alanı görüntüsü ile EDS analizi.	142
Şekil 4.120: Ömerli Göl suyu (Aralık 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey görüntüleri (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).....	143
Şekil 4.121: Ömerli Göl suyu (Aralık 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların kesit alanı görüntüsü ile EDS analizi.	144

Şekil 4.122: Ömerli Göl suyu (Aralık 2013) filtrasyonu yapılmış % PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların yüzey görüntüleri (a) % 14 PES, b) % 16 PES, c) % 18 PES).....	144
Şekil 4.123: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).....	146
Şekil 4.124: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların AFM analiz sonuçları (a) % 14 PES, b) % 16 PES, c) % 18 PES).....	148
Şekil 4.125: Büyükçekmece göl suyu (Temmuz 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) SWCNT).	150
Şekil 4.126: Büyükçekmece göl suyu (Ekim 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).....	151
Şekil 4.127: Büyükçekmece göl suyu (Aralık 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).....	152
Şekil 4.128: Ömerli göl suyu (Temmuz 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).....	154
Şekil 4.129: Ömerli göl suyu (Ekim 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).	155
Şekil 4.130: Ömerli göl suyu (Aralık 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).	156

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Membran sürücü kuvvetleri.	6
Tablo 2.2: Basınç sürücülü membranların özellikleri (Zhang ve diğ., 2012).....	7
Tablo 2.3: Sinterleme yöntemine uygun membran malzemeleri.....	11
Tablo 2.4: CNT sentezi için en yaygın olarak kullanılan tekniklerin karşılaştırılması (Hu ve diğ., 2006; Chen ve diğ., 2006; Wilson, 2002).....	23
Tablo 3.1: Saf PES/PVP membran çözeltisi hazırlama miktarları.	29
Tablo 3.2: Farklı tanecik çaplı CNT'lerin özellikleri.	31
Tablo 3.3: CNT/PES/PVP membran çözeltisi hazırlama miktarları.	33
Tablo 3.4: Filtrasyon sisteminin teknik özellikleri.	39
Tablo 3.5: Aromatik ve alifatik bileşiklerin özellikleri.	42
Tablo 3.6: Sentetik su hazırlanmasında kullanılan kimyasallar ve konsantrasyon değerleri.....	43
Tablo 3.7: Sentetik ham su karakterizasyonu.	43
Tablo 3.8: Göl suları su kalite parametreleri.	44
Tablo 4.1: % PES/% 8 PVP içeren membranların Ra değerleri.	68
Tablo 4.2: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların Ra değerleri.	69
Tablo 4.3: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların Ra değerleri.	70
Tablo 4.4: % 20 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların Ra değerleri.	71
Tablo 4.5: % PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların Ra değerleri.	74
Tablo 4.6: % PES/% 8 PVP/% 1 CNT (30-50 nm, >50 nm, SWCNT) membranların Ra değerleri.....	78
Tablo 4.7: Membranların MWCO değerleri.....	89
Tablo 4.8: Membran sisteminde model bileşik arıtma değerleri (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT [8-15 nm])......	90

Tablo 4.9: Membran sisteminde model bileşik arıtma değerleri (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT [8-15 nm]).	91
Tablo 4.10: Membran sisteminde model bileşik arıtma değerleri (% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Tanin).	93
Tablo 4.11: Membran sisteminde model bileşik arıtma değerleri (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Tanin).	93
Tablo 4.12: Membran sisteminde model bileşik arıtma değerleri (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Tanin).	94
Tablo 4.13: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).	97
Tablo 4.14: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).	97
Tablo 4.15: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).	100
Tablo 4.16: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).	100
Tablo 4.17: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).	103
Tablo 4.18: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).	103
Tablo 4.19: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).	106
Tablo 4.20: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).	106
Tablo 4.21: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).	109
Tablo 4.22: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).	109
Tablo 4.23: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).	112
Tablo 4.24: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).	112
Tablo 4.25: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).	115

Tablo 4.26: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).	115
Tablo 4.27: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).	118
Tablo 4.28: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).	118
Tablo 4.29: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).	121
Tablo 4.30: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).	121
Tablo 4.31: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların Ra değerleri.	147
Tablo 4.32: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların Ra değerleri.	148
Tablo 4.33: Büyükçekmece göl suyu filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların Ra değerleri.	153
Tablo 4.34: Ömerli göl suyu filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların Ra değerleri.	157

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
μm	: Mikrometre
CA	: Selüloz asetat
CNT/PES	: Karbon nanotüp/ polietersülfon
CNT	: Karbon nanotüp
DMA	: Dinamik mekanik analiz
DMAc	: Dimetilasetamid
DMF	: Dimetilformamid
DMSO	: Dimetil sülfoksit
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometre
HAc	: Asetik asit
MF	: Mikrofiltrasyon
MWCNT	: Çok duvarlı karbon nanotüp
NF	: Nanofiltrasyon
nm	: Nanometre
NMP	: N-metil pirolidon
PAN	: Poliakrilonitril
PES	: Polietersülfon
PSf	: Polisülfon
PVP	: Polivinilpirolidon
RO	: Ters osmoz
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SWCNT	: Tek duvarlı karbon nanotüp
TOK	: Toplam organik karbon
UF	: Ultrafiltrasyon

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KARBONNANOTÜP KATKILI POLİMERİK MEMBRANLARIN İÇME SUYU ARITIMINDA KULLANILMASI

Vildan CANSIZ SELÇUK

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Neşe TÜFEKÇİ

II. Danışman : Prof. Dr. Vedat UYAK

Son zamanlarda membran filtrasyonu üzerinde yapılan çalışmalar, inorganik - organik kompozit membranların yeni nesil membran meteryali olarak kullanılması noktasında kayda değer bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bu tür membranlar için, inorganik maddelerin fizikokimyasal kararlılığının ve organik polimerlerin membran oluşturma potansiyeli özelliklerinin nanokompozit membran sentezi için olağanüstü bir fırsat olduğu düşünülmektedir. Özellikle nano boyutta inorganik madde ile harmanlanmış kompozit membranların, yüksek düzeyde seçici olması, hidrofilik olması ve membran tıkanmı direnci gibi gelişmiş özelliklerinden dolayı Çevre Mühendisliği dalında kullanımının çok cazip olduğu gözlenmiştir. Geçmişte yapılan çalışmalarla, polimerlerin malzeme özelliklerinin iyileştirilmesinde karbon nanotüpler (CNT)'in yüksek bir potansiyele sahip olduğu kanıtlanmıştır. CNT'in düşük yoğunluk, yüksek dayanım ve sertlik özellikleri, bu nano yapıları taneciklerin polimerik malzemelerin içerisine potansiyel güçlendirici malzeme olarak ilave edilmelerine olanak tanımaktadır.

Karbon nanotüpler (CNTs) olağanüstü özelliklerinden dolayı keşfinden bu yana dikkatleri hep üzerine çekmiştir. İçme suyu arıtımı açısından, CNT tanecikleri yüksek derecede hidrofobik yüzeye sahip olmalarından dolayı polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH), nitrobenzen ve fenol gibi sentetik organik kimyasallar ile doğal organik maddeler (NOM) gibi organik yapıların giderilmesinde kritik rol oynamaktadır. Sonuç olarak sudaki doğal ve sentetik organik yapıların

CNT ile olan ilişkisinin anlaşılması, bu nanoyapılı adsorbentlerin içme suyu arıtımında uygulanmasına katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada karbon nanotüp (CNT) esaslı polimerik ultrafiltrasyon (UF) membranları sentezlenerek içme suyu arıtımındaki kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Polietersülfon (PES) polimeri, polivinilpirolidon (PVP) ve CNT kullanılarak sentezlenen CNT/PES membranlarının karakterizasyonu temas açısı, Elektron Tarama Mikroskobu (**SEM**), Fourier Dönüşüm İnfrared (**FTIR**) spektroskopu ve Atomik Kuvvet Mikroskobu (**AFM**) enstrümanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra sulardan organik maddelerin giderilmesi sırasında bu nanokompozit membranların akı, arıtma verimi ve tıkanma potansiyeli davranışları incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında tek ve çok katmanlı olmak üzere 2 farklı CNT kullanılarak sentezlenen CNT/PES nanokompozit membranları ile aromatik ve alifatik karakterli sentetik organik madde içeren çözeltiler ve doğal organik madde (DOM) içeren yüzeysel suların arıtılabilirliği ve membran tıkanma potansiyelleri ortaya çıkarılmıştır.

Eylül 2017, 193 sayfa.

Anahtar kelimeler: Membran, Karbon nanotüp, İçme suyu, Membran tıkanması

SUMMARY

Ph.D. THESIS

USING POLIMERIC MEMBRANES WITH CARBONNANOTUBE FOR POTABLE WATER TREATMENT

Vildan CANSIZ SELÇUK

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Environmental Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Neşe TÜFEKÇİ

Co-Supervisor : Prof. Dr. Vedat UYAK

Studies conducted in recent days about membrane filtrations showed that there is a great potential of using inorganic-organic complex membranes as a potential future generation membrane material. It was inevitable that such membranes will have the physicochemical stability of inorganic materials and the membrane composing properties of polymers. Especially, nano-sized inorganic material blended composite membranes are striking for Environmental Engineering field, because of their excellent properties, some of these properties are; high hydrophilicity, high selectivity, and developed clogging resistance. Previous studies have shown that there is a high potential for carbon nanotubes (CNTs) to improve the material properties of polymers.

Since CNT has been inventioned, CNTs have been very important because of their unique properties. CNTs are unignorable for removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), synthetic organics, natural organic matter and phenol in water. Consequently, CNTs are very useful as a membrane additive for water treatment applications.

In this study, the potential usage of CNTs in water treatment was investigated by synthesis of CNT blended polyethersulfone (PES) of UF membranes. The characterization of these membranes was performed by using contact angle, Scanning Electron Microscopy (SEM), and

Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy and Atomic Force Microscopy (AFM) instruments. Then, the investigation of flux, rejection and fouling potential of these nanocomposite membranes were conducted in the course of removal of organic matters from water. With this study, 2 different CNT particles of SWCNT and MWCNT were used to synthesize CNT/PES nanocomposite membranes. These membranes were utilized to treat synthetic waters containing aromatic and aliphatic synthetic organics and NOM contained surface waters. The membrane fouling potential of these membranes was also discovered.

September 2017, 193 pages.

Keywords: Membrane, carbon nanotube, drinking water, membrane fouling



1. GİRİŞ

Günümüzde güvenli içme suyu temini, bütün şehirlerin en önemli problemlerinden birisi haline gelmiştir. Ülkemizde Avrupa Birliği (AB) uyum süreci kapsamında çıkarılan yönetmeliklerle, içme sularında kalite parametrelerinin belirli limitlerin altında kalmasını zorunlu hale getirmiştir. Özellikle içme suyu amaçlı kullanılan yüzeysel su kaynaklarındaki organik maddelerin giderilmesi insan sağlığı açısından hayati önem arz etmektedir. Sudaki doğal organik maddeler (DOM)'in içme suyu arıtma sırasında suya eklenen klor ile reaksiyona girerek kanserojen riski taşıyan dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ)'ni oluşturması, bu organik yapıların suda giderilmesini zorunlu hale getirmektedir.

Membran teknolojisi sudaki askıda ve çözünmüş yapılar ile mikroorganizmaların giderilmesinde yaygın olarak kullanılan bir prosestir. Membranların yüksek ayırma kapasitesinden dolayı, ayırma, konsantrasyon ve arıtma işlemlerinin endüstriyel açıdan önemi günden güne artmaktadır. Buna ilaveten, membranların düşük enerji ihtiyacı, az yer gereksinimi ve işletilmelerinin kolay ve pratik oluşu bu teknolojinin ayırma prosesindeki kullanımını artırmaktadır (Arthanareeswaran ve diğ., 2004).

Membranlar, çalışmaya başladıktan sonra, çok kısa bir sürede (2-3 saat gibi) tıkanabilmekte ve buda membranın temizlenmesini ya da değiştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Membranların tamamen tıkanmadan çalışmalarını sağlamak imkânsızdır. Membran filtrasyonu sırasında, membran tıkanması hala önemli bir problem olarak karşımıza çıkmakta ve membran teknolojisinin geniş alanlarda kullanımını sınırlandırmaktadır (Celik ve diğ., 2010). Membranın yüzey ya da iç kısmında meydana gelen tıkanma olayı iki şekilde gerçekleşmektedir. Giderilen ya da giderilemeyen bu tıkanma olaylarına tanecikler, kolloidler, makro yapılı moleküller ve tuzlar neden olmaktadır (Mulder, 1997).

Birçok polimerik materyal arasında, polisülfonlar (PSf) mikrofiltrasyon (MF) ve ultrafiltrasyon (UF) membranlarının üretiminde en fazla kullanılan polimerik yapılardır.

Öte yandan, membran yüzey kimyası membran performansının belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir (Reddy ve Patel, 2008). Bu durum, membranların hidrofobik doğasından dolayı, makromoleküllerin yüzeyde kolayca birikmesini tetikler (Blanco ve diğ., 2006). Bilimsel

alışmalar, membran hidrofilikliği miktarının artırılması ile membran tıkanma miktarının etkili bir şekilde azaltılabileceğini göstermektedir (Wang ve diğ., 2006). Geçmişte yapılan çalışmalar, polimerlerin malzeme özelliklerinin geliştirilmesi açısından karbon nanotüpler (CNT)'in yüksek bir potansiyele sahip olduklarını göstermiştir. CNT'in düşük yoğunluk, yüksek dayanım ve sertlik özellikleri, bu taneciklerin polimerik malzemelerin içerisine potansiyel güçlendirici malzeme olarak ilave edilmelerine olanak tanımaktadır (Gojny ve diğ., 2004).

CNT taneciklerinin katkı maddesi olarak polimerik membranlara eklenmesinin en önemli avantajları yüksek miktarda iletkenlik ve hidrofilik içerik sağlamalarıdır. Bunun yanında, son zamanlarda CNT tanecikleri üretim maliyetinin ciddi anlamda düşmesinden dolayı (1 \$/kg CNT), bu nano yapılı malzemelerin polimerik membranlara spesifik özellikler kazandırmaları açısından gelecekte çok daha önemli rol oynayacağına işaret etmektedir (Choi ve diğ., 2006). Membran sentezi sırasında membran içerisine nano boyutlu tanecikler eklenerek, membranın tıkanma direncinin artırılması ve akı miktarında yükselmelere vesile olunması, membranların ekonomik ömrünün uzamasına ve işletme giderlerinin düşmesine neden olacaktır.

Choi ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, çok katmanlı karbon nanotüpler (MWCNT) ile harmanlanmış PSf mikrofiltrasyon membranının yalın haldeki polisülfon membranına nazaran oldukça yüksek akı ve giderme verimine sahip olduğunu göstermiştir (Choi ve diğ., 2006). Bu alışmalar ayrıca MWCNT ile harmanlanmış polimerik membranların, yalın haldeki polisülfon membranlarından daha fazla hidrofilik olduğunu ortaya koymuştur. Bu kapsamda Qui ve arkadaşları tarafından yapılan benzer alışmalar, MWCNT ile harmanlanmış polisülfon ultrafiltrasyon membranlarının yalın polisülfon membranlarına nazaran daha yüksek akı ve arıtma verimi sergilediğini göstermiştir (Qui ve diğ., 2009).

CNT esaslı membranlar sudaki düşük moleküler ağırlıklı organiklerin giderilmesi noktasında son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Literatür araştırmalarına bakıldığında, konu hakkında kapsamlı bir araştırmaya rastlanmamıştır. CNT ile ilgili çalışmalar daha çok 2009 yılından sonra başlamış ve nanokompozit polimerik membranların sentezinde daha çok tek tip CNT taneciği kullanılarak elde edilen membranların geçirgenlik test deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sentetik model organik bileşiklerin ve gl sularının giderimi üzerine pek çalışma gerçekleştirilmemiştir.

1.1. AMAÇ VE KAPSAM

Son yıllarda küresel ısınmadan kaynaklanan yağış miktarının azalması ve nüfus artışına bağlı olarak, büyük şehirlerdeki belediyeler içme suyu ihtiyacının temin edilmesinde yüzeysel su kaynaklarına yönelmişlerdir. Bu su kaynakları yer altı sularına nazaran endüstriyel ve evsel atıksu deşarjlarından ve yüzeysel akıştan dolayı daha fazla miktarda sentetik ve doğal organik madde içermektedirler. Söz konusu bu suların arıtılması sırasında, düşük moleküler ağırlığa sahip hidrofilik karakterli organiklerin giderilmesi pek mümkün olmamaktadır. Özellikle alifatik yapıli organik maddelerin arıtılması pek gerçekleşmemektedir. Sonuçta giderilemeyen bu organik maddeler son dezenfeksiyon noktasında ya klor ile reaksiyona girerek kanserojen özellikli dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) oluşturmakta ya da yetersiz klorlama koşullarında şebekede biyofilm oluşumuna ve suda tat-koku problemlerinin meydana gelmesine neden olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, CNT/PES ultrafiltrasyon (UF) membranları sentezlenerek içme sularında sentetik ve doğal organik yapıli kirleticilerin giderilmesinde kullanım potansiyelinin araştırılmasıdır. Polietersülfon (PES) polimeri kullanılarak sentezlenen CNT/PES polimerik membranların karakterizasyonu çeşitli görüntüleme teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve ardından yüzeysel sulardan sentetik ve doğal organik maddelerin giderilmesi sırasında bu membranların akı, arıtma verimi ve tıkanma potansiyeli davranışları incelenmiştir. Ayrıca, çalışma kapsamında tek (SWCNT) ve çok katmanlı (MWCNT) olmak üzere 2 farklı CNT kullanılarak sentezlenen CNT/PES polimerik membranlar ile aromatik ve alifatik karakterli model organik bileşikler içeren çözeltiler ve doğal organik madde (DOM) içeren yüzeysel suların arıtılabilirliği ve membran tıkanma potansiyeli davranışları araştırılmıştır.

Bu amaçla, bu çalışma 4 farklı aşamada gerçekleştirilmiştir.

- CNT'ler ile PES polimerleri kullanılarak Nanokompozit Membran Sentezinin gerçekleştirilmesi,
- Sentezlenen CNT/PES esaslı Nanokompozit Membranlarının Karakterizasyonunun yapılması,
- CNT/PES nanokompozit membranlarının Geçirgenlik Testlerinin gerçekleştirilmesi,

CNT/PES nanokompozit membranlarının Akı, Arıtma Verimi ve Membran Tıkanma Profillerinin çıkarılması.



2. GENEL KISIMLAR

2.1. MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ

Membran teknolojiler ile ilgili ilk bilimsel çalışmalar 18. yüzyılda başlamış olsa da, su ve atıksu arıtımında ağırlıklı olarak kullanımı 1960'lı yıllardan sonra gerçekleşmiştir. İlk yarı geçirgen membran deneyi 1748 yılında Fransız Abbe Nollet tarafından gerçekleştirilmiş ve ozmoz olayı keşfedilmiştir. 19. - 20. yüzyıllarda membranlar sanayide kullanılmamış ancak fiziksel/kimyasal teoriler geliştirmek için laboratuvar ölçekli olarak kullanılmıştır (Baker, 2004).

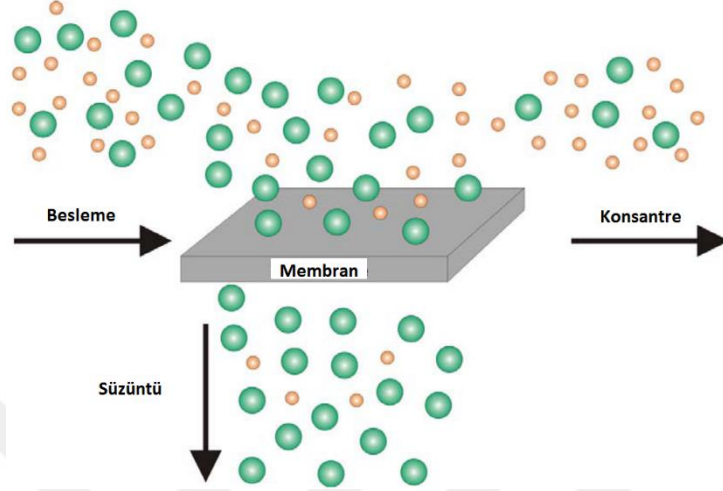
Membran teknolojisindeki dönüm noktası 1962 yılında Loeb ve Sourirayan'ın yüksek tuz ret oranı ve yüksek akı özelliğine sahip selüloz asetat ters ozmoz membranı üretmesiyle başlamıştır. Bu, deniz suyu tuzunun giderilerek içme suyu eldesi amacıyla kullanılan ters ozmoz membranlarının uygulamasına yönelik büyük bir gelişme olmuştur. 1968 yılında Bray ve Westmorland tarafından ters ozmoz desalinasyonu ve diğer uygulamalar için geliştirilen ilk membranlar plaka çerçeve olarak üretilmiş, daha sonra spiral sargılı membranlar geliştirilmiştir (Strathmann ve diğ., 2006). Caddote 1972-1973 yılları arasında ilk ince film kompozit membranları üretmiştir.

1980 yılından itibaren ters ozmoz, ultrafiltrasyon, mikrofiltrasyon ve elektrodializ proseslerinin tümü dünya çapında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. 1980'li yılların sonlarında pervaporasyon ve gaz ayırımında başarı gösteren nanofiltrasyon membranlar geliştirilmiştir (Wang ve diğ., 2011).

Son yıllarda uygulamaları hızla artan membran teknolojileri diğer klasik arıtma metodlarına nazaran sahip olduğu avantajlardan dolayı yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Membran teknolojileri içme ve kullanma suyu arıtımı, endüstrilerin ihtiyaç duyduğu proses suyu temini ile mevcut su kaynaklarının korunması ve yeni kaliteli su kaynaklarının oluşturulmasında kullanılması gereken teknolojilerin başında gelmektedir.

Membran; ince, geçirgen ya da yarı geçirgen bir tabaka ile birbirinden iki fazı ayıran bir tabaka olarak tanımlanır. Membran teknolojileri, partikül madde, kolloid, büyük moleküllü yapıların, çözünmüş madde ve iyonların ayırımı için kullanılmaktadır. Membran gözenek çapından büyük

olan maddeler membranda tutulurken ve daha küçük olan maddeler membrandan geçmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Membran ayırma prosesi.

2.1.1. 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. Membran proseslerin herbiri kendine has özelliklere sahiptir. Membranlar özelliklerine ve sahip oldukları sürücü kuvvetlerin türüne göre sınıflandırılır. Bu sürücü kuvvetler iki faz arasındaki basınç (ΔP), konsantrasyon (ΔC), elektriksel potansiyel (ΔE) ve sıcaklık (ΔT) farklarıdır (Mulder, 1996). Tablo 2.7’ de çeşitli membran prosesleri ve etkin sürücü kuvvetleri verilmiştir.

Tablo 2.1: Membran sürücü kuvvetleri.

Membran Prosesi	Faz I	Faz II	Sürücü Kuvvet
Mikrofiltrasyon (MF)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Ultrafiltrasyon (UF)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Nanofiltrasyon (NF)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Ters Osmoz (RO)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Gaz Ayırma	Gaz	Gaz	Basınç
Diyaliz	Sıvı	Sıvı	Konsantrasyon farklılığı
Osmoz	Sıvı	Sıvı	Konsantrasyon farklılığı
Pervaporasyon	Sıvı	Gaz	Basınç

Tablo 2.1 (devam): Membran sürücü kuvvetleri.

Elektrodiyaliz (ED)	Sıvı	Sıvı	Elektriksel potansiyel farklılığı
Termo- osmoz	Sıvı	Sıvı	Sıcaklık/Basınç
Membran Distilasyonu	Sıvı	Sıvı	Sıcaklık/Basınç

Membran proseslerde uygulanan en yaygın sürücü kuvvet basınçtır. Genel olarak membran prosesler gözenek boyutu veya moleküler ağırlık engelleme sınırı ve uygulanan basınca göre sınıflandırılır. Membranlar gözenek boyutuna göre sırasıyla mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmoz (RO) olarak dört gruba ayrılır. Tablo 2.2’ de basınç sürücülü membran proseslere ait özellikler ve ayırma mekanizmaları gösterilmiştir.

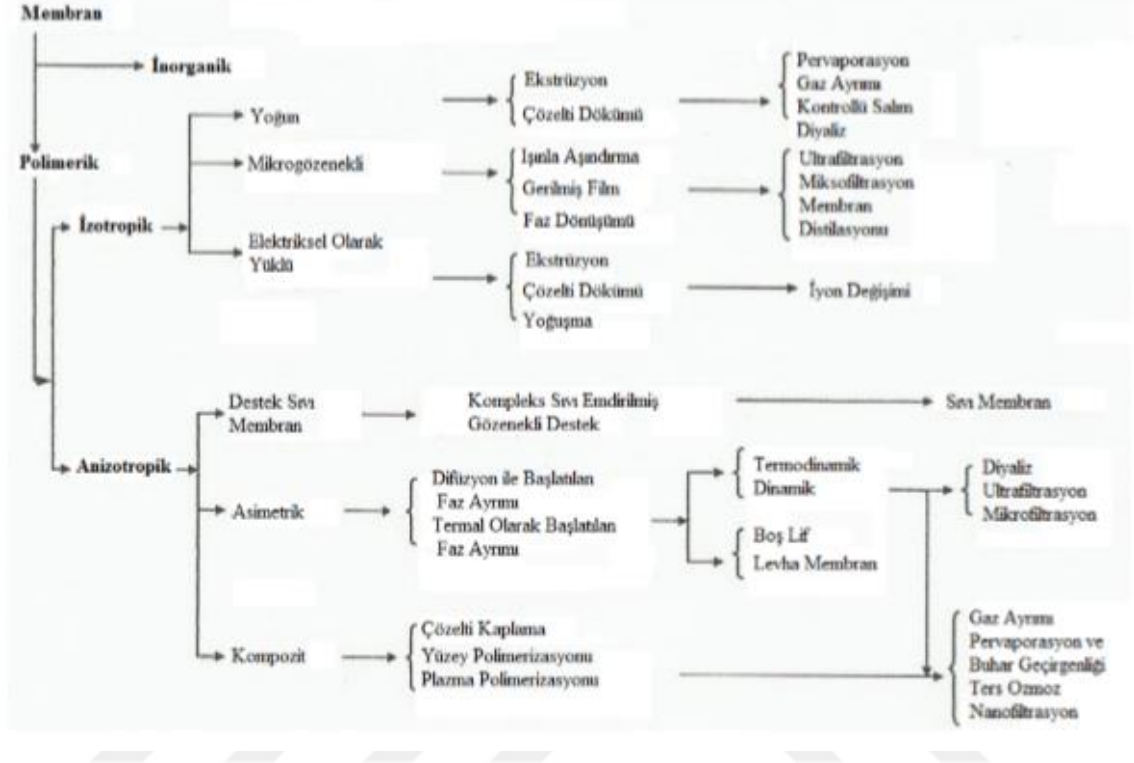
Tablo 2.2: Basınç sürücülü membranların özellikleri (Zhang ve diğ., 2012).

<i>Membran Proses</i>	<i>Sürücü Kuvvet</i>	<i>Ayırma Mekanizması</i>	<i>MWCO (Da)</i>	<i>Gözenek Büyüklüğü (μm)</i>	<i>İşletme Basıncı (psi)</i>
MF	Basıç	Eleme	> 100,000	0.1 – 10	1 – 30
UF	Basıç	Eleme	> 2,000-100,000	0.01 – 0.1	3 – 80
NF	Basıç	Çözünme - Difüzyon	300-1,000	0.001 – 0.01	70 – 220
RO	Basıç	Çözünme - Difüzyon	100-200	< 0.001	800 – 1200

2.1.2. Membranların Sınıflandırılması

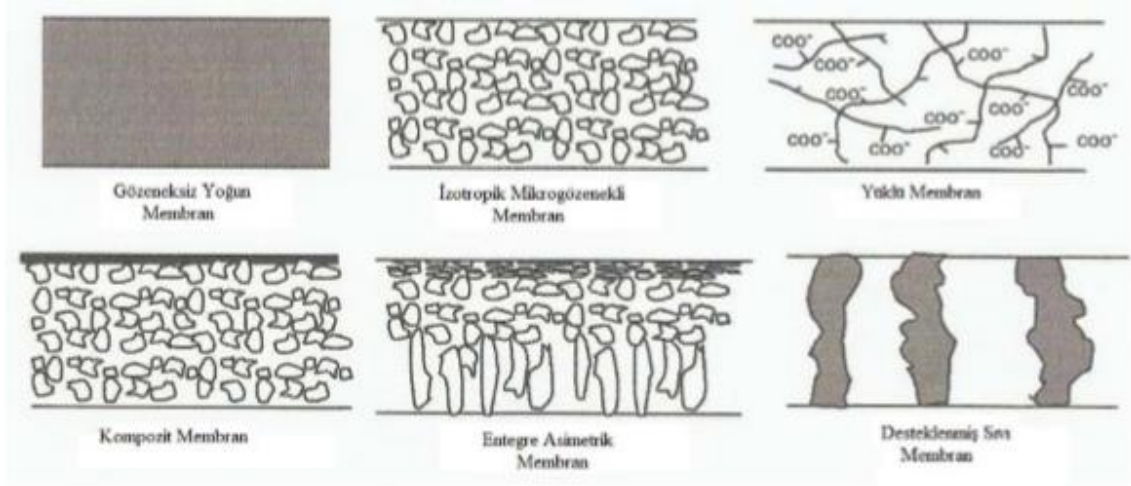
Sentetik membranları sınıflandırmanın birçok yolu vardır. Membranlar; membran materyalinin yapısına, membran morfolojisine, geometrisine, hazırlama yöntemine göre sınıflandırıldığı gibi, ayırma yöntemine ve prosese görede sınıflandırılabilir (Pinnau ve Freeman, 2000; Ulbricht, 2006). Örneğin, sentetik membranlar organik (polimerik) veya inorganik (seramik/metal), katı veya sıvı, elektriksel olarak yüklenebilen veya nötral yapıda; homojen veya heterojen, simetrik veya asimetrik yapıda olabilirler. Geometrik şekillerine göre sentetik membranlar, levha (flat), boru şeklinde veya boş lif içeren diye sınıflandırılırlar. Karışımın bileşimini değiştiren ayırma membranları, geçirgenliği engelleyen paketleme membranı, fiziksel/kimyasal olarak geçen bileşenleri modifiye eden iyon-değiştiren ve biyofonksiyonel membranlar, elektrik akımını ileten proton ileten membranlar veya geçirgenlik oranını kontrol

eden seçici olmayan membranlar olarak da sınıflandırılırlar (Mulder, 1996). Şekil 2.2.'de membranların sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 2.2: Membranların şematik olarak sınıflandırılması (Wang, 2011).

Membran materyaline göre, membranlar organik ve inorganik olmak üzere iki gruba ayrılır. Polimerik membranlar için, kristal ve amorf, camsı ve kauçuğumsu da dahil olmak üzere pek çok organik polimer, membran fabrikasyonu için uygundur. Hazırlama yöntemleri faz dönüşümü, ara yüzey reaksiyonu, kaplama, germe, vb olabilir. Bu hazırlama yöntemleri arasında, faz dönüşümü, ticari membran hazırlamak için temel yaklaşımdır. İnorganik membran üretiminde, oksitler, seramik, metal, karbon vb, yaygın olarak kullanılan materyallerdir. Polimerik membranlar, morfoloji bakımından genellikle izotropik ve anizotropik membran olarak sınıflandırılırlar (Mulder, 1996). Anizotropik membranlar içerisinde asimetrik membranlar, kompozit membranlar ve destekli sıvı membranlar yer alırken, izotropik membranlar gözeneksiz yoğun membranlar, mikrogözenekli membranlar ve elektriksel olarak yüklü membranlardan oluşur (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Farklı membran morfolojilerinin şematik gösterimi (Mulder, 1996).

2.1.2.1. İzotropik Membranlar

Yoğun membranlar; yüksek membran kalınlığının neden olduğu düşük akı değerleri nedeniyle pratik membran ayırma işlemlerinde az kullanılır, ancak polimerlerin gerçek özellikleri membran ayırma özelliklerini ve membran performansını belirler. Yoğun membranlar ağırlıklı olarak kontrollü salım, gaz ayırma, pervaporasyon, nanofiltrasyon ve ters ozmozda kullanılır. Çözelti dökümü, ekstrüzyon yöntemleri ile membranlar hazırlanır.

İzotropik mikrogözenekli membranlar sert, birbirine bağlanmış gözenek ve rastgele boşluklu yapılardan oluşur; gözenek çapı 0,01-10 μm seviyesindedir. En büyük gözeneklerinden daha büyük olan parçacıklar tamamen reddedilir. Ayırma prosesleri, mikrogözenekli membranların gözenek boyut dağılımı ve hidrodinamik koşullar ile kontrol edilir. Mikrogözenekli membranlar faz ayrılması, ışınlı aşındırma, germe ya da katıdan özütlenme vb. yöntemler ile hazırlanırlar. Faz ayrımı, izotropik mikrogözenekli membran hazırlanmasında önemli bir yöntemdir.

Elektrik yüklü membranlar sabit bir pozitif ya da negatif yüklü iyonları taşıyan yoğun / mikro yapılara sahip anyon değişimli ya da katyon değişimli membranlar olarak adlandırılır. Yük ve çözelti içindeki iyonların derişimi ayırma işlemini kontrol eden önemli faktörlerdir.

2.1.2.2. Anizotropik Membranlar

Anizotropik membranlar membran duvarı üzerinde gözeneklilik ve gözenek boyutu değişen katmanlı yapılardır. Anizotropik membranlar genellikle, kalın bir mikrogözenekli alt-tabaka

üzerinde desteklenen çok ince bir yüzey tabakasına sahiptir. Mikrogözenekli alttabaka esas olarak mekanik dayanım sağlarken ince deri tabakası, ayırmayı gerçekleştiren seçici bir tabakadır. İnce seçici tabakadan ötürü membran akıları çok yüksektir. İntegral asimetrik membranlar, kompozit membranlar, destekli sıvı membranlar anizotropik membran kategorisindedir. İntegral asimetrik membranlar, tek bir membran malzemesi kullanılarak, faz dönüşüm yöntemi ile hazırlanmış ve 1960 yılında, Loeb ve Sourirajan tarafından geliştirilmiştir. Farklı tabakalarda membran gözenekliliği ve gözenek boyutu değişmektedir. Daha fazla ve daha gevşek katmanlar, ardından üst yüzey üzerinde seçici bir ince tabaka bulunmaktadır.

Kompozit membranlar, integral bir asimetrik membran ile karşılaştırıldığında, genellikle farklı ayırma işlevlerine sahip iki ayrı tabaka ve farklı membran malzemeleri içerirler. Gözenekli alttabaka mekanik destek olarak iş görür ve deri tabakası esas olarak seçici amaç için kullanılır. Hazırlık sürecinde birbirleri ile bağlı değildirler. Deri tabakası, arayüz polimerizasyon, plazma polimerizasyonu, kaplama çözeltisi vb, ile ayrı ayrı hazırlanabilir.

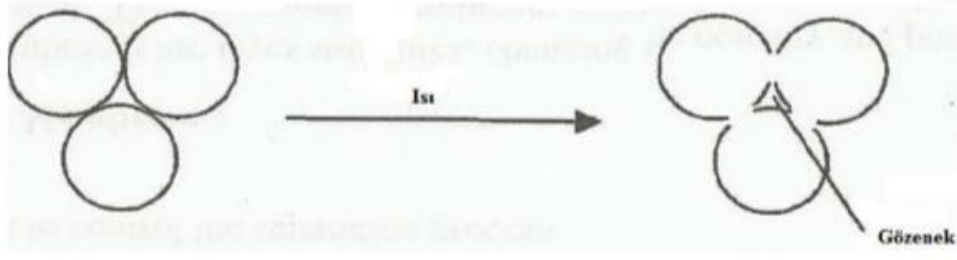
Destekli sıvı membranlar gözenekleri içinde sıvı taşıyıcı madde ile dolu gözenekli polimer matrislerinden oluşur. Ayırma işlemi, esas olarak kolaylaştırılmış taşıyıcı aktarımı ile gerçekleştirilmektedir ve mikro-gözenekli alt-tabaka, esas olarak kılcallık ile sıvı taşıyıcı faz tutan gözenekler içerir.

2.1.3. Membran Üretim Teknikleri

Farklı yöntemler membranların hazırlanması için kullanılabilir. Sinterleme, germe, ışınlı aşındırma (track-etching) ve kalıp özütleme (template leaching) gibi yöntemler membran hazırlamada kullanılmaktadır. Fakat gözenekli membranların hazırlanmasında faz dönüşüm işlemi en yaygın olanıdır.

2.1.3.1. Sinterleme

Sinterleme basit bir tekniktir: toz polimerik parçacıklar film veya levha halinde preslenir ve erime noktasının hemen altındaki bir sıcaklıkta sinterlenir (Şekil 2.4.). Bu işlem ile % 1040 gözenek aralığında ve düzensiz gözenek dağılımında mikrogözenekli membranlar elde edilir. Gözenek boyutu, sinterlenen toz partikülün boyutu ile belirlenir ve 0,2-20 µm aralığında değişir.



Şekil 2.4: Sinterleme işlemi şematik gösterimi (Mulder, 1996).

Sinterleme yöntemi kullanılarak membran hazırlamasına uygun malzemeler Tablo 2.3’de ki gibi sınıflandırılabilir.

Tablo 2.3: Sinterleme yöntemine uygun membran malzemeleri.

1. Polimerler
a. Polietilen
b. Politetrafloroetilen
c. Polipropilen
2. Metaller
a. Paslanmaz çelik
b. Tungsten
3. Seramikler
a. Alüminyum oksit
b. Zirkonyum oksit
4. Grafit (karbon)
5. Cam (silikatlar)

2.1.3.2. Gerdirme

Bu metotta, kısmen kristalli yapıya sahip polipropilen, polietilen gibi polimerler kullanılarak dikey yönde gerdirme işlemi uygulanmasıdır. Mekanik gerilme sonucunda, çapı 0.1 μm ile 3 μm arasında değişen porlu yapılar ve çatlaklar meydana gelmektedir. Bu teknikte, sadece (yarı) kristal yapıya sahip olan polimerler kullanılmaktadır. Bu yöntemle, sinterleme göre daha yüksek poroziteye sahip membranlar üretilmektedir (Mulder, 1996).

2.1.3.3. Boşluk oluşturma

Bu metot ile, film tabakası yüksek enerjili parçacık ışınımına dikey olarak maruz bırakılmaktadır. Bu parçacıklar ise polimer matrisine hasar vererek izler bırakmaktadır. Daha sonra bu film

tabakası, asit ya da alkali banyosına daldırılarak, 0.02- 10 µm arasında por yapılarının oluşturulmaktadır (Mulder, 1996).

2.1.3.4. Kaplama

Taşınma işlemi difüzyon ile gerçekleşen gözeneksiz (dense) membranlar, düşük akı değerlerine sahiptirler. Bu membranların, akı değerlerinin yükselmesi amacıyla membran kalınlığının mümkün olduğunca düşürülmesi gerekmektedir. Bu da, kompozit membranların üretimi ile gerçekleştirilebilmektedir. İki farklı materyal içeren kompozit membranlar, ince yüzey tabakası ve porlu orta tabakasına sahiptirler. Porlu orta tabakanın destek tabakası gibi davranmakta ve asıl seçicilik ise ince yüzey tabakasında olmaktadır. Plazma polimerizasyonu, arayüzey polimerizasyonu gibi birçok kaplama prosedürü günümüzde mevcuttur. Sinterleme, gerdirme ve boşluk oluşturma gibi yöntemler ile porlu membranlar oluşturulabilmekte olduğundan, bu membranlar ancak kompozit membranların alt tabakası olarak kullanılabilmektedir (Mulder, 1996).

2.1.3.5. Faz ayırma

Faz ayırma metodu, polimerin sıvı formdan katı forma kontrollü bir şekilde dönüştürülmesine dayanmaktadır. Belirli bir aşamada, sıvı faz (yüksek polimer konsantrasyonu içeren) katılaşmaktadır. Başlangıç aşamasındaki faz değişimi kontrol edilerek, gözenekli ya da gözeneksiz membranlar oluşturulabilmektedir. Faz ayırma prosesi, solvent buharlaştırma, buhar fazında çökeltme, kontrollü buharlaştırma, soğutma ile çökeltme ve daldırma çökeltmesi teknikleriyle gerçekleştirilebilmektedir ancak faz ayırma membranları genelde daldırma çökeltmesi ile hazırlanmaktadır (Mulder, 1996).

- **Solvent buharlaştırma:** Faz ayırma prosesiyle hazırlanan membranların çoğu bu metotla üretilmektedir. Bu yöntemde, polimer solventin içerisinde çözünmektedir. Daha sonra bu solvent ve polimer solüsyonundan oluşan döküm çözeltisi, cam tabaka gibi bir destek tabakasına dökülmektedir. Bu destek tabakası, nonwoven polyester gibi porlu; metal, cam, polimetil metakrilat gibi polimer ve teflon olabilmektedir. Solventin uçarak, gözeneksiz ve homojen membran yapısı oluşturulması sağlanmaktadır (Mulder, 1996).
- **Buhar fazında çökeltme:** Bu metot, 1918 yılı başlarında Zsigmondy tarafından kullanılmıştır. Polimer ve solvent içeren döküm solüsyonu, buharlı ortama yerleştirilir.

Solvent olmayan (nonsolvent) içeriğe doymuş bu ortamda, döküm solüsyonundaki solventin uçması sağlanırken, nonsolventin film tabakasına difüzyonla girmesiyle membran formasyonu oluşmaktadır. Böylece, üst tabakası olmayan porlu membranlar üretilmektedir (Mulder, 1996).

- **Kontrollü buharlaştırma:** Kontrollü buharlaştırma ile çökeltme, bu yüzyılın ilk başlarından beri kullanılmaktadır. Bu noktada, solvent ve nonsolventin birlikte kullanılarak, polimerin bu solüsyonda çözülmesi sağlanmaktadır. Solventin, nonsolventten daha uçucu olduğu anda bileşim yer değiştirmekte ve yüksek nonsolvent ve polimer ortamda bulunmaktadır. Bu şartlar da, polimer çökmesi sonucunda anizotropik (skinned) membranlar oluşmaktadır (Mulder, 1996).
- **Soğutma ile çökeltme:** Tek solvent içeren ve polimer ilavesiyle hazırlanan döküm solüsyonu, soğutularak faz ayrım mekanizmasının gerçekleşmesine olanak tanımaktadır. Solvent buharlaştırılması sonucu genelde anizotropik (skinned) membran formasyonu oluşturulmaktadır. Bu metot, mikrofiltrasyon membranlarının hazırlanmasında sıklıkla kullanılmıştır (Mulder, 1996).
- **Daldırma çökeltmesi:** Çoğu ticari membran, daldırma çökeltmesi yöntemiyle hazırlanmaktadır. Polimer ve solvent içeren döküm solüsyonu, destek tabakasına dökülmekte ve ardından nonsolvent içeren koagülasyon banyosuna daldırılmaktadır. Solvent ve nonsolventin yer değiştirmesi ile çökme gerçekleşmekte, faz ayrım ve kütle transferi mekanizmalarının birlikte çalışması sonucunda membran yapısı elde edilmektedir (Mulder, 1996).

2.1.4. Membran Modifikasyonu

2.1.4.1. Döküm çözeltisi içindeki katkı maddeleri

Döküm çözeltisinde, örneğin suda çözünebilir polimerlerden, polivinil pirolidon (PVP), polietilen glikol (PEG) ya da inorganik tuzlar (LiCl) gibi katkıların kullanılması membran yapısını modüle etmek için pratik bir yoldur. Bu özellik, yüksek akı elde etmek için yüksek porozitenin gerektiği membran distilasyonunda kullanılan mikrogözenekli PVDF membran hazırlama aşamalarında incelenmiştir (Tomaszewska, 1996; Feng ve diğ., 2004). Özellikle, önemli miktarlarda LiCl'ün eklenmesiyle daldırma basamağında PVDF'nin çökme oranını

artırdığı ve bununda açık yapıdaki makro boşlukların ve oyukların oluşmasına yol açtığı gözlenmiştir. Hızlandırılmış çökelme, katkının sudaki karışma meyline, katkının polimer ve çözücü ile etkileşimine bağlıdır.

2.1.4.2. Kopolimerin kullanımı

Bir membran hazırlarken bir tek tip monomer kullanımı zorunlu değildir. Ticari olarak HYFLON AD olarak bilinen, tetrafloroetilen (TFE) ve 2,2,4-trifloro-5-triflorometoksi-1,3dioksil (TTD) kopolimerlerinden üretilen asimetrik ve kompozit membranlar, yüksek oranda hidrofobik özellik gösterir ve su temas açısı 120° 'den yüksektir (Arcella, 1999).

PTFE ve PVDF kopolimerden asimetrik hidrofobik mikro-gözenekli membranlar, faz dönüşüm işlemi (Feng ve diğ., 2004) ile hazırlanmıştır. Deneysel sonuçlara göre; bu membranlar (uzama germe ve kopmadaki uzama oranı PVDF'den yaklaşık 6-8 kat daha fazladır) çok iyi mekanik ve iyi bir hidrofobik özellik (yaklaşık 87° arasında suya temas açısı) sergilerler.

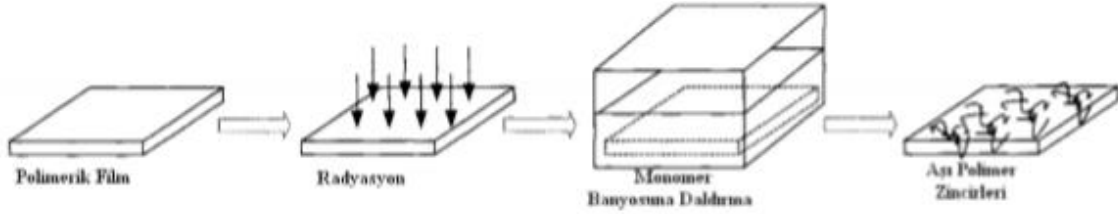
2.1.4.3. Kompozit membranlar

Kompozit membranlar, genellikle farklı bir malzemeden gözenekli alt tabakanın üzerinde ince bir üst tabakanın birikmesiyle, asimetrik bir yapı göstermektedir. Kompozit membranların en önemli avantajı, her tabakanın gerekli seçicilik, geçirgenlik, kimyasal ve termal kararlılık gibi özelliklerinin bağımsız olarak optimize edilebilmesidir.

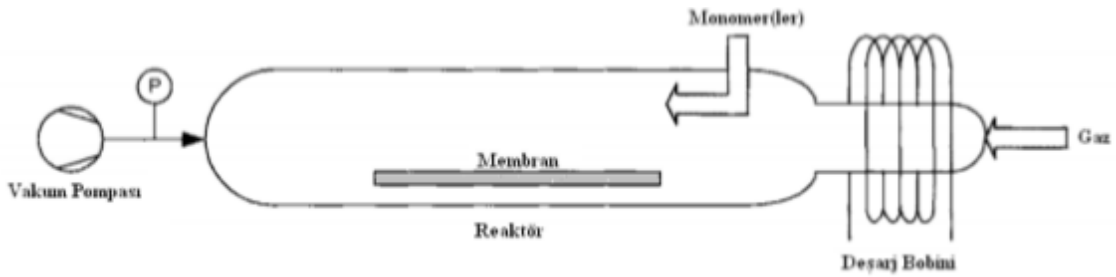
Kompozit membranların hazırlama işlemlerini dört sınıfta toplayabiliriz;

- Ayrı olarak ince tabakanın dökümü, (bir su banyosu yüzeyinde çok seyreltilmiş polimer çözeltisi yayma gibi) ve ardından mikrogözenekli desteğe kat yapılması
- Mikro gözenekli desteğin polimer ile kaplanması, bir reaktif monomerin veya polimer çözeltisinin (çözelti derişimi genellikle % 1'den daha az olan uygun bir çözelti içine daldırma ile) ısı işlem veya radyasyon ile aşılması (Şekil 2.7).
- Plazma polimerizasyonu (Şekil 2.8),

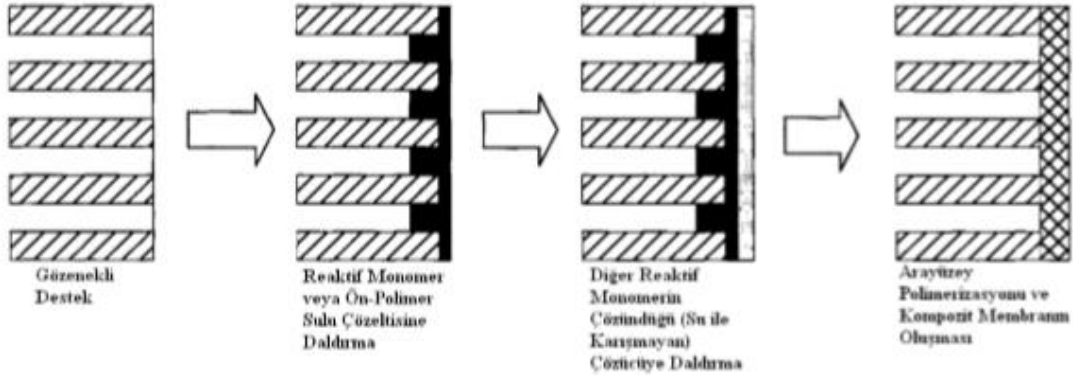
- Mikro gözenekli desteğin yüzeyinde reaktif monomer ile ara yüzey polimerizasyonu (Şekil 2.9).



Şekil 2.5: Radyasyonla aşılama işleminin şematik gösterimi.



Şekil 2.6: Plazma polimerizasyonu reaktörünün şematik gösterimi.



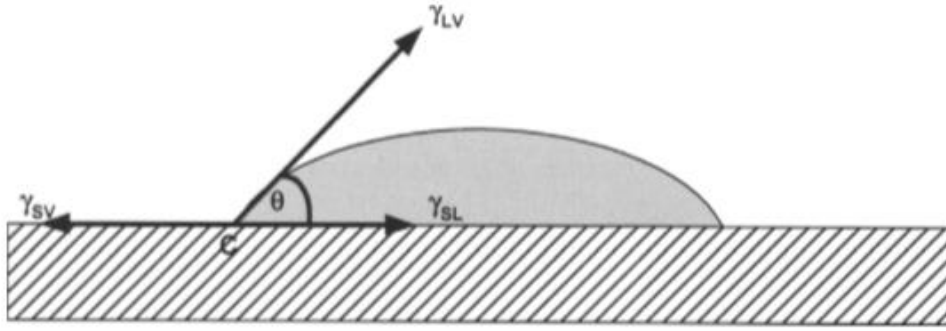
Şekil 2.7: Arayüzey polimerizasyonun şematik gösterimi.

2.1.5. Membran Karakterizasyonu

Membran reaktörlerinde aktarım olayının tam anlamıyla membranın yapısıyla alakalı olduğu bilinmektedir. Membran karakterizasyonu işlemleri, bir membranın yapısal ve morfolojik özelliklerinin belirlenmesini sağlar. Performansları hidrofobik ya da hidrofilik karakterlerine, yüzey yüküne, membran ile çözünen maddeler veya çözücü maddeler, vb arasındaki etkileşimlere bağlı olduğu için, farklı membranların (gözenekli, gözeneksiz, organik, inorganik, vb) karakterizasyonu, farklı yöntemler gerektirir.

2.1.5.1. Temas açısı ölçümleri

Temas açısı ölçümleri bir malzemenin hidrofilik ya da hidrofobik davranışını tanımlamak için kullanılan geleneksel bir karakterizasyon yöntemidir. Prensip olarak ideal bir yüzeyin ıslanabilirliği hakkında bilgi sağlar. Çoğu durumda yüzeyin gözenekliliği ve pürüzlülüğü, heterojen olması vb. temas açısının gerçek değerinin ölçülememesine neden olur. Eğer yüzeyle, damlatılan sıvı arasındaki etkileşim düşükse düz bir yüzey üzerindeki bir sıvı damlacık ile yapılan temas açısı değeri 90° den büyük olur. Bu durumda ölçüm su ile yapılıyorsa malzeme hidrofobik olarak kabul edilir. Islatma 0° olduğunda ise yüzeye sıvı yayılır. Şekil 2.10.'da temas açısı ölçümü şematik olarak gösterilmiştir. θ bir katı malzeme yüzeyindeki sıvı damlasının temas açısıdır.



Şekil 2.8: Temas açısı ölçümlerinin şematik gösterimi.

2.1.5.2. Mikroskopik teknikler

Mikroskopik gözlem veya mikrograf görüntüsü doğrudan membran morfolojisi hakkında görsel bilgi verir. Çeşitli mikroskopik teknikler membran yapısını incelemek için kullanılmaktadır. Bunlar;

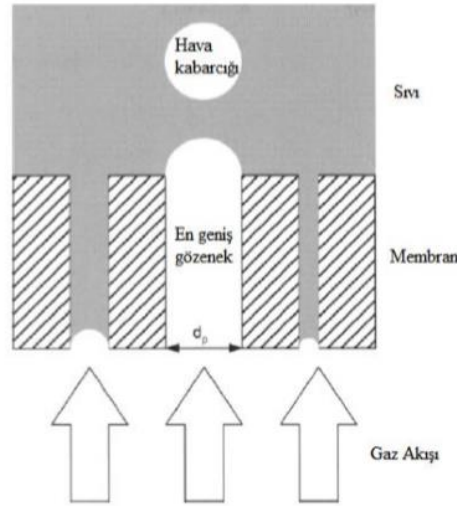
- **Taramalı elektron mikroskobu (SEM) :** Taramalı Elektron Mikroskobu malzemeyi analiz etmek için yüksek çözünürlüklü resim oluşturmak amacıyla vakum ortamında oluşturulan ve aynı ortamda elektromagnetik lenslerle inceltiren elektron demetini kullanır. Elektron demetinin malzeme ile olan etkileşiminden ortaya çıkan ışımlar veya geri yansıyan elektronlar sayılarak mikroskopta resimler oluşturulur. Bunlar ikincil elektron yansımaları (secondary electron image), geri yansımaya uğramış elektronlar (backscattered electrons), karakteristik x ışınları, Auger elektronları, vs. dir. Membran

elektron ışını tarafından zarar görebilir bunu önlemek için numune önceden bir iletken tabaka ile kaplanmalıdır.

- **Geçirimli elektron mikroskobu (TEM):** Elektron tabancasından elde edilen elektronlar 100-200 kV değerinde hızlandırma voltajı ile numuneye yönlendirilirler. Elektronların yönlendirilmesi elektromanyetik lensler kullanılarak yapılır. Numuneden geçebilen elektronlar gözlem ekranının üzerine düşer ve görüntü elde edilir.
- **Atomik kuvvet mikroskobudur (AFM):** Örnek ile iğne arasındaki kuvvet etkileşimi sonucu kaldırma mekanizması nm ölçeğinde hareket eder. Bu hareketten faydalanılarak bilgisayar ortamına aktarılan veriler, yazılım aracılığı ile derlenerek ya örneğin görüntüsü elde edilir ya da iğne ile örnek arası etkileşimler ölçülür.

2.1.5.3. Mikrogözenekli membranların gözenek boyutunun ölçülmesi

- **Kabarcıklanma tayini:** Kabarcıklanma tayini; üzeri sıvı dolu olan bir membran boyunca hava üfleme için gerekli olan basıncı ölçerek membrandaki en büyük gözenek boyutunun belirlenmesini sağlayan basit bir tekniktir (Şekil 2.9).



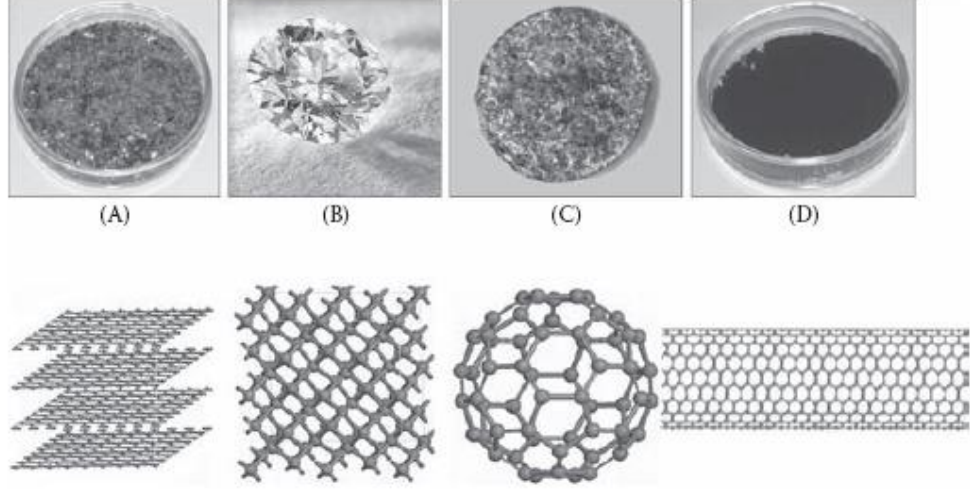
Şekil 2.9: Kabarcıklanma tayini yönteminin prensibi.

- **Civa porozimetresi :** Civa porozimetresi, toz veya yığılmalarda gözenek boyutu, gözenek boyut dağılımı ve yüzey alanı ölçümleri ile kütleli yoğunluk tayininde kullanılmaktadır.

- **Permporpmetri:** Bu yöntem ile asimetrik membranlarda bulunan ince üst tabakanın gözenek boyutu ve gözenek boyutu dağılımı belirlenebilmektedir. Gözenekler yoğunlaştırılabilen bir gaz (örneğin; karbon tetraklorür, metanol, etanol vb.) ile doldurulur ve membrandan geçen gaz akısının ölçümü yapılır. Gözenek boyutlarının değişebilmesinden ötürü, ölçüm esnasında membranda şişme olmaması çok önemlidir.
- **Termoporometri:** Termoporometri gözenek boyut dağılımını belirlemek amacıyla gözenekli membrandaki katı-sıvı geçişinin kalorimetrik ölçülmesi temeline dayanır. Termoporometri 2-50 nm aralığında çaplara sahip gözeneklerin karakterize edilmesine uygun bir yöntemdir. Membran yüzeyindeki gözenekler suyun veya sıvının donduğu sıcaklıklarda oluşmaktadır. Gözenek boyutunun düşmesiyle suyun veya sıvının donma noktası azalmaktadır.

2.2. KARBON NANOTÜP

Karbon (C), atom numarası 6 olan kimyasal bir elementtir. Periyodik tablonun 14. grubunda yer alır ve ametaldir. ^{12}C , ^{13}C ve ^{14}C olmak üzere üç tane doğal olarak meydana gelen izotopu vardır. İlk ikisi kararlı iken, ^{14}C olan üçüncüsü ise 5730 yarılanma ömrü olan radyoaktif bir izotopdur. Literatür çalışmalarında karbon elementinin ilk olarak 3. yüzyılda siyah mürekkep pigmenti olarak kullanıldığı belirtilmiştir (Donnet ve diğ., 1993). “Karbon “ kelimesi “carbo” olan latin kelimesinden gelmektedir ve bu kelime hem element olan hem de kömür olan karbon için kullanılmaktadır (Carbon, 2009). Karbonun birçok allotropu vardır, fakat en iyi bilinenleri; grafit, elmas, fulleren (C_{60} , C_{70} , vd.) ve karbon nanotüp (CNT)’lerdir. Bu karbon maddelerinin makroskopik durumları tüm allotropları ve şekilleri ile Şekil 2.10’da verilmiştir. Şekilsel farklılıklar, karbon allotroplarının fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak geniş bir şekilde çeşitlenmektedir (Donnet ve diğ., 1993; Ma ve diğ., 2010). Örnek olarak, grafit, fulleren ve CNT’ler mat ve siyah olarak görülürken, elmas yüksek oranda transsparandır. Diğer yandan elmas, dünyadaki en sert madde olarak bilinirken, grafit ise kağıtta bir iz bırakmaya yetecek kadar yumuşaktır. (Kang ve diğ., 2006; Carbon, 2009; Ma ve diğ., 2010).



Şekil 2.10: Karbon allotroplarının makroskobik durumları ve şematik yapıları: (A) grafit, (B) elmas, (C) C_{60} , Fulleren ve (D) CNT.

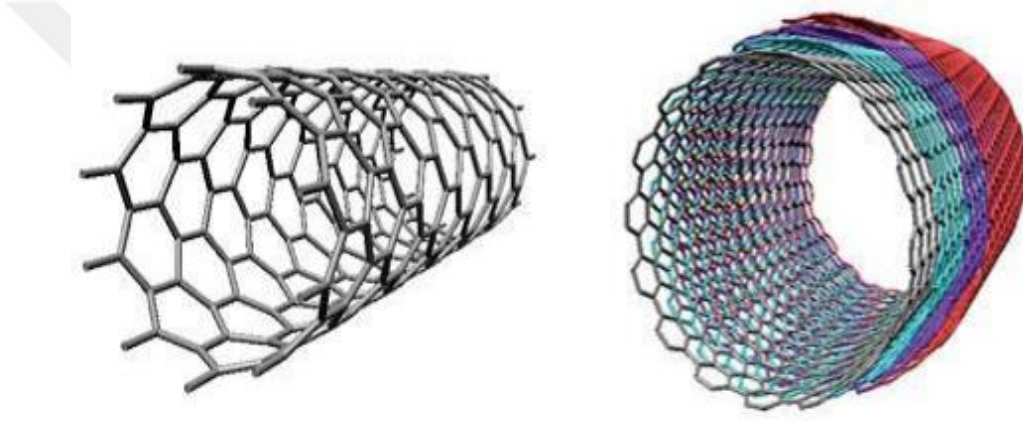
1980'lerin ortalarında, Kroto ve Smalley tarafından yeni karbon dizilerinin sentezi için yapılan deneysel çalışmalar ile CNTlerin tarihine bir giriş yapılmıştır. Grafitin buharlaştırılması ile farklı büyüklüklerde ve 60-70 karbon atomu içeren karbon dizileri keşfedilmiştir. Bu beklenmeyen buluş, Şekil 2.10 C'de gösterildiği gibi, fullereni daha önemli bir konuma getirmiştir. Beş yıl sonra, yüksek miktarda fullerenin sentezlenmesi, bilim adamlarına yeni bir karbon formunun özellikleri hakkında çalışma fırsatı sunmuştur (Kratschmer ve diğ., 1990).

1990'ların başlarında, Iijima isimli bir bilim adamı, elektrik ark boşaltım tekniği ile üretilen karbon islekeleri ve tortularını incelemiştir. Iijima yüksek çözünürlüklü geçiş elektron mikroskopunu (TEM) kullanarak, şuan CNT olarak bilinen kapalı uçlu tüp gibi grafit şekillerin varlığını gözlemlemiştir. Tarihsel açıdan bakıldığında, Iijima'nın yaptığı çalışmalar, CNT'lerin mükemmel özelliklerini ve potansiyel uygulama alanlarını ortaya koymasından önem arz etmektedir (Dresselhaus ve diğ., 2001; Monthieux ve diğ., 2006; Fiorito, 2008). CNT'lerin tarihinde bir başka bilimsel buluş ise, Ebbesen ve çalışma arkadaşları tarafından 1993'te yapılan sıraya konmuş CNT'lerle ilgili sentez çalışmasıdır (Ebbesen ve diğ., 1993). Böylece, daha önce gerçekleştirilemeyen tek boyutlu kuantum fiziği ile ilişkili birçok hassas deneyin yapılabilmesi mümkün hale gelmiştir.

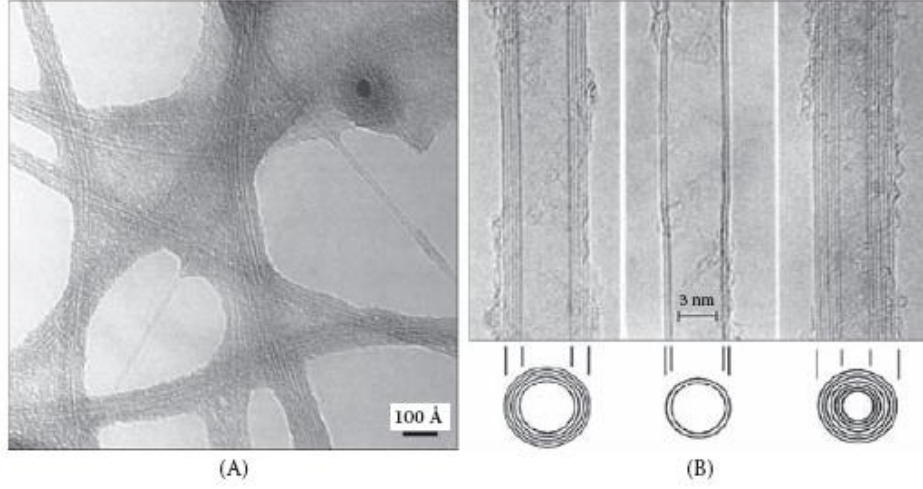
Grafit, elmas ve fulleren gibi karbon malzemelerinin aksine, CNT'ler, 1000'den daha büyük en boy oranına sahip olabilen tek boyutlu karbon maddeleridir. CNT'ler, nanometre ölçeğinde boyutlarda sarılmış grafen yüzeyleri olan silindirik bileşikler olarak tasarlanabilirler (Reich ve

diğ., 2004). Silindirik nanotüpler, genellikle en az bir adet sonu kapatılmış olan fulleren biçiminde yarımküreye sahiptirler.

CNT'ler, CNT sentezinde kullanılan prosese göre, tek duvarlı karbon nanotüpler (SWCNT) ve çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT) olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar (Şekil 2.11). Tek duvarlı CNT'ler tek bir adet grafen tabak içerirken (Şekil 2.12.A), çok duvarlı CNT'ler ise iki veya daha fazla sayıda silindirik grafen tabaka kabukları içerirler (Şekil 2.12.B). Ayrıca bu kabuklar, eş merkezli şekilde bitişik tabakalar arasındaki van der Waals kuvvetleri ile bir boşluklu çekirdek etrafına dizilmişlerdir.

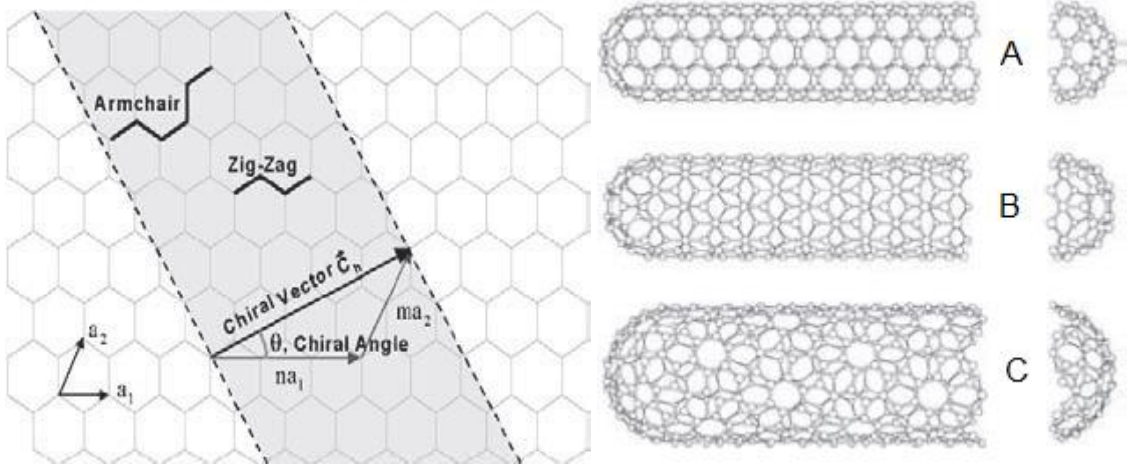


Şekil 2.11: Tek katmanlı ve çok katmanlı karbon nanotüpler.



Şekil 2.12: Farklı karbon nanotüplerin TEM görüntüleri : (A) tek katmanlı karbon nanotüpler ve (B) çok katmanlı karbon nanotüpler (Krätschmer ve diğ., 1990).

Grafen tabakasının yuvarlama açısına göre, CNT'ler koltuk, zikzak ve kiral olmak üzere üç tane kiraliteye sahiptirler. Tüp kiralitesi, kiral vektör, $C_h = na_1 + ma_2$ (Şekil 2.13) ile tanımlanır. n , m tamsayıları, altıgen kafes birim vektörleri (a_1 ve a_2) boyunca olan basamakların numaralarıdır (Dresselhaus ve diğ., 1995).



Şekil 2.13: Altıgen kafesli bir grafenin farklı kiralitelerli bir CNT formuna yuvarlanması: (A) koltuk (armchair), (B) zigzag ve (C) kiral. (Dresselhaus ve diğ., 1995).

Karbon fiberlerinin aksine, tek duvarlı karbon nanotüpler önemli ölçüde esnektir. Çeşitli esnetmeler neticesinde kırılmadan kalabilirler. Ayrıca, bazı araştırmacılar nanotüp üzerine uygulanan etki çekildiğinde eski orijinal şeklini aldığını ifade etmişlerdir. Herhangi bir baskı uygulandığında kolayca kırılan karbon fiberlerinin tersine, karbon nanotüpler etki uygulandığında elastikiyet sağlayan benzersiz bir yapı oluşturmaktadırlar (Zhang ve diğ.,

2009). Tek duvarlı nanotüpler, fiziksel eğme ve bükmeye karşı inanılmaz derecede dayanıklıdır. 120 derecelik açıyla eğilmekte sonra hasarsız olarak eski durumuna gelmektedirler. Bunlar aynı zamanda uzundurlar. Araştırmacılar 4 mikron uzunluğunda hatasız nanotüpler üretebilmişlerdir. Bu da ortalama bir silikon yongasının uzunluğunun yaklaşık 40 katıdır. Bazı küçük kusurları olana nanotüplerin uzunluğu 120 mikrona çıkabilmektedir.

CNT'ler eşsiz fizikokimyasal özelliklerinden ve birçok potansiyel uygulamalarından dolayı dikkatleri hep üzerine çekmiştir. Diğer birçok mikro gözenekli adsorbentlerin tersine, CNT teknolojisi tezgâh altı su arıtma sistemlerini potansiyel olarak desteklemektedir. Elyafı yapıya sahip CNT'ler aynı zamanda yüksek en-boy oranı, yüksek miktarda ulaşılabilir dış yüzey alanı ve çok iyi gelişmiş mezoporlara sahiptirler (Song ve diğ., 2008). Bu üstün özellikler, CNT'lerin organik yapılı mikro kirleticileri yüksek miktarda arıtabilmelerine olanak sağlamaktadır. Bunun yanında, CNT'ler ağır metal ve organik içerikli kimyasalların gideriminde yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olduklarını göstermişlerdir. Son zamanlarda, araştırmacılar birçok mikro kirleticinin CNT'ler tarafından adsorplanma kapasitelerinin ve mekanizmalarının ortaya konması ile ilgili çalışmalar yürütmektedirler. Son zamanlarda yapılan laboratuvar çalışmaları, CNT'lerin toz aktif karbon (PAC)'a nazaran daha yüksek adsorpsiyon kapasitesine ve kısa sürede dengeye ulaşma özelliklerine sahip olması açısından daha iyi adsorbent olduğunu ortaya koymuştur. Diğer yandan, CNT'lerin içme suyu arıtma noktasında yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olmasına rağmen, bu nano yapılı adsorbentler bazı dezavantajlara sahiptirler. Bu dezavantajları ekonomik fizibilite, sağlık riskleri ve pratik uygulamalar açısından çevresel etkileri olarak sıralayabiliriz. Birçok bilimsel çalışma, CNT'lerin çevreye yayılmasının ekosistem üzerinde birçok olumsuz etkiye sahip olabileceğine işaret etmektedir. Bu olumsuzlukları, CNT'lerin toksik özelliklerinden dolayı DNA yapılarını ve organları tahrip etmeleri olarak sıralayabiliriz. Özellikle, CNT'lerin insan hayatı açısından meydana getirebileceği sağlık etkileri bir tartışma konusudur. Bunlara ilaveten, içme suyu arıtma tesislerinde kullanılan CNT'ler açısından bir önemli problem ise membran filtrasyonu sırasında CNT taneciklerinin sistemden kaçmasıdır. Üstelik CNT'lerin büyük ölçekli içme suyu arıtma tesislerinde uygulanması hala çok pahalıdır. Oysaki, yakın zamanda yapılan bir çalışma, yüksek kalitede CNT'lerin üretim maliyetinin kg başına 10 dolar civarında olduğunu göstermiştir (Zhang ve diğ., 2009, Chen ve diğ., 2008).

Diğer yandan, laboratuvar çalışmalarında MWCNT tanecikleri birçok izoterm çalışmalarında adsorban madde olarak kullanılmışlardır. Bu çalışmalarda farklı özelliklere sahip toksik ve organik kirleticilerin farklı MWCNT'ler ile giderim mekanizmaları incelenmiş ve en yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip MWCNT'ler belirlenmiştir.

Günümüzde CNT'ler üç ana teknik ile üretilirler. Bu teknikler elektrik ark boşaltımı, lazerle aşındırma ve kimyasal buhar birikimi (CVD) olarak sıralanır (Thostenson ve diğ., 2001; Hu ve diğ., 2006; Chen ve diğ., 2006; Wilson, 2002).

Burada tanımlanan metotların hala geliştirme aşamasında olduğu ve farklı şartlar altında, farklı deney düzenekleri ve işletme parametreleri ile sayısız çeşitlilikte teknikler olduğu akılda tutulmalıdır. Her bir teknik, CNT'lerin çeşitliliği ve kalitesi bakımından kendine özgü avantajlar ve dezavantajlar sağlar. Bu teknikler için genel bir bakış Tablo 2.4'de verilmiştir.

Tablo 2.4: CNT sentezi için en yaygın olarak kullanılan tekniklerin karşılaştırılması (Hu ve diğ., 2006; Chen ve diğ., 2006; Wilson, 2002).

Öge / Metot		Ark boşaltımı	Lazerle aşındırma	Kimyasal buhar birikimi	Karbon monoksitin yüksek basınçlı dağılımı
Prensip		Durağan atmosfer koşulları altında, grafit ve elektrotlar arasında ark boşaltım oluşumu (Ar, He)	Akıcı durağan atmosfer ve yüksek sıcaklık koşulları altında lazer ile grafitin buharlaştırılması	Metal katalizör parçacıkları varlığında hidrokarbon gazının bozunması	Yüksek basınç ve sıcaklık ile gaz fazlı CNT'lerin büyümesi
CNT'lerin çapı	Tek katmanlı CNT'ler	Çap: 1-2 nm, kısa	Çap: 1-2 nm, uzun	Çap: 0.5-4 nm, uzun	Çap <1nm, çeşitli uzunlukta
	Çok katmanlı CNT'ler	Çap: 1-10 nm, kısa	Çap: 1-20 nm, kısa	Çap: 10-200 nm, uzun	Kabul edilemez uzunlukta
CNT verimi		%90'a kadar	%65'e kadar	%100'e kadar	%70'e kadar

Adı geçen metotlarla CNT'lerin sentezlenmesinin yanında, konvansiyonel tekniklerle de CNT'lerin üretimi mümkündür. Örnek olarak, bilyeli öğütme ve ardışık tavlama verilebilir (Chen ve diğ., 2006). Bu metot, içinde metal bilyeler bulunan bir paslanmaz çelik kap içine grafit tozunu koymayı içerir. Öğütme işlemi oda sıcaklığında 150 saate kadar olan bir zaman diliminde gerçekleştirilir. Öğütülmüş toz, inert gaz akışı altında 1400 °C'de 6 saat boyunca

tavlanmaktadır. CNT'nin bu mekanizma ile üretimi pek bilinmemektedir. Fakat bilyeli öğütme prosesi nanotüp çekirdeğini oluşturmakta ve tavlama prosesinin nanotüp büyümesini tetiklediği düşünülmektedir. Bu metotla çok katmanlı CNT'ler daha fazla, az katmanlı nanotüpler ise daha az üretilir.

CNT'ler, ayrıca difüzyon alev sentezi, elektroliz, güneş enerjisi kullanımı, polimer tavlama (ısı işlem) ve düşük sıcaklıklı katı pirolizi ile de üretilebilirler (Hu ve diğ., 2006; Wilson ve diğ., 2002). Unutulmamalıdır ki CNT'ler hangi yöntemle üretilirse üretilsinler, yeni üretilen CNT'ler katalizör parçacıkları ve amorf karbon nano parçacıkları gibi bazı safsızlıklar içereceklerdir. CNT'lerin temizlenmesinde kullanılan metodları, havada ve asitte oksidasyon, UV/Ozon arıtma, mikrofiltrasyon ve boyut ayırma kromatografisi olarak sıralayabiliriz. Kimyasal metotlar kullanılarak temizlenen CNT'lerin incelenmesi, CNT'lerin özelliklerini etkileyen bazı yapısal değişiklikleri gösterir.

2.3. CNT ESASLI MEMBRANLARIN İÇME SUYU ARITIMINDA KULLANILMASI

Organik-inorganik hibrit membranların gelecekte yaygın olarak kullanılma potansiyeli yüksektir. Bu tür membranların, inorganik maddelerin fizikokimyasal kararlılığına ve polimerlerin membran oluşturma potansiyeli özelliklerine sahip olması muhtemeldir (Peng ve diğ., 2007). Özellikle, nano boyutlu inorganik materyalin kullanıldığı kompozit membranların yüksek seçiciliğe, yüksek hidrofilikliğe ve geliştirilmiş tıkanma direncine sahip olmalarından dolayı, son yıllarda çok cazip olduğu ifade edilmektedir (Yang ve diğ., 2007). Daha önce yapılan çalışmalar, polimerlerin malzeme özelliklerinin geliştirilmesi açısından karbon nanotüplerin yüksek bir potansiyele sahip olduklarını göstermiştir. CNT'in düşük yoğunluk, yüksek dayanım ve sertlik özellikleri, bu taneciklerin polimerik malzemelerin içerisine potansiyel güçlendirici malzeme olarak ilave edilmelerine olanak tanımaktadır (Gojny ve diğ., 2004). CNT taneciklerinin katkı maddesi olarak polimerik membranlara eklenmesinin en önemli avantajları yüksek miktarda iletkenlik ve hidrofilik içerik sağlamalarıdır. Bunun yanında, son zamanlarda CNT tanecikleri üretim maliyetinin ciddi anlamda düşmesinden dolayı (10 \$/kg CNT), bu nano yapıları malzemelerin polimerik membranlara spesifik özellikler kazandırmaları açısından gelecekte çok daha önemli rol oynayacağına işaret etmektedir (Choi ve diğ., 2006).

Çok katmanlı karbon nanotüpler ile harmanlanmış polisülfon (PSf) mikrofiltrasyon membranının yalın haldeki PSf membranına nazaran oldukça yüksek akı ve giderme verimine sahip olduğu, Choi ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışma ile ortaya konulmuştur. Hazırladıkları bu nanokompozit membranlarda saf su akı miktarının % 1.5 MWCNT içeriğine kadar arttığı ve daha sonra artan MWCNT içeriği ile düşüşe geçtiği görülmüştür. Yüksek miktardaki saf su akısının, MWCNT eklenmesi ile oluşan hidrofilik yüzey ve geniş yüzey gözeneklerinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Choi ve diğ., 2006). Bu çalışmalar ayrıca MWCNT ile harmanlanmış polimerik membranların, yalın haldeki PS membranlarından daha fazla hidrofilik olduğunu ortaya koymuştur. Bu kapsamda Qui ve arkadaşları tarafından yapılan benzer çalışmalar, MWCNT ile harmanlanmış polisülfon ultrafiltrasyon membranlarının yalın polisülfon membranlarına nazaran daha yüksek akı ve arıtma verimi sergilediğini göstermiştir (Qiu ve diğ., 2009).

Majeed ve arkadaşları poliakrolnitril (PAN) ile MWCNT'leri harmanlayıp nanokompozit membran üretimi yapmışlardır. Membran sentezini faz inversiyon yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Nanokompozit PAN membran üretimi sırasında, PAN dop çözeltisinin içerisine ağırlıkça sırasıyla % 0.5, 1.0, ve 2.0 oranında MWCNT eklemişlerdir. Elden edilen CNT/PAN membranlarının saf su akısı saf PAN ile karşılaştırıldığında, % 0.5 MWCNT içeren membran için % 63 civarında bir akı artışı olduğu tespit edilmiştir. Akı miktarının bu noktadan sonra düşüş gösterdiği tespit edilmiş olup, % 2 MWCNT içeren CNT/PAN membranının bile hala yüksek akıya sahip olduğu belirlenmiştir (Majeed ve diğ., 2012). Vatanpour ve ekibi MWCNT taneciklerini titanyum dioksit (TiO₂) ile kaplayıp daha sonra PES membranları ile harmanlamışlardır. Dop çözeltisi içerisine eklenen MWCNT'lerin ağırlıkça oranı % 0.1 ve 1.0 olarak ayarlanmıştır. Çalışma sonucunda en yüksek saf su akısına % 1 MWCNT içeren PES membranının sahip olduğu belirlenmiştir (Vatanpour ve diğ., 2011).

Çelik ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, çok katmanlı karbon nanotüpler ile harmanlanmış polietersülfon (PES) nanokompozit membran sentezi gerçekleştirilmiştir. Nanokompozit membran sentez işlemi faz inversiyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında dökümü yapılan karbon nanotüp poliethersülfon (C/P) membranlarının karakterizasyon işlemi SEM, FTIR ve teması açısı ölçüm cihazları ile yapılmıştır. C/P membranlarının yalın haldeki PES membranına nazaran daha fazla hidrofilik özelliğe ve daha yüksek saf su akısına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada aynı zamanda, nanokompozit

polimerik membran içerisine eklenen MWCNT miktarının da membran morfolojisi ve geçirimsizlik özelliklerini de önemli derecede etkilediği ortaya konmuştur. 7 mg/L toplam organik karbon (TOK) içeriğine sahip yüzeysel içme suyu örneklerinin söz konusu bu PES ve C/P membranlarından süzülmesi sonucu, C/P membranlarının PES membranlarına nazaran daha yüksek akı ve daha yavaş tıkanma hızı gösterdiği belirlenmiştir. Filtrasyon işleminin ardından, membranlar üzerinde biriken kirleticilerin analizleri, yalın PES membranı üzerinde biriken kirletici miktarının % 2 MWCNT içeren C/P membranından % 63 daha fazla olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla, C/P membranlarının karbon nanotüp içeriğinin, doğal suların arıtılması sonucu meydana gelen membran tıkanma miktarını azalttığı görülmüştür (Çelik ve diğ., 2010).

Çelik ve çalışma arkadaşları yaptıkları başka bir çalışmada ise C/P membranlarının model protein bileşikler içeren sularla tıkanma potansiyelini incelemişlerdir. Bu çalışmada ağırlıkça % 20 PES içeren çözeltiye sırasıyla % 0.5, 1.0, 2.0 ve 4.0 oranında MWCNT eklenerek ultrafiltrasyon membran sentezi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra söz konusu membranların karakterizasyon işlemleri yapıp, ardından model protein bileşiği olarak seçilen bovin serum albümin (BSA) ve oval albümin (OVA) maddelerinin membran filtrasyonu gerçekleştirilmiştir. BSA ve OVA bileşiğinin söz konusu membranlardan süzülmesi sonucu meydana gelen membran tıkanma profili incelemeye tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda, C/P nanokompozit membranlarının yalın PES membranlarına nazaran daha az tıkanıldığı tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, söz konusu 2 UF membranından 1 saatlik sürede protein süzülmesi sonucunda, C/P nanokompozit membranın geri dönüştürülemez tıkanma oranının yalın PES membranının geri dönüştürülemez tıkanma oranından daha düşük olduğu belirlenmiştir. Öte yandan, Çelik ve arkadaşları, C/P nanokompozit membranının akı geri kazanma oranının yalın PES membranın akı geri kazanma oranından daha yüksek olduğu ortaya konmuştur. Bu sonuçlar ışığında, C/P nanokompozit membranlarının protein tıkanma etkilerini azaltma potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir (Çelik ve diğ., 2011).

Shawky ve arkadaşları aromatik poliamid (PA) ve MWCNT'ler ile membran üretimi yapmışlardır. MWCNT-PA kompozit membranın sentezi için polimer aşılama (grafting) prosesi kullanılmıştır. PA membranlarına nanokompozit formu oluşturabilmek için eklenen MWCNTler bu membranların mekanik özelliklerini arttırmıştır. %10 PA membranlara

MWCNT ilavesi NaCl giderimini %76'ya yükseltirken, hümik asidin giderimini %54 ten %90 a yükselmiştir. (Shawky ve diğ., 2011).



3. MALZEME VE YÖNTEM

Deneysel çalışmalar dört ana aşama altında yapılmıştır. Sırasıyla bu aşamalar şöyledir:

- Membran sentezinin gerçekleştirilmesi,
- Membran karakterizasyonunun gerçekleştirilmesi,
- Membran filtrasyon sistemi,
- Membran tıkanma profilinin ortaya çıkarılması.

3.1. MEMBRAN SENTEZİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

3.1.1. Membran Sentezinin Gerçekleştirilmesi (PES/PVP)

Membran sentez çalışmaları sırasında BASF firmasının 50000 g/mol moleküler ağırlığa sahip Ultrason® E 6020P polietersülfon (PES) ürünü ile Sigma-Aldrich firmasının 10.000 Da moleküler ağırlığa sahip polivinilpirolidon (PVP) kimyasalı kullanılmıştır. Bu kimyasalın eklenmesinin amacı membran bünyesinde bulunan gözeneklerin düzenli ve verimli bir şekilde meydana gelmesini temin etmektir. PES polimerine CNT tanecikleri katmadan önce % 14, 16, 18 ve 20'lik olmak üzere 4 farklı yüzdeye sahip PES polimeri ve %8 sabit oranda PVP polimeri ile dop çözeltisi hazırlanmıştır (Tablo 3.1). Örneğin % 14'lük PES/PVP dop çözeltisi hazırlamak için 14 g PES ve 8 g PVP polimeri alınıp 24 saat etüvde 100°C'de kurutulmuş ve ardından bu polimer 78 g N-metil-2-pirolidin (NMP) solventinin içerisine eklenmiştir. Söz konusu solvent çözeltisi 24 saat boyunca 60° C'de ve 300 rpm sabit hızında karıştırma işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 3.1). Daha sonra PES/PVP içeren bu dop çözeltisi içerisindeki hava kabarcıklarının uzaklaştırılması amacıyla bir ultrason banyosuna yerleştirilmiştir (Şekil 3.2). PES/PVP dop çözeltisinin ultrason banyosunda bekletme süresi 30 dk olarak ayarlanmıştır. Ardından, PES/PVP çözeltisi bir cam tabaka üzerine SHEEN marka Otomatik Film Aplikasyon Cihazı ile 150 µm kalınlığında dökülmüştür (Şekil 3.3). Bu işlemin hemen ardından, cam plaka hemen bir su banyosuna daldırılmıştır. Daha sonra birkaç dakika içerisinde ince bir film tabakasının cam plaka üzerinden ayrıldığı tespit edilmiştir. Ardından bu film tabakası saf su ile yıkanp, ultra saf su içerisinde +4 °C'de bir buzdolabında bekletilmiştir (Şekil 2.4). Daha sonra bu 4 farklı PES membranlarının permeabilite deneyleri gerçekleştirilmiştir.

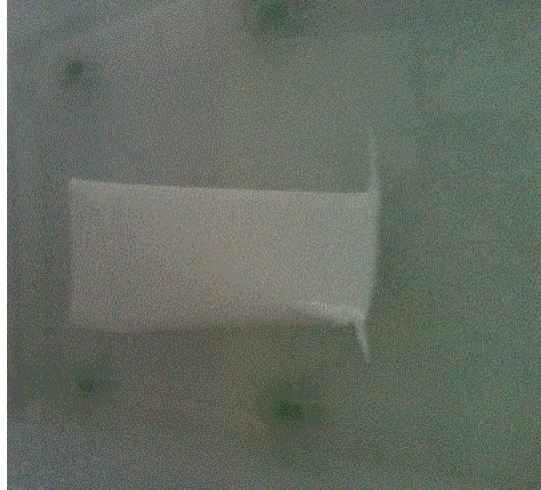
Tablo 3.1: Saf PES/PVP membran çözeltisi hazırlama miktarları.

% PES/PVP	NMP (g)	PES (g)	PVP (g)
%14 PES/8 PVP	78	14	8
%16 PES/8 PVP	76	16	8
%18 PES/8 PVP	74	18	8
%20 PES/8 PVP	72	20	8

**Şekil 3.1:** PES/PVP çözeltisinin NMP içerisinde çözündürülmesi.**Şekil 3.2:** PES çözeltisi içerisindeki hava kabarcıklarının ultrason banyosunda uzaklaştırılması.



Şekil 3.3: PES/PVP çözeltisinin bir cam tabaka üzerine SHEEN marka Otomatik Film Aplikasyon Cihazı ile dökülmesi.



Şekil 3.4: PES film tabakası.

3.1.2. CNT Taneciklerinin Modifiye Edilmesi

Bu çalışma kapsamında Timesnano firmasından temin edilen 5 adet MWCNT kullanılmıştır (Tablo 3.5). Söz konusu CNT tanecikleri karboksil (COOH) grubuna sahiptir ve CNT taneciklerinin çapı ürün bilgi formunda belirtilmiştir (Şekil 3.5). CNT tanecikleri COOH grubuna sahip olduklarından dolayı nitrik asit (HNO₃) ve sülfürik asit (H₂SO₄) içeren asit karışımı içerisinde herhangi bir yıkama işlemine tabi tutulmamışlardır. Dolayısıyla CNT tanecikleri membran sentez çalışmaları sırasında doğrudan NMP içeren solvente eklenmiş ve ardından CNT taneciklerinin NMP solventi içinde iyice dağılması sağlamak için ultrason homojenizatörü ile karıştırılmıştır.

Tablo 3.2: Farklı tanecik çaplı CNT'lerin özellikleri.

CNT Tanecik Çapı	Yüzey Alanı (m ² /g)	Gerçek Yoğunluk (g/cm ³)	Karboksil içeriği (%)
8-15 nm	233	2.1	2.56
20-30 nm	55	2.1	0.61
30-50 nm	30	-	0.36
>50 nm	20	-	0.25
SWCNT (1-2 nm)	380	-	2.73



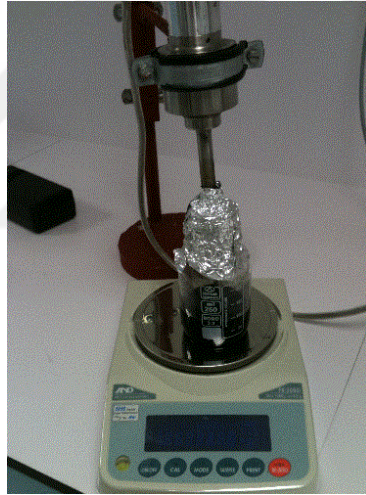
Şekil 3.5: 8-15 nm tanecik çapına sahip karbon nanotüp bilgileri.

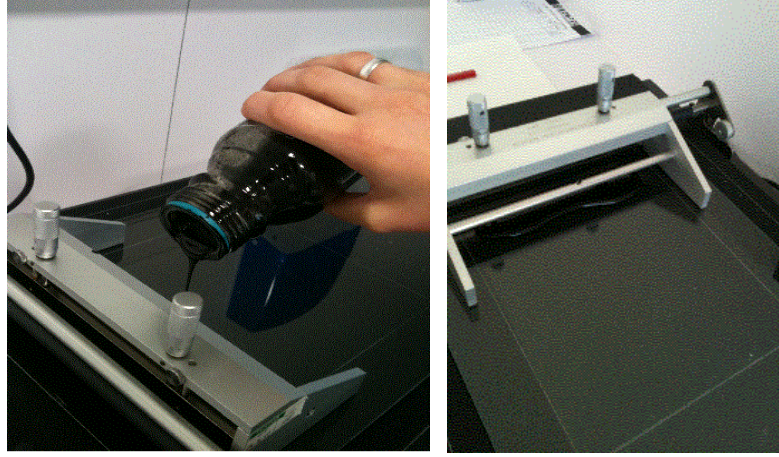
3.1.3. CNT İçeren Membran Sentezinin Gerçekleştirilmesi (CNT/PES/PVP)

CNT/PES/PVP nanokompozit membranını hazırlamak için faz inversiyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, CNT-COOH tanecikleri NMP içeren solvante eklenmiş ve ardından CNT taneciklerinin NMP solventi içinde iyice dağılması sağlamak için ultrason homojenizatörü ile karıştırılmıştır (Şekil 3.6). Bu işlemin ardından, PES polimeri ve PVP polimeri NMP içeren solvante eklenip 24 saat boyunca 60° C’de ve 300 rpm sabit hızında karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Ağırlıkça PES polimeri ile PES/PVP polimerinin NMP solventine oranı ve CNT miktarları Tablo 3.3’te özetlenmiştir. CNT/PES/PVP polimerinin tamamen çözündüğünden emin oluncaya dek karıştırma işlemi devam ettirilmiştir. Daha sonra CNT dop çözeltisi içerisindeki hava kabarcıklarının uzaklaştırılması amacıyla dop çözeltisi 60°C’de 30 dakika boyunca bir ultrason banyosuna yerleştirilmiştir. Ardından, CNT dop çözeltisi bir cam tabaka üzerine SHEEN marka Otomatik Film Aplikasyon Cihazı ile 150 µm kalınlığında dökülmüştür (Şekil 3.7). Bu işlemin hemen ardından, cam plaka hemen bir su banyosuna daldırılmıştır. Daha sonra birkaç dakika içerisinde ince bir film tabakasının cam plaka üzerinden ayrıldığı tespit edilmiştir. Ardından bu film tabakası saf su ile yıkanp, deneylerde kullanılmak üzere saf su içerisinde +4 °C’de bir buzdolabında bekletilmiştir (Şekil 3.8).

Tablo 3.3: CNT/PES/PVP membran çözeltisi hazırlama miktarları.

%PES/PVP	NMP (g)	PES (g)	PVP (g)	CNT Miktarı (g)			
				% 0.5	% 1	% 2	% 4
14/8	78	14	8	0.070	0.140	0.280	0.560
16/8	76	16	8	0.080	0.160	0.320	0.640
18/8	74	18	8	0.090	0.180	0.360	0.720
20/8	72	20	8	0.100	0.200	0.400	0.800

**Şekil 3.6:** CNT taneciklerinin NMP solventi içinde ultrason homojenizatörü ile karıştırılması.



Şekil 3.7: CNT dop çözeltisinin bir cam tabaka üzerine SHEEN marka Otomatik Film Aplikasyon Cihazı ile dökülmesi.

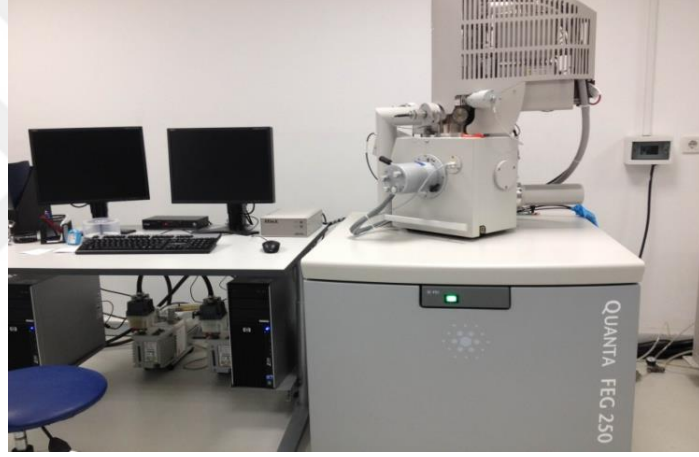


Şekil 3.8: CNT içeren film tabakası.

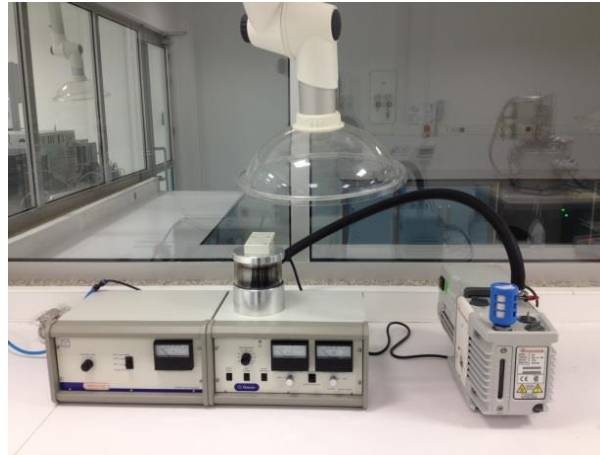
3.2. MEMBRAN KARAKTERİZASYONUNUN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

3.2.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Saf PES/PVP ve CNT/PES/PVP membranların yüzey ve kesit alanı morfolojileri, İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesindeki Ulusal Membran Teknolojileri Araştırma Merkezi (MEMTEK)'nde bulunan FEI marka Quanta Feg250 model elektron mikroskobu ile karakterize edilmiştir (Şekil 3.9). Tüm membran numunelerinin SEM ile görüntülerine bakılmadan önce, membran yüzey temizliği için sırasıyla % 25-50-75-100 oranında etanol içeren solüsyonlarda ile 5'er dakika bekletilmiş ve ardından numuneler Quorum SC7620 marka cihaz (Şekil 3.10) yardımıyla altın-palladyum kaplanmış (3-4 nm civarı).



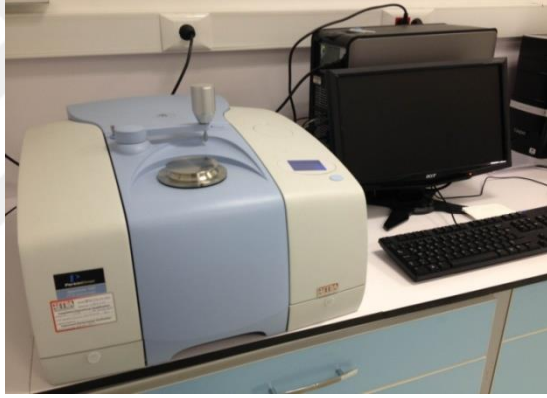
Şekil 3.9: Taramalı elektron mikroskobu.



Şekil 3.10: Quorum SC7620 kaplama cihazı.

3.2.2. Fourier Dönüşüm İnfrared (FTIR) Spektroskopi

Membranların yüzeyindeki fonksiyonel grupların belirlenmesi ve kimyasal yapısının ortaya konması amacıyla, membranların Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometre (FTIR) ölçümleri İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesindeki Ulusal Membran Teknolojileri Araştırma Merkezi MEMTEK'te bulunan Perkin Elmer Spectrum 100 cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.11). Ölçüm esnasında, CNT içeren membranlar için germanyum kristal ucu, CNT içermeyen membranlar için kristal uç kullanılmıştır. FTIR ölçümü öncesinde, ölçüm için uygun boyutta kesilen her bir membran numunesine etanol içerisinde yıkama işlemi uygulandıktan sonra açık havada 1 saat süre ile kuruması beklenmiş ve ardından etüvde 80 °C'de bir gece süre ile kurutma işlemi uygulanmıştır. Söz konusu her bir membran grubuna ait FTIR spektrumları her her bir şekilde yer alan renk skalalarında sergilenmektedir.



Şekil 3.11: Perkin Elmer Spectrum 100 marka FTIR cihazı.

3.2.3. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

Membranların yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ve genel yüzey topoğrafyasının gözlenmesi amacıyla GYTE-Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan Digital Instruments marka cihazda analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan AFM cihazının görüntüsü Şekil 3.12'de verilmiştir. Numuneler analiz öncesinde etanol ile yıkanmış ve oda sıcaklığında kurutulmuşlardır.



Şekil 3.12: Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM).

3.2.4. Temas Açısı (Contact Angle)

Katı yüzeylerin ıslanabilirliği çok önemli bir özelliktir ve yüzeyin kimyasal kompozisyonu ile jeometrikal mikroyapısı tarafından kontrol edilir. Bir yüzeyin hidrofobikliği, bir yüzey ile bir sıvı damlası arasındaki temas açısının ölçülmesi şeklinde tanımlanır. Bu çalışmada, PES ve CNT/PES membran yüzeylerinin temas açısı ölçümleri için İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesindeki Ulusal Membran Teknolojileri Araştırma Merkezi MEMTEK'te bulunan KSV Attension marka Theta model temas açısı cihazı kullanılmış ve yaygın olarak kullanılan sessile damlatma yöntemi ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçüm esnasında, uygun ölçüde kesilen membran numunesi yüzeyine cihaza sabitlenen iğnede bulunan ultra saf su damlatılmıştır. Ölçüm prensibi, membran yüzeyi ile ultra saf su damlası arasındaki temas açısı, temas çapı ve katı yüzeydeki damlanın yüksekliğinin bir optik mikroskop tarafından görüntülenmesi ve dijital optik ve şekil tanımlayıcı programlar ile desteklenen bilgisayarlı gonimetre sistemleri ile hassas bir şekilde ekrana aktarılmasına dayanmaktadır. Söz konusu ölçüm çalışmaları sırasında kullanılan cihazın fotoğrafı ve numune hazırlama aşamaları Şekil 3.12'de gösterilmiştir.

CNT/PES membranın permeabilite deneyleri Sterlitech HP4750 membran hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. CNT/PES permeabilite deneyleri PES membranları için uygulanan prosedür takip edilerek gerçekleştirilmiştir. Söz konusu bu membranlar için PES membranlarında olduğu gibi, akı profili zamana bağlı olarak, gravimetrik bir şekilde bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Hidrolik membran permeabilitesi 3 farklı transmembran basıncında ölçülmüş ve farklı membran numunelerinden en az 3 ölçümün ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.13: Temas açısı ölçer enstürmanı.

3.3. MEMBRAN FİLTASYON SİSTEMİ

3.3.1. Membranların Permeabilite Değerlerinin Belirlenmesi

Membran permeabilitesi azot gazı basıncı altında Sterlitech HP4750 marka membran hücresinden saf suyun süzülmesi ile elde edilmiştir. Söz konusu membran sistemi dikey akışlı bir membran hücresinden meydana gelmiş olup, saf su azot gazı basıncı altında sistemden süzülmemektedir. Membran sisteminde kararlı bir akı sağlamak için membranlar sıkıştırma işlemine tabi tutulmuşlardır. Söz konusu membranlarda 1 saat boyunca 2 bar sabit basınç altında saf su filtrasyonu gerçekleştirilmiştir. Kararlı şartlar altında, aşağıdaki eşitlik kullanılarak farklı transmembran basınçları (0,5- 1 ve 1,5 bar) için saf su akı miktarı belirlenmiştir. Akı profili zamana bağlı olarak, gravimetrik bir şekilde bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

$$J_w = Q/(A \Delta T) \quad (3.1)$$

J_w : Saf su akısı ($L/m^2 \cdot h$)

A : Efektif membran yüzey alanı (m^2)

ΔT : Örnekleme zamanı (h)

Hidrolik permeabilite saf su akı miktarları ile transmembran basınçları arasındaki doğrusal ilişkinin eğimi kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$P_m = J_w / \Delta T \quad (3.2)$$

P_m : Hidrolik permeabilite ($L/m^2 \cdot h \cdot bar$)

J_w : Saf su akısı ($L/m^2 \cdot h$)

ΔT : Örnekleme zamanı (h)



Şekil 3.14: Sterlitech HP4750 marka membran hücresi.

Tablo 3.4: Filtrasyon sisteminin teknik özellikleri.

Aktif membran alanı	14.6 cm ²
Hacim	300 ml
Maksimum basınç	69 bar
Maksimum sıcaklık	121° C

3.3.2. Membranların MWCO Değerlerinin Belirlenmesi

Permeabilite çalışmaları sonrasında, sentezlenen membranların MWCO değerleri PEG kimyasalının farklı moleküler ağırlıkları için hazırlanan çözeltilerinin filtrasyonu (Sterlitech HP4750 marka membran hücresi) ile belirlenmiştir. Bunun için ilk olarak 4.000, 10.000, 20.000 ve 35.000 Da moleküler ağırlığa sahip PEG kimyasalından 100 mg/L konsantrasyonda çözeltiler hazırlanmıştır. Daha sonra bu çözeltiler her bir membrandan 50 ml hacminde filtre edilmişlerdir. Sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiş ve geçirgenlik değeri elde edilmiş membranlardan bir tanesi bu deneylerde kullanılmıştır. Hazırlanan PEG çözeltileri arasında

geçiş yaparken membranların yüzeyleri temizlenip tekrar kullanılmışlardır. Bu çalışma kapsamında giriş ve süzüntüden numuneler alınmış ve TOK ölçümleri gerçekleştirilmiştir. TOK ölçümünün ardından elde edilen değerler aşağıdaki formüllerde yerine konmuş ve her bir membranın MWCO değeri hesaplanmıştır (Idris ve diğ., 2007).

$$f = \left(1 - \frac{C_p}{C_f} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

f : % tutunum

C_p : süzüntü TOK değeri (mg/l)

C_f : giriş TOK değeri (mg/l)

$$a_{PEG} = 16.73 \times 10^{-10} \chi M^{0.557} \quad (3.4)$$

a_{PEG} : PEG'in stokes çapı (nm)

M : PEG'in molekül ağırlığı (Da)

$$d_s = 2.a_{PEG} \quad (3.5)$$

d_s : PEG'in çapı

Bu deneyler sırasında PEG'in membran ile bir etkileşim içerisinde olmadığı kabulüyle PEG'in çapının (d_s) membranın gözenek çapına (d_p) eşit olduğu kabul edilmiştir.

$$d_s = d_p \quad (3.6)$$

d_p : Membran gözenek çapı (nm)

f ile d_s arasında grafik çizilir. Elde edilen doğrunun denkleminde aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\mu_s = d_s @ f(\%50) \quad (3.7)$$

$$\sigma_g = d_s @ f(\%84.13) / d_s @ f(\%50)$$

Burada μ s; ortalama PEG'in boyutunu verir ve f ile ds grafiğinden elde edilen doğrunun denkleminde f yerine 50 konulmasıyla hesaplanır. Bu aynı zamanda membranin gözenek boyutuna eşdeğerdir. σ g; geometrik standart sapmayı verir ve f ile ds grafiğinden elde edilen doğrunun denkleminde f yerine 84.13 konularak bulunan ds değeri ile f yerine 50 konularak bulunan ds değerinin oranından hesaplanır. Membran gözenek boyutunun bu şekilde hesaplanmasının ardından son olarak MWCO değeri hesaplanır. MWCO değeri %90 tutunumun elde edildiği PEG'in molekül ağırlığını ifade etmektedir. Dolayısıyla f ile ds grafiğinden elde edilen doğrunun denkleminde f yerine 90 konulur ve buradan ds değeri hesaplanır. Bulunan bu ds değeri ile ilk olarak PEG'in stokes çapı ardından da M değeri yukarıdaki formüle göre hesaplanır. Bu değer membranın MWCO değerini vermektedir.

3.3.3. Sentetik Sular Ve Göl Suyu Filtrasyon Çalışmaları

Permeabilite ve MWCO belirleme çalışmaları tamamlandıktan sonra, hazırlanan sentetik sular ile belirli zamanlarda alınan Ömerli ve Büyükçekmece göl suyu numuneleri filtrasyonunda (Sterlitech HP4750 marka membran hücresi) kullanılmak üzere yapılan çalışmalar sonrasında seçilen bazı membran serileri kullanılmıştır. 8-15 nm ve 20-30 nm tanecik çapına sahip CNT (%0,5, %1, %2 ve %4 olarak) ile sentezlenen %14, %16, %18 ve %20 PES içeren (%8 PVP mevcut) membranlar ile yapılan çalışmalar sonucunda %1 CNT içeren membranların daha verimli olduğuna karar verilerek çalışmaya yön verilmiştir. Çalışmanın devamında, 30-50 nm, >50 nm tanecik çapına sahip CNT ve SWCNT (%1 içeren) ile sentezlenen %14, %16 ve %18 PES içeren (%8 PVP mevcut) membranlar sentezlenerek sentetik sular ile Ömerli ve Büyükçekmece göl suyu numuneleri süzümünde kullanılmıştır.

Sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiş ve geçirgenlik değeri elde edilmiş membranlardan her biri, bir su numunesi için kullanılmıştır. Membranlardan su numuneleri geçirilerek aynı anda Excel programı yardımıyla akı profili zamana bağlı olarak gravimetrik bir şekilde bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Filtrasyon sonrası, süzüntü numuneleri ile TOK ve UV₂₅₄ analizleri gerçekleştirilerek giderim verimi hesaplanmıştır.

3.3.3.1. Sentetik Suların Hazırlanması Ve Su Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında 6 adet model organik bileşik (Tablo 3.5) ile hazırlanan sentetik sular kullanılmıştır. Sentetik numuneler öncelikle saf suyun pH değeri 1 M NaOH çözeltisi ile 10'a getirildikten sonra saf suya ilave edilmiş ve ardından karıştırma işlemine tabi tutulmuştur.

Organik maddenin tümünün suda çözündüğünden emin olunduktan sonra, suyun pH değeri 1 M H₂SO₄ ile 7.0 civarına ayarlanarak aşağıda Tablo 3.6’da gösterilen kimyasallar ilave edilmiştir. Sentetik ham su, su kalite parametrelerinin değerleri Tablo 3.7’de belirtilen aralıklara denk gelecek şekilde hazırlanmıştır. Bu kimyasalların ilave edilmesinin amacı sentetik suların özelliklerinin göl suyu karakterine yakınlık arz etmesini sağlamaktır. Buna göre elde edilen sentetik ham su numunelerinin karakterizasyonu, Tablo 3.7’de verilmiştir. Söz konusu bu model bileşiklerin TOK konsantrasyonu 5 mg/L olarak ayarlanmıştır. UV₂₅₄ değeri çözelti içindeki çift bağlara işaret etmektedir.

Tablo 3.5: Aromatik ve alifatik bileşiklerin özellikleri.

Aromatik Bileşikler			
Formül			
Moleküler Formül	C ₆ H ₂ (OH) ₃ COOH	C ₆ H ₅ NH ₂	C ₆ H ₅ COOH
İsim	Tanin	Anilin	Benzoik asit
Moleküler Ağırlık (g/mol)	170,12	93,13	122,12
Sınıf	Fenolik	Fenolik	Karboksilik
Alifatik Bileşikler			
Formül			
Moleküler Formül	C ₆ H ₈ O ₇	C ₅ H ₉ NO ₄	C ₂ H ₅ NO ₂

Tablo 3.5 (devam): Aromatik ve alifatik bileşiklerin özellikleri.

İsim	Sitrik asit	Glutamik asit	Glisin
Moleküler Ağırlık (g/mol)	198,12	147,13	75,07
Sınıf	Karboksilik asit	Amino asit	Amino asit

Tablo 3.6: Sentetik su hazırlanmasında kullanılan kimyasallar ve konsantrasyon değerleri.

Bileşen	Konsantrasyon
CaCl ₂ .2H ₂ O	111 mg/L
MgSO ₄ .7H ₂ O	70 mg/L
NaHCO ₃	127 mg/L
KBr	0.24 mg/L
Organik madde	5.0 mg/L
Kil	5.0 g/L

Tablo 3.7: Sentetik ham su karakterizasyonu.

Parametre	Konsantrasyon	Birim
Toplam Sertlik	110-120	mg/L CaCO ₃
Ca ²⁺	30-32	mg/L
Mg ²⁺	8-10	mg/L
SO ₄ ²⁻	25-30	mg/L
Alkalinite	95-100	mg/L CaCO ₃
TOK	5.0	mg/L
UV ₂₅₄	0.015-0.250	1/cm
pH	7.0-8.0	
İletkenlik	200-400	μS/cm
Bulanıklık	3-5	NTU

3.3.3.2. Büyükçekmece ve Ömerli göl suyunun su kalite parametrelerinin belirlenmesi

Ömerli ve Büyükçekmece göl sularının su kalite parametreleri belirlenerek aşağıdaki tabloda sergilenmiştir. Söz konusu bu parametrelerin membran tıkanıklığı sırasında kritik rol oynadığı

bilinmektedir. Özellikle sertlik ve iletkenlik parametreleri inorganik tıkanmaya ve TOK parametresi de organik tıkanmaya neden olmaktadır.

Tablo 3.8: Göl suları su kalite parametreleri.

Büyükçekmece	Birim	Temmuz 2013 (Numune-1)	Ekim 2013 (Numune-2)	Aralık 2013 (Numune-3)
Parametre				
pH	-	8,07	7,85	7,95
Bulanıklılık	NTU	4,92	3,16	48
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	576	588	592
Alkalinite	mg/L CaCO_3	128	100	116
Sertlik	mg/L CaCO_3	192	172	178
TOK	mg/L	3,90	3,85	6,26
UV ₂₅₄	1/cm	0,060	0,050	0,060
SUVA ₂₅₄	$\text{L/mg}\times\text{m}$	1,54	1,30	0,96

Ömerli	Birim	Temmuz 2013 (Numune-1)	Ekim 2013 (Numune-2)	Aralık 2013 (Numune-3)
Parametre				
pH	-	8,06	7,72	7,67
Bulanıklılık	NTU	1,59	1,27	1,41
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	292	303	311
Alkalinite	mg/L CaCO_3	97	98	111
Sertlik	mg/L CaCO_3	110	108	112
TOK	mg/L	3,13	3,10	3,00
UV ₂₅₄	1/cm	0,050	0,050	0,040
SUVA ₂₅₄	$\text{L/mg}\times\text{m}$	1,60	1,61	1,33

3.3.3.3. Toplam Organik Karbon (TOK) Analizi

Toplam organik karbon (TOK) analizi için, İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesinde bulunan Ulusal Membran Teknolojileri Araştırma Merkezi'ndeki Shimadzu TOC VCP-N marka toplam organik karbon (TOK) analiz cihazı (Şekil 3.14) kullanılmıştır. Sentezi gerçekleştirilen membranların, MWCO değeri belirlemek için alınan PEG süzüntü ve giriş numuneleri ile sentetik su ve göl suyu filtrasyonu sonrasında alınan süzüntü numuneleri 24 ml'lik viallere alınarak arıtma verimi hesabı amacıyla ölçümler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.15: Shimadzu VCP-N toplam organik karbon analiz cihazı.

3.3.3.4. UV_{254} Analizi

UV_{254} absorban ölçümleri 254 nm dalga boyunda İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesinde yer alan Ulusal Membran Teknolojileri Araştırma Merkezi'nde bulunan Hach-Lange DR5000 marka spektrofotometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.19). Cihazın çift distile su ile kalibrasyonu yapılmış, ardından ölçüm hücresi 2 kez numune ile yıkanmış ve daha sonra numune ile ağzına kadar içinde hiç hava boşluğu kalmayacak şekilde doldurulmuştur. Bu işlemin ardından UV_{254} absorban değerleri ölçülmüştür.



Şekil 3.16: Hach-Lange DR5000 marka spektrofotometre cihazı.

3.3.3.5. Sentetik sular ve göl sularının filtrasyonu ile her bir membranda elde edilen akı miktarı ve arıtma verimi belirlenmesi

Sentetik sular ve göl sularının filtrasyonu, Sterlitech HP4750 marka dikey akışlı membran hücresinden sentetik suların süzülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan membranlar daha

önce permeabilite değeri hesaplanmış membranlar olup, membranlardan süzölen 6 adet model bileşik ile hazırlanan sentetik sular ve göl sularının giriş ve süzöntü numunelerinde yapılan TOK ve UV₂₅₄ parametresi analizleri sonucu giderme verimleri hesaplanmıştır. Ayrıca filtrasyon esnasında akı profili zamana bağılı olarak, gravimetrik bir şekilde bilgisayar ortamına aktararak akı azalma grafikleri oluşturulmuştur.

3.4. MEMBRAN TIKANMA PROFİLİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI

3.4.1. Filtrasyonu Tamamlanan Membranların FTIR Spektrumları

Hazırlanan sentetik sular ve göl suyu numunelerinin membranlardan süzölmesi sonucu ortaya çıkan kirli membranların Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometre (FTIR) ölçümleri İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesindeki Ulusal Membran Teknolojileri Araştırma Merkezi MEMTEK'te bulunan Perkin Elmer Spectrum 100 cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

3.4.2. Filtrasyonu Tamamlanan Membranların SEM Görüntüleri

Sentetik sular ve göl suyu numunelerinin membranlardan süzölmesi sonucu ortaya çıkan kirli membranların yüzey ve kesit alanı morfolojileri İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesindeki Ulusal Membran Teknolojileri Araştırma Merkezi (MEMTEK)'nde bulunan FEI marka Quanta Feg250 model elektron mikroskobu ile görüntölenmiştir.

3.4.3. Filtrasyonu Tamamlanan Membranların AFM Görüntüleri

Filtrasyon çalışmaları sonrasında kirli membranların GYTE-Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan Digital Instruments marka cihazda AFM analizleri gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR

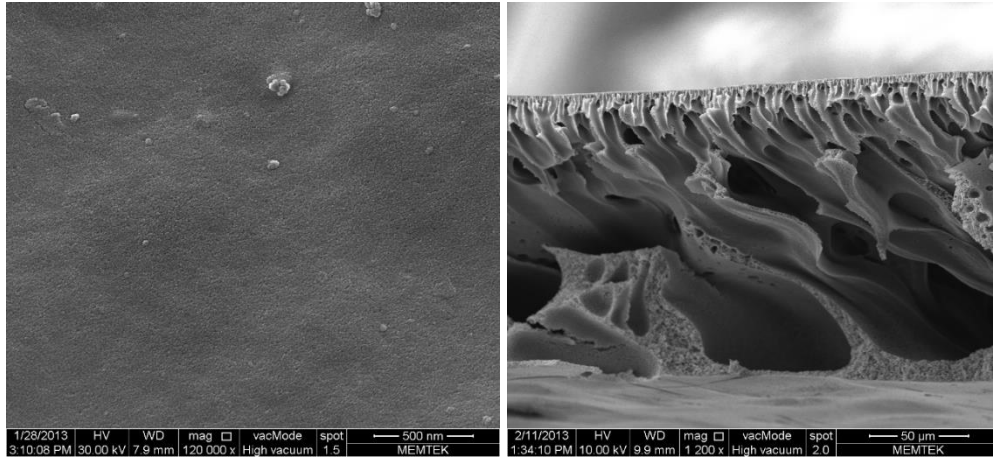
Bu bölümde, çalışma kapsamında taramalı elektron mikroskobu (SEM), fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometre (FTIR), Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM), temas açısı analizleri sonucu elde edilen veriler, permeabilite, MWCO değerleri, sentetik sular ile göl suyu numunelerinin filtrasyonu sonucu su akısı değişimleri ve suların toplam organik karbon (TOK) ve UV₂₅₄ analizleri sonrası elde edilen % verimleri ile filtrasyon sonrası membranların SEM, FTIR, AFM sonuçları sırasıyla verilmiştir.

4.1. MEMBRAN KARAKTERİZASYONU

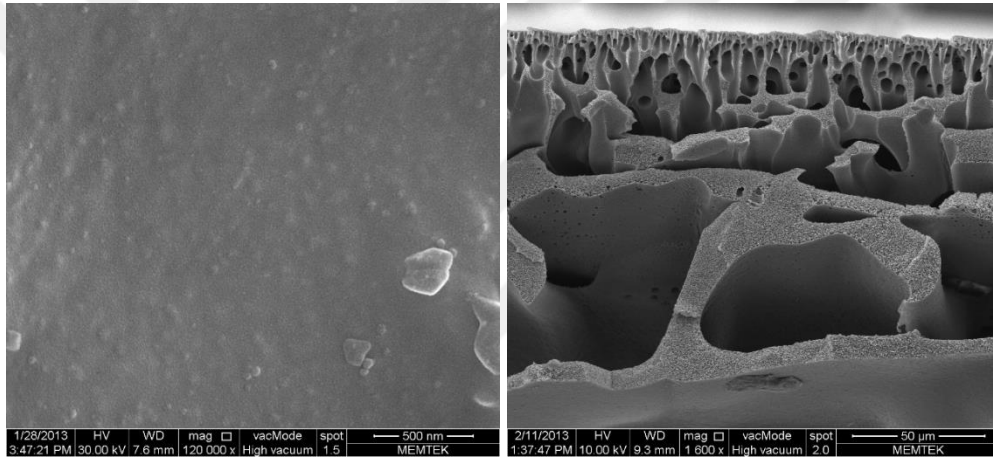
4.1.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Şekil 4.1 ile Şekil 4.37 arasında, sentezi gerçekleştirilen membranların SEM görüntüleri verilmiştir. Söz konusu bu şekillerde her bir membranın yüzey SEM görüntüsü ve kesit alanı SEM görüntüsü sergilenmektedir.

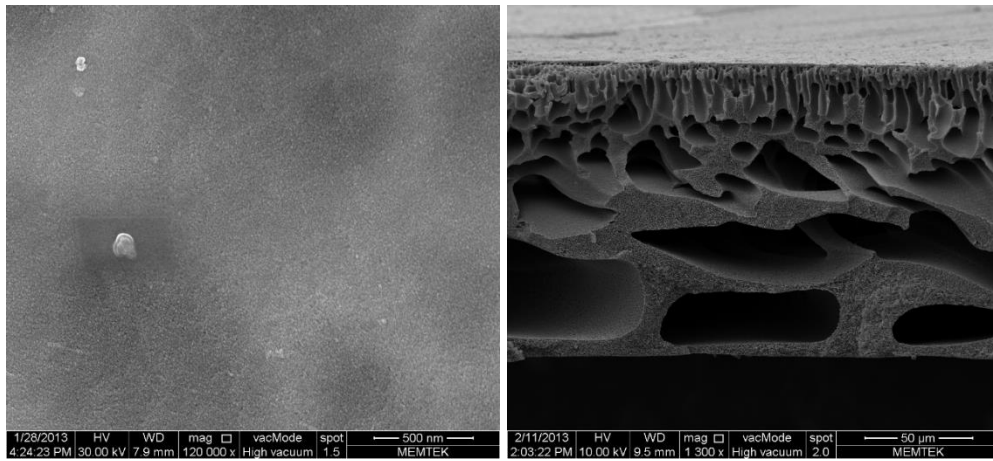
% PES/% 8 PVP içeren membranlarının yüzey görüntüleri yoğun bir gözenek yapısına sahip olduklarını göstermektedir. Söz konusu membranların PES içeriği arttıkça daha yoğun bir üst tabakaya ve yoğun bir gözenek yapısına sahip oldukları görülmektedir. Başka bir deyişle PES içeriği açısından %14'ten %20'ye doğru gidildikçe gözenek çapı beklenildiği gibi düşüş göstermektedir. Bahse konu membranlara ait kesit alanı görüntüleri süngerimsi yapıda benzer şekiller arz etmektedir. Faz inversiyon yöntemiyle sentezi yapılan söz konusu membranların geniş parmaklı yapılara sahip oldukları belirlenmiştir (Şekil 4.1, Şekil4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).



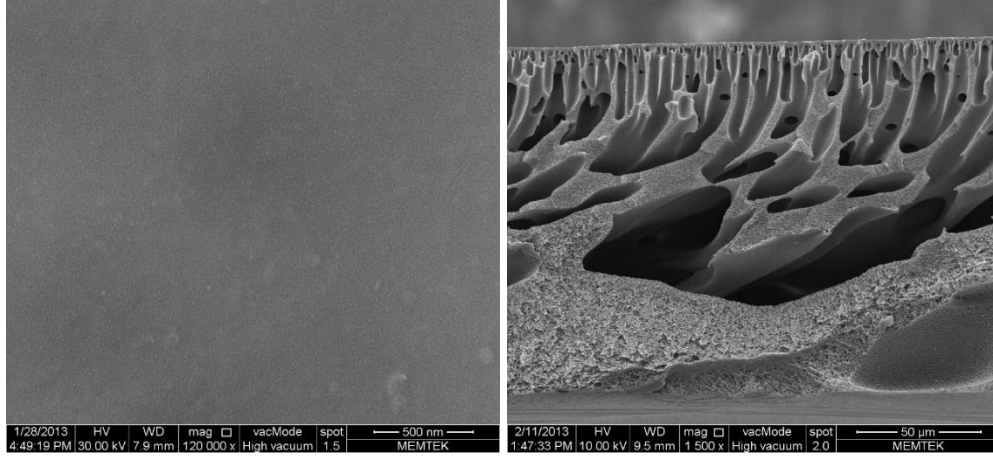
Şekil 4.1: %14 PES/%8 PVP membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.



Şekil 4.2: %16 PES/%8 PVP membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

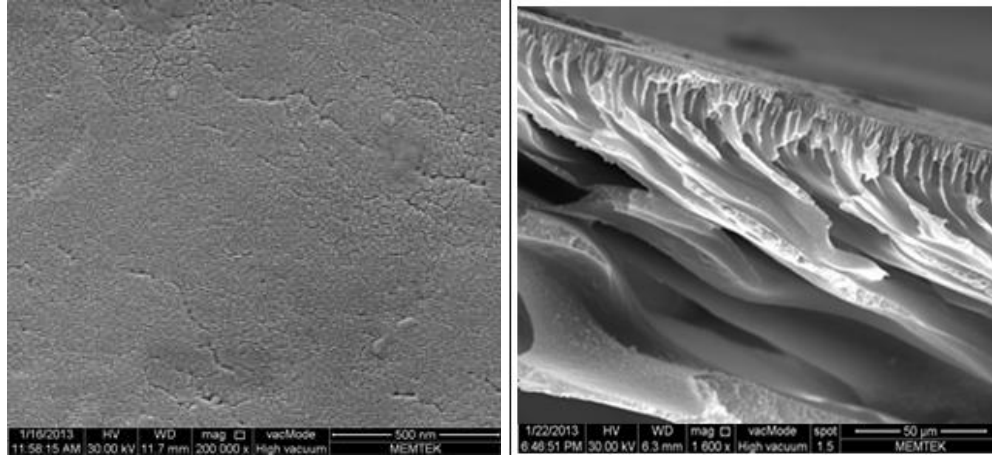


Şekil 4.3: %18 PES/%8 PVP membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

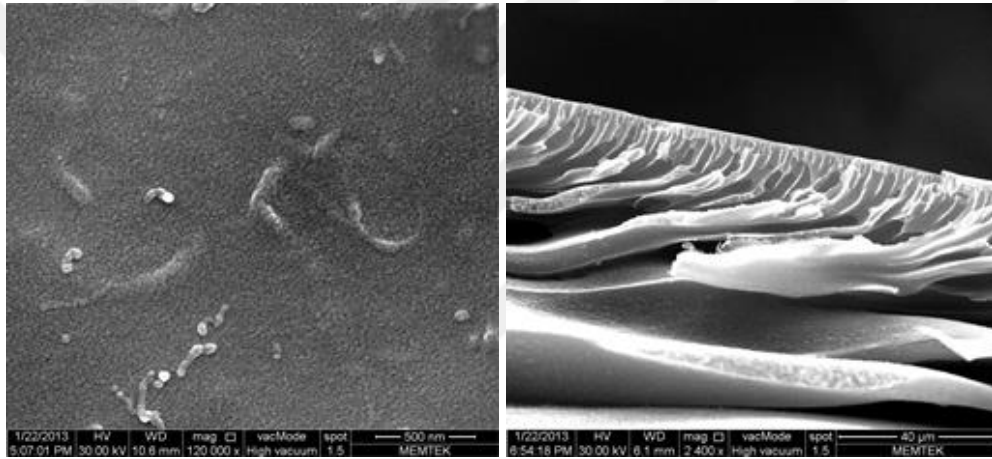


Şekil 4.4: %20 PES/%8 PVP membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

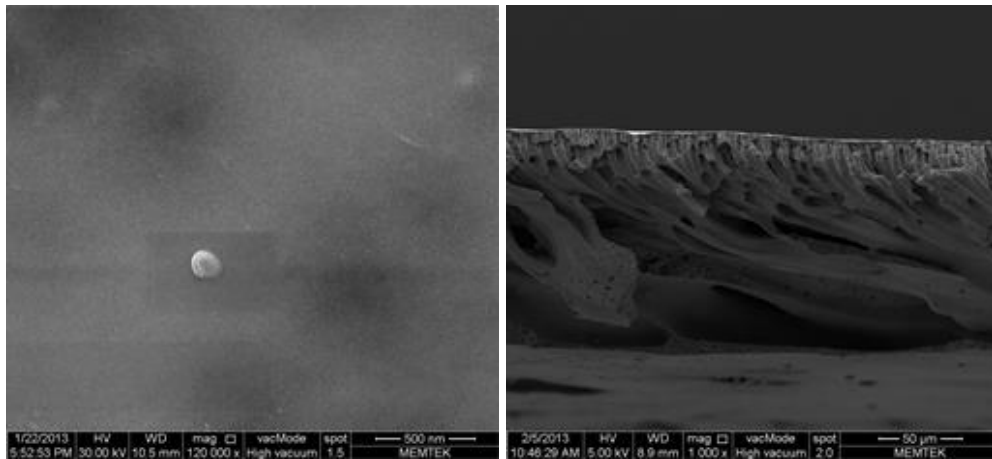
Şekil 4.5 ve Şekil 4.8 arasında, %16 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların yüzey görüntüleri yer almaktadır. Bu görüntülerde, farklı CNT içeriğine sahip %16'lık CNT/PES membranlarının, CNT içeriği arttıkça pürüzlü bir yüzeye sahip olduğu yorumlanmaktadır. PES bünyesindeki CNT içeriğinin artmasının membran gözenek çapının büyümesine neden olduğu ifade edilmektedir (Choi ve diğ., 2006). Membranların SEM görüntüleri kapsamında, % 1 CNT (8-15 nm) içeriğine sahip % 16 PES içeren membranların maksimum gözenek çapına sahip olduğu fikri ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlar, aynı zamanda Bölüm 4.1.3'de verilen AFM değerleriyle de uyumluluk arz etmektedir. Aşağıda, Membranların kesit alanı görüntüleri ise birbirleriyle benzerlik göstermekle birlikte oluşması istenen parmaklı (finger like) yapılar meydana gelmiştir. Bu çalışma kapsamında sentezlenen tüm PES/PVP/CNT membranların tipik birer asimetric membran yapısı sergilediği Çelik ve arkadaşlarının çalışmalarına ait bulgularla örtüşmektedir (Çelik ve diğ., 2010). Bu yapıda, en üstte yoğun bir tabaka, altında gözenekli bir tabaka ve daha sonra aşağı doğru makro gözenekli bir yapı oluşmaktadır. Öte yandan, CNT içeriği arttıkça, membranların yüzeyinde daha fazla CNT biriktiği düşünülmektedir. Söz konusu bu membranların yüzeyindeki CNT içeriğinin artması, membran yüzeyini daha fazla hidrofilik yapmakta ve dolayısıyla temas açısı miktarının düşmesine neden olmaktadır (Choi ve diğ., 2006).



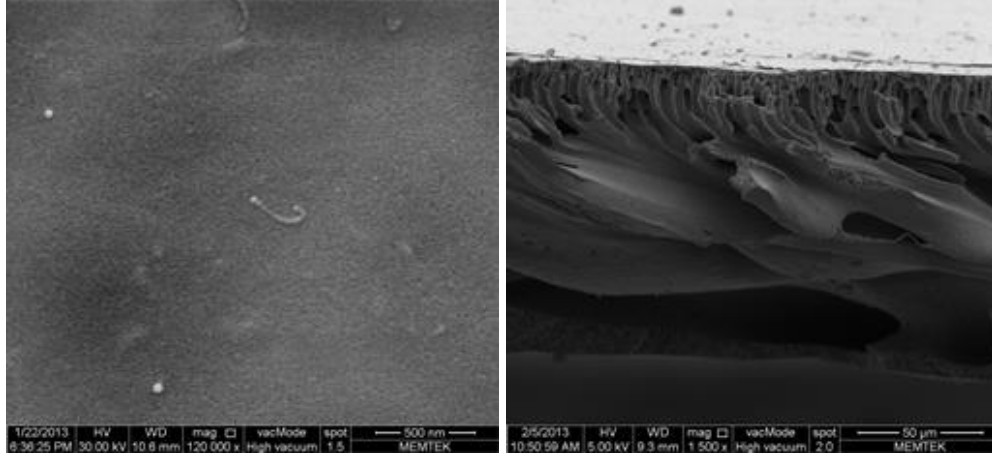
Şekil 4.5: %16 PES/%8 PVP/%0.5 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.



Şekil 4.6: %16 PES/%8 PVP/%1 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

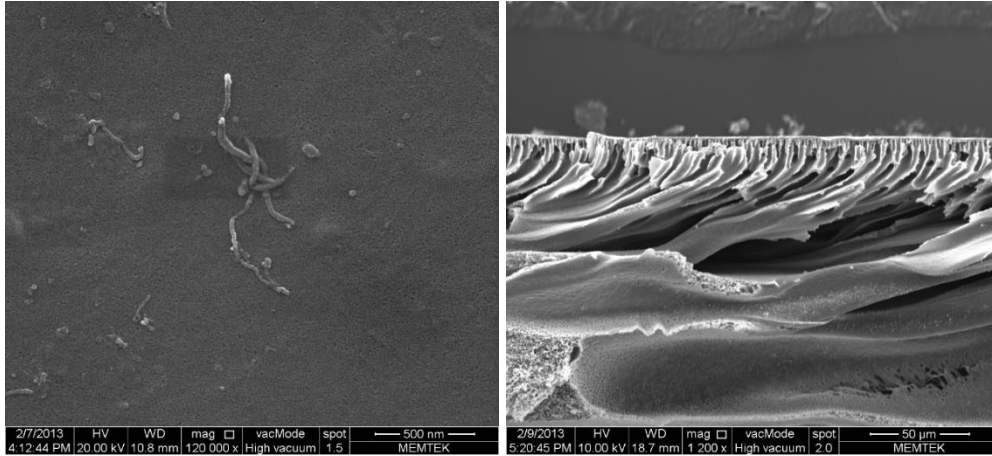


Şekil 4.7: %16 PES/%8 PVP/%2 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

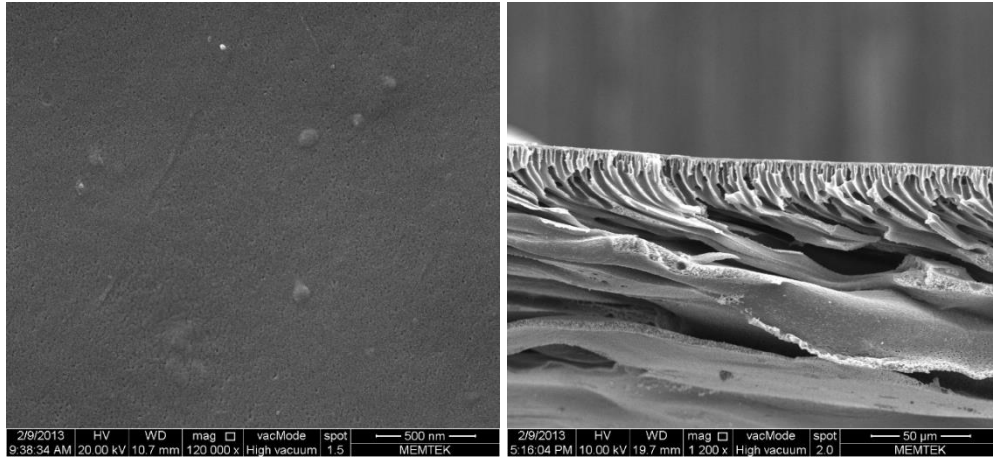


Şekil 4.8: %16 PES/%8 PVP/%4 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

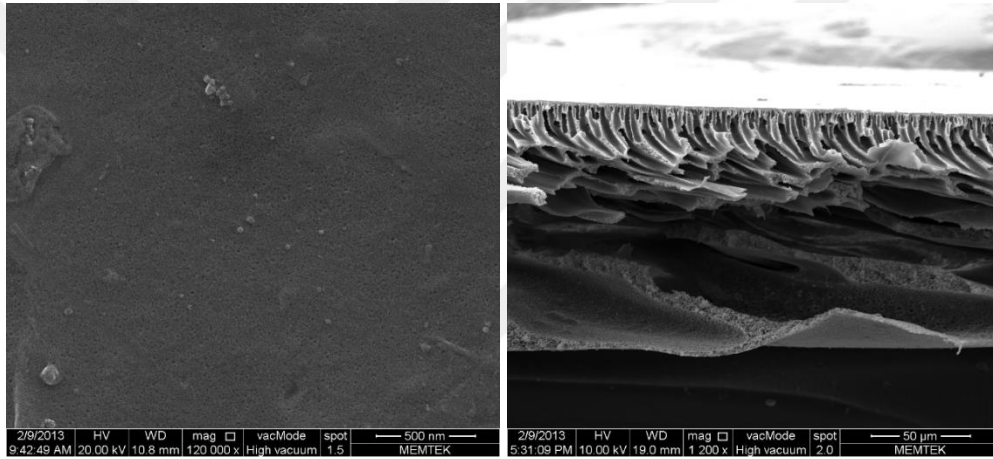
Diğer yandan, Şekil 4.9 ve Şekil 4.12 arasında, %18 PES/%8 PVP/% CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri yer almaktadır. Artan polimer konsantrasyonu ve CNT miktarı ile tüm membran yüzeylerinin çok daha sık bir yapıya ulaşmış olduğu yüzey görüntülerinde görülmektedir. Diğer bir deyişle, yoğun ve sıkı bir yüzeye sahip olan membranların, dolayısıyla daha küçük gözenek çaplı yapıya sahip olduğu görülmüştür. Kesit alanı görüntülerinde ise, alt tabakada bulunan makrogözenekli yapıların büyüklüğü ve sayısı ile orta tabakada yer alan parmaklı uzun ince tüplü yapıların düzeni göz önüne alındığında, en ideal membranın %1 CNT içeren membran olduğu görülmüştür.



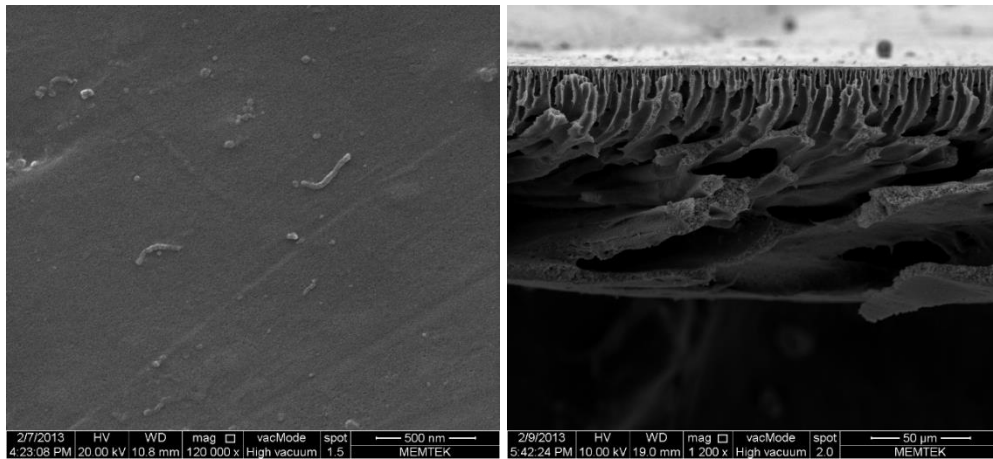
Şekil 4.9: %18 PES/%8 PVP/%0.5 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.



Şekil 4.10: %18 PES/%8 PVP/%1 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.



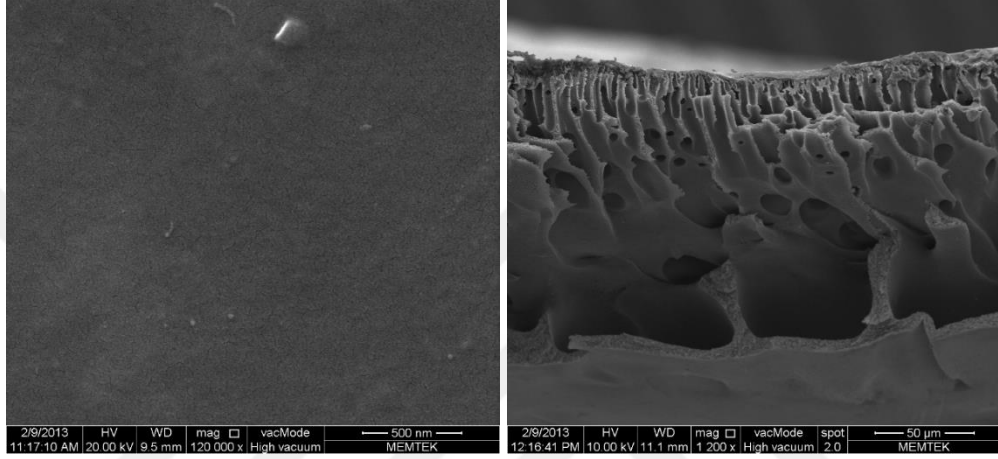
Şekil 4.11: %18 PES/%8 PVP/%2 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.



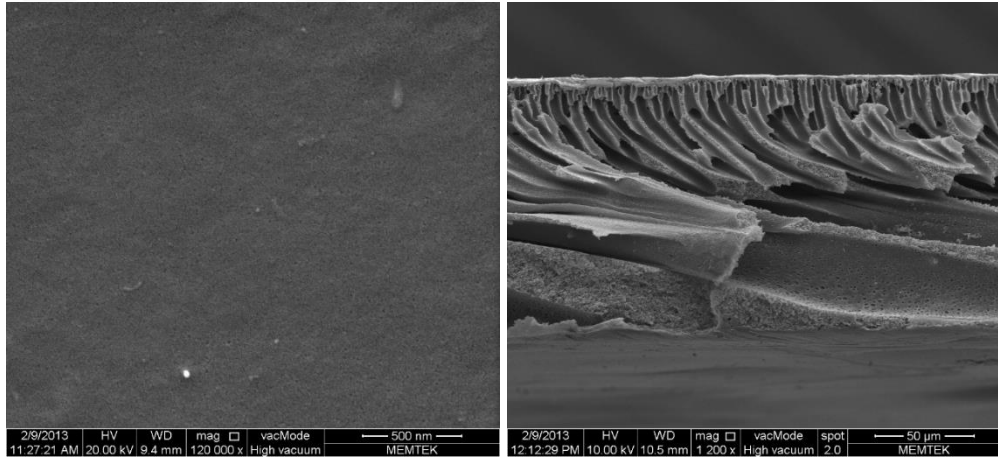
Şekil 4.12: %18 PES/%8 PVP/%4 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

Şekil 4.13 ve Şekil 4.16 arasında, %20 PES/%8 PVP/% CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri verilmiştir. Membranların yüzey görüntüleri, yukarıda yer alan % 20

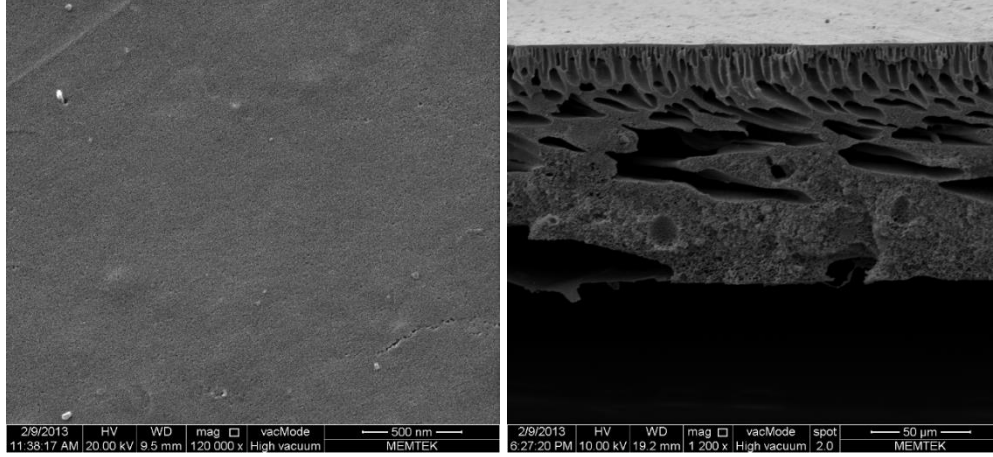
PES/%8 PVP membranının yüzey görüntüsü ile karşılaştırıldığında, CNT (8-15 nm) içeren membranların yüzey morfolojilerindeki belirgin değişim görülmektedir. Daha sıkı ve düzgün bir yüzey morfolojisine sahip membranlar elde edildiği görülmektedir. Kesit alanı görüntülerinde ise, parmaksı olarak adlandırılan uzun ince tüp şeklindeki yapıların ve alt tabakadaki makrogözeneklerin boyut ve biçimlerinde çok büyük farklar meydana gelmediği görülmüştür.



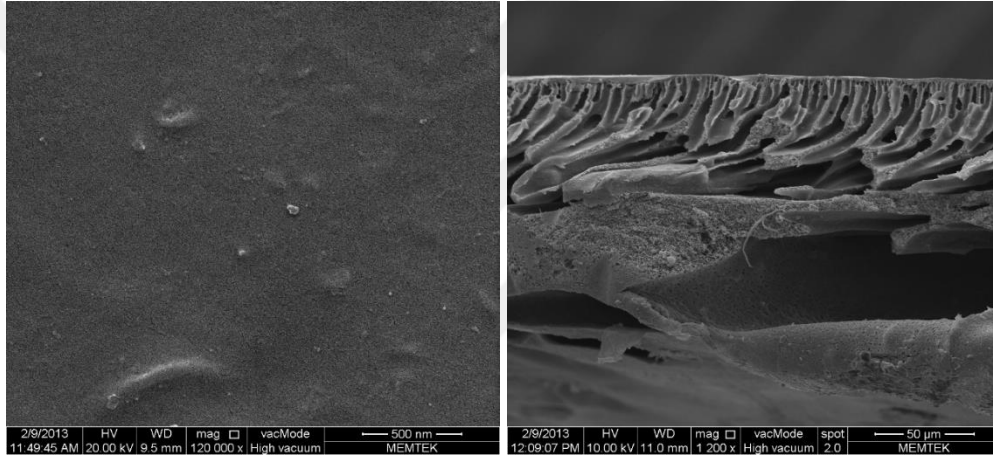
Şekil 4.13: %20 PES/%8 PVP/%0.5 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.



Şekil 4.14: %20 PES/%8 PVP/%1 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

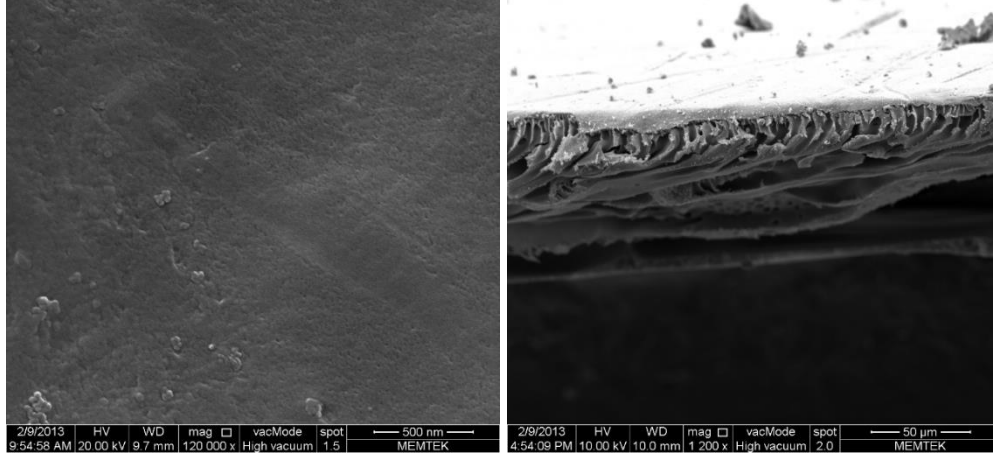


Şekil 4.15: %20 PES/%8 PVP/%2 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

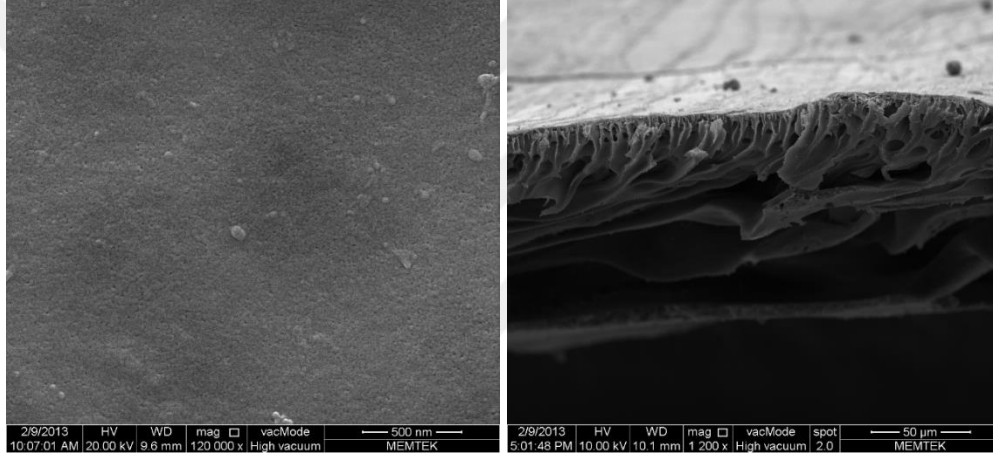


Şekil 4.16: %20 PES/%8 PVP/%4 CNT (8-15nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

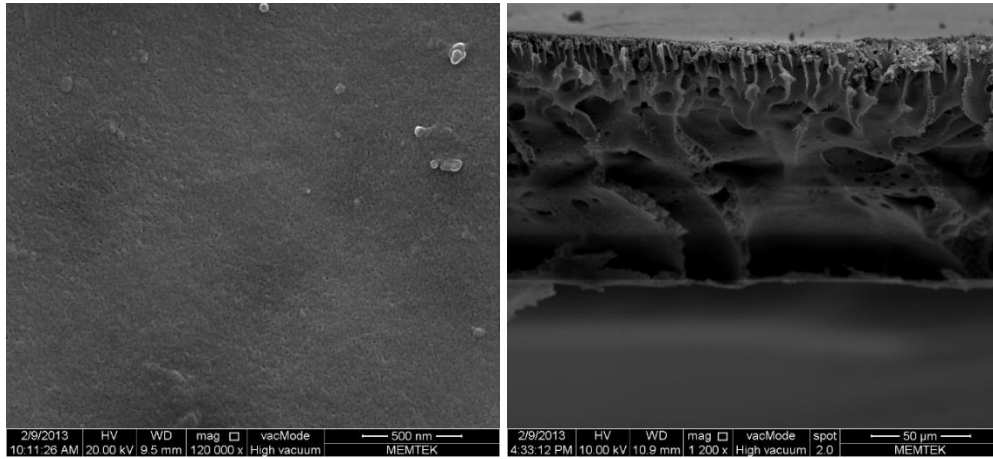
Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de, %14 PES/%8 PVP/% CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri yer almaktadır. Tüm membranlar, yoğun bir üst tabakaya, gözenekli orta tabakaya ve alt tabakada yer alan makrogözenek yapılarıyla tipik bir asimetrik membran görüntüsüne sahiptirler. Bunlara ilaveten parmakı uzun ince tüplü yapıların ve alt tabakada yer alan geniş boşlukların sayısı ve biçimlerinde düzensiz bir yapılaşma olduğu görülmüştür.



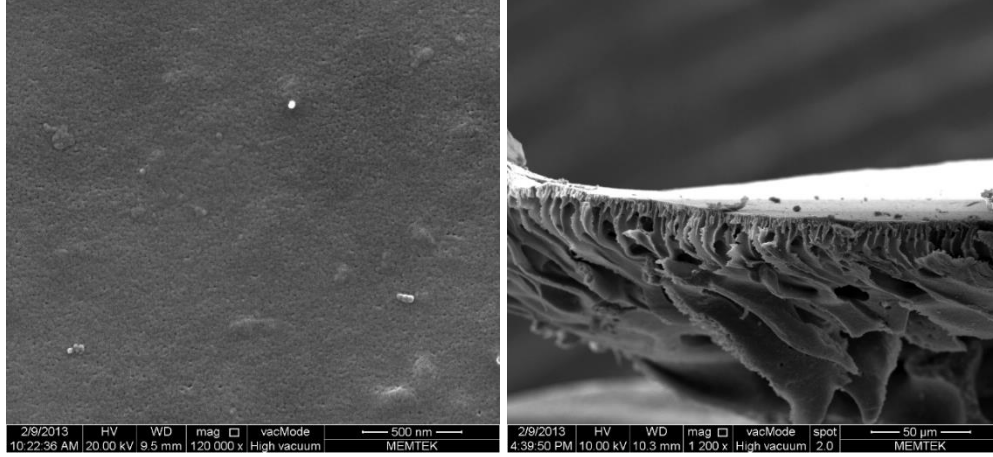
Şekil 4.17: %14 PES/%8 PVP/%0.5 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.



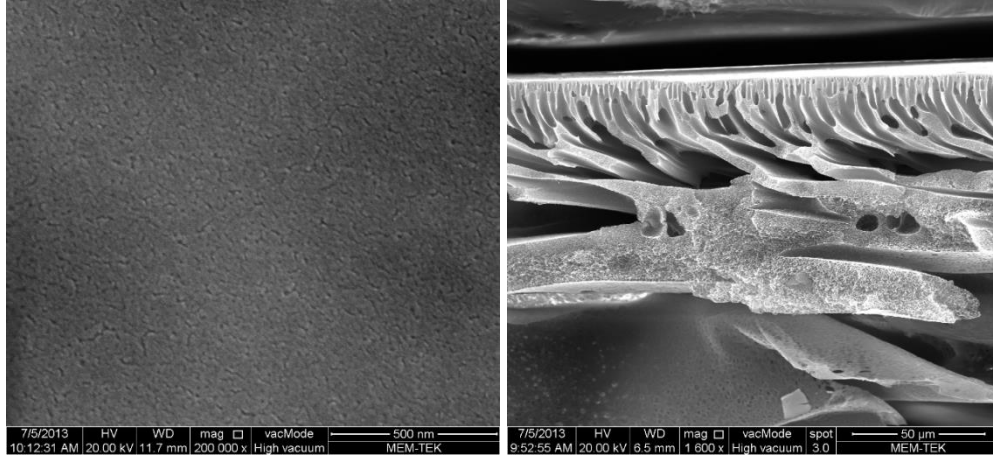
Şekil 4.18: %14 PES/%8 PVP/%1 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.



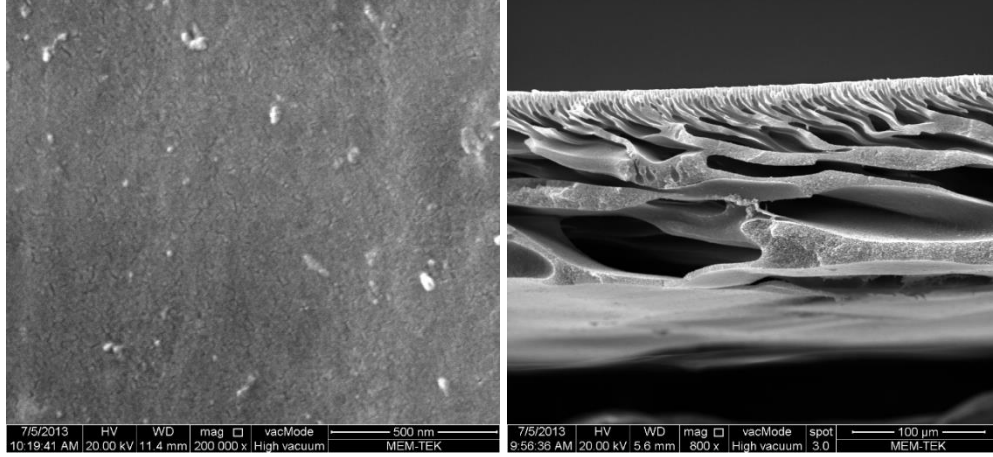
Şekil 4.19: %14 PES/%8 PVP/%2 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.



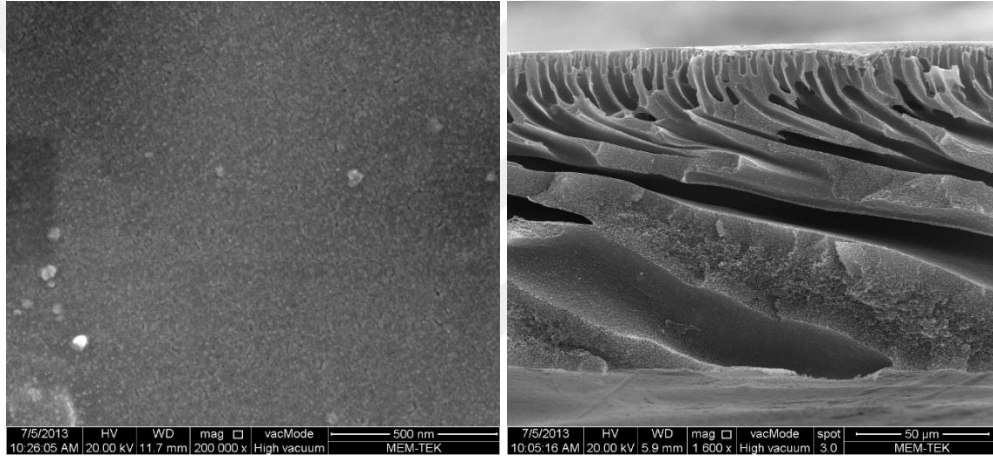
Şekil 4.20: %14 PES/%8 PVP/%4 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri. Bunlara ilave olarak, Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te, % 16 PES, % 8 PVP ve 20-30 nm tanecik çapına sahip CNT ile sentezlenen membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri verilmiştir. Membranların yüzey görüntülerinde, CNT ilavesi ile membranların yüzeyinin daha pürüzsüz bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. Kesit alanı görüntülerinde ise, parmaklı uzun ince kanallı yapıların CNT ilavesiyle daha muazzam olduğu ve alt tabakadaki makrogözenekli yapıların boyutlarında değişiklik olduğu görülmüştür.



Şekil 4.21: %16 PES/%8 PVP/%1 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

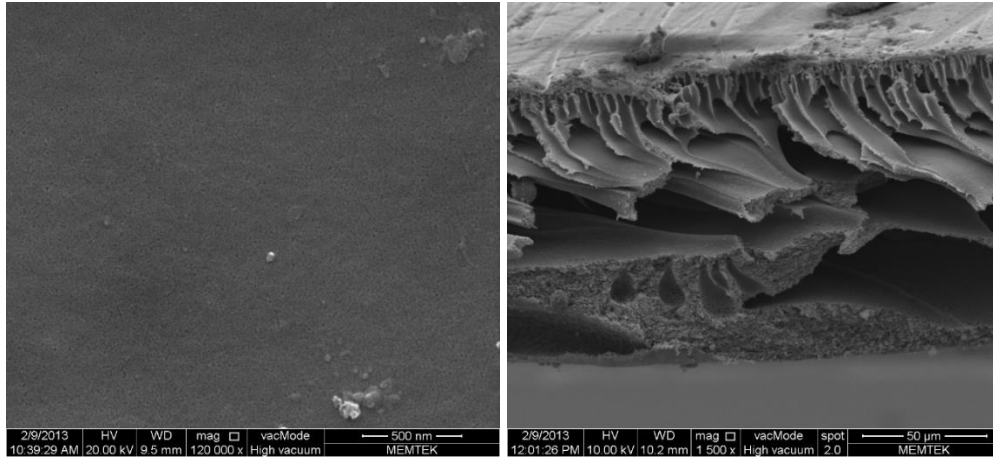


Şekil 4.22: %16 PES/%8 PVP/%2 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

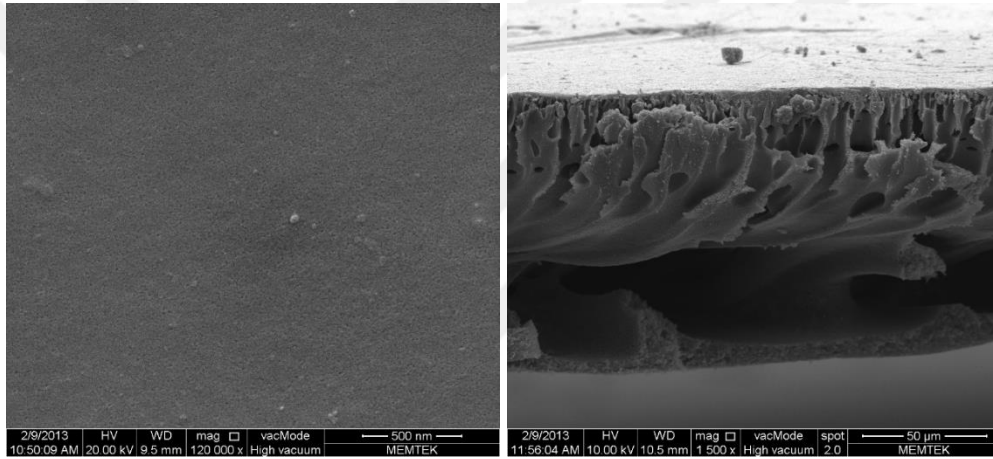


Şekil 4.23: %16 PES/%8 PVP/%4 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

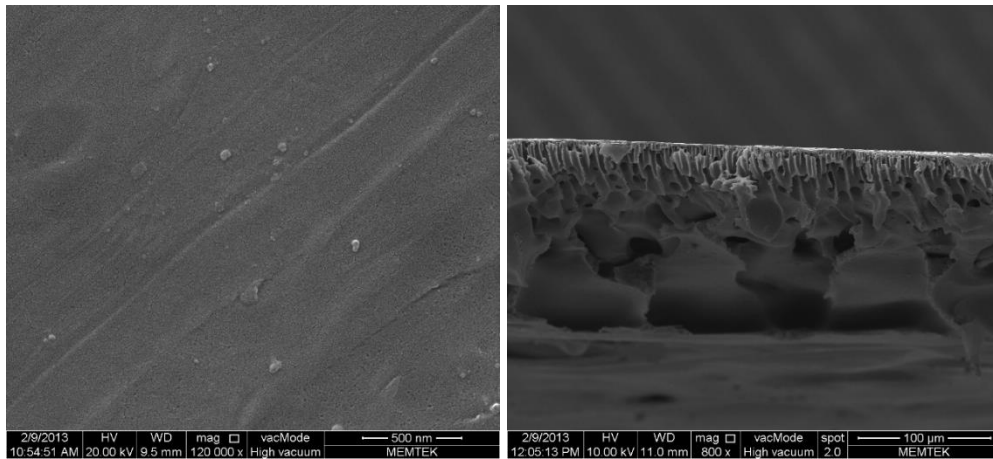
Diğer yandan, Şekil 4.24 ve Şekil 4.26 arasında, %18 PES/%8 PVP/% CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntülerini içermektedir. CNT içermeyen membranların yüzey görüntüleri ile karşılaştırıldığında, artan polimer miktarı ve CNT ilavesiyle, CNT/PES membranlarının yüzeyleri sıkı bir yapıya bürünerek, daha küçük gözenek yapılarına sahip olduğu görülmüştür. Kesit görüntüleri dikkate alındığında ise, tüm membranların yoğun bir üst tabakaya, düzensiz ve değişik boyutlardaki makrogözenekli alt tabakaya sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.24: %18 PES/%8 PVP/%0.5 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.



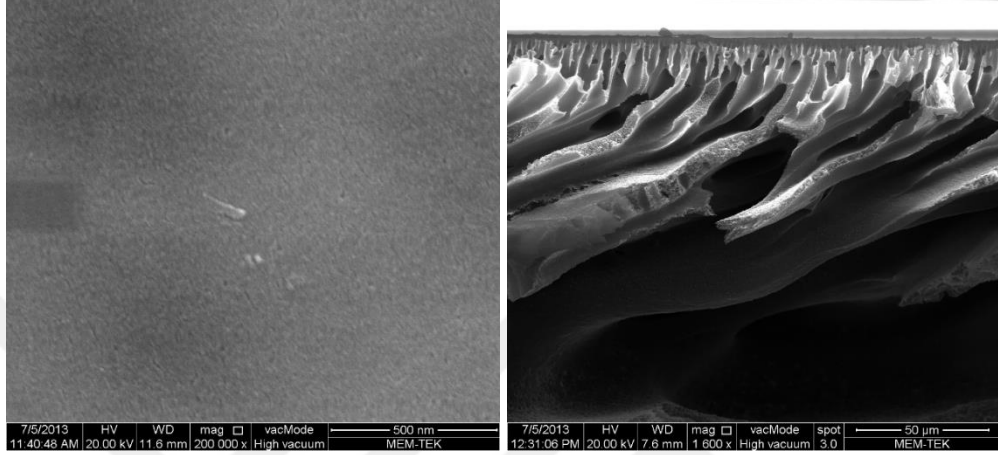
Şekil 4.25: %18 PES/%8 PVP/%1 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.



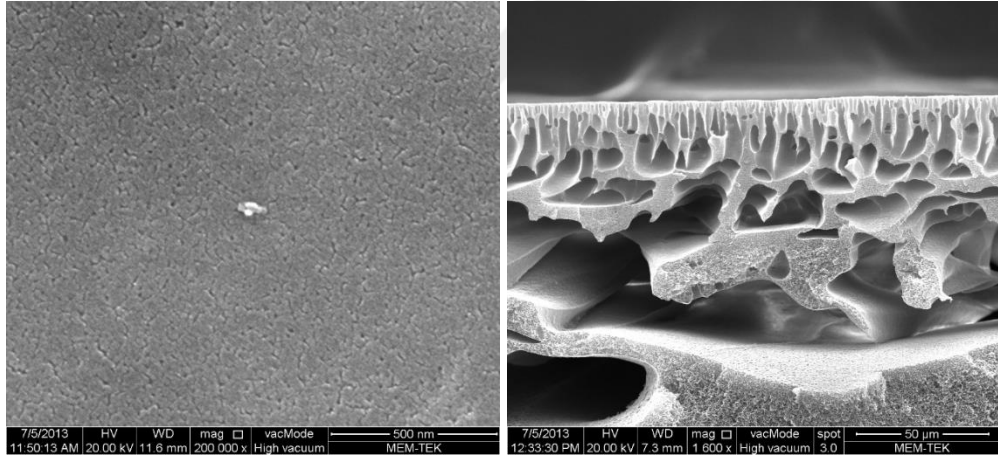
Şekil 4.26: %18 PES/%8 PVP/%2 CNT (20-30nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da ise, % 1 CNT (30-50 nm) içeren farklı PES oranına sahip membranların yüzey ve kesit alanı görüntülerini sergilenmektedir. Membranların yüzey

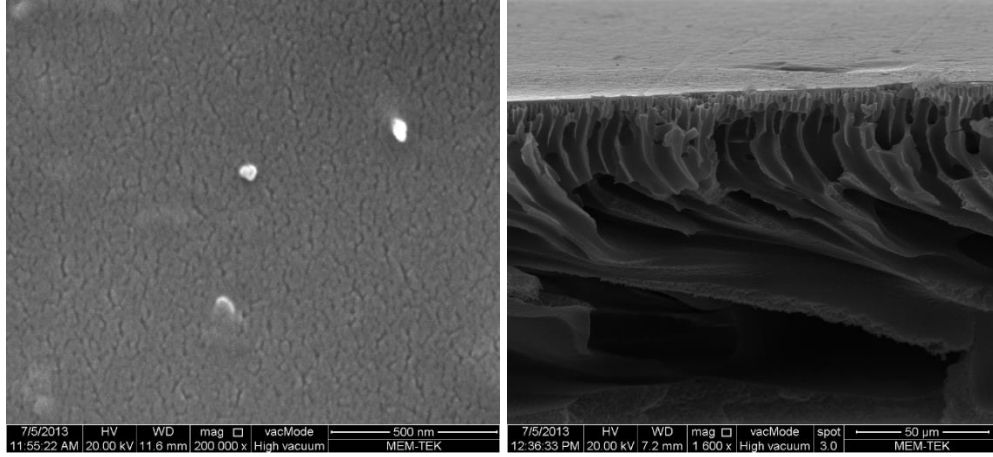
görüntülerinden, % 14'lük CNT/PES membranının yüzey morfolojisinin daha pürüzsüz olduğu gözlenmiştir. Kesit alanı görüntülerinde ise, parmaksı uzun ince kanallı yapıların ve makrogözenekli yapıların % 16'lık membranlarda daha düzensiz bir hal aldığı görülmüştür. Genel olarak, tipik birer asimetrik membran oldukları görülmektedir.



Şekil 4.27: %14 PES/%8 PVP/%1 CNT (30-50nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

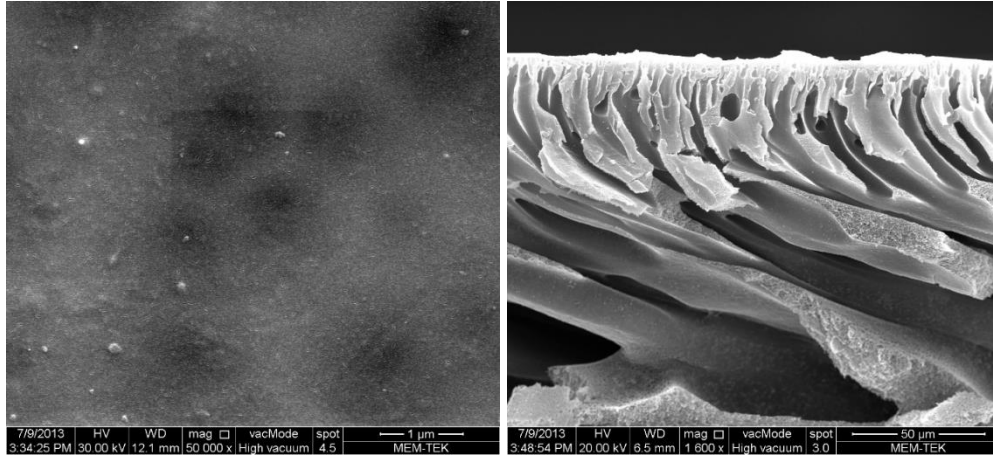


Şekil 4.28: %16 PES/%8 PVP/%1 CNT (30-50nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

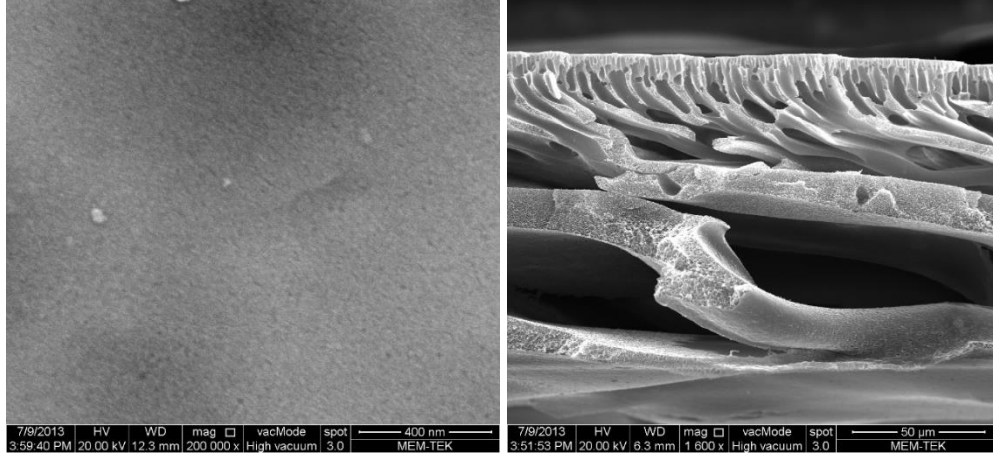


Şekil 4.29: %18 PES/%8 PVP/%1 CNT (30-50nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

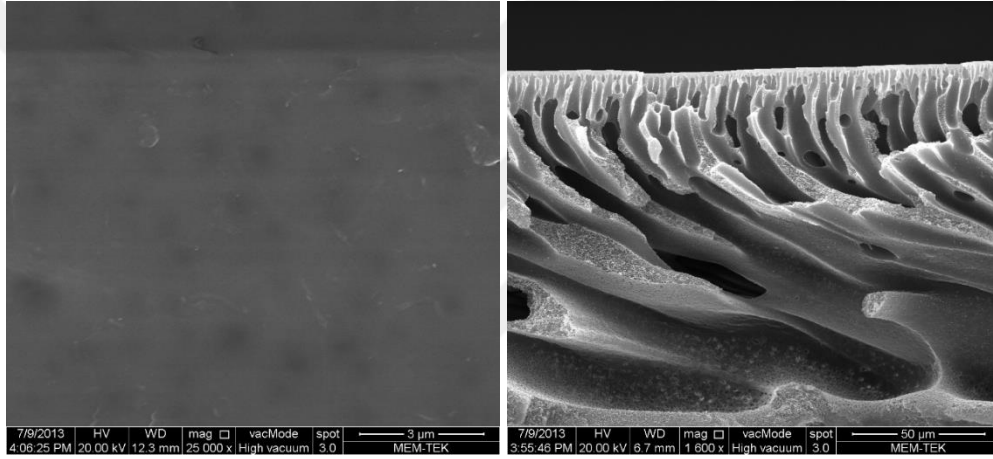
Şekil 4.30 ve Şekil 4.32 arasında da farklı PES miktarları ile % 1 CNT (>50 nm) içeriğine sahip membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri yer almaktadır. Artan polimer konsantrasyonu ile membran yüzeylerinin çok daha sık ve pürüzsüz bir yapıya sahip olduğu yüzey görüntülerinden görülmektedir. Yani, yoğun ve sıkı bir yüzeye sahip olan membranların, dolayısıyla daha küçük gözenek çaplı yapıya sahip olduğu görülmüştür. Kesit alanı görüntülerinde ise, alt tabakada bulunan makrogözenekli yapıların büyüklüğü ve sayısı ile orta tabakada yer alan parmakı uzun ince tüplü yapıların düzeni göz önüne alındığında, % 18 PES içeren membranın daha ideal olduğu görülmektedir.



Şekil 4.30: %14 PES/%8 PVP/%1 CNT (>50nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

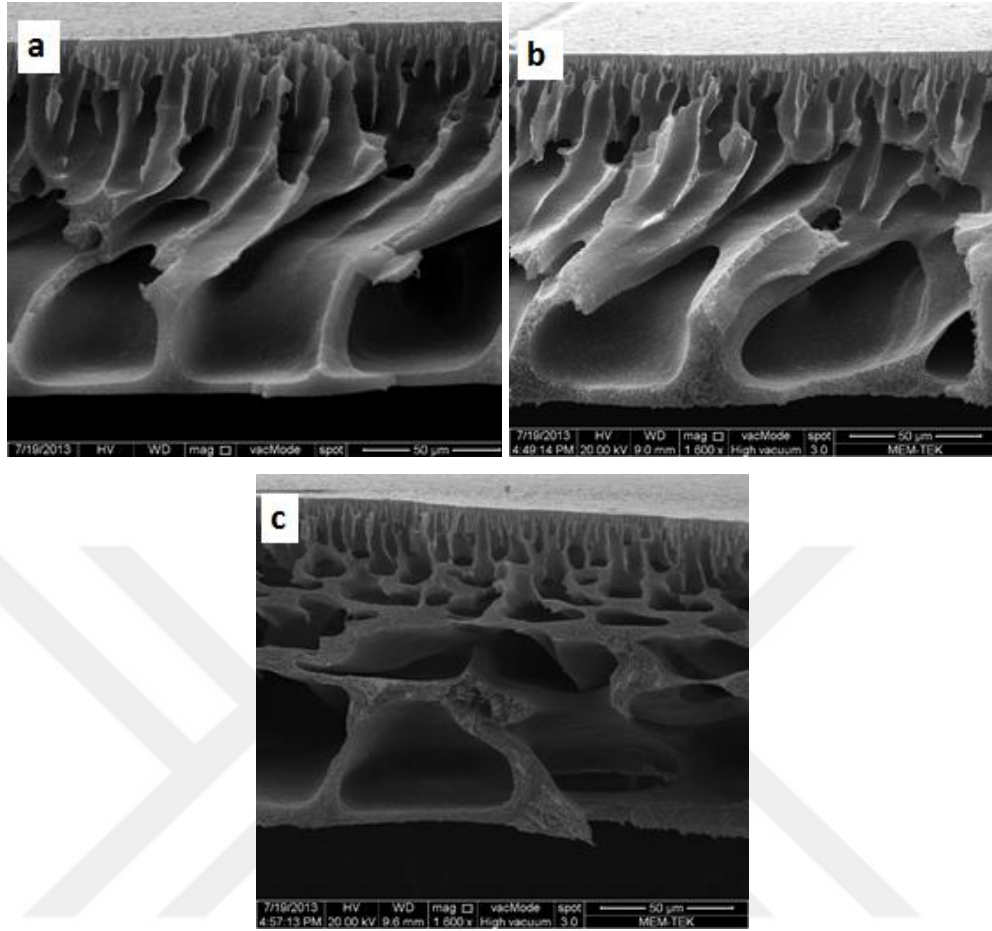


Şekil 4.31: %16 PES/%8 PVP/%1 CNT (>50nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.



Şekil 4.32: %16 PES/%8 PVP/%1 CNT (>50nm) membranların yüzey ve kesit alanı görüntüleri.

Son olarak, Şekil 4.33’de, % 1 tek duvarlı CNT (SWCNT) içeren % 14 PES, % 16 PES, % 18 PES içeren membranların kesit alanı görüntüleri yer almaktadır. Çok duvarlı CNT ile sentezlenen membranlara göre, SWCNT membranları ile sentezlenen membranların parmakı uzun ince tüp şeklindeki yapıların orta tabakada azaldığı ve alt tabakadaki makrogözeneklerin boyut ve biçimlerinde büyük farklar meydana geldiği görülmüştür.



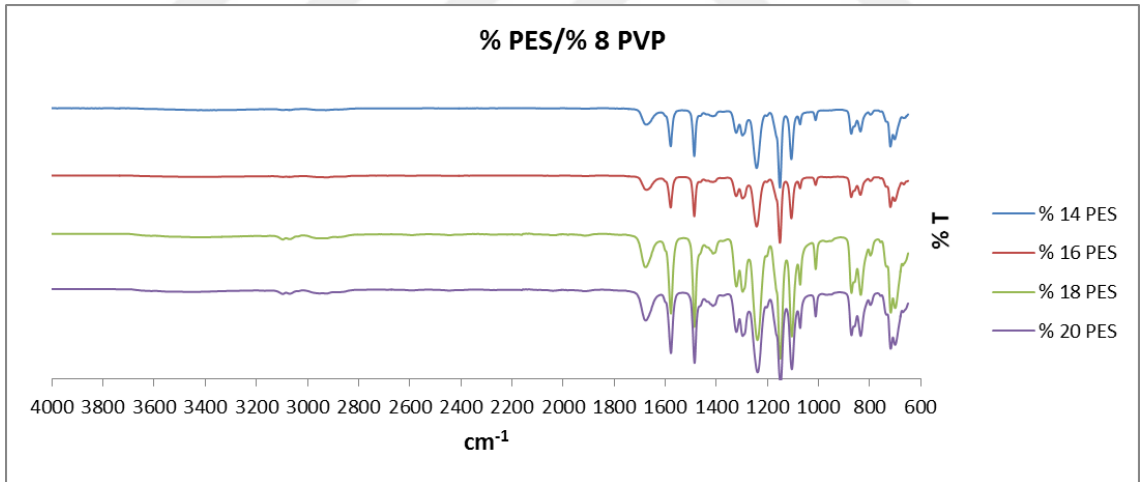
Şekil 4.33: % 1 CNT (SWCNT) içeren membranların kesit alanı görüntüleri (a) %14 PES/%8 PVP, b) %16 PES/%8 PVP, c) %18 PES/%8 PVP).

4.1.2. Fourier Dönüşüm İnfrared (FTIR) Spektroskopisi

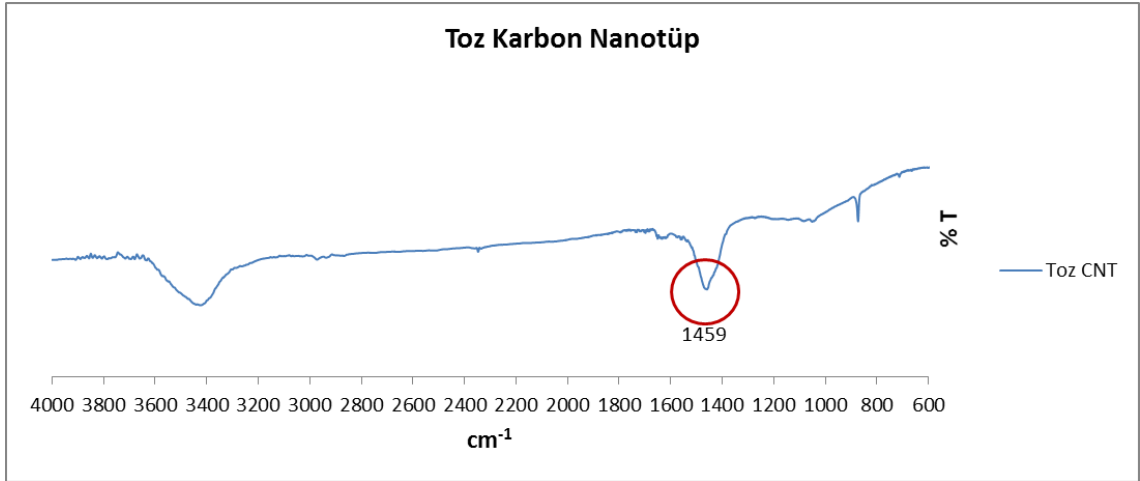
% PES/% 8 PVP membranları için elde edilen FTIR spektrumlarında, pik değerleri sırasıyla 1673, 1577, 1485, 1322, 1297, 1242, 1151, 1106, 1071, 1012, 872, 836 ve 719 cm^{-1} de elde edilmiştir (Şekil 4.34). Bu FTIR pikleri uluslararası çalışmalar ışığında bir sınıflamaya tabi tutulduğunda, PES membranı yüzeyindeki aromatik bağlar 1577, 872 ve 719 cm^{-1} 'de ortaya çıkarken, 1485 cm^{-1} C_C ve C_S sülfür bağlarının varlığına işaret etmektedir (Arkhangelsky ve diğ., 2006). Ayrıca, 1242 cm^{-1} 'de okunan değer ise membran yüzeyinde aromatik eter bağlarının (C_O_C) varlığını göstermektedir. Bunlara ilaveten, 1106 cm^{-1} 'de okunan spektrum ise sulfonik asit fonksiyonel yapılarına işaret etmektedir (Choi ve diğ., 2006; Peyravi ve diğ., 2012). Diğer yandan, 1146 cm^{-1} 'de okunan pik ise membran yüzeyindeki S=C bağlarının varlığını sergilemektedir.

CNT içeren membranlar için elde edilen FTIR spektrumlarında, pik değerleri (ortalama) sırasıyla 1660, 1578, 1486, 1464, 1412, 1322, 1297, 1242, 1151, 1106, 1072, 1011, 872, 836, 796, 719 ve 700 cm^{-1} de okunmuştur (Şekil 4.36-Şekil 4.44 arası). % PES/% 8 PVP/% CNT membranları için elde edilen FTIR spektrumları ile % PES/% 8 PVP membranları için elde edilen FTIR spektrumları birebir örtüşmektedir. Bu durum başlangıçta deneysel bir takım problemlerin varlığına işaret etmiş olsa bile, farklı membranlar ile yapılan FTIR ölçümleri bu sonucu değiştirmemiştir.

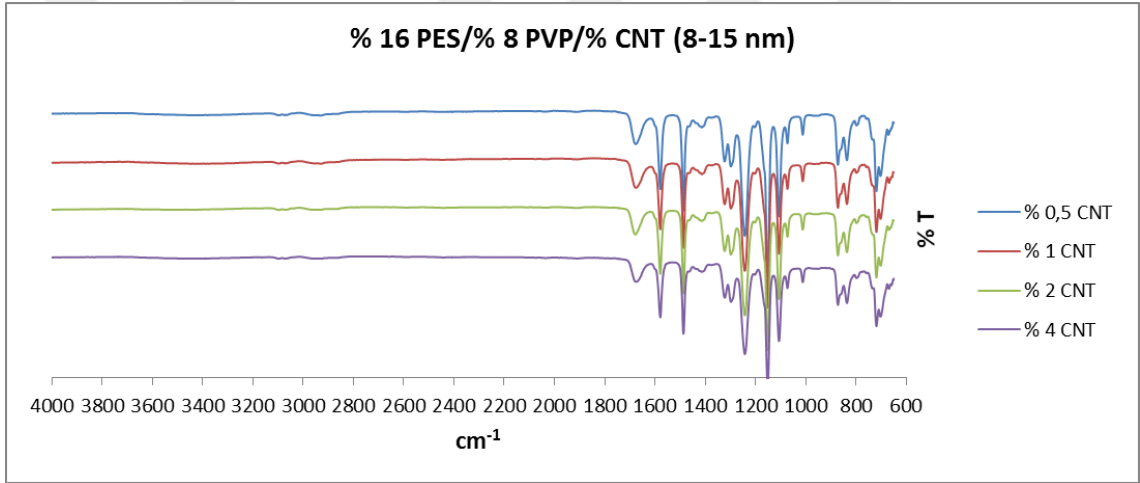
Bu durum, toz CNT'nin FTIR spektrumunda meydana getirdiği pik değer (1459 cm^{-1}) bulunarak çözümlenmeye çalışılmıştır (Şekil 4.35). FTIR cihazında germanyum kristal uç kullanılarak FTIR ölçümleri gerçekleştirildiğinden, cihazın membran yüzeyindeki karbonlu yapıları görmesi sağlanmıştır. Nitekim % PES/% 8 PVP/% CNT membranlarının FTIR spektrumlarında 1464 ve 1414 cm^{-1} 'de okunan değerler, % PES/% 8 PVP/% CNT membranların % PES/% 8 PVP membranlardan farkını ortaya koyarak CNT varlığını göz önüne sermiştir.



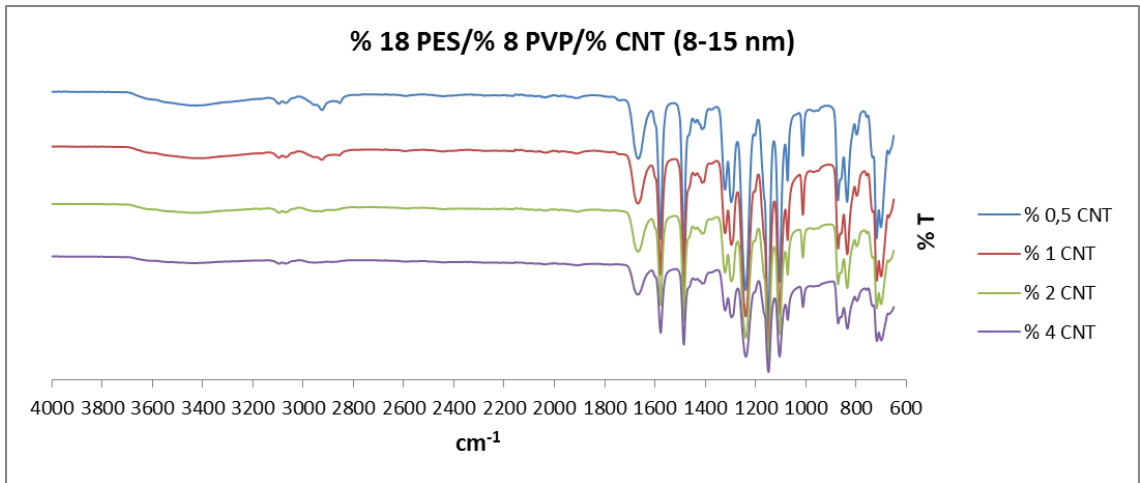
Şekil 4.34: % PES/% 8 PVP membranların FTIR spektrumları.



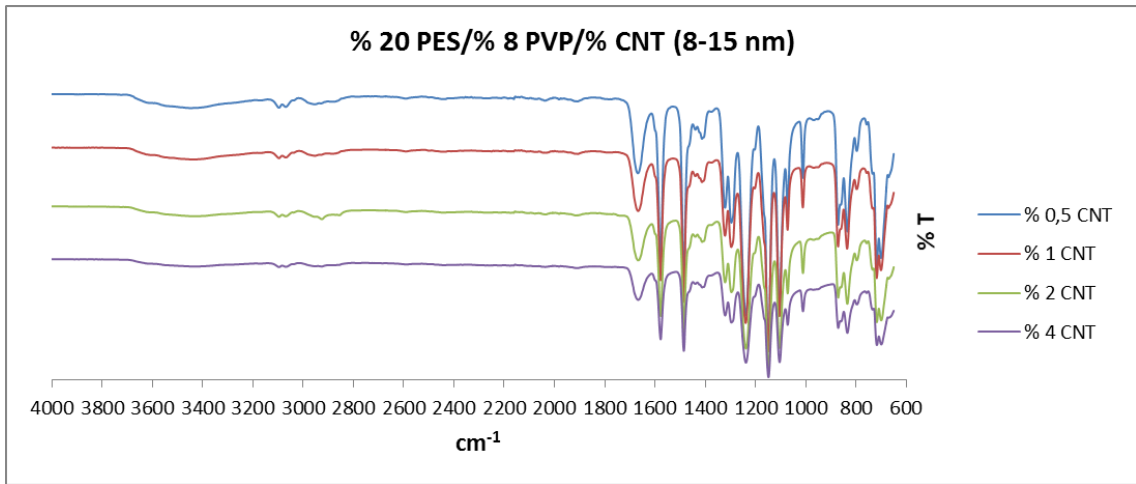
Şekil 4.35: Toz karbon nanotüpe ait FTIR spektrumu.



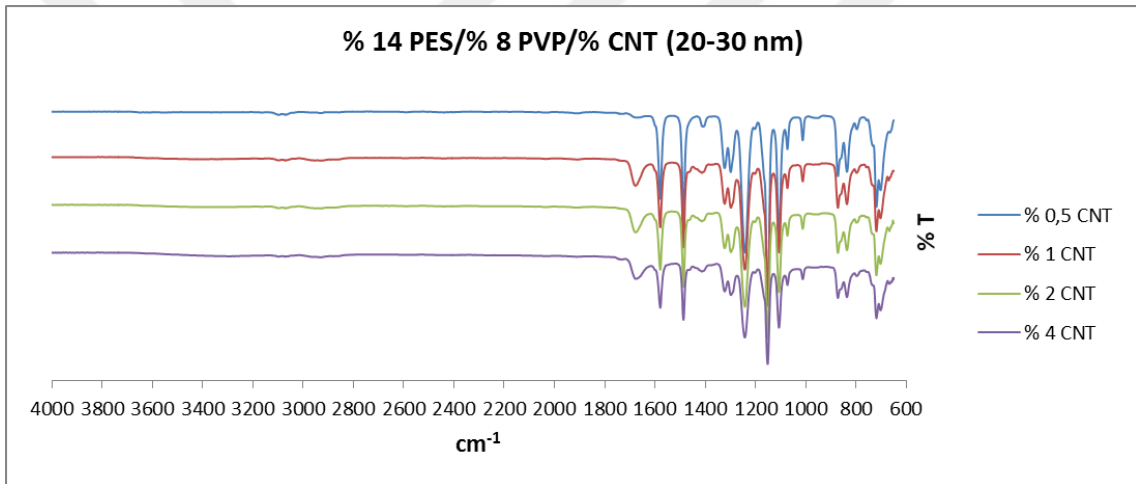
Şekil 4.36: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların FTIR spektrumları.



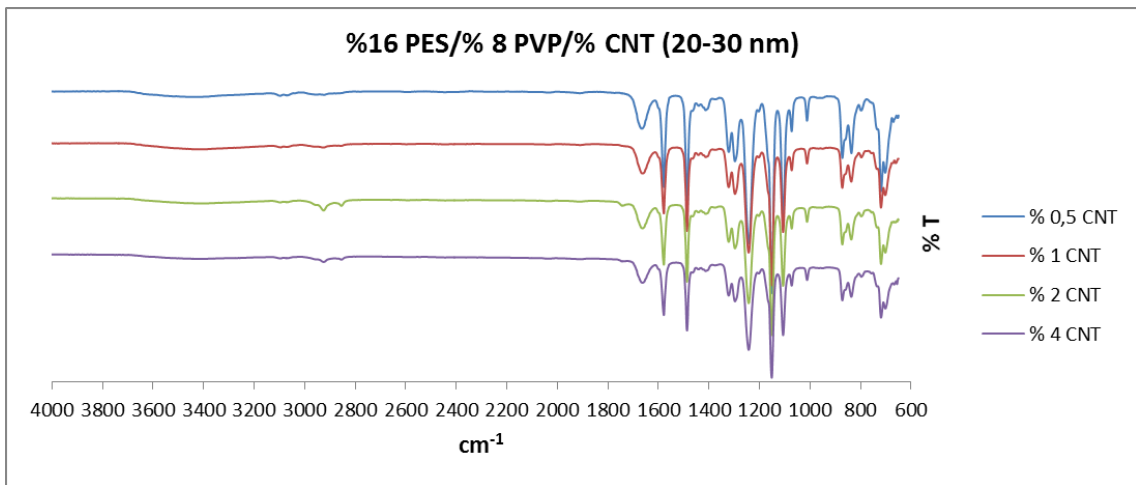
Şekil 4.37: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların FTIR spektrumları.



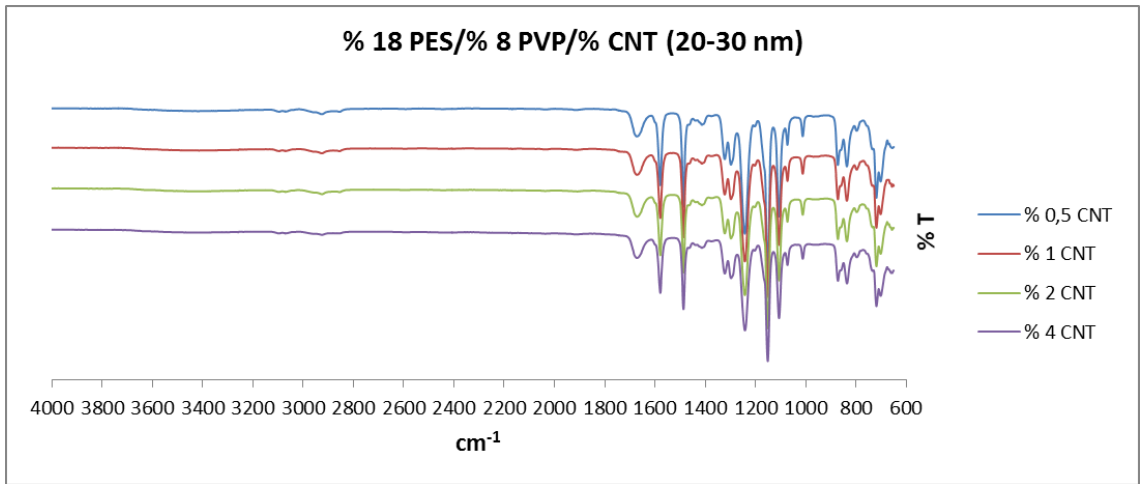
Şekil 4.38: % 20 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların FTIR spektrumları.



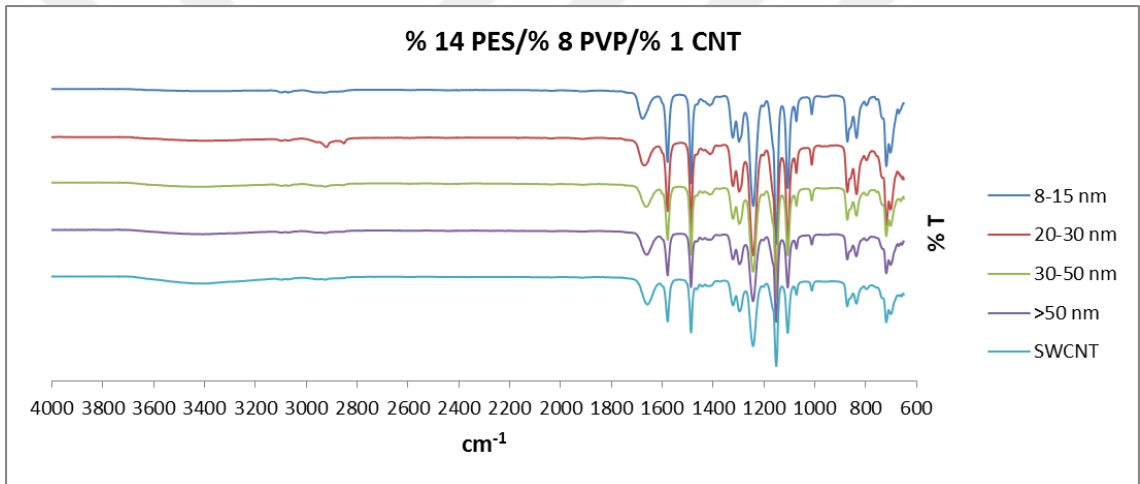
Şekil 4.39: % 14 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların FTIR spektrumları.



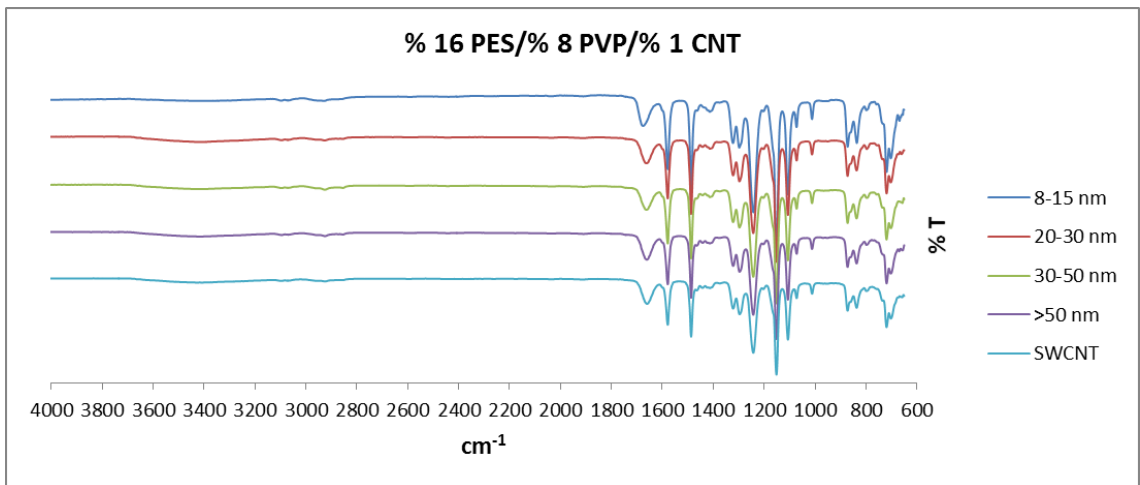
Şekil 4.40: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların FTIR spektrumları.



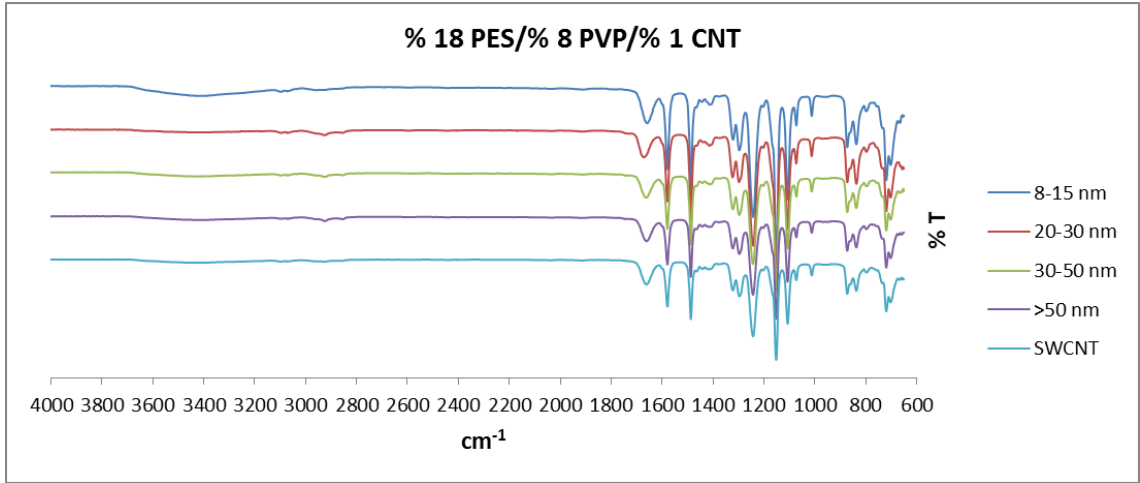
Şekil 4.41: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların FTIR spektrumları.



Şekil 4.42: % 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları.



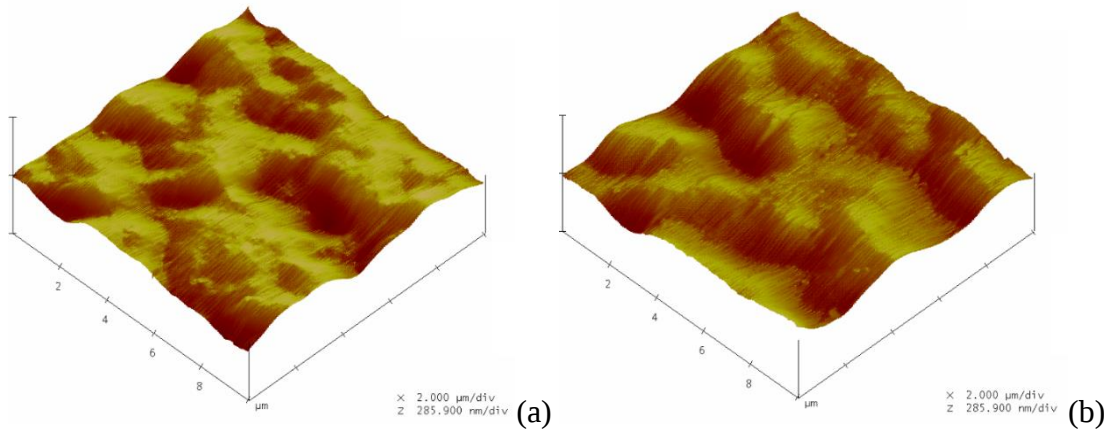
Şekil 4.43: % 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları.

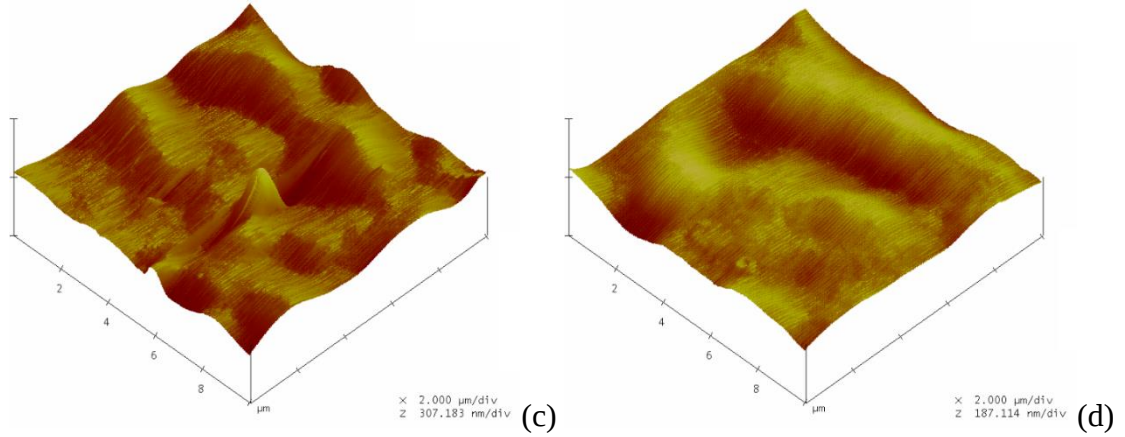


Şekil 4.44: % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları.

4.1.3. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

Üretilen tüm membranların AFM ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak saf membranların AFM analizleri sonucu elde edilen görüntüleri Şekil 4.45 (a-d)'de farklı PES oranlarına göre toplu halde verilmiştir.





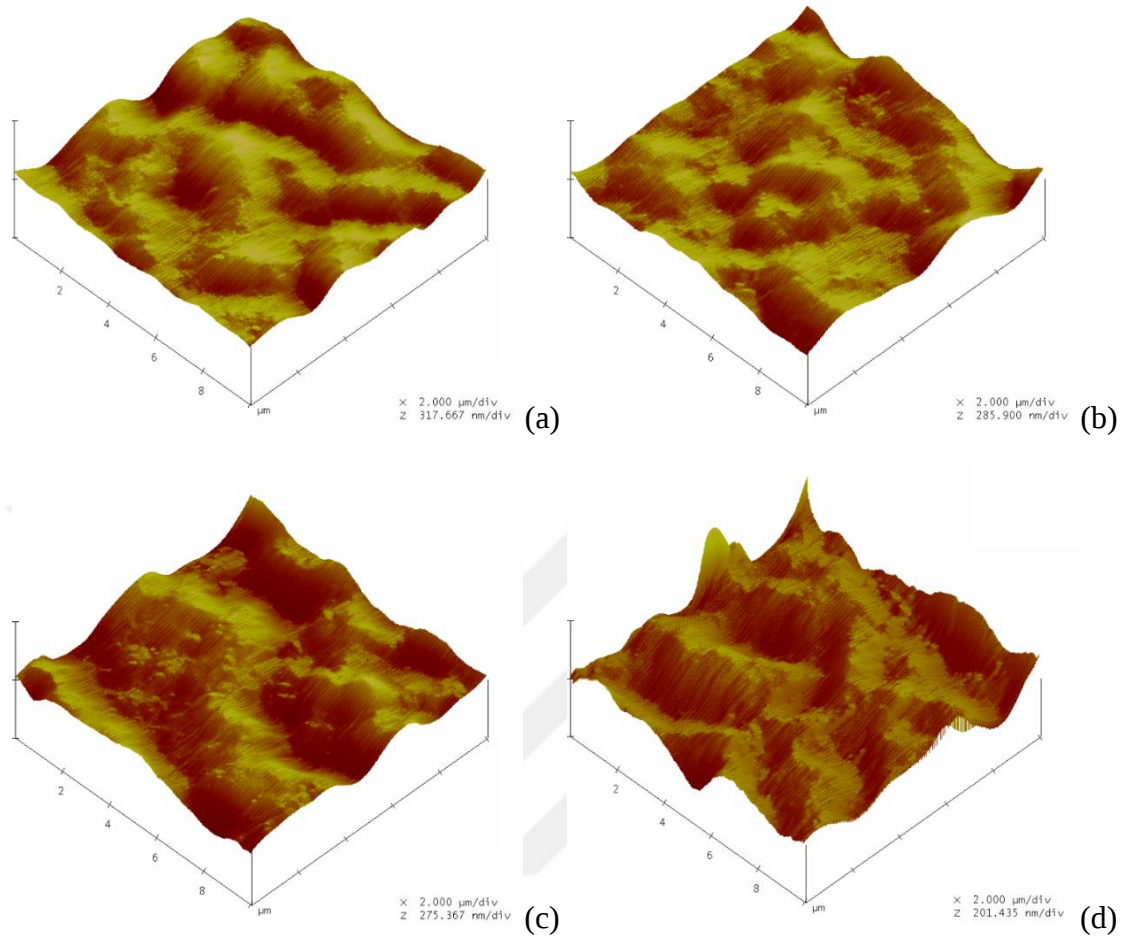
Şekil 4.45: % PES/% 8 PVP içeren membranların AFM analiz sonuçları (a) % 14 PES (b) % 16 PES (c) %18 PES (d) % 20 PES.

% PES/% 8 PVP membranların AFM analizinde ölçülen ortalama pürüzlülük (R_a) değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. % PES/% 8 PVP membranlarda genel olarak polimer oranı arttıkça R_a değerlerinin de bir miktar düştüğü gözlenirse de bu durum % 18’lik membranda artış ile sonuçlanmıştır. En düşük pürüzlülüğe sahip membran % 20 PES içeren membran olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.1: % PES/% 8 PVP içeren membranların R_a değerleri.

Membran Türü		R_a (Ortalama Pürüzlülük, nm)
% PES/% 8 PVP	14%	14,108
	16%	13,597
	18%	14,217
	20%	7,317

% 16 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların AFM analizleri sonucu elde edilen görüntüleri Şekil 4.46 (a-d)’de gösterilmiştir. Pürüzlülük değerleri ise sayısal olarak Tablo 4.2’de verilmiştir. CNT (8-15 nm) eklenmesi % 16 PES/% 8 PVP membranının (13,6 nm) pürüzlülük değerini % 1 CNT içeren membranlar hariç genel olarak arttırmıştır. CNT (8-15 nm) içeren membranların en düşük pürüzlülük değerlerine % 1 CNT (10,9 nm) oranında ulaşılmıştır.

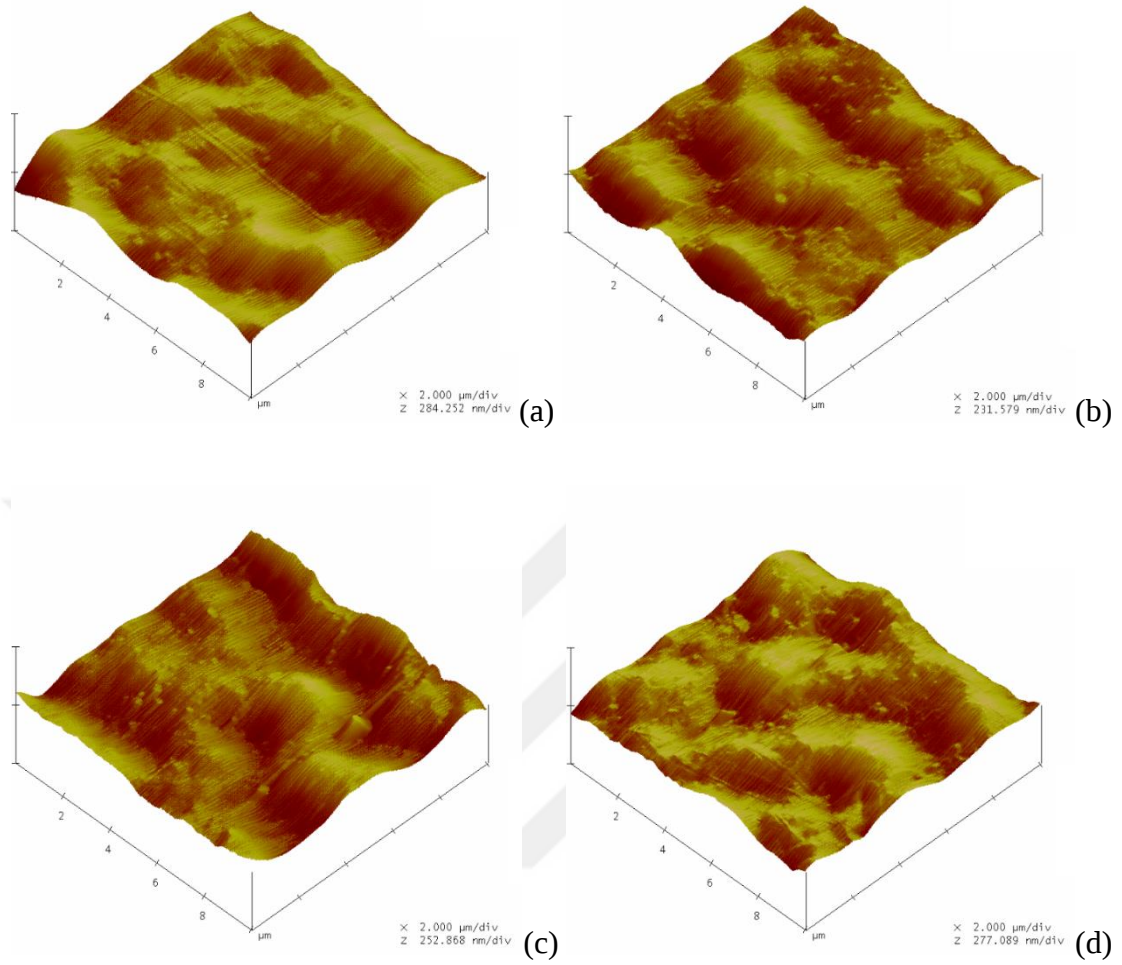


Şekil 4.46: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların AFM analiz sonuçları (a) % 0.5 CNT (b) % 1 CNT (c) % 2 CNT (d) % 4 CNT.

Tablo 4.2: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların Ra değerleri.

Membran Türü		Ra (Ortalama Pürüzlülük, nm)
% 16 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm)	% 0.5 CNT	16,202
	% 1 CNT	10,922
	% 2 CNT	16,550
	% 4 CNT	17,450

CNT (8-15 nm)'li membranların AFM analizleri sonucu elde edilen görüntüleri Şekil 4.47 (a-d)'de gösterilmiştir. Pürüzlülük değerleri ise sayısal olarak Tablo 4.3'de verilmiştir. CNT (8-15 nm) eklenmesi % 18 PES/% 8 PVP membranının (14,2 nm) pürüzlülük değerlerini % 4 CNT içeren membran hariç azaltmıştır. CNT (8-15 nm) içeren membranların en düşük pürüzlülük değerlerine % 1 CNT (11,1 nm) oranında ulaşılmıştır.



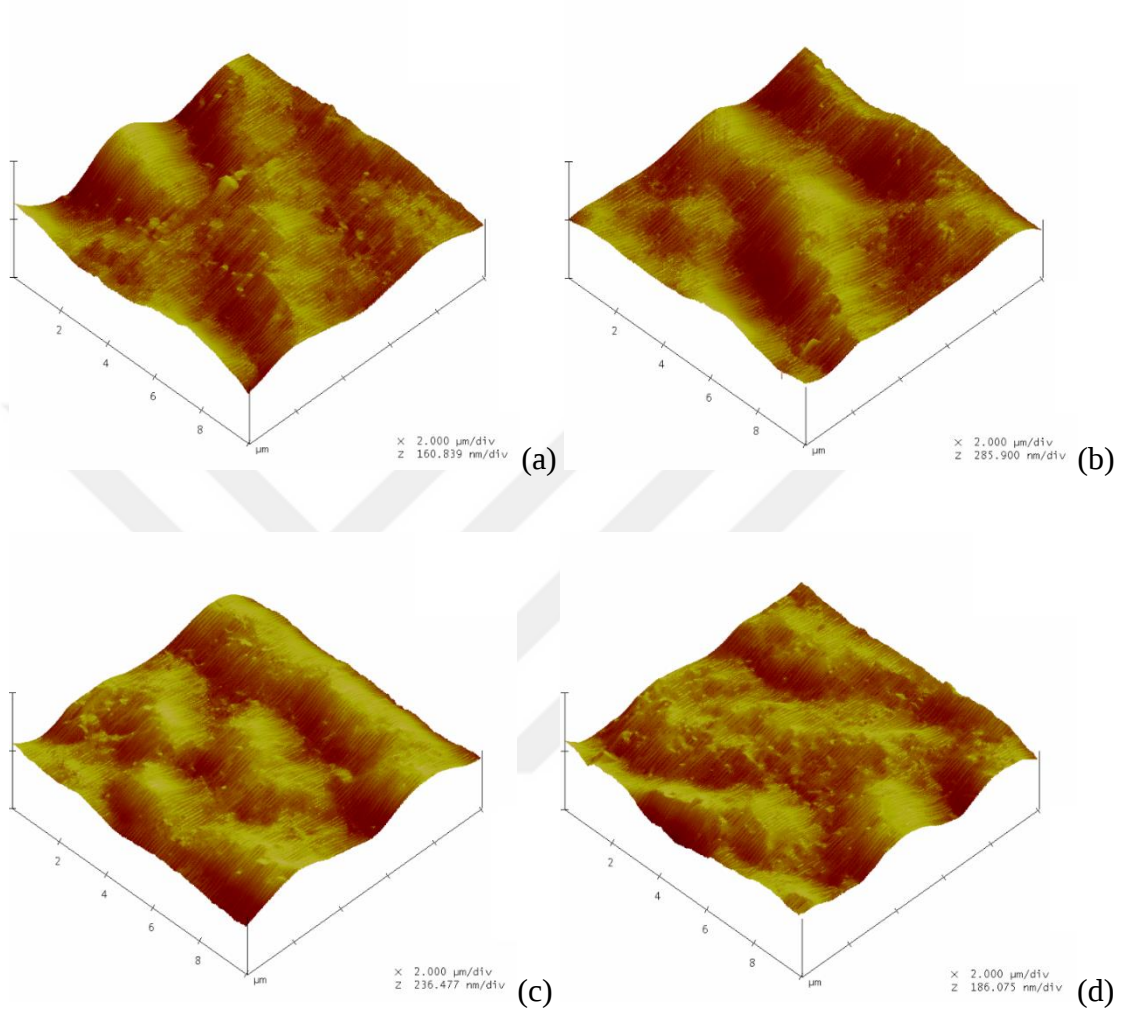
Şekil 4.47: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların AFM analiz sonuçları (a) % 0.5 CNT (b) % 1 CNT (c) % 2 CNT (d) % 4 CNT.

Tablo 4.3: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların Ra değerleri.

Membran Türü		Ra (Ortalama Pürüzlülük, nm)
% 18 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm)	% 0.5 CNT	12,415
	% 1 CNT	11,049
	% 2 CNT	12,377
	% 4 CNT	14,416

% 20 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların AFM analizleri sonucu elde edilen görüntüleri Şekil 4.48 (a-d)'de gösterilmiştir. Pürüzlülük değerleri ise sayısal olarak Tablo 4.4'de verilmiştir. % 20 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların pürüzlülük değerlerine bakıldığında, CNT (8-15 nm) ilavesiyle % 20 PES/% 8 PVP membranın pürüzlülük değerleri

(7,3 nm) % 0,5 CNT içeren membran hariç artmıştır. Membranların en düşük pürüzlülük değerlerine % 0,5 CNT oranında ulaşılmıştır.



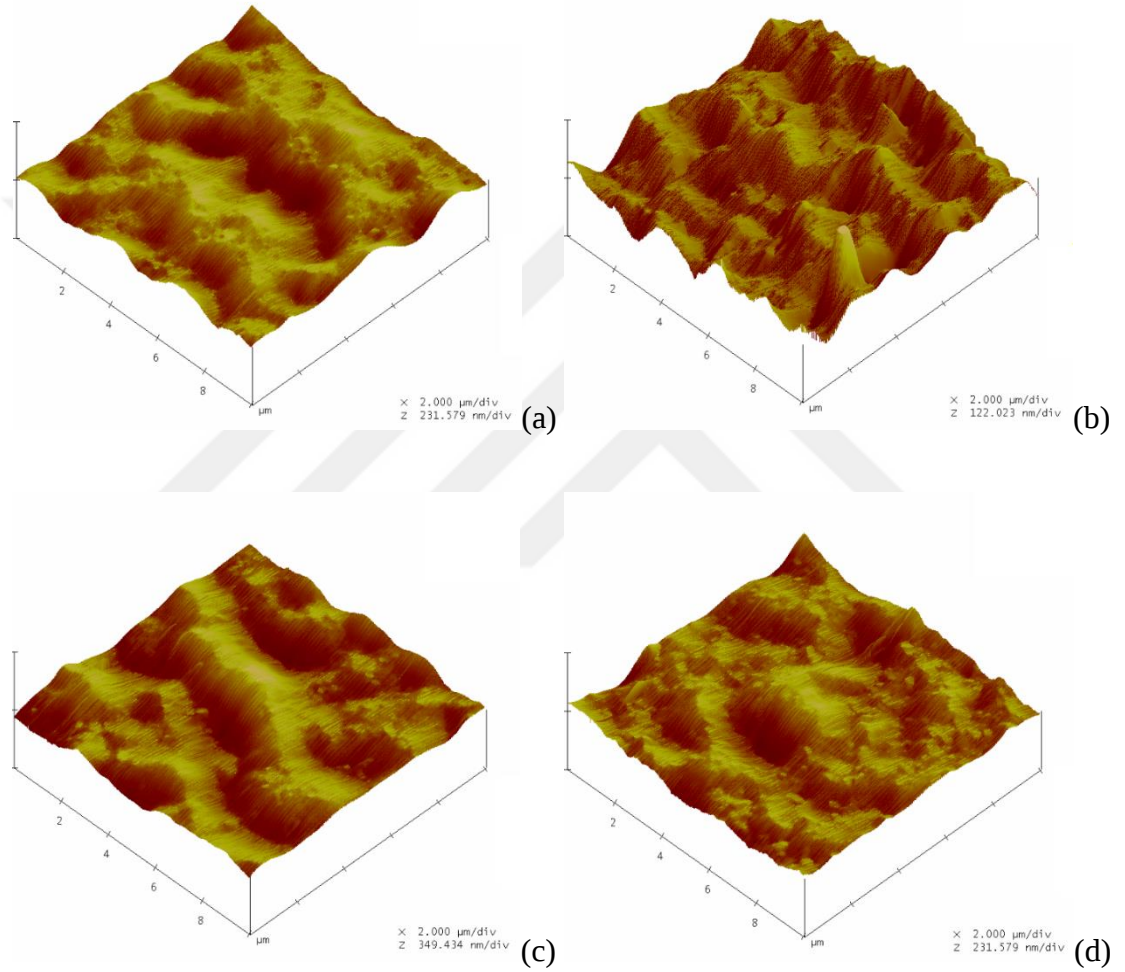
Şekil 4.48: % 20 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların AFM analiz sonuçları (a) % 0.5 CNT (b) % 1 CNT (c) % 2 CNT (d) % 4 CNT.

Tablo 4.4: % 20 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların Ra değerleri.

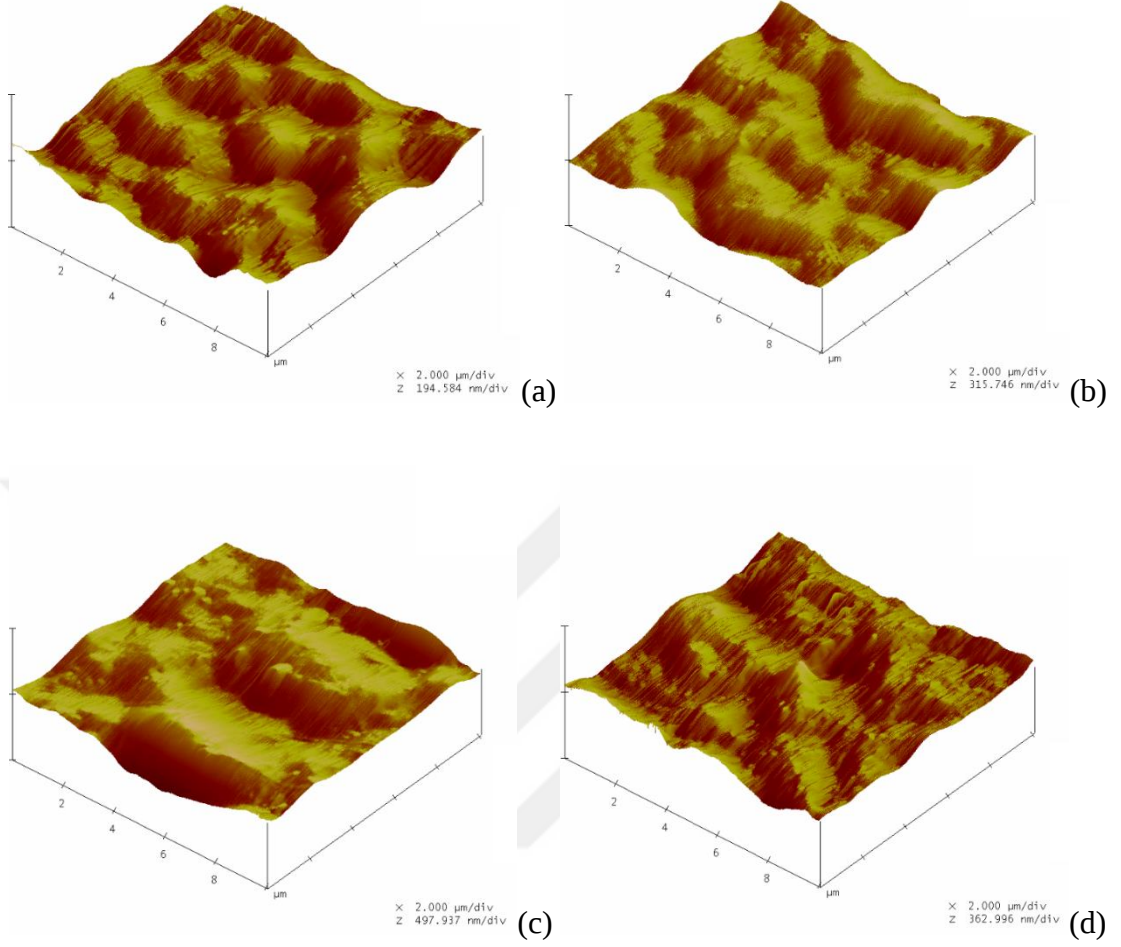
Membran Türü		Ra (Ortalama Pürüzlülük, nm)
% 20 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm)	% 0.5 CNT	6,529
	% 1 CNT	12,068
	% 2 CNT	10,946
	% 4 CNT	8,659

Bu kısımda, CNT (20-30 nm)'li membranların AFM analizleri sonucu elde edilen görüntüleri Şekil 4.49 (a-d), Şekil 4.50 (a-d) ve Şekil 4.51 (a-d) ile gösterilmiştir. Pürüzlülük değerleri ise

sayısal olarak Tablo 4.5’de verilmiştir. CNT (20-30 nm) eklenmesi % 14 PES/% 8 PVP membranın pürüzlülük değerlerini (14,1 nm) % 2 CNT içeren membran hariç neredeyse değiştirmemiş, % 16 PES/% 8 PVP membranın pürüzlülük değerlerini (13,6 nm) arttırmış, % 18 PES/% 8 PVP membranın pürüzlülük değerini (14,2 nm) ise % 2 CNT içeren membran hariç azaltmıştır.

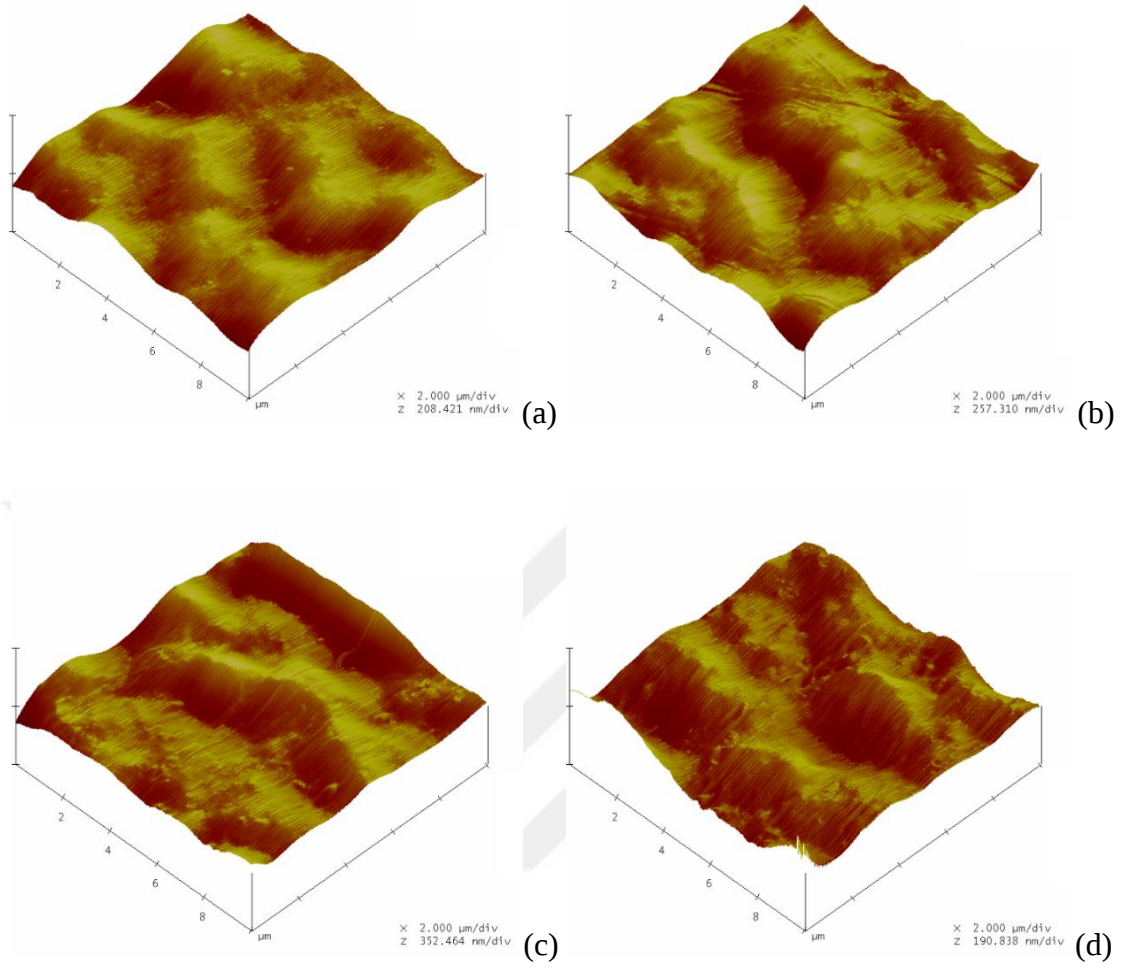


Şekil 4.49: % 14 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların AFM analiz sonuçları (a) % 0.5 CNT (b) % 1 CNT (c) % 2 CNT (d) % 4 CNT.



Şekil 4.50: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların AFM analiz sonuçları (a) % 0.5 CNT (b) % 1 CNT (c) % 2 CNT (d) % 4 CNT.

CNT (20-30 nm)'li membranların tüm türlerinde en yüksek pürüzlülük değerlerine % 2 CNT oranında ulaşılırken, en düşük pürüzlülük değeri her bir membran grubu için farklılık göstermiştir. % 14 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranları için % 4 CNT oranına sahip membran en düşük pürüzlülüğü sağlarken, % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranları için bu oran % 1 CNT ve % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranları için ise % 0,5 CNT olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.51: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların AFM analiz sonuçları (a) % 0.5 CNT (b) % 1 CNT (c) % 2 CNT (d) % 4 CNT.

Tablo 4.5: % PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların Ra değerleri.

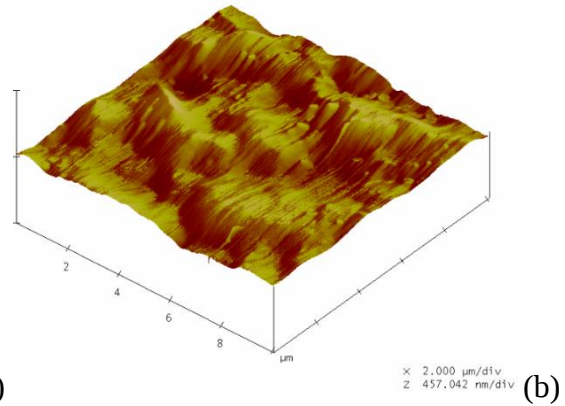
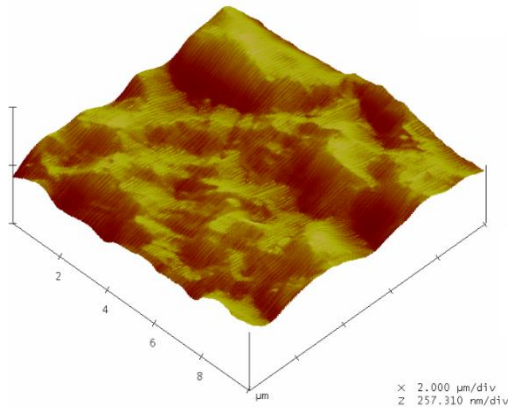
Membran Türü		Ra (Ortalama Pürüzlülük, nm)
% 14 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm)	% 0.5 CNT	14,097
	% 1 CNT	14,434
	% 2 CNT	19,249
	% 4 CNT	13,161
% 16 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm)	% 0.5 CNT	18,175
	% 1 CNT	14,038
	% 2 CNT	21,070
	% 4 CNT	17,008

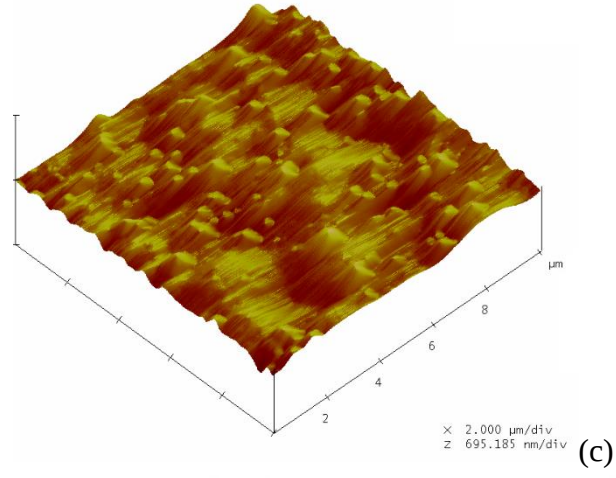
Tablo 4.5 (devam): % PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların Ra değerleri.

% 18 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm)	% 0.5 CNT	8,580
	% 1 CNT	12,233
	% 2 CNT	18,095
	% 4 CNT	13,802

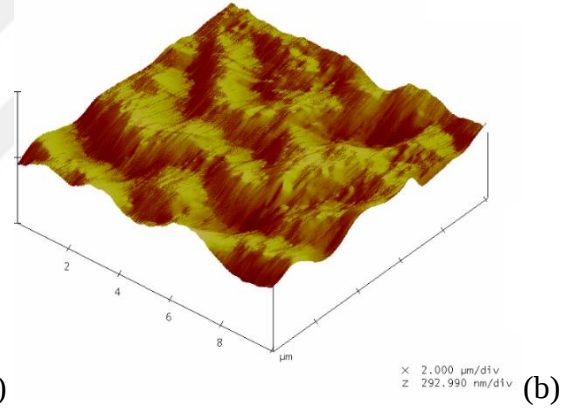
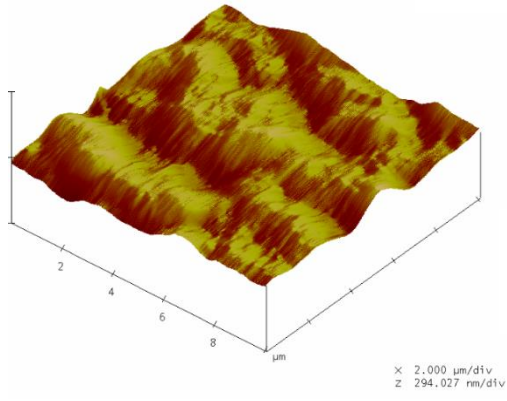
% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (30-50 nm, >50 nm, SWCNT) membranların AFM analizleri sonucu elde edilen görüntüleri Şekil 4.52 (a-c), % 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (30-50 nm, >50 nm, SWCNT) membranların AFM analizleri sonucu elde edilen görüntüleri Şekil 4.53 (a-c) ve % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (30-50 nm, >50 nm, SWCNT) membranların AFM analizleri sonucu elde edilen görüntüleri Şekil 4.54 (a-c) ile gösterilmiştir. Pürüzlülük değerleri ise sayısal olarak Tablo 4.6’de verilmiştir. Farklı tür CNT (30-50 nm, >50 nm, SWCNT) ilavesi % 14 PES/% 8 PVP membranın pürüzlülük değerlerini (14,1 nm) ve % 16 PES/% 8 PVP membranın pürüzlülük değerlerini (13,6 nm) arttırmış, % 18 PES/% 8 PVP membranın pürüzlülük değerini (14,2 nm) ise >50 nm tanecik çapına ait CNT içeren membran hariç azaltmıştır. % 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (30-50 nm, >50 nm, SWCNT) membranları için 30-50 nm tanecik çapına sahip CNT ile sentezlenen membranın en düşük pürüzlülüğü sağlamıştır.

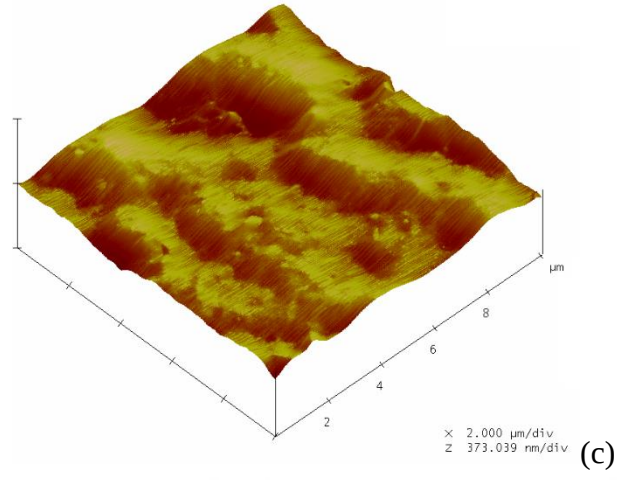
Bu veriler ışığında, CNT içeriği ile pürüzlülük arasında net bir ilişkinin olmadığı düşünülmektedir.



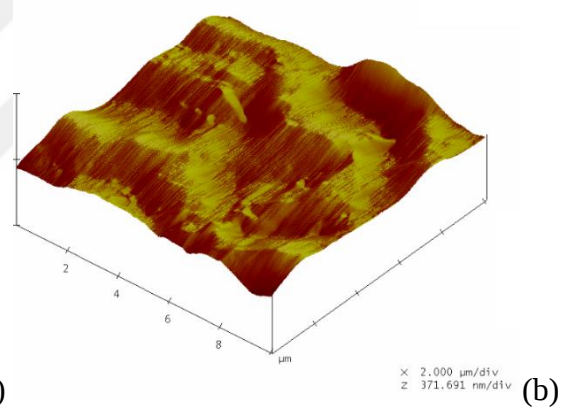
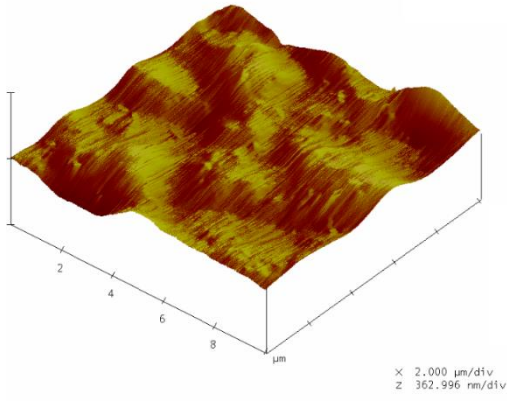


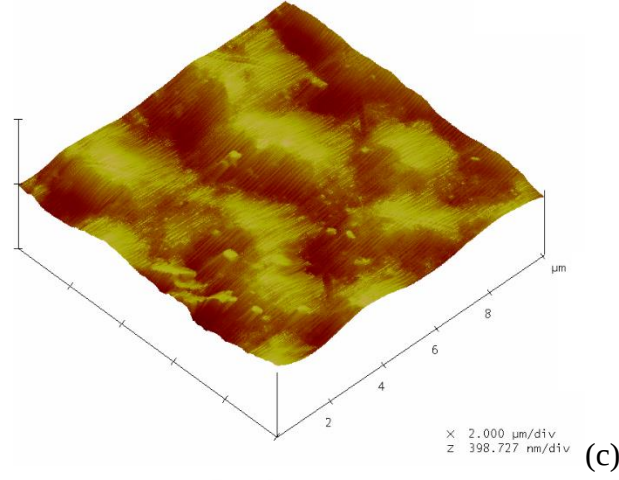
Şekil 4.52: % 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 30-50 nm (b) >50 nm (c) SWCNT.





Şekil 4.53: % 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 30-50 nm (b) >50 nm (c) SWCNT.





Şekil 4.54: % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 30-50 nm (b) >50 nm (c) SWCNT.

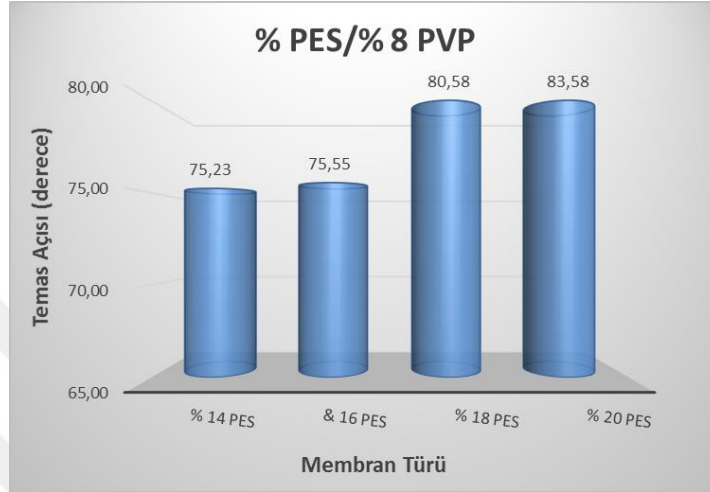
Tablo 4.6: % PES/% 8 PVP/% 1 CNT (30-50 nm, >50 nm, SWCNT) membranların Ra değerleri.

Membran Türü		Ra (Ortalama Pürüzlülük, nm)
% PES/% 8 PVP/% 1 CNT (30-50 nm)	14%	14,250
	16%	14,562
	18%	12,870
% PES/% 8 PVP/% 1 CNT (>50 nm)	14%	19,207
	16%	14,531
	18%	16,018
% PES/% 8 PVP/% 1 CNT (SWCNT)	14%	31,835
	16%	15,609
	18%	12,890

4.1.4. Temas Açısı (Contact Angle)

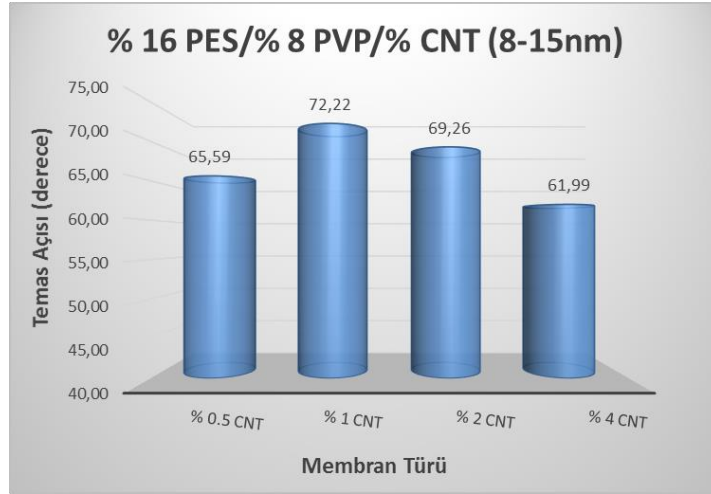
Bu çalışma kapsamında sentezlenen membranların yüzey hidrofilikliğinin bir işareti olan temas açısı değerleri Şekil 4.55 ile Şekil 4.64 arasında özetlenmiştir. % PES/% 8 PVP membranları için elde edilen ortalama temas açısı değerleri PES oranı artışına göre (% 14 PES, % 16 PES, % 18 PES ve % 20 PES) sırasıyla 75, 76, 81 ve 84 derece olarak ölçülmüştür. PES polimerinin membrana hidrofofiklik kazandırdığı bilgisi ışığında, membran bünyesindeki PES yüzdesinin azalması membranın daha az hidrofofik olacağına veya başka bir deyişle daha fazla hidrofilik

olacağına işaret etmektedir. Genellikle temas açısı ile hidrofilik içerik arasında ters bir ilişki söz konusudur. Yani, membran temas açısı miktarı azaldıkça, membranın hidrofilik içeriği artış gösterir. Şekil 4.55’de genelde, membran içerisindeki PES yüzdesi azaldıkça membranın hidrofilikliği artış göstermiştir.

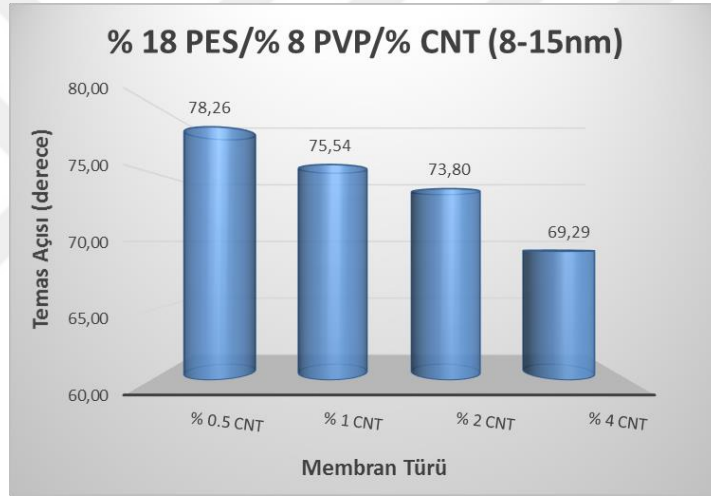


Şekil 4.55: % PES/% 8 PVP membranların temas açısı değerleri.

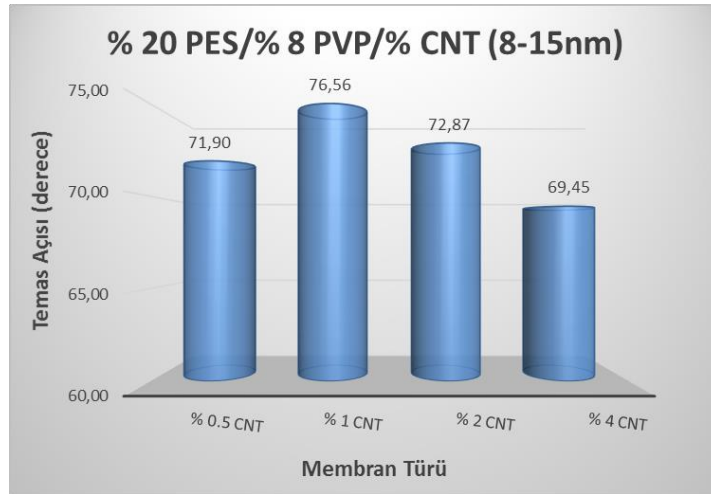
Şekil 4.56, Şekil 4.57 ve Şekil 4.58’de, % PES/% 8 PVP/% CNT membranların temas açısı değerleri gösterilmektedir. Bilimsel çalışmalar membran bünyesindeki CNT içeriğinin artmasıyla temas açısı değerinin azalmasını beklediğini belirtmiştir. Özellikle CNT bünyesindeki COOH fonksiyonel gruplarının membran hidrofilikliğini artırdığı ifade edilmiştir (Qiu ve diğ., 2009). % 18 PES/% 8 PVP/% CNT membranlarında bir azalma trendi tespit edilmiştir. Öte yandan geriye kalan % 16 PES/% 8 PVP/% CNT ve % 20 PES/% 8 PVP/% CNT membranlarında önce bir artış ve ardından sürekli bir azalma eğilimi tespit edilmiştir. Bu durumun, membran bünyesindeki CNT ve PES içeriğine bağlı olarak, CNT taneciklerinin pozisyonları ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.56: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların temas açısı değerleri.

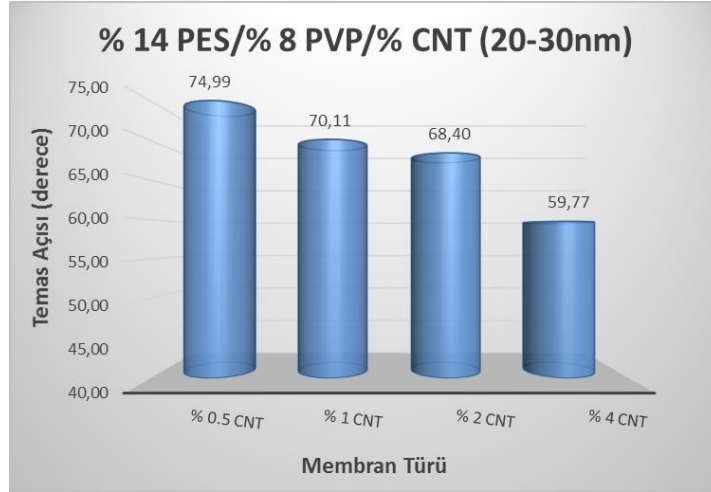


Şekil 4.57: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların temas açısı değerleri.

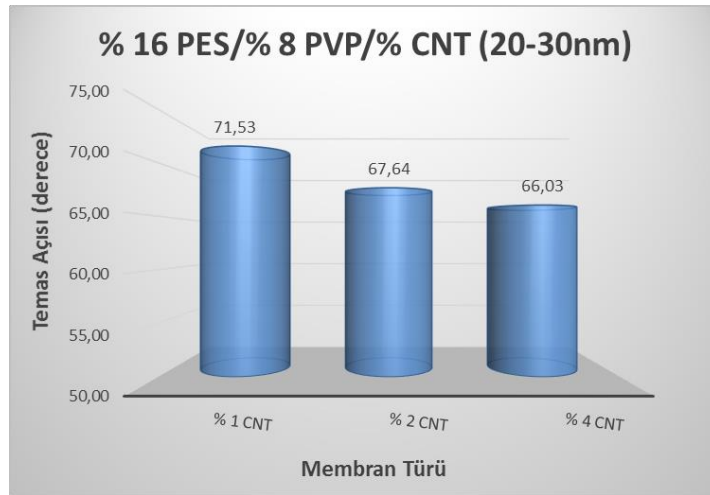


Şekil 4.58: % 20 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların temas açısı değerleri.

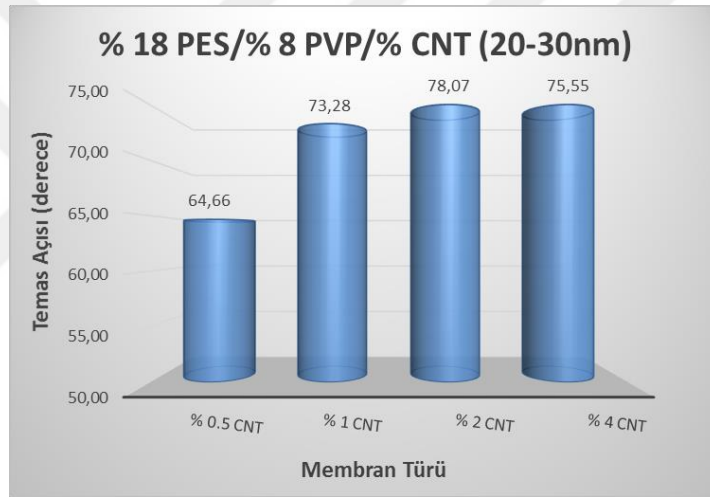
Şekil 4.59 ve Şekil 4.61 arasında ise % PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların temas açısı değerleri verilmiştir. % 14 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranları için, CNT miktarı artıkça temas açısı değerlerinde bir azalma eğilimi gözlenmiştir. Ayrıca, % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranları için okunan ortalama temas açısı değerleri sırasıyla, % 1, % 2 ve % 4 CNT için 72, 68 ve 66 derece olarak okunmuştur. CNT miktarı artıkça temas açısı değerlerinde bir azalma eğilimi gözlenmiştir. PES membranı içerisindeki CNT miktarı artıkça membranın hidrofilikliği artış göstermiştir. Bu durum, literatür verileri ile uyum arz etmektedir. % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranları için okunan ortalama temas açısı değerleri sırasıyla, % 0.5, % 1, % 2 ve % 4 CNT için 65, 73, 78 ve 76 derece olarak okunmuştur. Burada, durum biraz farklılık göstererek CNT miktarı artıkça hidrofobiklik de artış göstermiştir. % 2 CNT miktarına kadar artış gösteren temas açısı değeri bu noktadan sonra % 4 CNT içeriğinde düşüş göstermiştir. Uluslar arası yapılan bir membran çalışmasında, CNT içeriği belli bir noktayı aştığı zaman, CNT taneciklerinin kendi aralarındaki elektrostatik etkileşimler nedeniyle faz inversiyonu esnasında düzensiz bir şekilde sıralanabildikleri belirtilmektedir. Bu da membran hidrofobikliğin artmasına neden olabilmektedir (Qiu ve diğ., 2009).



Şekil 4.59: % 14 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların temas açısı değerleri.

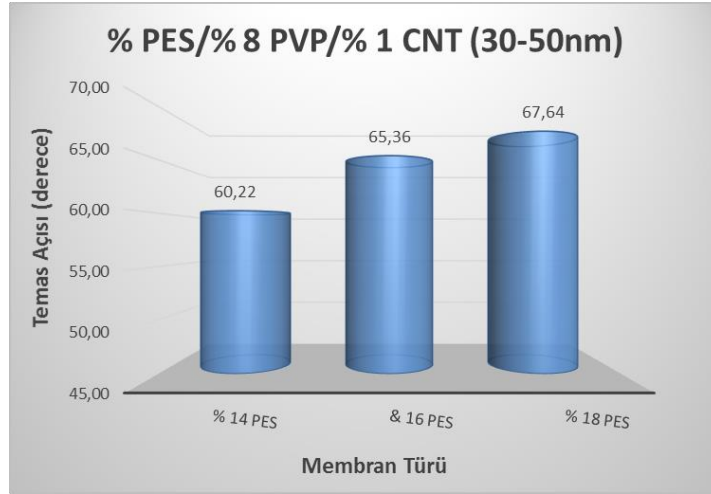


Şekil 4.60: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların temas açısı değerleri.

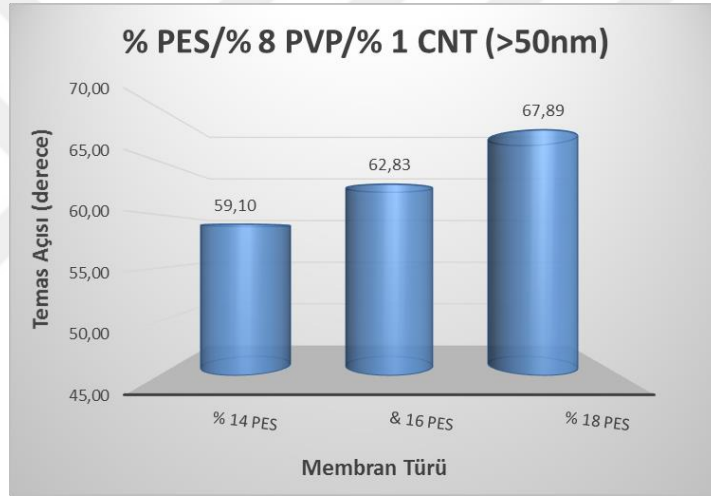


Şekil 4.61: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların temas açısı değerleri.

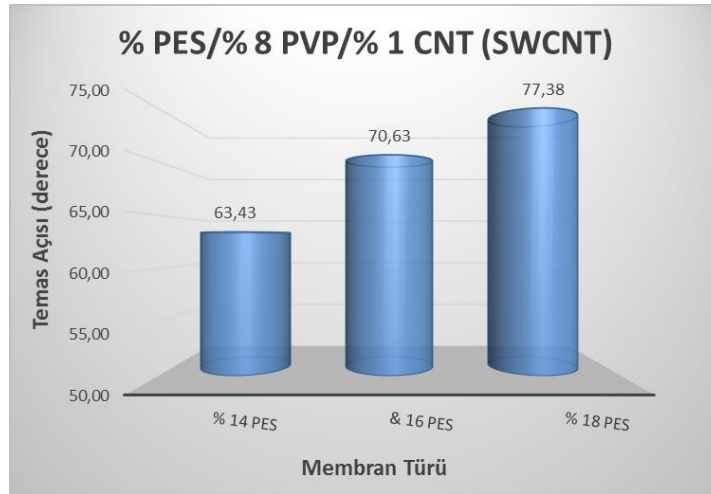
Bunlara ek olarak, % 14, % 16, % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (30-50 nm) membranlar için elde edilen ortalama temas açısı değerleri 60, 65 ve 68 derece olarak ölçülmüştür. PES polimerinin membrana hidrofobiklik kazandırdığı bilgisi ışığında, Şekil 4.62’de genelde, membran içerisindeki PES yüzdesi azaldıkça membranın hidrofiliği artış göstermiştir. Bu durum, Şekil 4.63 ve Şekil 4.64’de, farklı CNT’lerle sentezlenen (>50 nm ve SWCNT) membranlar için de gözlenmiştir.



Şekil 4.62: % PES/% 8 PVP/% 1 CNT (30-50 nm) membranların temas açısı değerleri.



Şekil 4.63: % PES/% 8 PVP/% 1 CNT (>50 nm) membranların temas açısı değerleri.



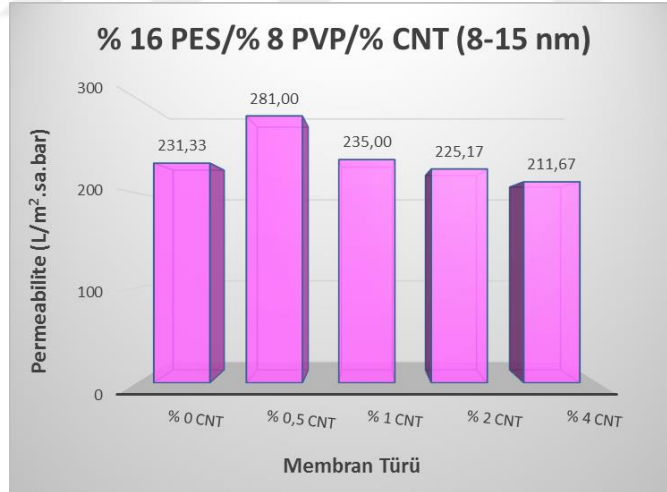
Şekil 4.64: % PES/% 8 PVP/% 1 CNT (SWCNT) membranların temas açısı değerleri.

4.2. MEMBRAN FİLTASYON SİSTEMİ

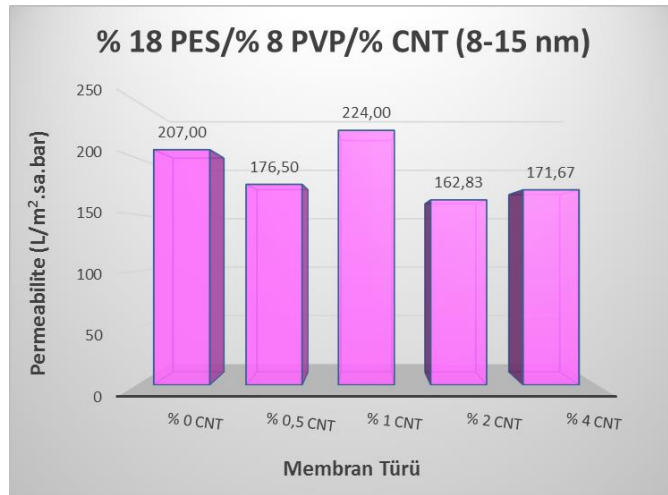
4.2.1. Membranların Permeabilite Değerleri

Şekil 4.65 ve Şekil 4.67 arasında, 8-15 nm tanecik çapına sahip CNT tanecikleri ile sentezlenen membranların permeabilite değerleri gösterilmiştir. Sırasıyla 16, 18 ve 20 PES/% 8 PVP membranları için elde edilen ortalama permeabilite değerleri sırasıyla 231, 207 ve 131 L/m² saat bar olarak elde edilmiştir. % PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranlarda en yüksek permeabilite değerleri % 16 ve % 20 PES içeren membranlar için sırasıyla 281 ve 198 L/m² saat bar elde edilen % 0,5 CNT (8-15 nm) ile sentezlenen membranlar iken % 18 PES içerenler için bu değer 224 L/m² saat bar ile % 1 CNT (8-15 nm) ile sentezlenen membran olmuştur. Genelde % PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranlar için permeabilite değeri % 0.5 CNT/PES membranında maksimuma ulaşmış ardından düşüşe geçmiştir.

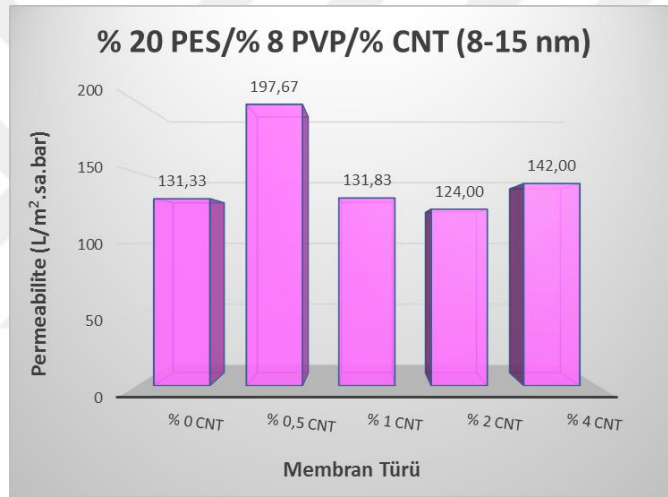
Öte yandan bilimsel çalışmalar, PES membranları içerisine CNT taneciklerinin eklenmesi ve homojen bir şekilde dağıtılması ile membran pürüzlülüğü, porozite ve saf su akı miktarı değerlerinde artış görüldüğünü belirtmiştir.



Şekil 4.65: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların permeabilite değerleri.



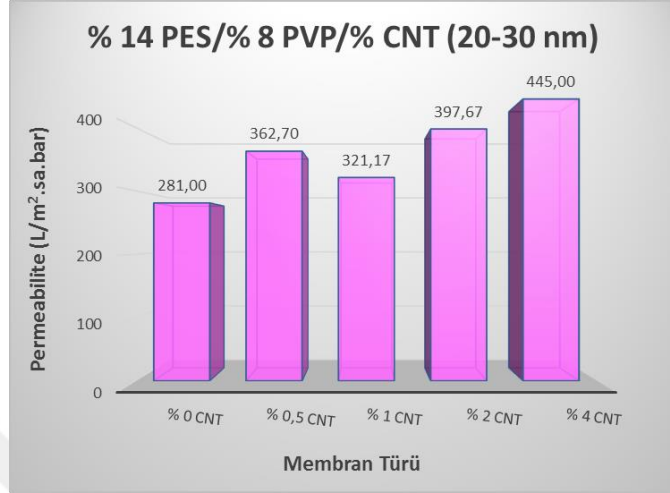
Şekil 4.66: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların permeabilite değerleri.



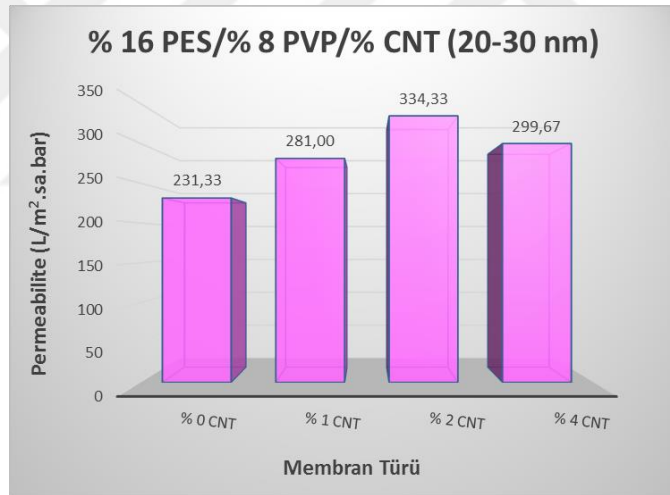
Şekil 4.67: % 20 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membranların permeabilite değerleri.

Şekil 4.68 ve Şekil 4.70 arasında % PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların permeabilite değerleri gösterilmiştir. % 14, % 16 ve % 18 PES içeren membranlar için elde edilen en yüksek permeabilite değerleri sırasıyla 445 (% 4 CNT), 334 (% 2 CNT) ve 232 (% 2 CNT) L/m² saat bar olarak elde edilmiştir. % 14 PES içeren membranların CNT içeriğine bağlı olarak permeabilite değerlerinde salınım gözlenmiştir. Permeabilite değerleri, genel olarak CNT'siz membranlara göre daha yüksek çıkmıştır. CNT tanecik çapının artmasının permeabilite değerlerinde bir miktar artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Membran bünyesindeki CNT tanecik çapının artması membran gözenek yapısının değişmesine neden olmuştur. Bu yoruma gerekçe olarak 8-15 nm tanecik çapına sahip CNT'ün fizikokimyasal özelliklerinin 20-30 nm CNT ye göre farklılık göstermesidir. Tablo 3.2'de gösterildiği gibi, her iki CNT türünün yüzey alanı ve karboksil içeriği farklılık arz etmektedir. Dolayısıyla, farklı

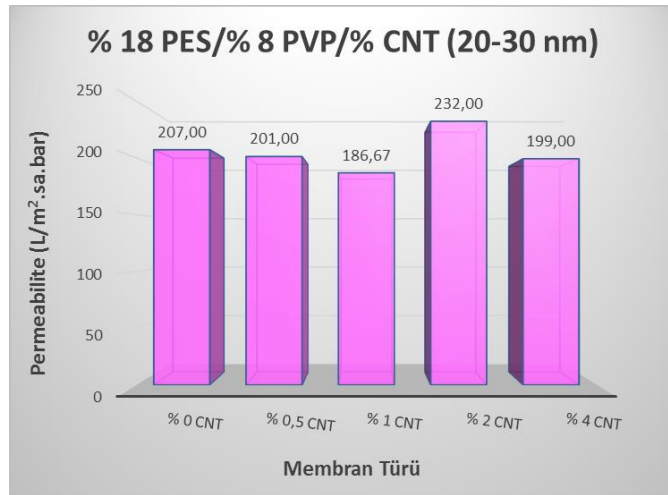
karboksilik içeriği ve yüzey alanı miktarı, permeabilite deneyleri sırasında PEG tutunma miktarını da doğrudan etkilemektedir.



Şekil 4.68: % 14 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların permeabilite değerleri.

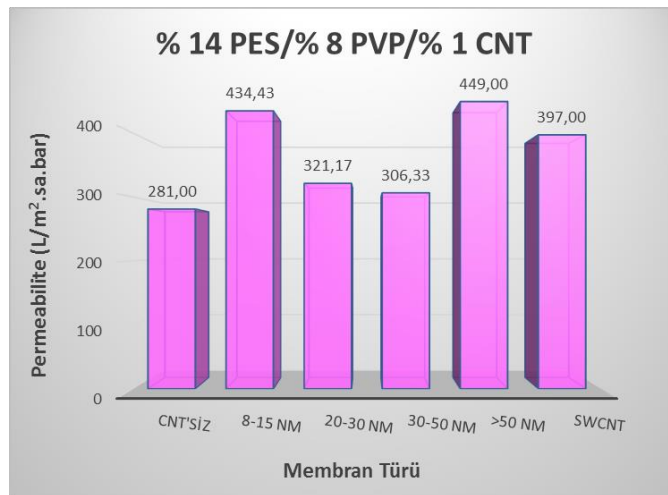


Şekil 4.69: % 16 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların permeabilite değerleri.

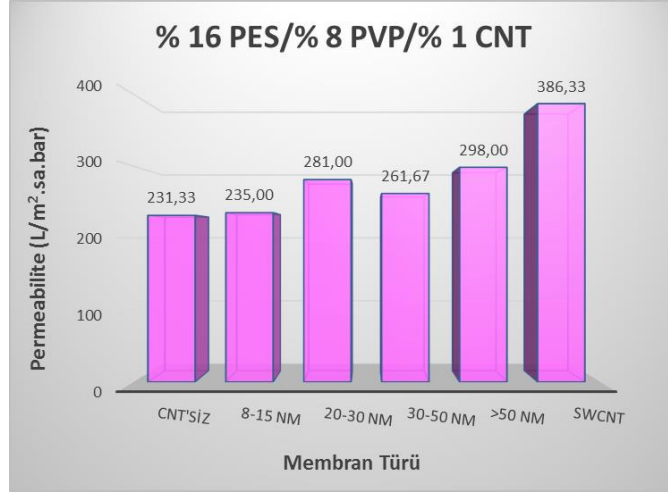


Şekil 4.70: % 18 PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranların permeabilite değerleri.

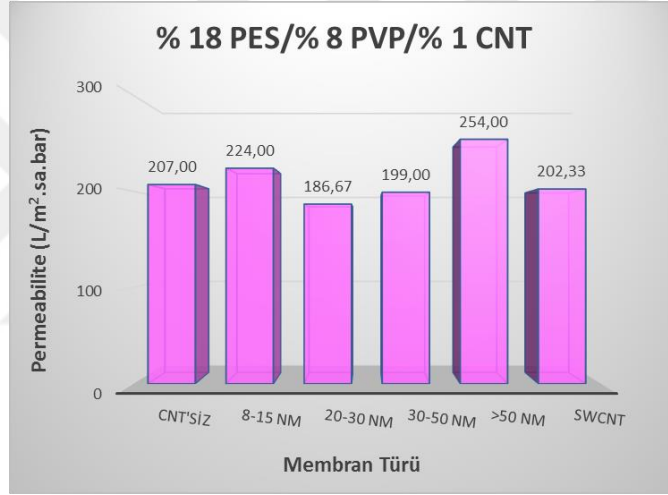
Şekil 4.71, Şekil 4.72 ve Şekil 4.73'te farklı tanecik çapına sahip CNT'ler ile sentezlenen % PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların permeabilite değerleri gösterilmiştir. >50 nm tanecik çapına sahip CNT'ler ile sentezlenen %14 ve %18'lik CNT/PES membranları için elde edilen en yüksek permeabilite değerleri sırasıyla 449 ve 254 L/m² saat bar olarak elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, % 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranlarında elde edilen permeabilite değerleri arasında en yüksek rakam SWCNT ile sentezlenen membranlarda gözlenmiştir (386 L/m² saat bar).



Şekil 4.71: % 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların permeabilite değerleri.



Şekil 4.72: % 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların permeabilite değerleri.



Şekil 4.73: % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların permeabilite değerleri.

4.2.2. Membranların MWCO Değerleri

Tablo 4.7'de, % PES/% 8 PVP membranlarının ve iki farklı tanecik çapına sahip % PES/% 8 PVP/% CNT membranlarının moleküler ağırlık kesim noktası (MWCO) değerleri listelenmiştir. MWCO sonuçları bir değerlendirmeye tabi tutulduğunda, bütün PES membranlarının ultrafiltrasyon (UF) membran grubuna girdiği görülmektedir. UF membranlarının MWCO değerinin 1000 dalton ile 100,000 dalton arasında olduğu kabulüyle, CNT/PES membranlarında tümünün UF grubuna dâhil edilebileceği ortaya çıkmaktadır (Mulder, 1997).

Tablo 4.7: Membranların MWCO değerleri.

MWCO (Da)	CNT'siz	CNT (8-15 nm)				CNT (20-30 nm)			
		% 0.5	% 1	% 2	% 4	% 0.5	% 1	% 2	% 4
%14 PES/% 8 PVP	57759	–	–	–	–	38222	53392	82949	–
%16 PES/% 8 PVP	30156	37289	32021	40173	34440	–	–	–	–
%18 PES/% 8 PVP	19188	31912	30143	34718	27851	19913	17846	24667	19345
%20 PES/% 8 PVP	14838	16719	15806	6139	11103	–	–	–	–

Öte yandan, % PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membran grupları için en yüksek MWCO değeri % 2 CNT sınıfı için elde edilirken, % 20 PES/% 8 PVP/% CNT (8-15 nm) membran grubunda ise maksimum MWCO değeri % 0,5 CNT membranında elde edilmiştir. Bunlara ilaveten, % PES/% 8 PVP/% CNT (20-30 nm) membranları incelendiğinde, her iki (%14 PES ve %18 PES) membran grubunda da en yüksek MWCO değeri %2 CNT içeren membranlarda ölçülmüştür. Bu durum, her iki tanecik çapına sahip membran gruplarında benzerlik arz etmektedir.

Bunlara ilaveten, CNT tanecik çapının artmasının MWCO parametresi üzerinde açık ve net bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

4.2.3. Sentetik Sular Ve Göl Suyu Filtrasyon Çalışmaları Sonuçları

4.2.3.1. Sentetik Sular Filtrasyon Çalışmaları

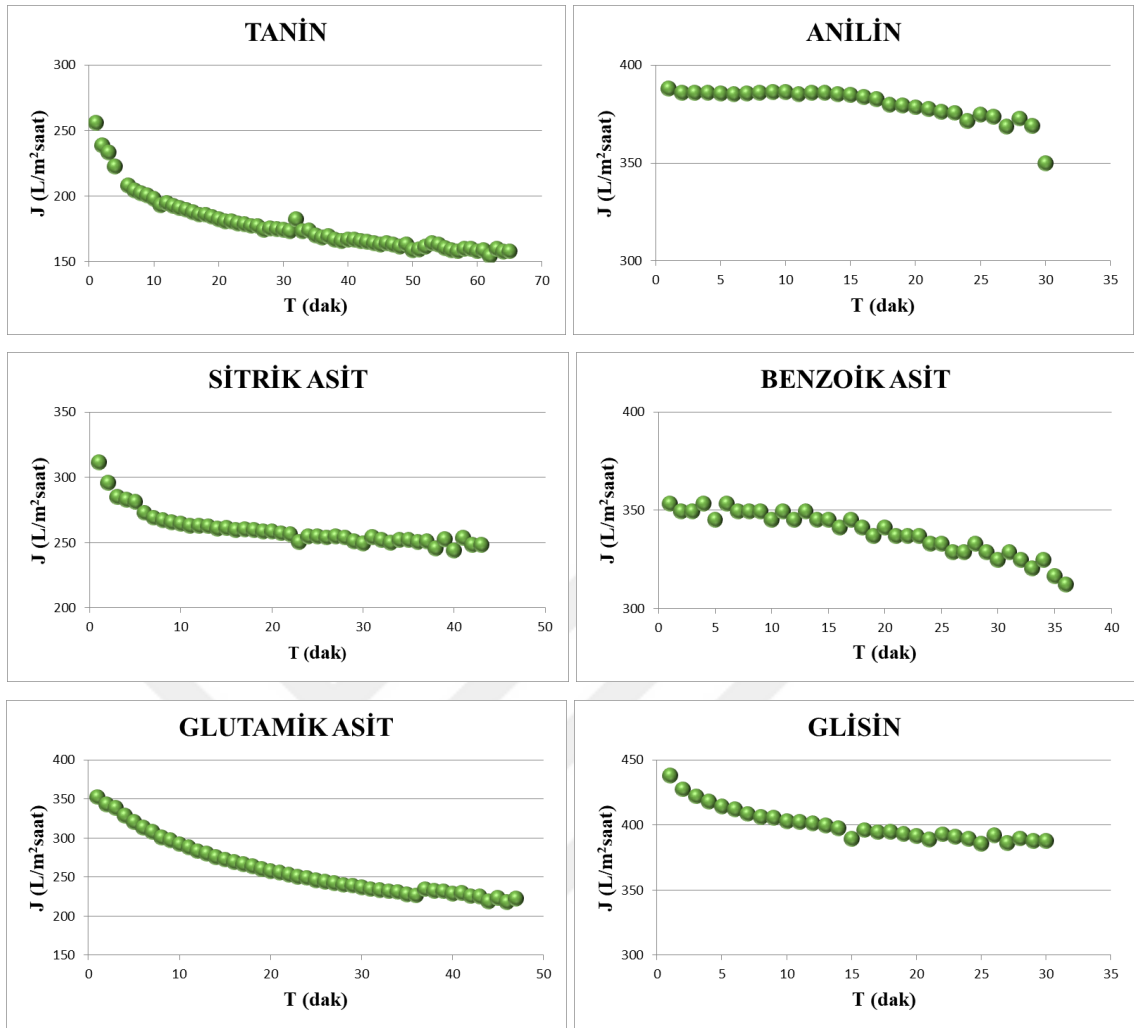
% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranlarından süzülen 6 adet model bileşiğin toplam organik karbon (TOK) ve 254 nm dalga boyunda ölçülen absorbans (UV_{254}) parametresi giderme verimleri aşağıdaki tabloda özetlenmiştir (Tablo 4.8). Tanin için TOK ve UV_{254} giderme verimi sırasıyla % 81 ve 80 olarak elde edilmiştir. Bunlara ilaveten, diğer 5 adet model bileşiğin arıtma verimi % 2 ile % 16 arasında değişmiştir. Yüksek moleküler ağırlığa sahip (4250 Da) tanin çözeltisinde yüksek arıtma verimi elde edilmesi beklenen bir durumdur. Düşük moleküler ağırlığa sahip ve ortalama 724 ile 960 Da arasında moleküler ağırlığa sahip diğer 5 adet model organik bileşiğin membran sisteminde pek tutulmadığı görülmüştür. Bu TOK ve

UV₂₅₄ giderme verimi trendi % 18 PES/% 8 PVP/%1 CNT (8-15 nm) membranlarında da gözlenmiştir.

Öte yandan her 2 membran grubu için en fazla akı azalma miktarının tanin çözeltisi filtrasyonunda görüldüğü aşağıdaki şekillerde özetlenmiştir.

Tablo 4.8: Membran sisteminde model bileşik arıtma değerleri (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT [8-15 nm]).

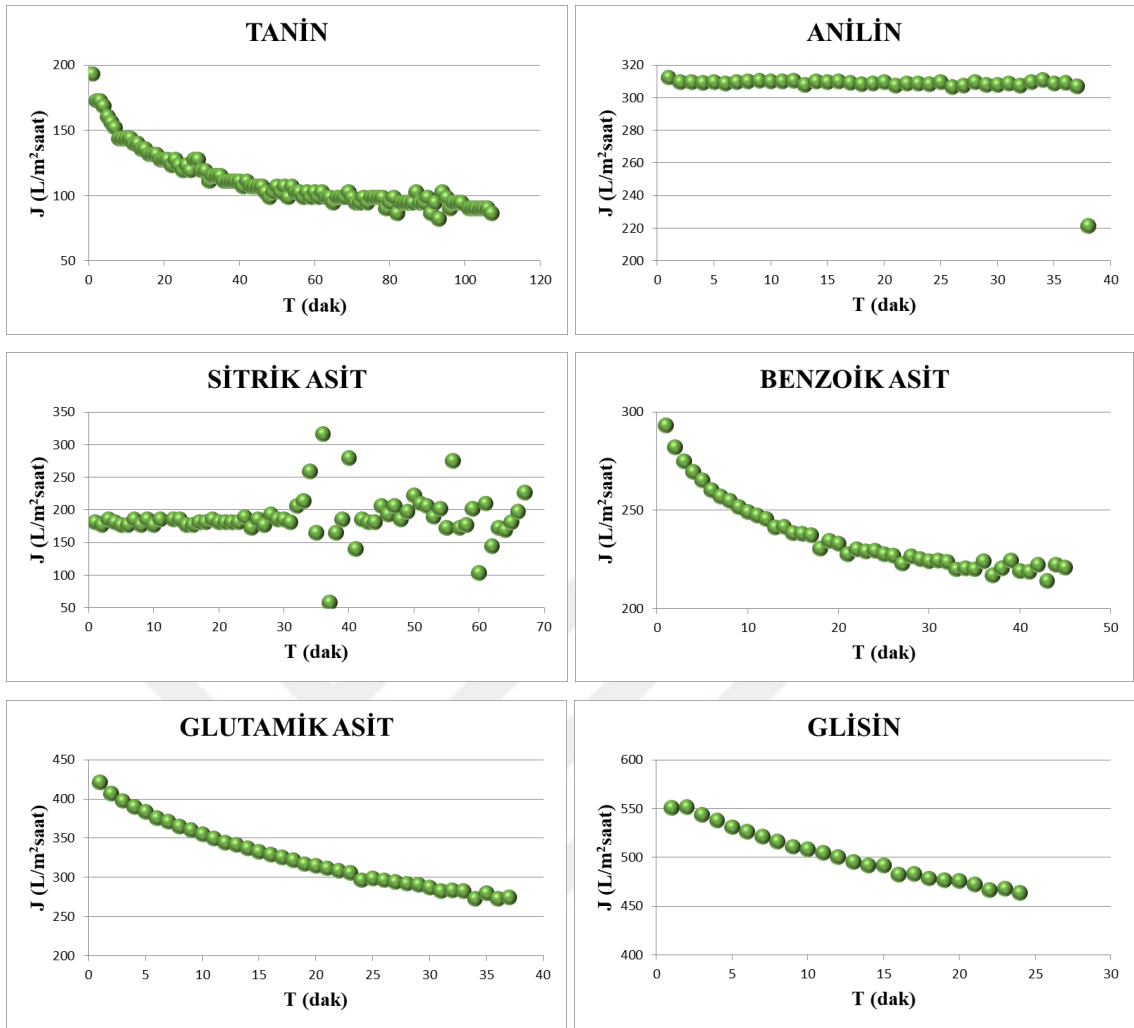
% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm)	TOC (%)	UV ₂₅₄ (%)
Tanin	81.2	79.7
Anilin	2.7	7.8
Sitrik Asit	15.4	12.0
Benzoik Asit	3.5	3.0
Glutamik Asit	2.9	2.0
Glisin	2.8	2.5



Şekil 4.74: Sentetik numune filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT [8-15 nm]).

Tablo 4.9: Membran sisteminde model bileşik arıtma değerleri (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT [8-15 nm]).

% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm)	TOC (%)	UV ₂₅₄ (%)
Tanin	78.0	81.8
Anilin	2.5	1.6
Sitrik Asit	11.3	14.0
Benzoik Asit	2.0	1.6
Glutamik Asit	3.3	3.0
Glisin	1.8	2.7



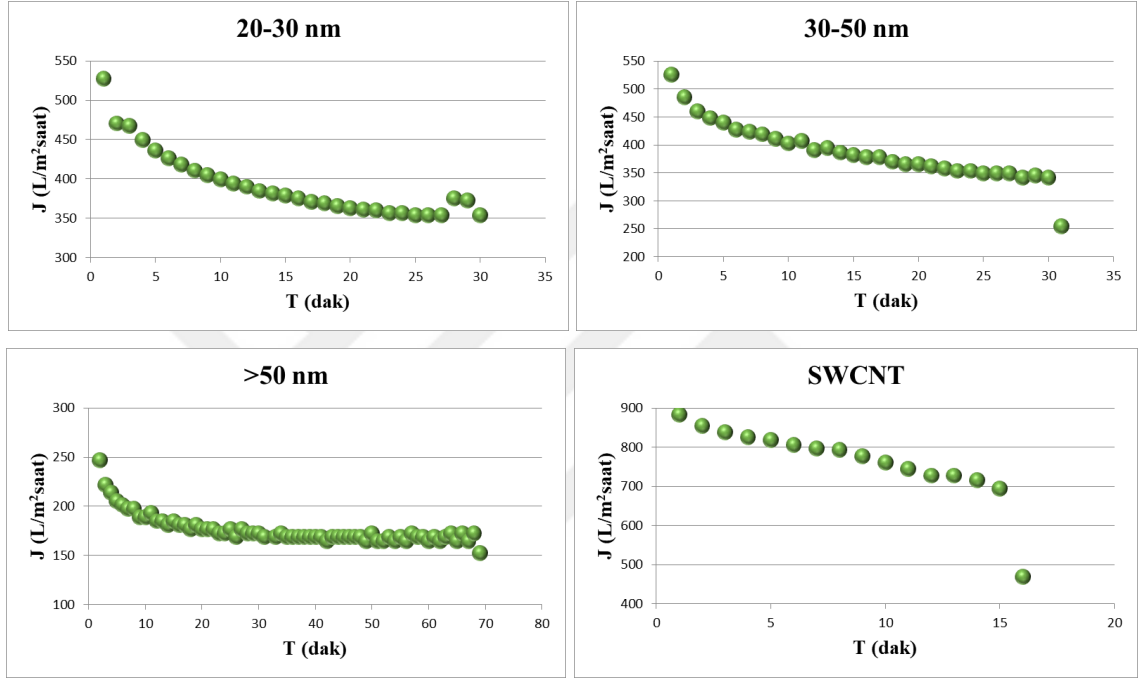
Şekil 4.75: Sentetik numune filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT [8-15 nm]).

Tablo 4.10 ile 4.12 arasında farklı CNT tanecik çapına ve PES oranına sahip 14 adet CNT/PES membranından tanin filtrasyonu sonucu elde edilen TOK ve UV_{254} arıtma verimleri sergilenmiştir. En yüksek TOK veriminin 8-15 nm tanecik çapına sahip CNT için ve en düşük TOK giderme veriminin ise > 50 nm ve tek duvarlı CNT (SWCNT) için elde edildiği görülmektedir. UV_{254} arıtma verimide TOK ile benzerlik arz etmektedir.

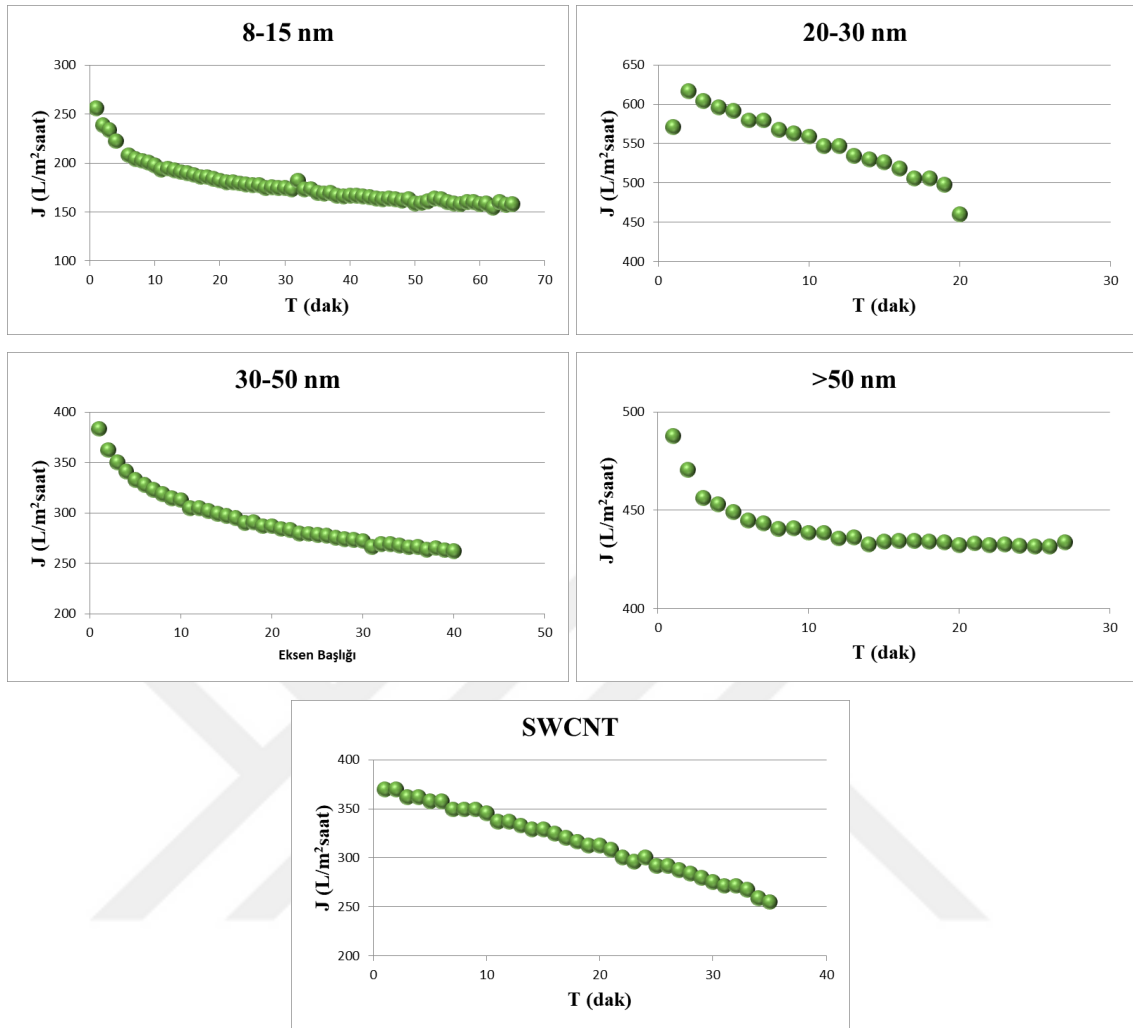
Öte yandan her 14 CNT tanecik grubu için en fazla tanin çözeltisi akı azalma miktarının >50 nm filtrasyonunda görüldüğü aşağıdaki şekillerde özetlenmiştir.

Tablo 4.10: Membran sisteminde model bileşik arıtma değerleri (% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Tanin).

% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Tanin	TOK (%)	UV ₂₅₄ (%)
20-30 nm	75.9	76.0
30-50 nm	74.3	75.2
>50 nm	68.2	64.0
SWCNT	41.8	35.5

**Şekil 4.76:** Sentetik numune filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT-Tanin).**Tablo 4.11:** Membran sisteminde model bileşik arıtma değerleri (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Tanin).

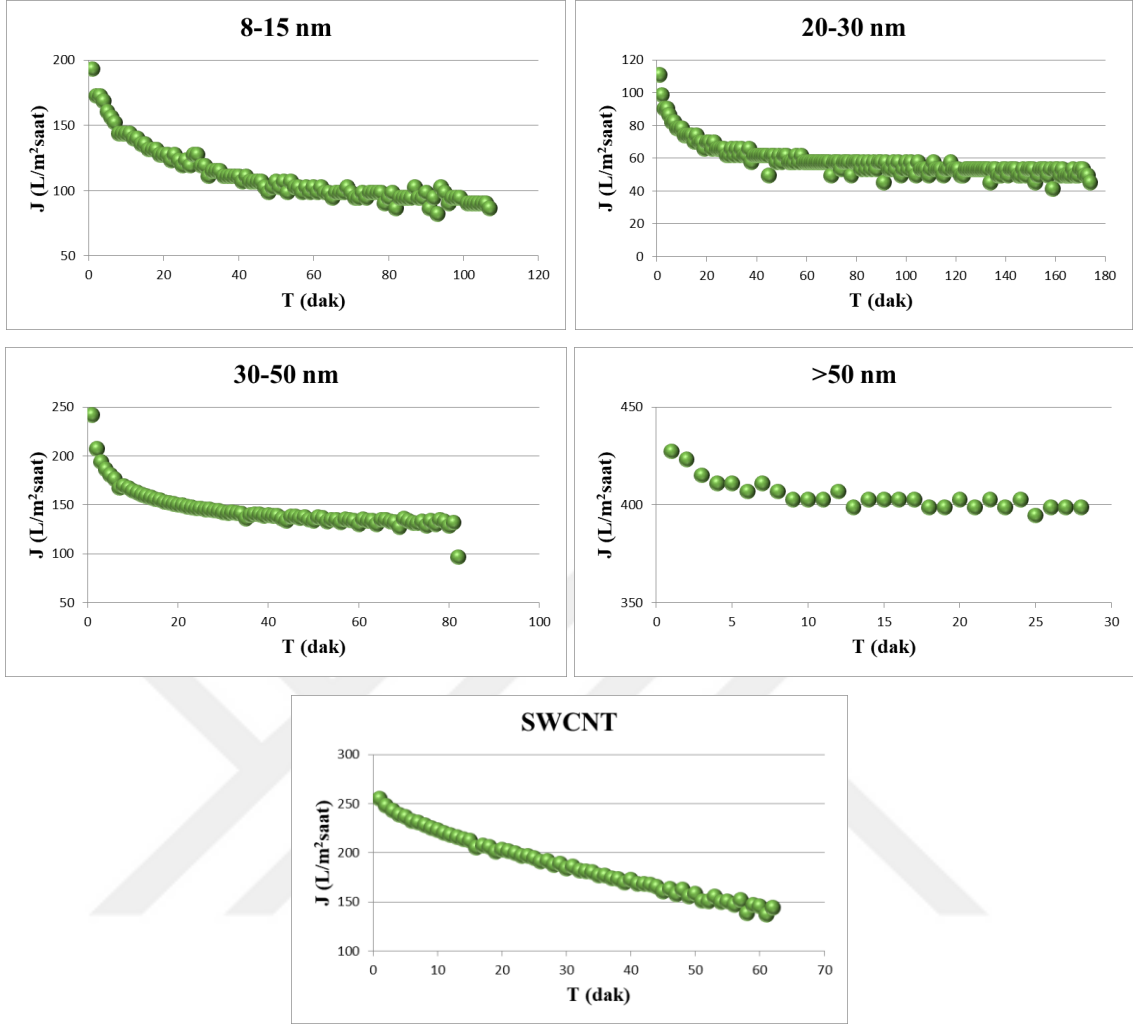
% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Tanin	TOK (%)	UV ₂₅₄ (%)
8-15 nm	81.2	79.7
20-30 nm	47.5	43.6
30-50 nm	71.8	75.2
>50 nm	43.2	31.4
SWCNT	49.2	46.0



Şekil 4.77: Sentetik numune filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT-Tanin).

Tablo 4.12: Membran sisteminde model bileşik arıtma değerleri (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Tanin).

% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT-Tanin	TOK (%)	UV ₂₅₄ (%)
8-15 nm	78.0	81.8
20-30 nm	72.0	74.0
30-50 nm	73.3	74.0
>50 nm	47.0	34.0
SWCNT	49.3	44.0



Şekil 4.78: Sentetik numune filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT-Tanin).

4.2.3.2. Göl Suyu Filtrasyon Çalışmaları

Daha önce tablo 3.8’de de belirtildiği gibi, göl suyu numune alma tarihleri sırasıyla 18 Temmuz 2013 (Numune-1), 12 Ekim 2013 (Numune-2) ve 16 Aralık 2013 (Numune-3) olarak kaydedilmiştir. Bahse konu tablo değerlendirildiğinde, Temmuz ayından Aralık ayına gidildikçe her iki su kaynağı için de sudaki iletkenlik parametresinin bir artış gösterdiği belirlenmiştir. İletkenlik parametresinin artması sudaki çözünmüş madde miktarının artışına işaret etmektedir. Bu durumun gerekçesi olarak Aralık ayında meydana gelen yağışlar gösterilebilir. Özellikle Büyükçekmece Göl suyunda, bulanıklılık ve TOK parametresinde ciddi artışlar tespit edilmiştir. Bu artışlar göl suyundaki organik ve inorganik kökenli maddelerin çözünmüş ve kolloidal formda membranları tıkamasına neden olabilmektedir. Ömerli Göl suyunda bu tür bir artış tespit edilmemiştir. Genellikle her iki göl suyunda Temmuz ayından

Aralık ayına gittikçe suyun hümik içeriğinin ($SUVA_{254}$) azaldığı ya da başka bir ifadeyle hidrofilik içeriğinin arttığı belirlenmiştir. Hidrofilik karakterli suların arıtılması çok zordur. Bu tür organik yapılar düşük moleküler ağırlığa sahip suda iyi çözünen alifatik yapılardır. Genellikle membran sistemlerinde nanofiltrasyon membranları ile giderimleri sağlanır. Bu projede sentezlenen membranların tamamı UF membranı olduğu için organik madde gideriminin düşük olacağı aşikârdır. Göl sularındaki TOK parametresinin arıtma veriminin % 30'un altında kalması beklenen bir durumdur.

Tablo 4.13 ve 4.14 ve Şekil 4.79 ve 4.80'de %18 PES/% 8 PVP membranı ile %18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (farklı CNT tanecik çapları ile sentezlenen) membranlarından Temmuz 2013 döneminde Büyükçekmece Gölü'nden alınan ilk numune ile yine aynı tarihte alınan Ömerli Baraj Gölü numunesinin süzülmesi ile elde edilen membran performans değerleri ve akı değişimi grafikleri yer almaktadır. En yüksek TOK ve UV_{254} giderme verimi CNT tanecik çapı >50 nm olan membran için Büyükçekmece Göl suyunda sırasıyla % 16,8 ve 36,6 olarak elde edilmiştir. Bunlara ilaveten, %18 PES/% 8 PVP ve diğer tanecik çapına sahip CNT ile sentezlenen membranların TOK arıtma verimi % 6 ile % 17 arasında değişmiştir. UV_{254} arıtma verimleri TOK parametresine nazaran daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, aromatik yapıli bileşiklerin membran tarafından daha iyi giderildiğine işaret etmektedir. Ömerli göl suyunda yapılan membran filtrasyon sonuçları, bu su kaynağındaki TOK bileşiklerinin daha fazla giderildiğini göstermektedir. Aynı durum UV_{254} parametresi arıtımı değerleri için de geçerlidir. Ham sudaki hümik madde içeriğinin bir göstergesi olan $SUVA_{254}$ parametresinin Ömerli Göl suyu için Büyükçekmece Göl suyundan biraz fazla olması bunun bir gerekçesi olarak gösterilebilir. Bilindiği gibi hümik madde içeriği artıkça sudaki çözünmüş organik maddelerin moleküler ağırlıkları da artmaktadır. Moleküler ağırlığının artması suyun hidrofobikliğinin artması olarak anlaşılmakta ve membran sistemlerinde giderme verimine genellikle pozitif yönde etki etmektedir. Büyükçekmece Göl suyunun membran filtrasyonu sonucu %18 PES/% 8 PVP membranı için TOK giderme verimi % 6,34 olarak tespit edilmiştir. Öte yandan >50 nm den büyük tanecik çapına sahip CNT/PES membranında TOK giderme verimi ise % 16,81 olarak belirlenmiştir. %18 PES/% 8 PVP membranlarında giderme mekanizmasının PES polimerinden kaynaklanan hidrofobik adsorpsiyon ve boyut dışlama olduğu belirtilmektedir. (Çelik ve diğ., 2010). Bunun yanında, CNT içeren membranlarda ise organik madde giderim mekanizması CNT taneciklerinin yapısında bulunan karboksilik gruplardan dolayı elektrostatik itme olarak düşünülmektedir. Burada elektrostatik itme mekanizması negatif yüklü Doğal

Organik Maddeler (DOM) ile membran yüzeyindeki negatif yüklü karboksilik gruplar arasında meydana gelmektedir (Çelik ve diğ., 2010). Göl suları arasındaki TOK giderme verimi farklılıkları ham sulardaki organik maddenin moleküler ağırlığı, hidrofilikliği ve inorganik iyon matriksi tarafından kaynaklanmaktadır.

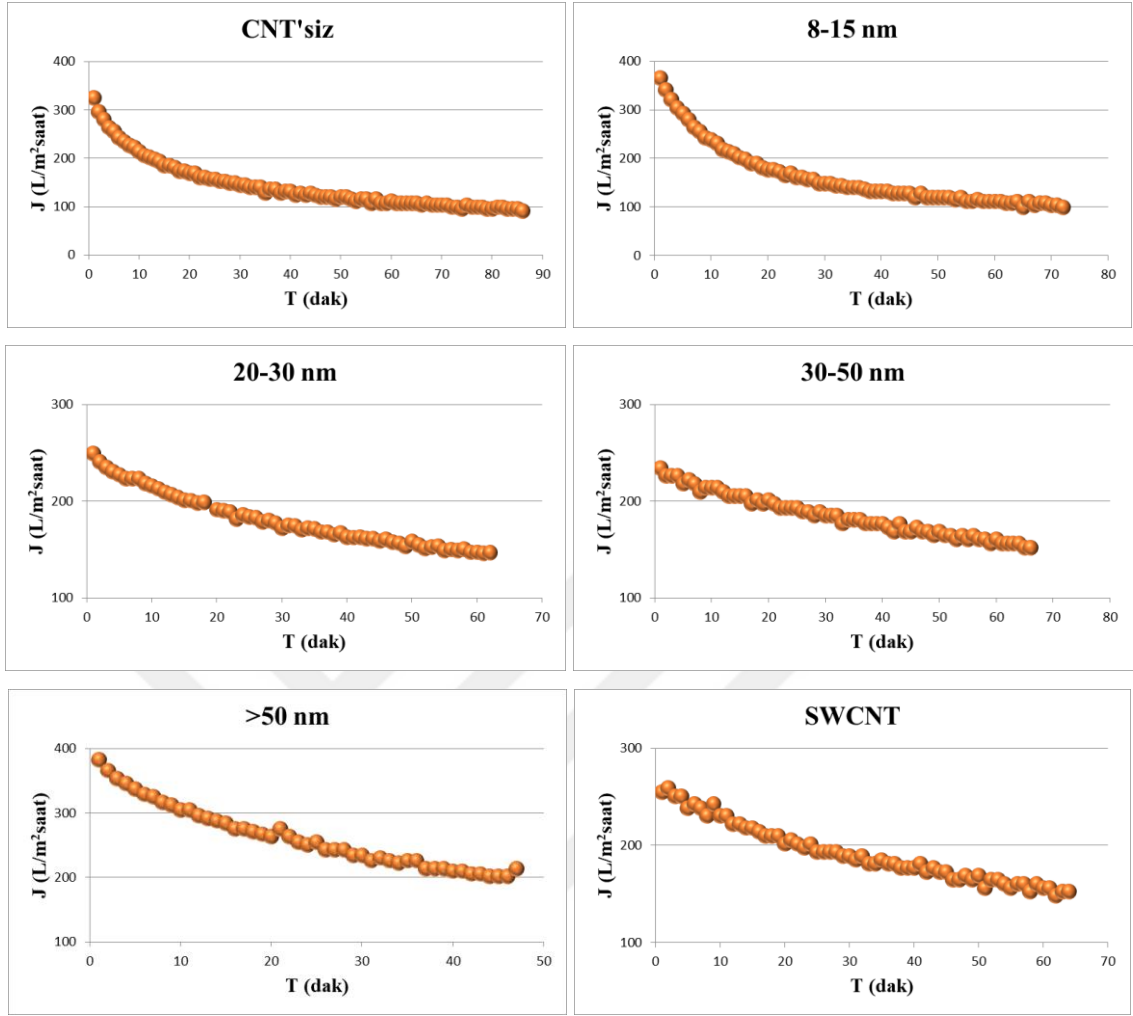
Tablo 4.13: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).

% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece 1	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
CNT'siz	6,34	20,77
8-15 nm	8,81	27,47
20-30 nm	16,40	36,26
30-50 nm	13,74	29,67
>50 nm	16,81	39,56
SWCNT	14,30	39,56

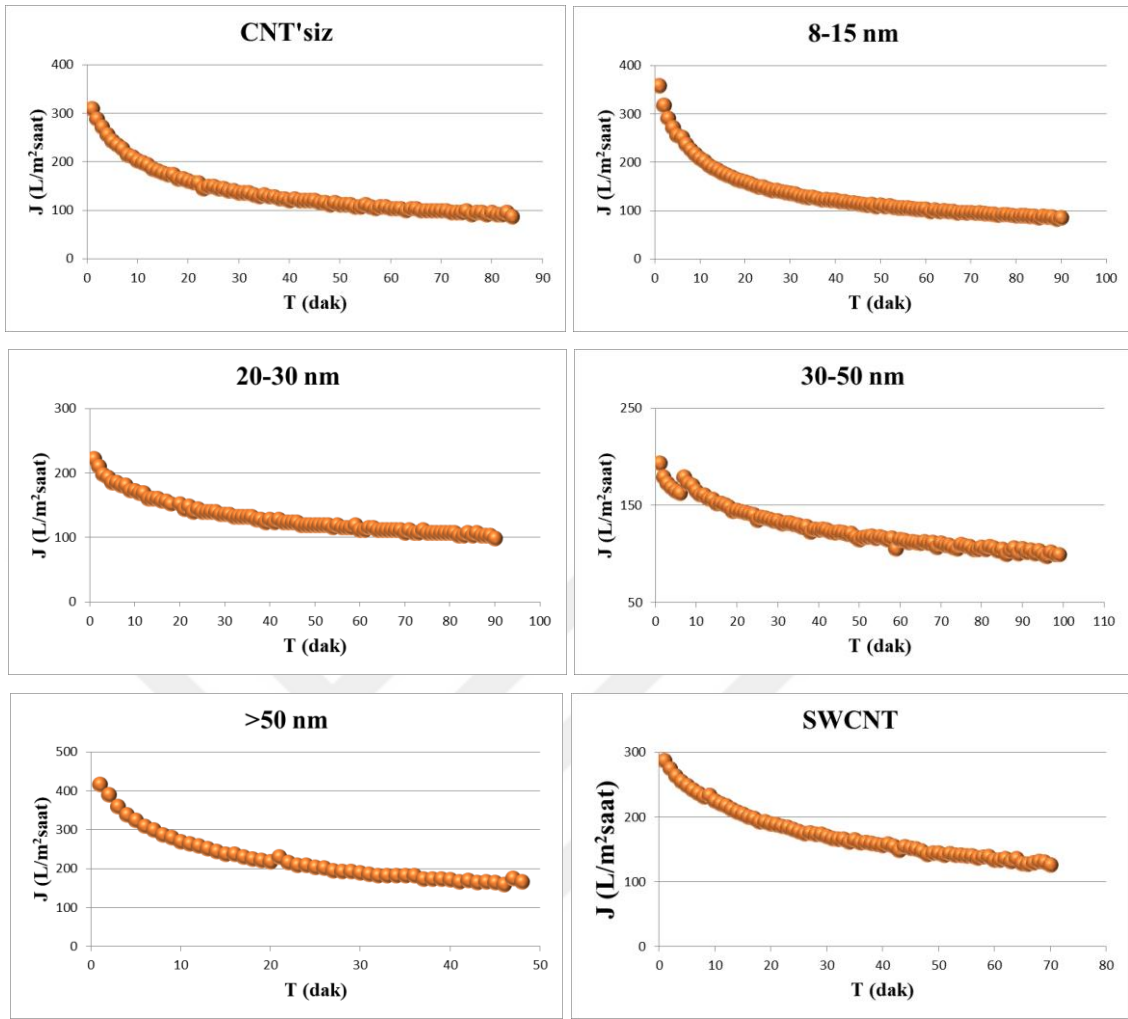
Tablo 4.14: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).

% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli 1	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
CNT'siz	27,57	34,29
8-15 nm	30,38	34,29
20-30 nm	33,79	40,00
30-50 nm	38,23	42,86
>50 nm	34,56	40,00
SWCNT	37,05	40,00

Diğer yandan, Büyükçekmece Göl suyu numunesin membran filtrasyonu sonucu en fazla akı azalma miktarının %18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranında görüldüğü tespit edilmiştir. Şekil 4.80'de ise Ömerli Göl suyu numunesinin membran filtrasyonu sonucu en yüksek akı miktarında meydana gelen azalma yine %18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranında belirlenmiştir. %18 PES/% 8 PVP ve farklı tanecik boyutuna sahip %18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranlarının neredeyse tümünde aynı paralelde bir akı azlama trendi gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar bize CNT/PES membranlarında önemli bir oranda organik maddenin giderilmediğini ve bununda membranda organik madde içeriğinden kaynaklı ciddi bir tıkanmaya neden olmadığını göstermektedir. Dolayısıyla, membranda meydana gelen tıkanmanın inorganik orijinli olduğu görülmektedir.



Şekil 4.79: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).



Şekil 4.80: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).

Tablo 4.15 ile 4.16'da % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranlarından Ekim 2013 döneminde Büyükçekmece Gölü'nden alınan numune ile yine aynı tarihte alınan Ömerli Baraj Gölü numunesinin süzülmesi ile elde edilen membran performans değerleri sergilenmektedir. En düşük ve en yüksek TOK veriminin Büyükçekmece göl suyu için sırasıyla tanecik çapı >50 nm olan CNT ile sentezlenen membran grubunda (% 7,82) ve SWCNT ile sentezlenen membran grubunda (% 35,96) elde edilmiştir. Ömerli barajı suyu için ise en yüksek TOK verimi (% 16,96) yine SWCNT ile sentezlenen membran grubunda gözlenmiştir. UV₂₅₄ arıtma veriminde ise, en yüksek ve en düşük giderme verimi yine Büyükçekmece göl suyu için elde edilmiştir.

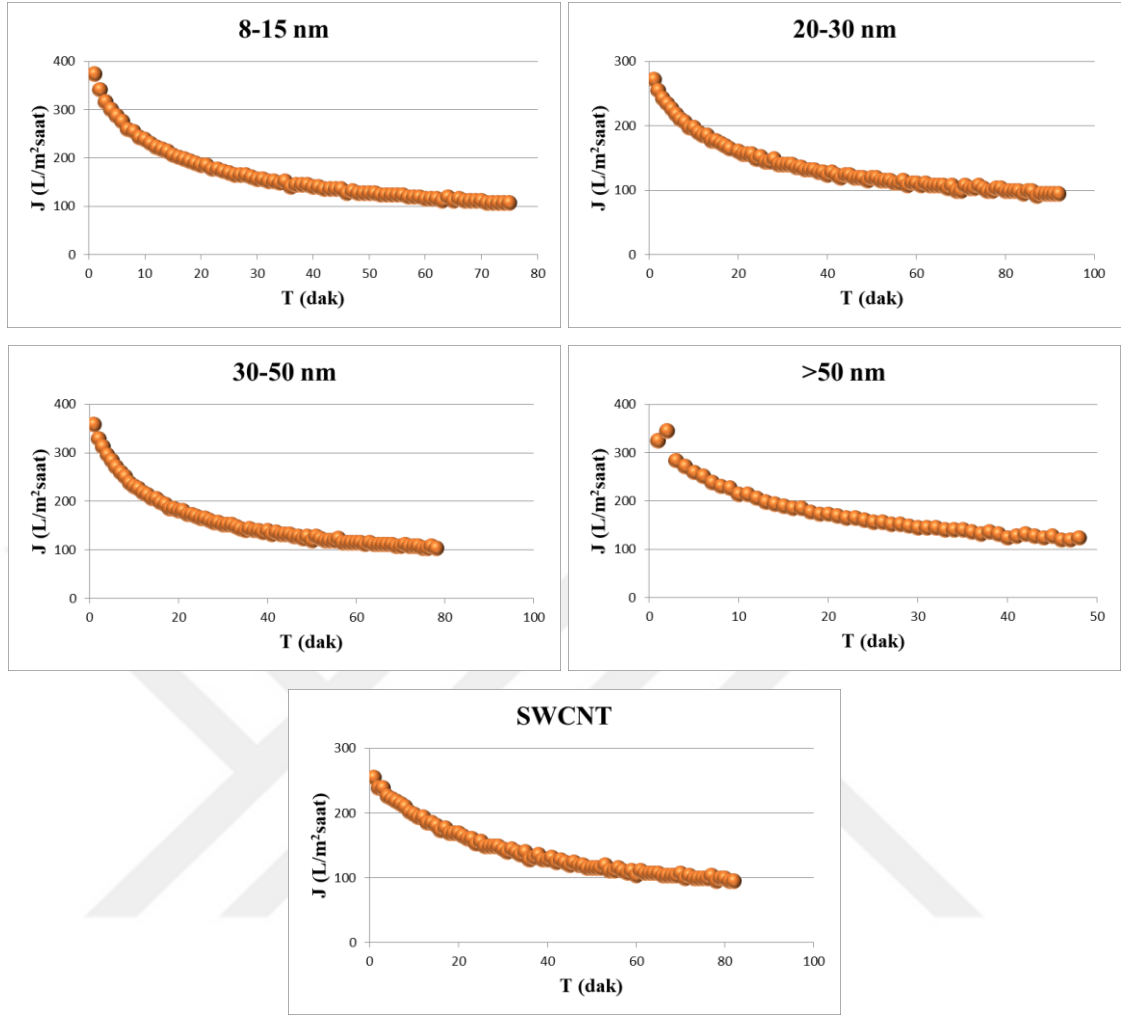
Şekil 4.81 ve 4.82'de özetlendiği gibi her bir membran grubu için tespit edilen akı azalma profili tüm membranlarda benzerlik arz etmektedir.

Tablo 4.15: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).

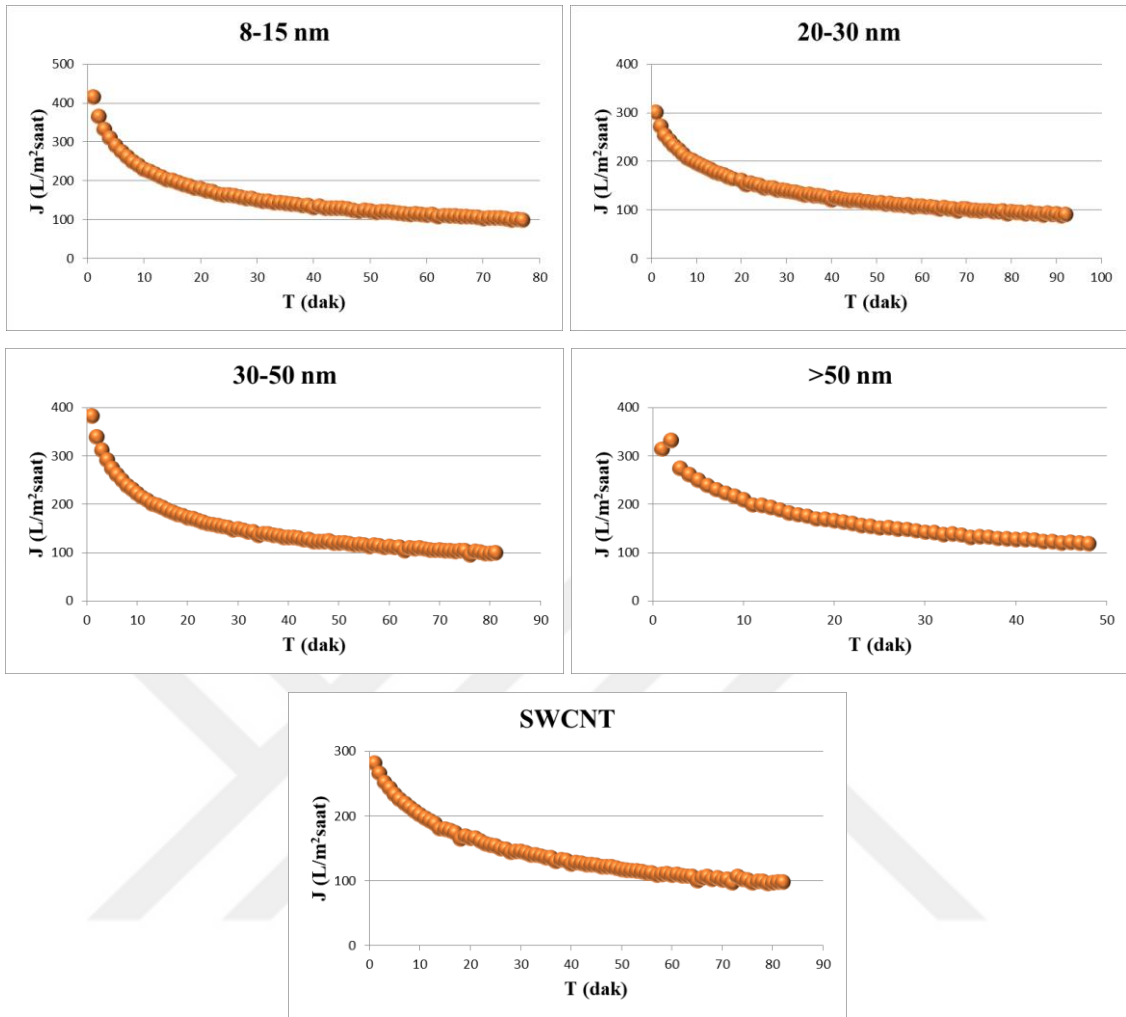
% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece 2	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
8-15 nm	11,21	40,45
20-30 nm	9,14	37,08
30-50 nm	9,45	37,08
>50 nm	7,82	33,71
SWCNT	35,96	11,06

Tablo 4.16: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).

% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli 2	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
8-15 nm	14,35	20,90
20-30 nm	10,37	28,36
30-50 nm	12,09	23,88
>50 nm	9,38	26,87
SWCNT	16,96	19,40



Şekil 4.81: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).



Şekil 4.82: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).

Tablo 4.17 ile 4.18’de % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranlarından Aralık 2013 döneminde Büyükçekmece Gölü’nden alınan numune ile yine aynı tarihte alınan Ömerli Baraj Gölü numunesinin süzülmesi ile elde edilen membran performans değerleri sergilenmektedir. En düşük ve en yüksek TOK veriminin Büyükçekmece göl suyu için sırasıyla tanecik çapı >50 nm olan CNT ile sentezlenen membran grubunda (% 10,07) ve 8-15 nm CNT ile sentezlenen membran grubunda (% 12,72) elde edilmiştir. Diğer yandan, Ömerli barajı suyu için ise en yüksek TOK verimi (% 14,88) 8-15 nm CNT ile sentezlenen membran grubunda gözlenmiştir. UV₂₅₄ arıtma veriminde ise, en yüksek giderme verimi yine Büyükçekmece göl suyu için elde edilmiştir.

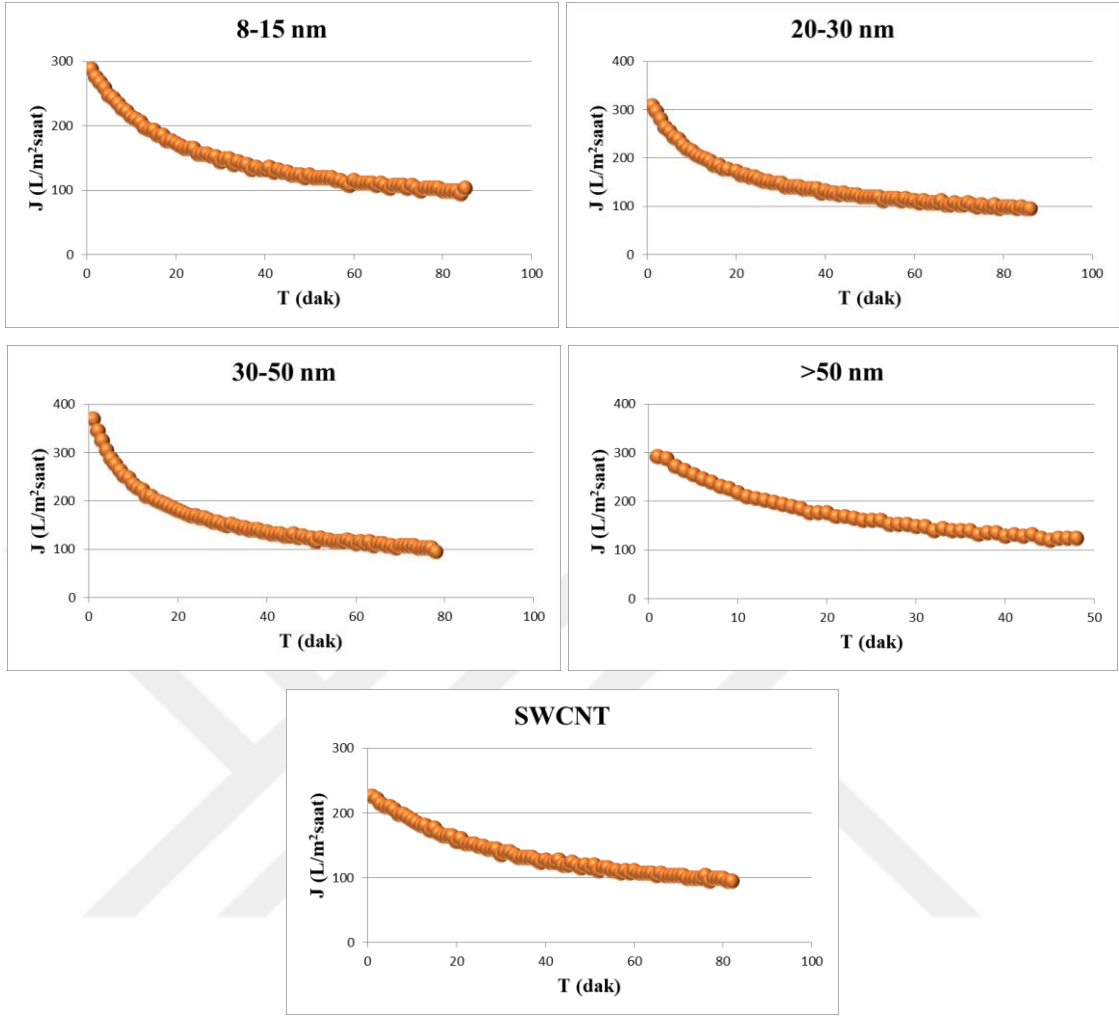
Öte yandan Şekil 4.83 ve 4.84’de herbir membran grubu için tespit edilen akı azalma profili özetlenmiştir. Bu durumda membranlarda akı azalma profili birbirleri ile benzerlik göstermekle birlikte, tıkanma açısından fark göstermemektedir.

Tablo 4.17: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 18 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).

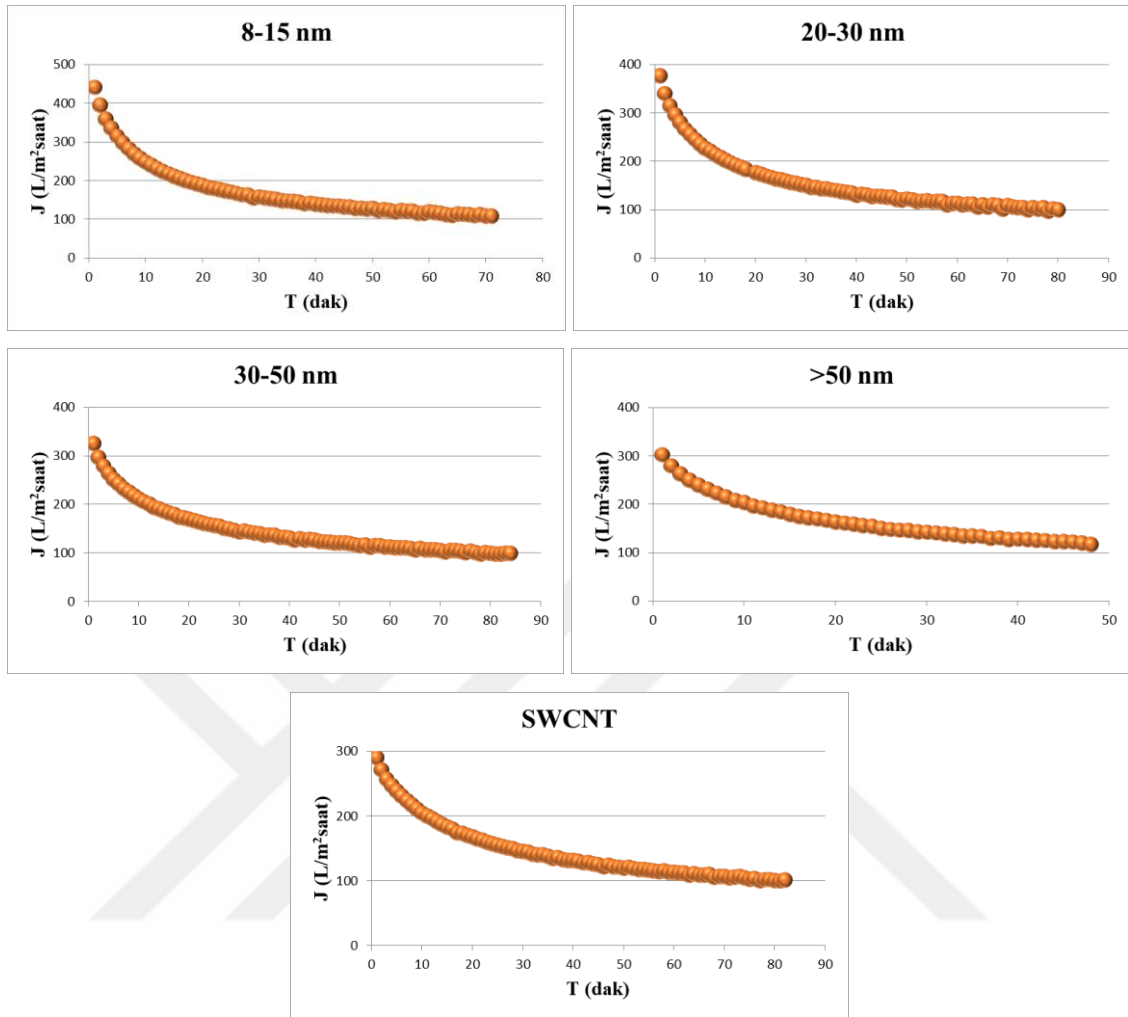
% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece 3	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
8-15 nm	12,72	38,71
20-30 nm	11,47	36,56
30-50 nm	10,62	37,63
>50 nm	10,07	45,16
SWCNT	10,17	40,86

Tablo 4.18: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 18 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).

% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli 3	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
8-15 nm	14,88	30,88
20-30 nm	14,11	26,47
30-50 nm	12,80	11,77
>50 nm	10,35	25,00
SWCNT	13,32	22,06



Şekil 4.83: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 18 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).



Şekil 4.84: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 18 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).

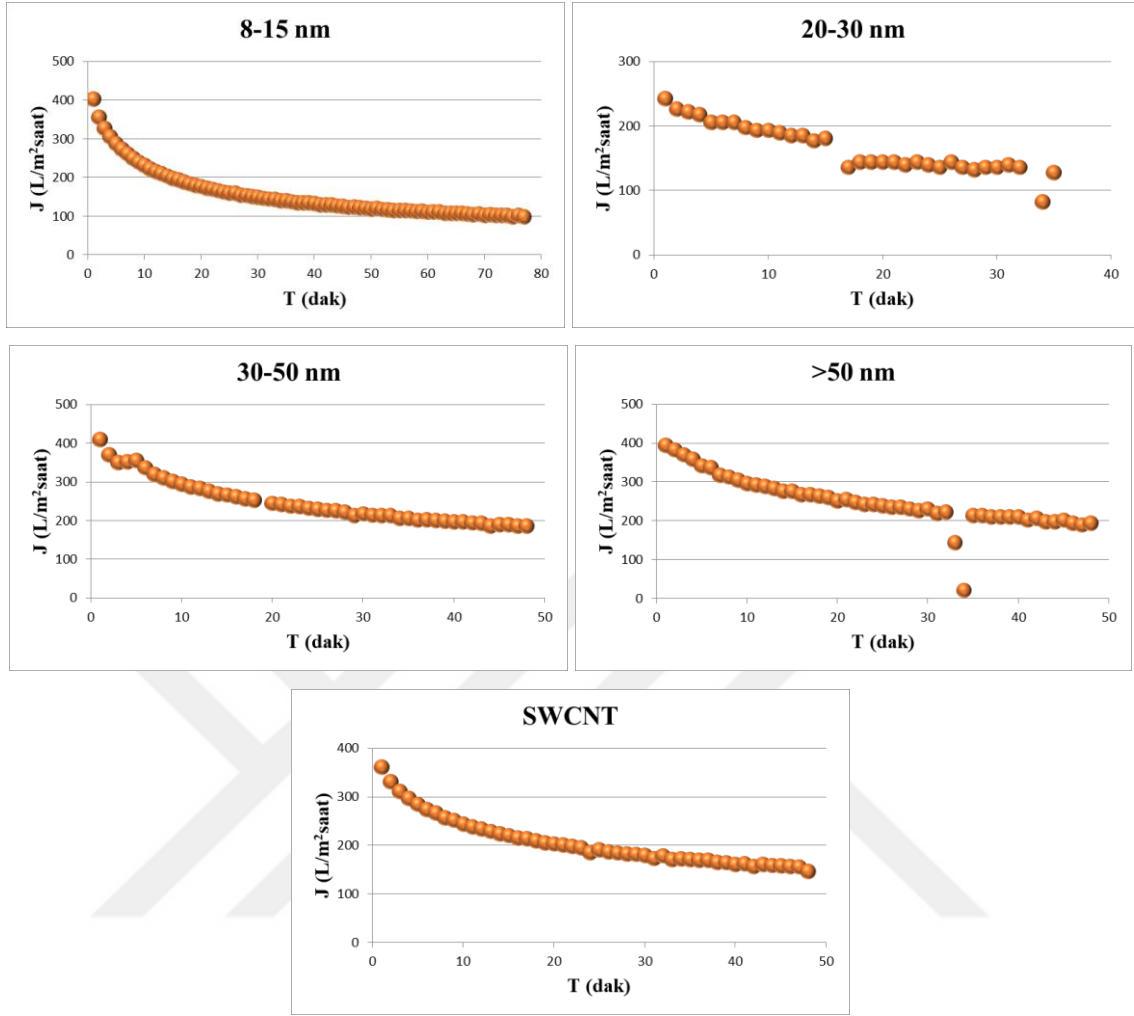
Tablo 4.19 ile 4. ve Şekil 4.85 ve 4.86’da %16 PES/% 8 PVP membranı ile %16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (farklı CNT tanecik çapları ile sentezlenen) membranlarından Temmuz 2013 döneminde Büyükçekmece Gölü’nden alınan ilk numune ile yine aynı tarihte alınan Ömerli Baraj Gölü numunesinin süzülmesi ile elde edilen membran performans değerleri ve akı değişimi grafikleri yer almaktadır. En yüksek TOK ve UV_{254} verimini Büyükçekmece göl suyu için 30-50 nm tanecik çapına sahip CNT ile sentezlenen membranlar (% 16,73) sağlarken Ömerli göl suyu için >50 nm tanecik çapına sahip CNT ile sentezlenen membranlar (% 37,5) sağlamıştır. En düşük TOK ve UV_{254} giderme verimini ise Büyükçekmece göl suyu ve Ömerli göl suyu için CNT içermeyen membranlarda elde edildiği görülmektedir. Bunlara ilaveten Şekil 4.85 ve 4.86’da herbir membran grubu için tespit edilen akı azalma profili verilmiştir.

Tablo 4.19: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).

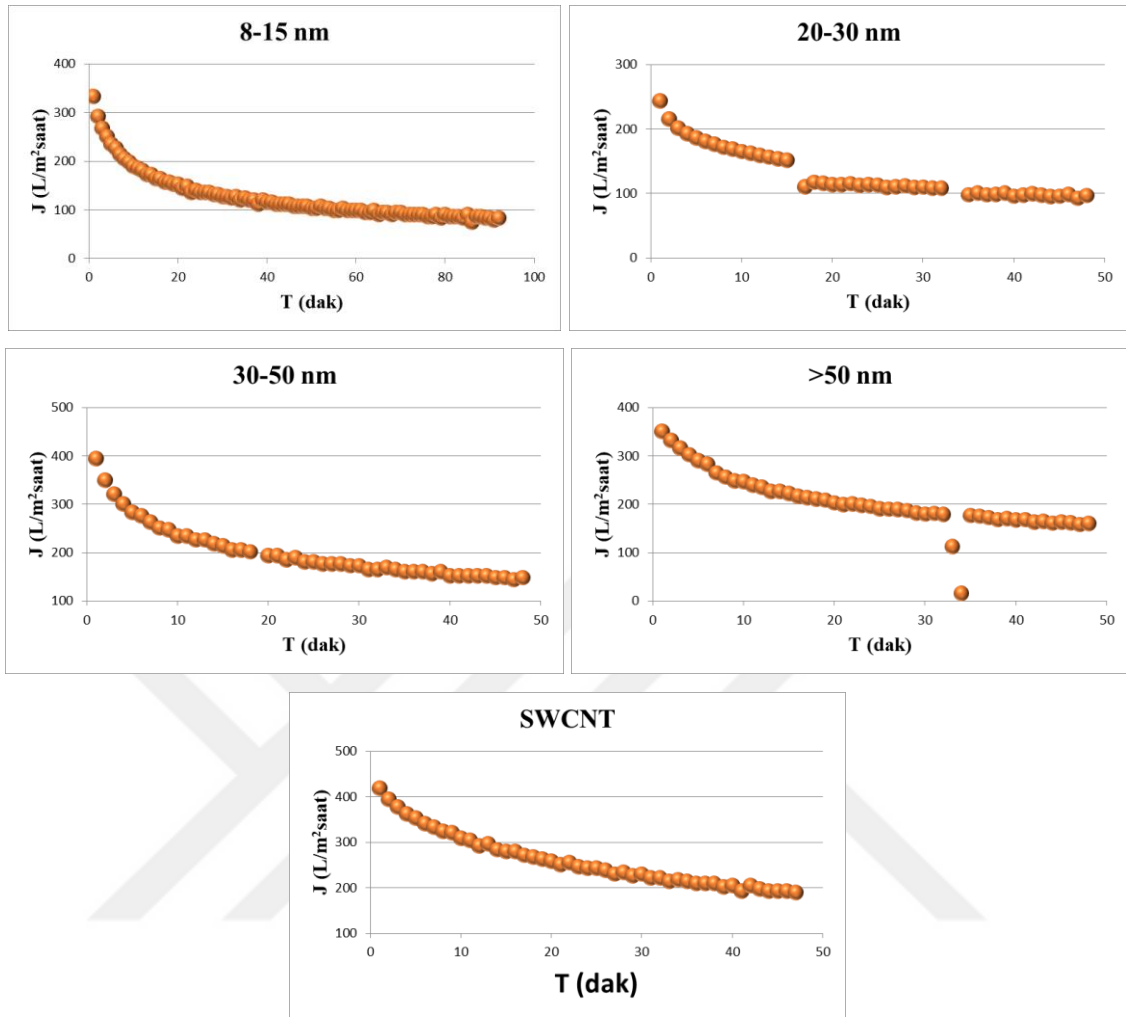
% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece 1	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
CNT'siz	5,4	28,57
8-15 nm	11,78	32,97
20-30 nm	16,27	42,86
30-50 nm	16,73	45,06
>50 nm	12,26	30,77
SWCNT	16,63	39,56

Tablo 4.20: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).

% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli 1	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
CNT'siz	26,39	22,86
8-15 nm	33,44	28,57
20-30 nm	36,18	28,57
30-50 nm	37,43	35,71
>50 nm	37,5	37,14
SWCNT	36,11	30



Şekil 4.85: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 16 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).



Şekil 4.86: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 16 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).

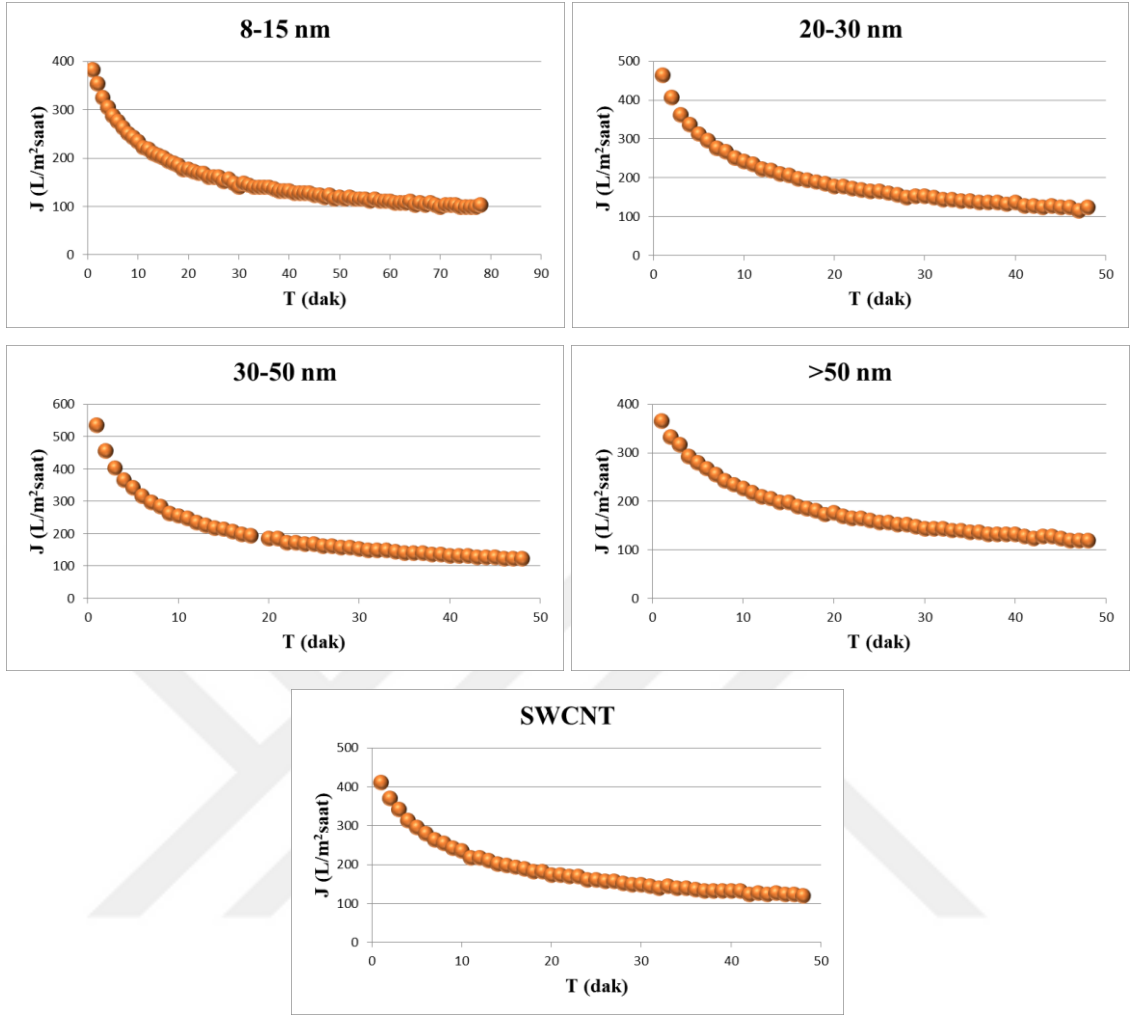
Tablo 4.21 ile 4.22’de % 16 PES/% 8 PVP/%1 CNT membranlarından Ekim 2013 döneminde Büyükçekmece Gölü’nden alınan numune ile yine aynı tarihte alınan Ömerli Baraj Gölü numunesi filtrasyonu sonrası elde edilen membran performans değerleri ve Şekil 4.87-Şekil 4.88 ‘de aynı numunelerin % 16 PES/% 8 PVP/%1 CNT membranlarından filtrasyonu esnasında alınan akı değerlerine ilişkin grafikler sergilenmektedir. En düşük ve en yüksek TOK veriminin Büyükçekmece göl suyu için sırasıyla tanecik çapı 8-15 nm olan CNT ile sentezlenen membran grubunda (% 8,00) ve SWCNT ile sentezlenen membran grubunda (% 4,95) elde edilmiştir. Diğer yandan, Ömerli barajı suyu için ise en yüksek TOK verimi (% 9,68) 8-15 nm CNT ile sentezlenen membran grubunda gözlenmiştir. UV_{254} arıtma veriminde ise, en yüksek giderme verimi yine Büyükçekmece göl suyu için elde edilmiştir.

Tablo 4.21: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).

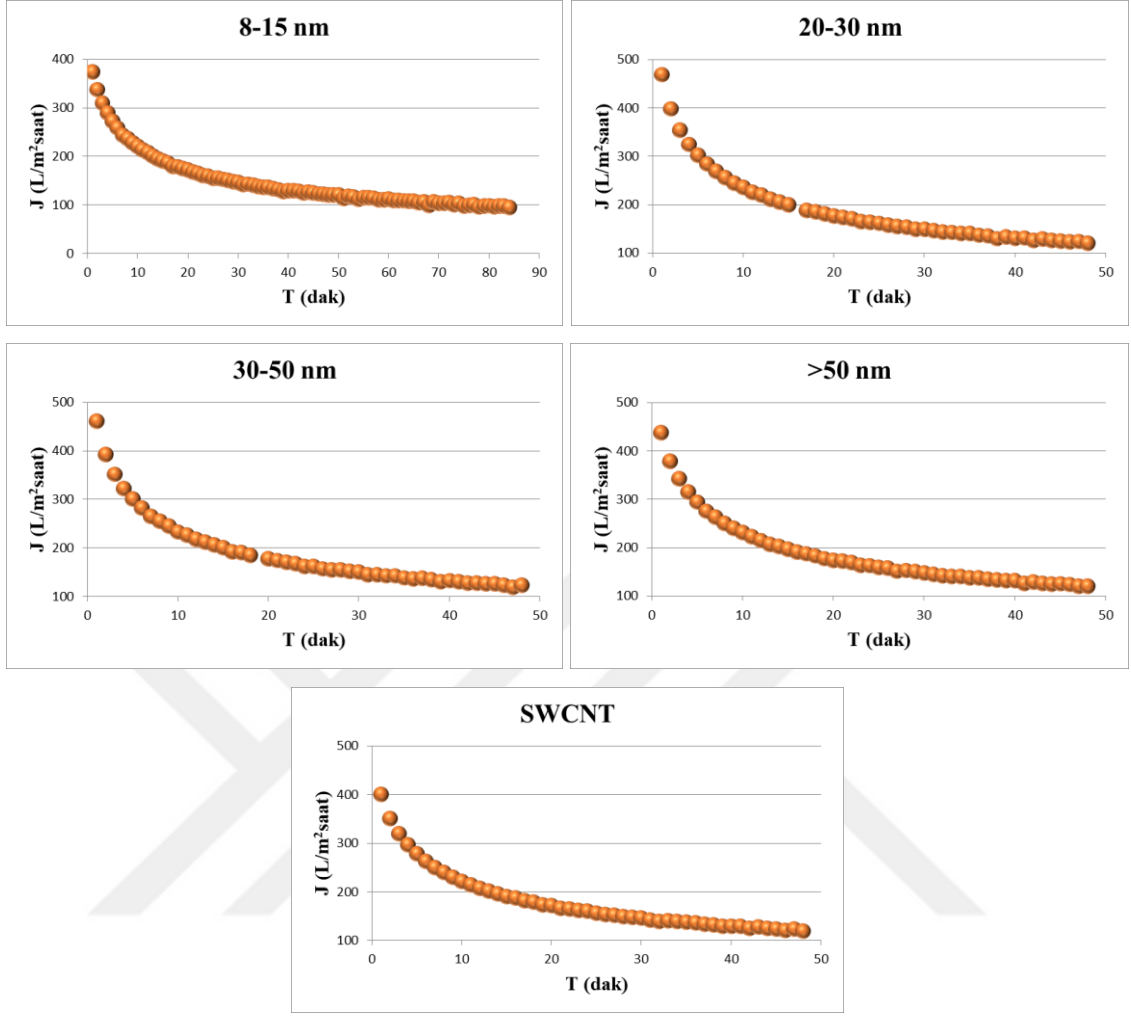
% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece 2	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
8-15 nm	8,00	39,33
20-30 nm	6,36	40,45
30-50 nm	5,95	39,33
>50 nm	5,97	38,20
SWCNT	4,95	43,82

Tablo 4.22: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).

% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli 2	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
8-15 nm	9,68	28,36
20-30 nm	5,53	28,36
30-50 nm	8,56	28,36
>50 nm	3,86	28,36
SWCNT	8,32	25,37



Şekil 4.87: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 16 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).



Şekil 4.88: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 16 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).

Tablo 4.23 ile 4.24'te % 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranlarından Aralık 2013 döneminde Büyükçekmece Gölü'nden alınan numune ile yine aynı tarihte alınan Ömerli Baraj Gölü numunesinin süzülmesi ile elde edilen membran performans değerleri sergilenmektedir. En yüksek TOK veriminin Büyükçekmece göl suyu ve Ömerli göl suyu için tanecik çapı >50 nm olan CNT ile sentezlenen membran grubunda (sırasıyla % 14,21 ve % 14,97) elde edilmiştir. UV₂₅₄ arıtma veriminde ise, en yüksek ve en düşük giderme verimi yine Büyükçekmece göl suyu için elde edilmiştir.

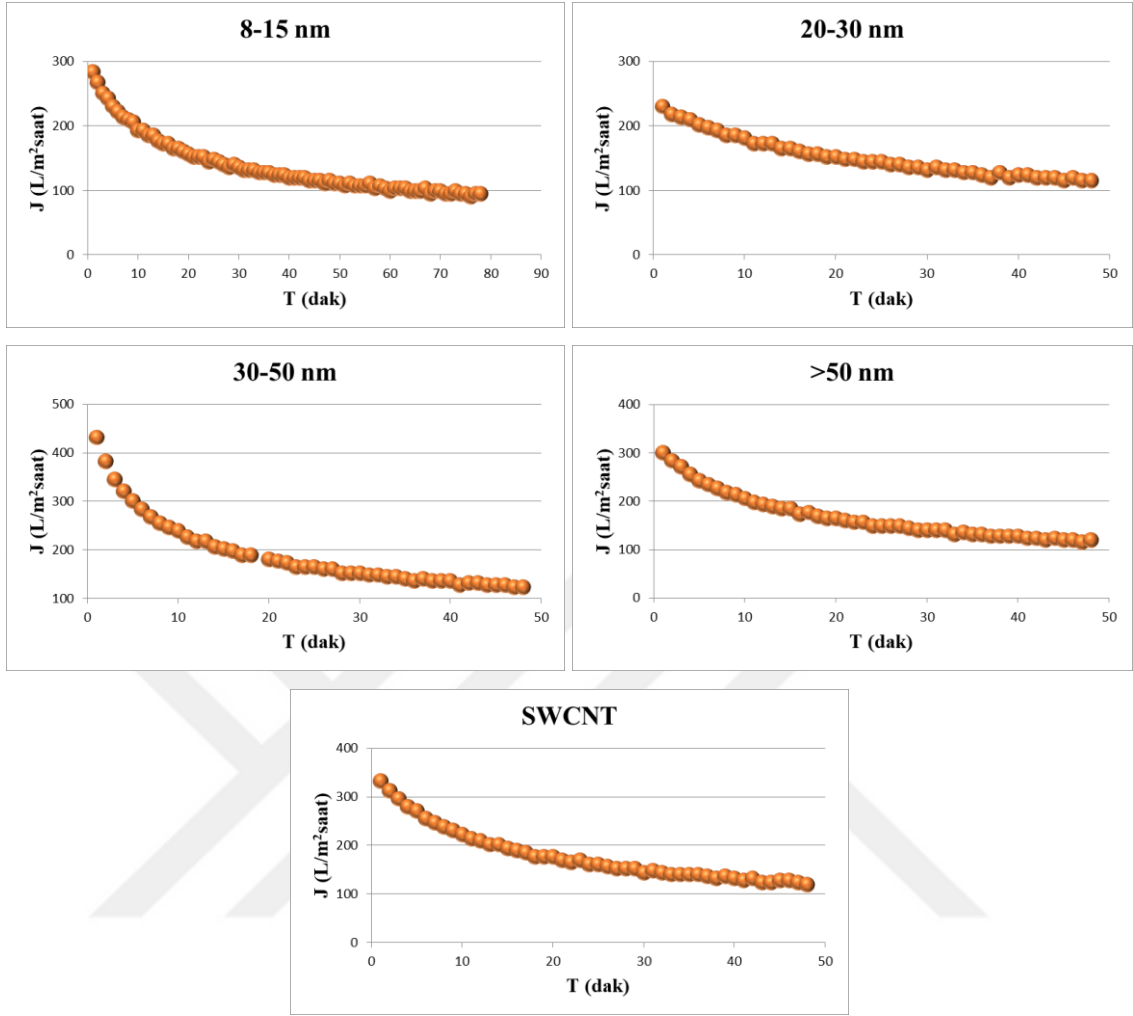
Ayrıca, Şekil 4.89 ve 4.90'da özetlendiği gibi her bir membran grubu için tespit edilen akı azalma profili tüm membranlarda benzerlik arz etmektedir.

Tablo 4.23: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).

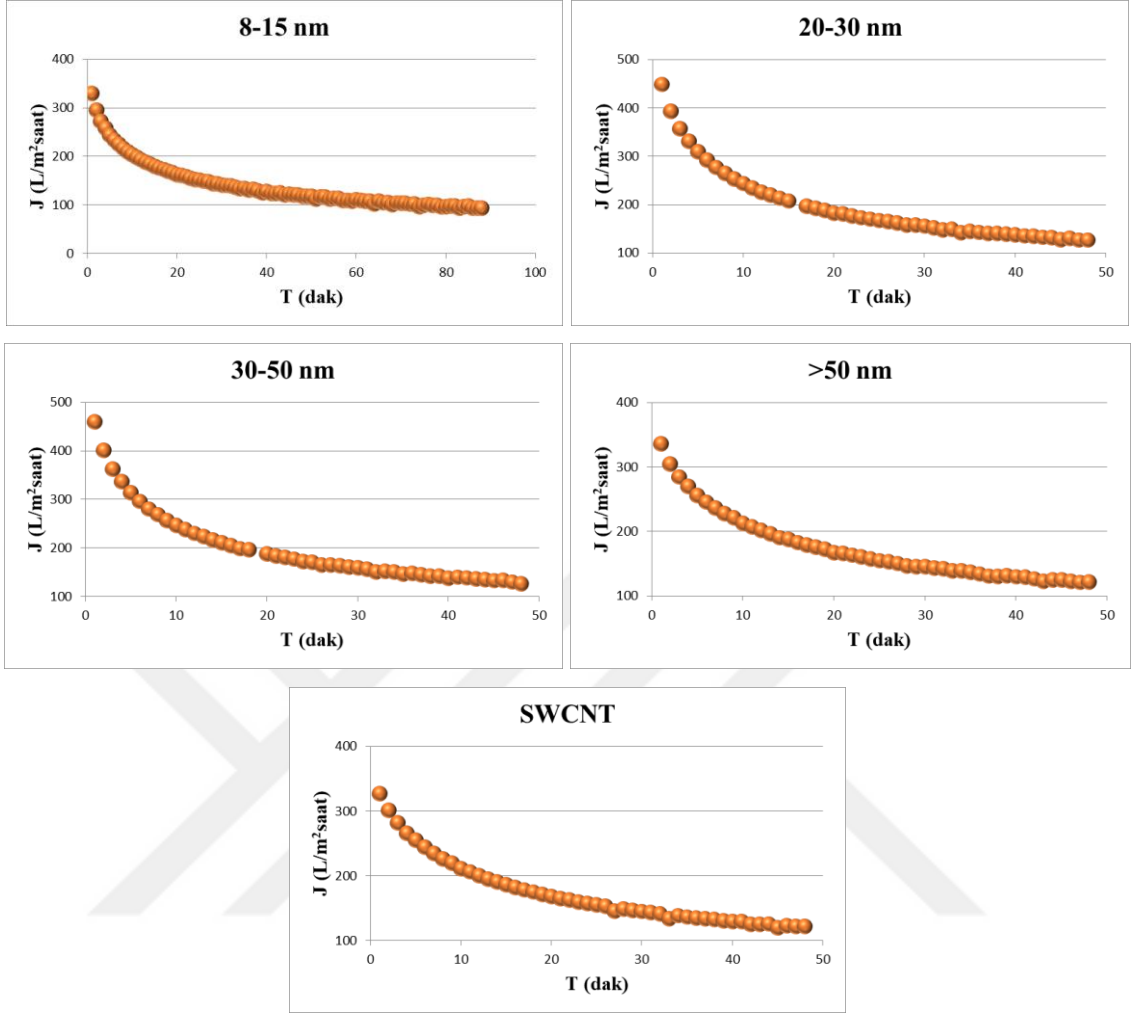
% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece 3	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
8-15 nm	6,45	33,33
20-30 nm	12,03	41,94
30-50 nm	12,01	35,48
>50 nm	14,21	36,56
SWCNT	12,39	35,48

Tablo 4.24: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).

% 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli 3	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
8-15 nm	8,1	25
20-30 nm	12,46	25
30-50 nm	10,66	23,53
>50 nm	14,97	19,12
SWCNT	12,25	22,06



Şekil 4.89: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 16 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).



Şekil 4.90: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 16 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).

Tablo 4.25 ile 4.26’da % 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranlarından Temmuz 2013 döneminde Büyükçekmece Gölü ve Ömerli Baraj Gölünden alınan numunelerinin süzülmesi ile elde edilen membran performans değerleri verilmiştir. Büyükçekmece ve Ömerli göl suyu numuneleri için TOK giderim verimleri değerlendirildiğinde, herbir membran türü için birbirlerine yakın değerler olduğu gözlenmiştir. UV₂₅₄ arıtma veriminde ise, Büyükçekmece göl suyu için elde edilen değerler TOK giderim verim değerlerinden yüksek çıkmıştır.

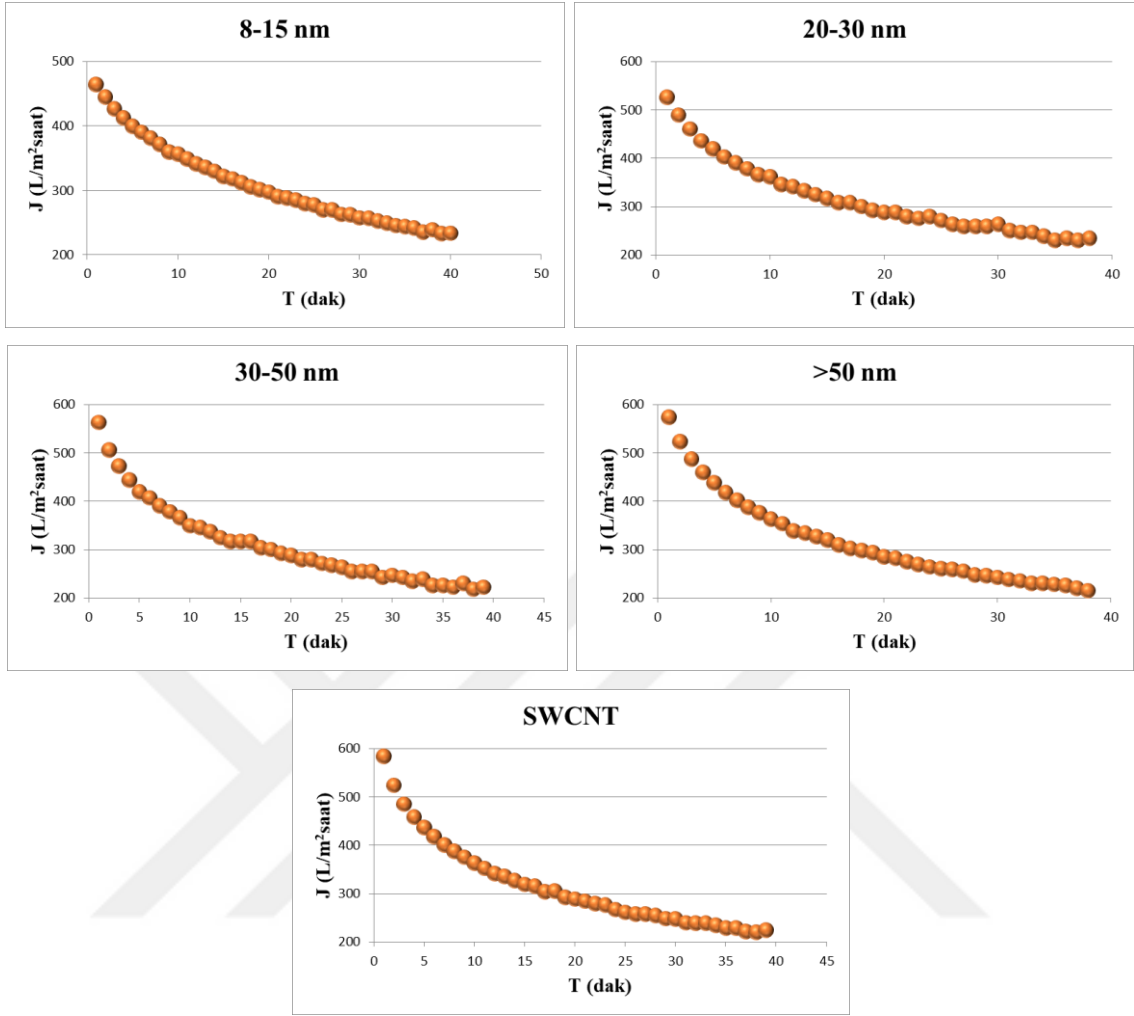
Aynı zamanda, Şekil 4.91 ve 4.92’de özetlendiği gibi herbir membran grubu için tespit edilen akı azalma profili tüm membranlarda benzerlik arz etmektedir.

Tablo 4.25: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).

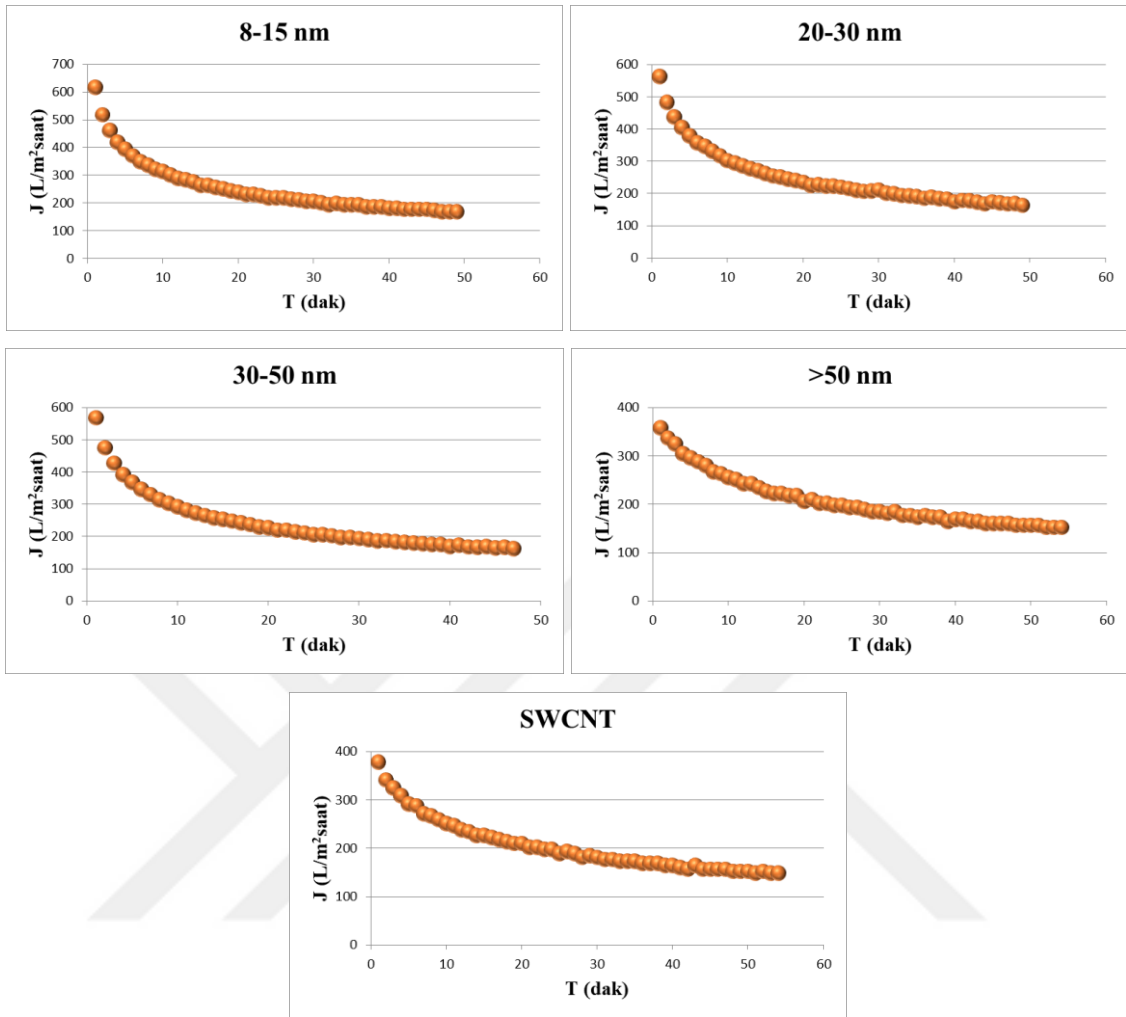
% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece 1	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
8-15 nm	18,93	39,56
20-30 nm	14,92	38,46
30-50 nm	19,11	41,76
>50 nm	17,88	38,46
SWCNT	18,29	41,76

Tablo 4.26: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).

% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli 1	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
8-15 nm	41,82	21,43
20-30 nm	38,95	27,14
30-50 nm	38,88	25,71,
>50 nm	38,62	31,43
SWCNT	35,48	30



Şekil 4.91: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 14 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).



Şekil 4.92: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 14 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 1. Numune [Temmuz-2013]).

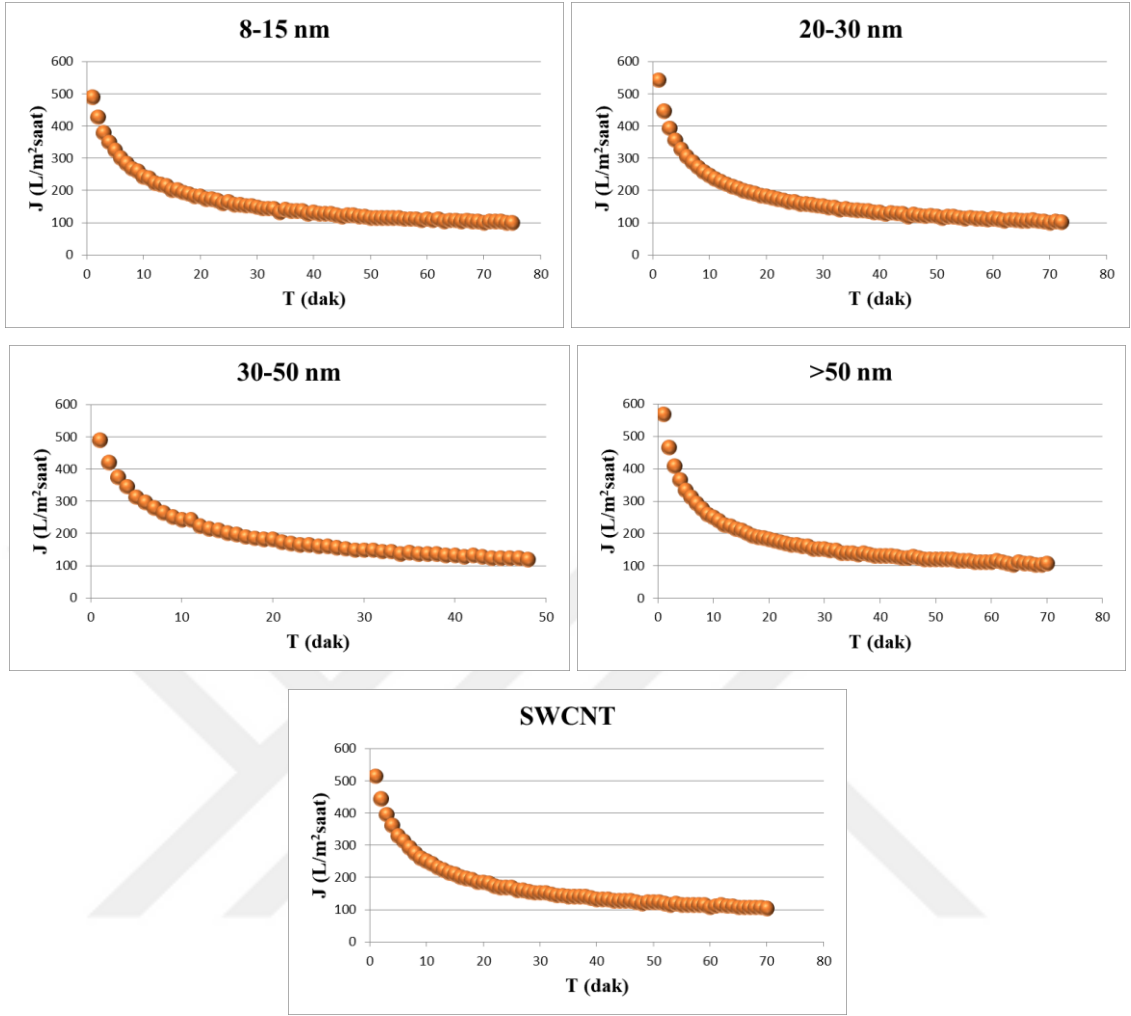
Tablo 4.27 ile 4.28’de ve Şekil 4.93 ve 4.94’te ise % 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranlarından Ekim 2013 döneminde Büyükçekmece ve Ömerli Baraj Gölü’nden alınan numunelerin filtrasyonu sonucu elde edilen membran performans değerleri ile bu membranların herbirine ait akı azalma profili sergilenmektedir. En düşük ve en yüksek TOK veriminin Büyükçekmece göl suyu için sırasıyla tanecik çapı 20-30 nm olan CNT ile sentezlenen membran grubunda (% 4,19) ve 8-15 nm CNT ile sentezlenen membran grubunda (% 10,26) elde edilmiştir. Ömerli barajı suyu için ise en yüksek TOK verimi (% 17,34) 8-15 nm CNT ile sentezlenen membran grubunda gözlenmiştir. UV₂₅₄ arıtma veriminde ise, en yüksek giderme verimi yine Büyükçekmece göl suyu için elde edilmiştir.

Tablo 4.27: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).

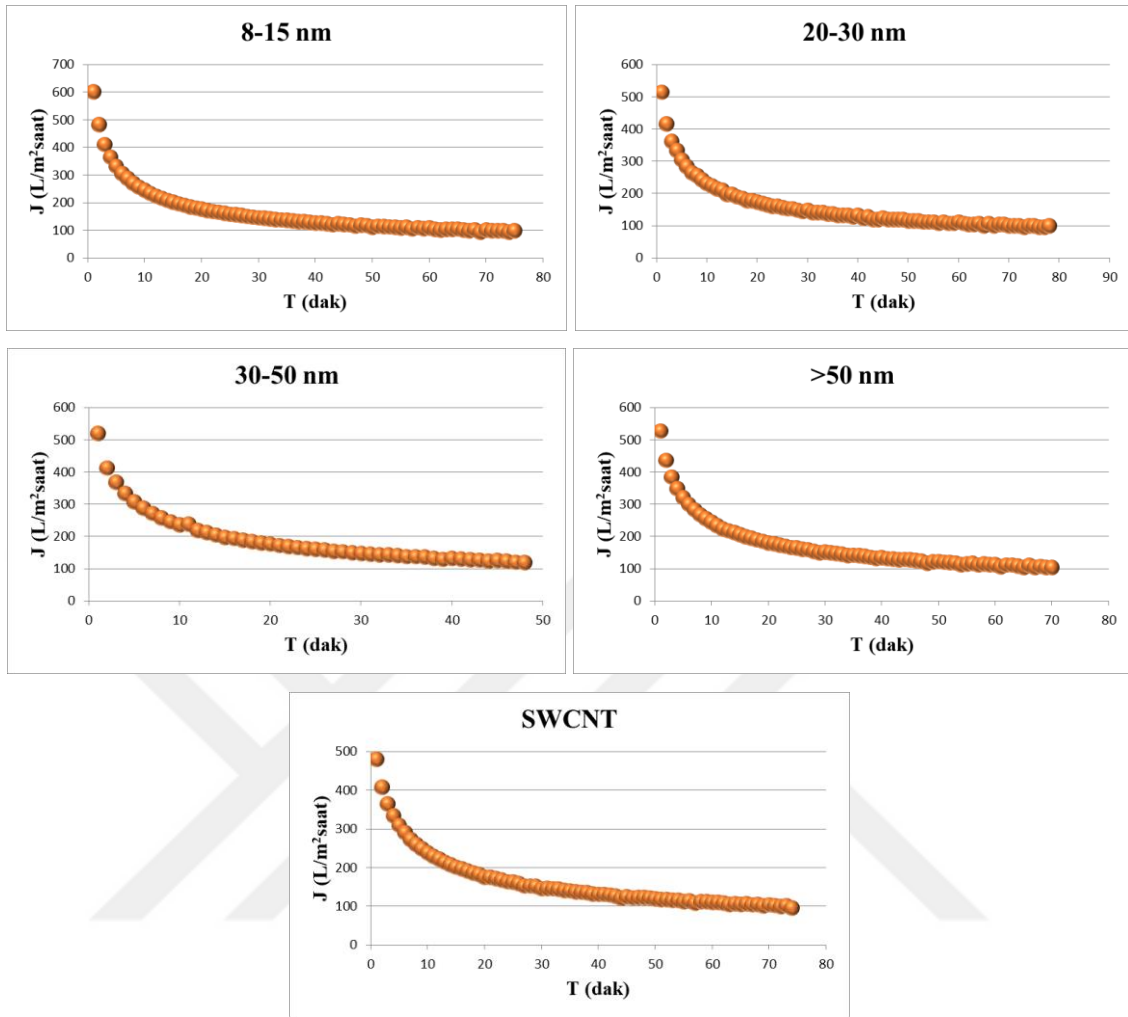
% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece 2	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
8-15 nm	10,26	34,83
20-30 nm	4,19	34,83
30-50 nm	5,26	37,08
>50 nm	8,80	42,70
SWCNT	6,12	37,08

Tablo 4.28: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).

% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli 2	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
8-15 nm	17,34	19,40
20-30 nm	10,01	26,87
30-50 nm	14,86	19,40
>50 nm	8,53	19,40
SWCNT	10,97	23,88



Şekil 4.93: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 14 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).



Şekil 4.94: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 14 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 2. Numune [Ekim-2013]).

Tablo 4.29 ile Tablo 4.30’da % 14 PES/% 8 PVP/%1 CNT membranlarından Aralık 2013 döneminde Büyükçekmece Gölü’nden alınan numune ile yine aynı tarihte alınan Ömerli Baraj Gölü numunesinin süzülmesi ile elde edilen membran performans değerleri sergilenmektedir. En düşük ve en yüksek TOK veriminin Büyükçekmece göl suyu için sırasıyla tanecik çapı SWCNT ile sentezlenen membran grubunda (% 9,31) ve 30-50 nm CNT ile sentezlenen membran grubunda (% 12,41) elde edilmiştir. Diğer yandan, Ömerli barajı suyu için ise en yüksek TOK verimi (% 13,65) 30-50 nm CNT ile sentezlenen membran grubunda gözlenmiştir. UV₂₅₄ arıtma veriminde ise, en yüksek giderme verimi yine Büyükçekmece göl suyu için elde edilmiştir.

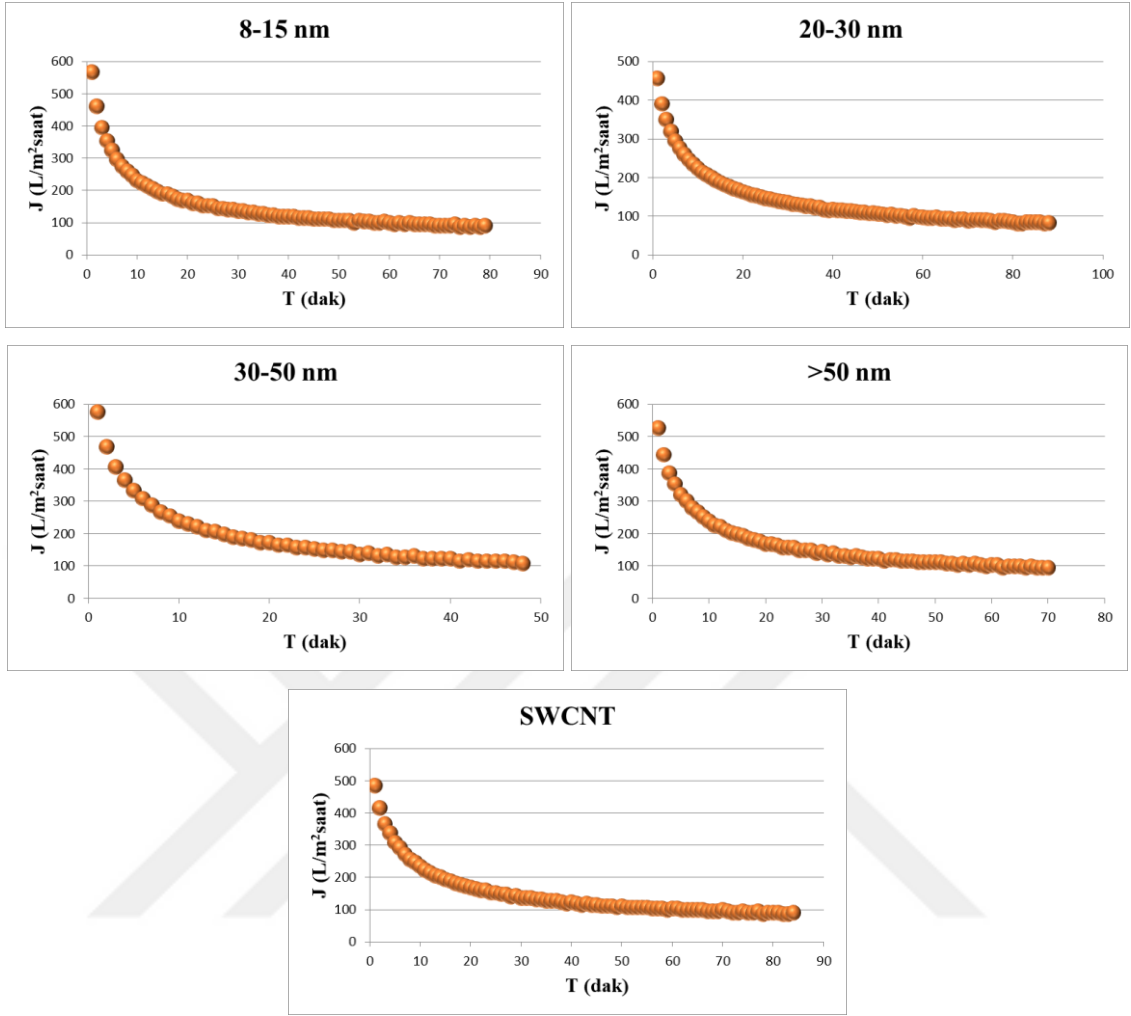
Öte yandan Şekil 4.95 ve 4.96’da özetlendiği gibi her bir membran grubu için tespit edilen akı azalma profili tüm membranlarda benzerlik arz etmektedir. Bu durum membranlarda tıkanma açısından bir fark göstermektedir.

Tablo 4.29: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).

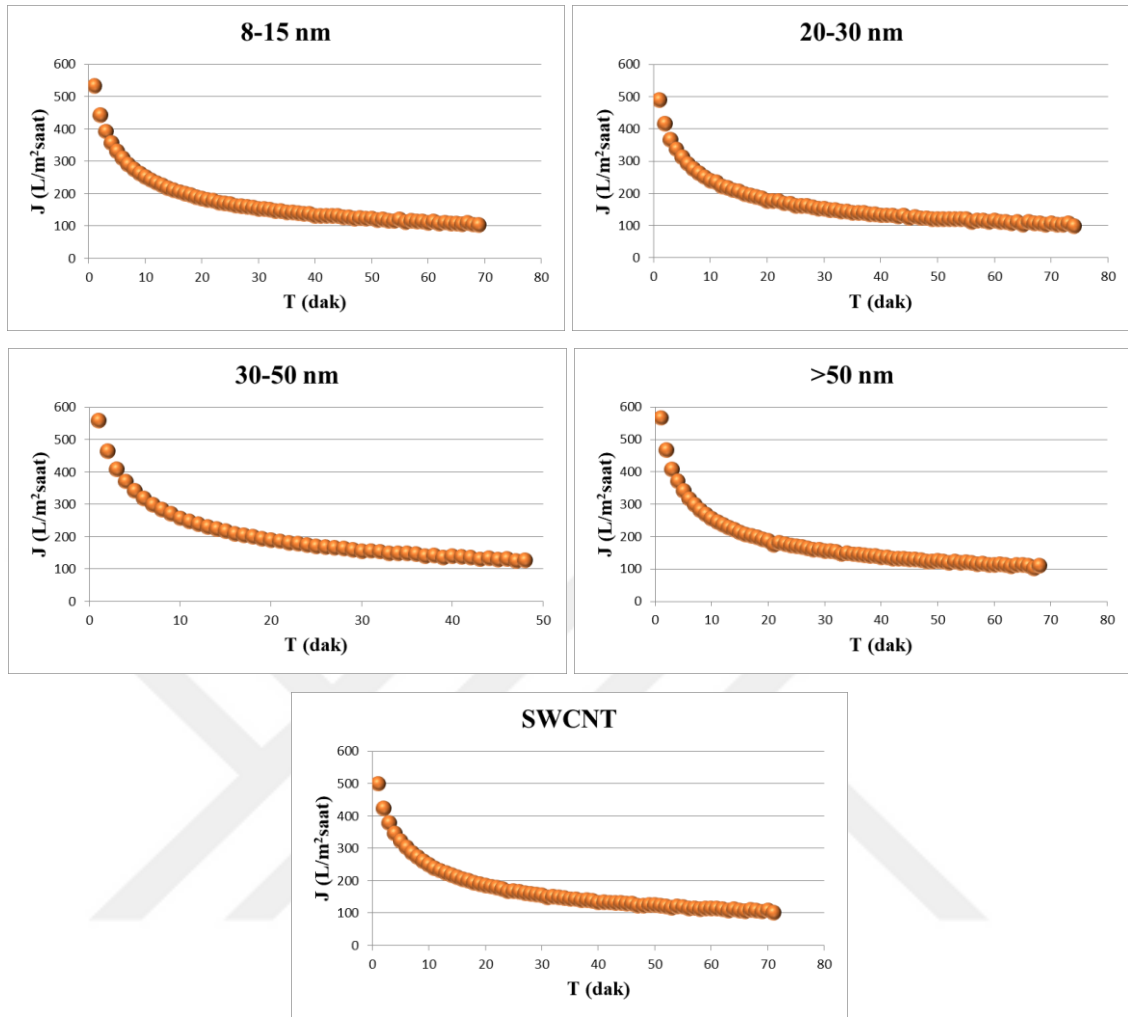
% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Büyükçekmece 3	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
8-15 nm	11,92	-
20-30 nm	12,03	38,71
30-50 nm	12,41	37,63
>50 nm	10,1	35,48
SWCNT	9,31	27,96

Tablo 4.30: Membran sisteminde göl suyu arıtma değerleri (% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).

% 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT - Ömerli 3	TOK (%)	UV₂₅₄ (%)
8-15 nm	12,8	13,24
20-30 nm	11,27	23,53
30-50 nm	13,65	20,59
>50 nm	-	26,47
SWCNT	10,84	23,53



Şekil 4.95: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 14 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Büyükçekmece Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).



Şekil 4.96: Göl suyu filtrasyonu esnasındaki akı değişimi (% 14 PES/% 8 PVP/%1 CNT - Ömerli Göl Suyu - 3. Numune [Aralık-2013]).

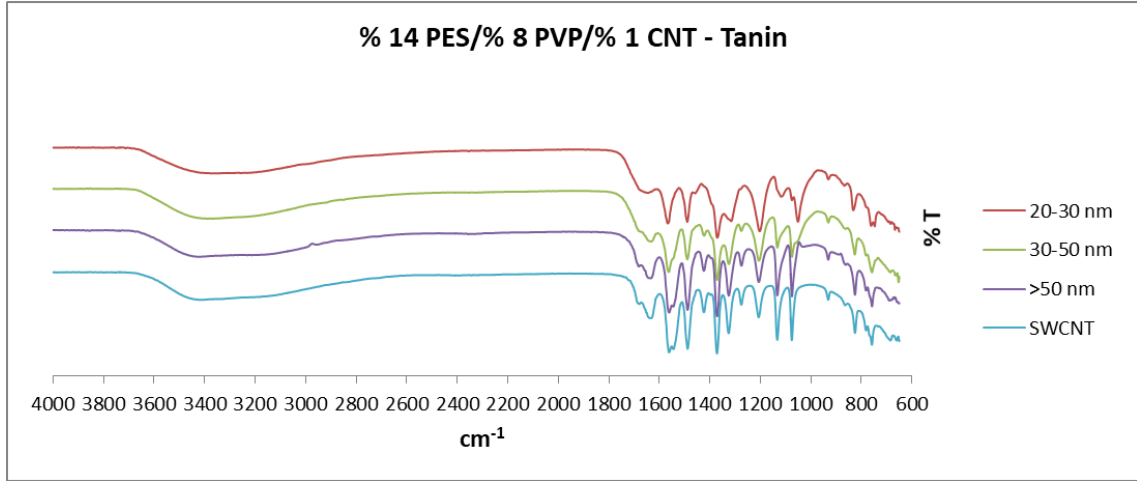
4.3. MEMBRAN TIKANMA PROFİLİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI

4.3.1. Filtrasyonu Tamamlanan Membranların FTIR Spektrumları

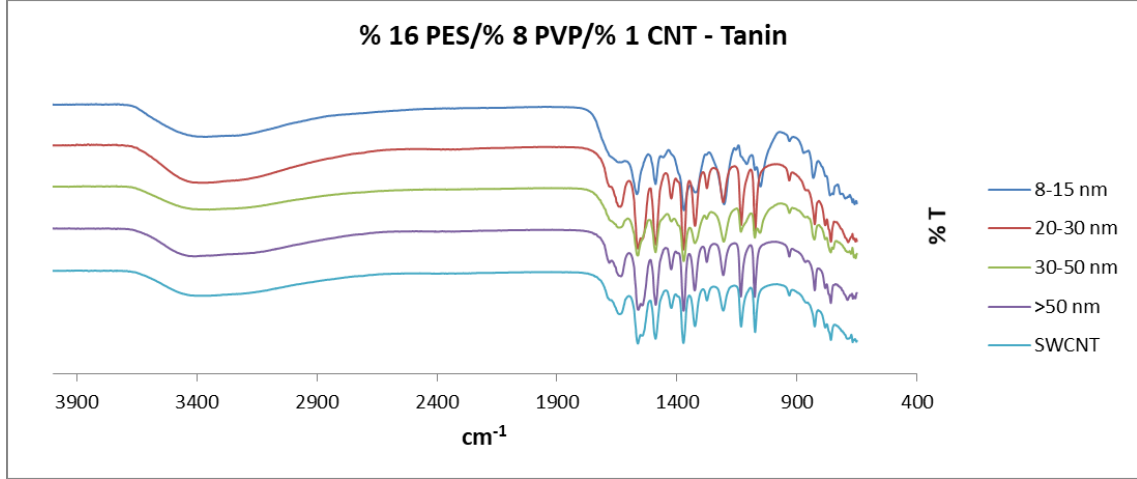
Şekil 4.97 ve 4.99’da, 5.0 mg/L TOK konsantrasyonuna sahip tanin çözeltisinin farklı PES içeriği (% 14, 16 ve 18 PES) ve farklı CNT tanecik boyutuna sahip membranlardan süzülmesi sonucu ortaya çıkan kirli membranların FTIR spektrumları yer almaktadır.

% PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm, 20-30 nm, 30-50 nm, >50 nm ve SWCNT) membranları için elde edilen FTIR spektrumlarında, pik değerleri (ortalama) sırasıyla 1630, 1562, 1489, 1423, 1370, 1322, 1275, 1206, 1133, 1075, 1051, 930, 836, 760, 690 cm⁻¹ de okunmuştur. Bu FTIR pikleri temiz membranlardan elde edilen FTIR pikleri ile karşılaştırıldığında bazı farklılıklar göze çarpmaktadır. Uluslararası çalışmalar ışığında bu yeni pikleri

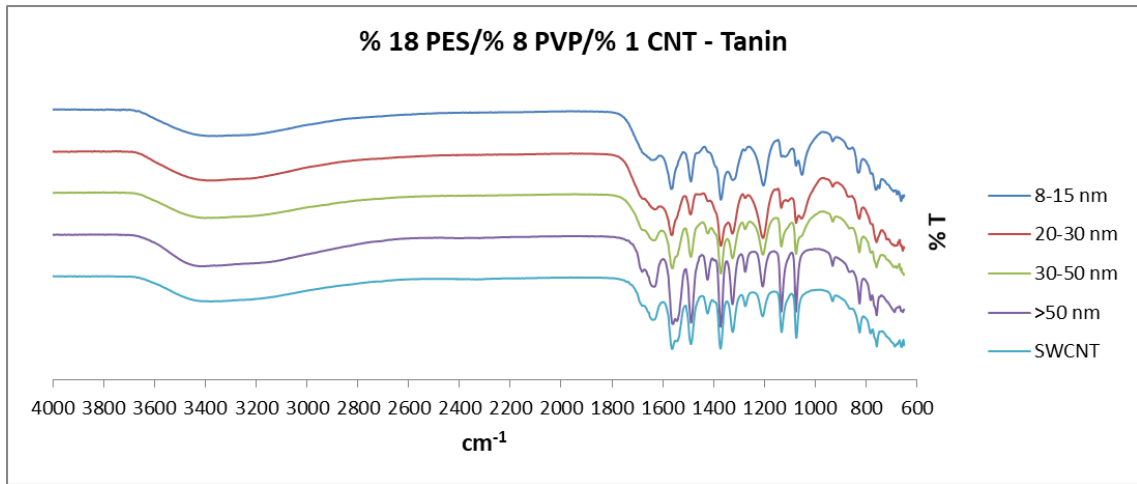
değerlendirdiğimizde, 1423 cm^{-1} 'de aromatik C_C, 1370 cm^{-1} 'de alifatik N_O, 1206 cm^{-1} 'de alifatik amiler grubundan C_N, 930 ve 760 cm^{-1} 'de aromatik C_H bağlarının membran yüzeyinde oluştuğunu görülmektedir. Tanin gibi model bileşiklerin ise aromatik yapıların membran yüzeyinde birikmesine neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.97: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları.

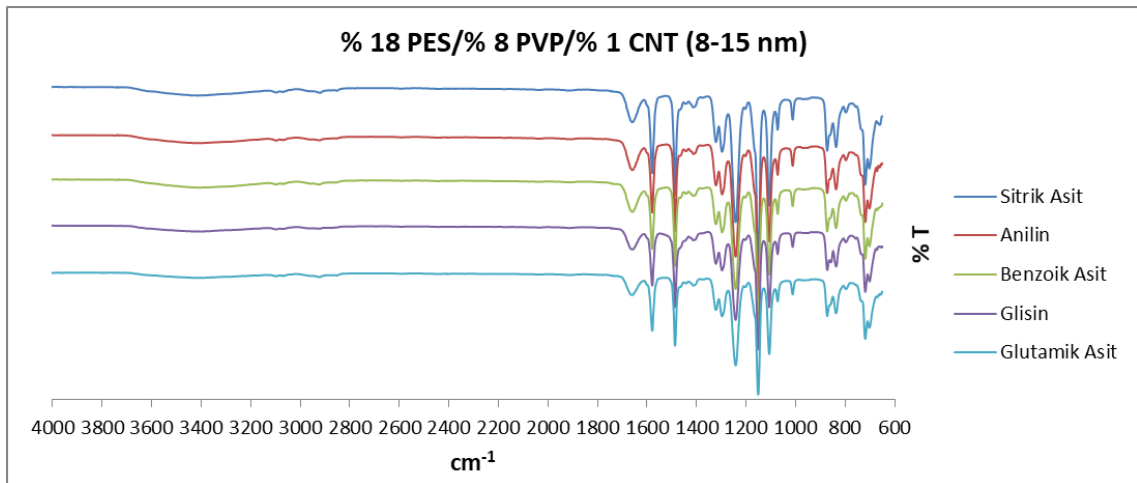


Şekil 4.98: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları.



Şekil 4.99: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları.

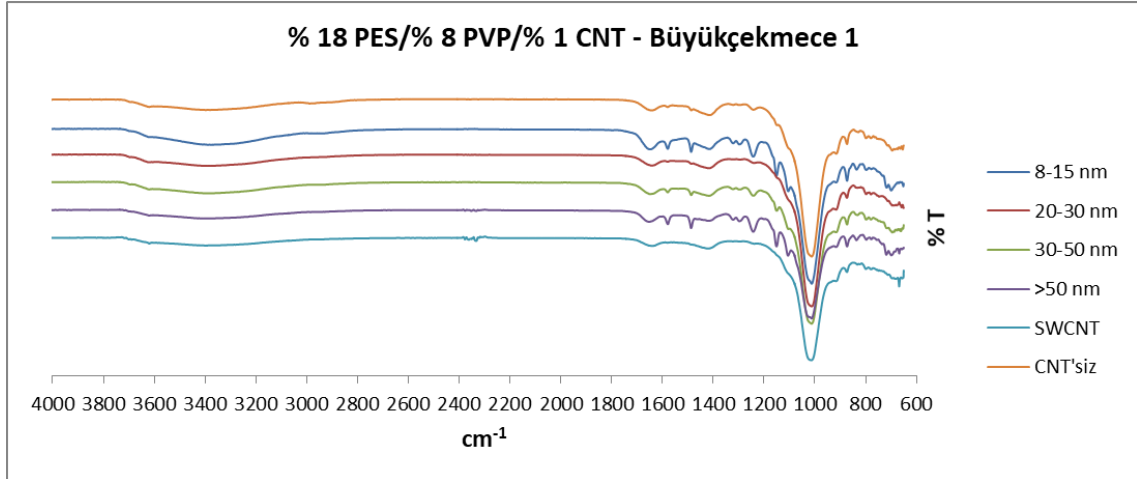
Şekil 4.100’de, 5 adet model bileşiklerle hazırlanmış sentetik çözeltilerin (5 mg/L konsantrasyonunda anilin, benzoik asit, glutamik asit, glisin ve sitrik asit sentetik çözeltileri) % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranı filtrasyonu sonrası, kirlenen membranların FTIR spektrumları yer almaktadır. Ancak, FTIR spektrumlarına bakıldığında temiz membranlardan farklı pik elde edilmediği görülmektedir. Özellikle söz konusu bu 5 adet model bileşiğin membranlarda tutunmadığı önceki bölümlerde belirtilmişti. Dolayısıyla, bundan dolayı ciddi anlamda bir membran tıkanmasının meydana gelmeyeceği beklenen bir durumdur.



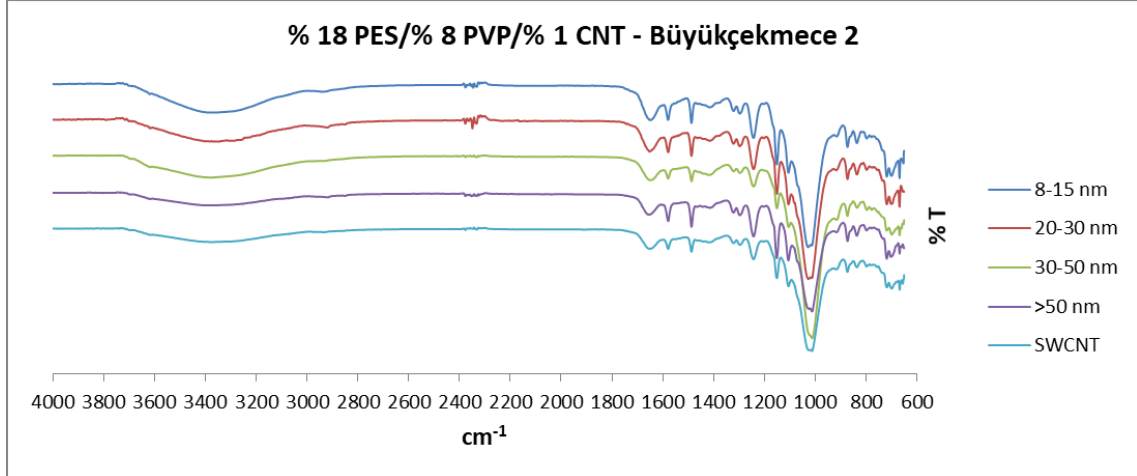
Şekil 4.100: Sentetik numune filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların FTIR spektrumları.

Şekil 4.101, Şekil 4.102 ve Şekil 4.103’te, farklı tarihlerde (3 farklı tarihte) alınan Büyükçekmece göl suyu numunelerinin membran filtrasyonu gerçekleştirildikten sonra, kirlenen membranların FTIR spektrumları görülmektedir. % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT

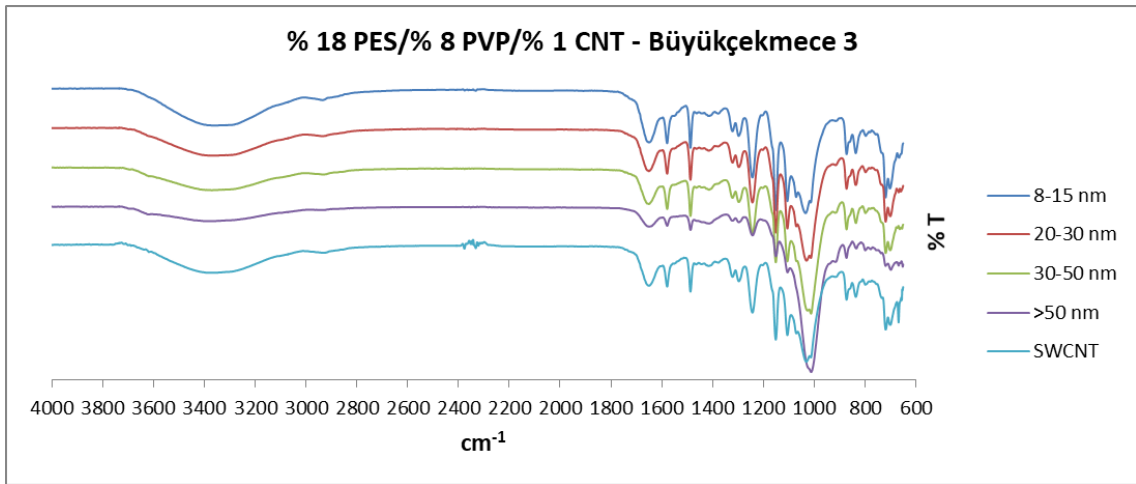
membranlar için elde edilen FTIR spektrumlarında, pik değerleri (ortalama) sırasıyla 1638, 1416, 1010, 914, 872, 796, 668 cm^{-1} de okunmuştur. Temiz membranlardan farklı olarak, membranların yüzeyindeki aromatik bağlı C-H grubu 914 cm^{-1} 'de ortaya çıkarken, vinil bağlı C-H'nin varlığı ise 668 cm^{-1} 'de ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.101: Büyükçekmece Göl suyu filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları (Temmuz 2013).

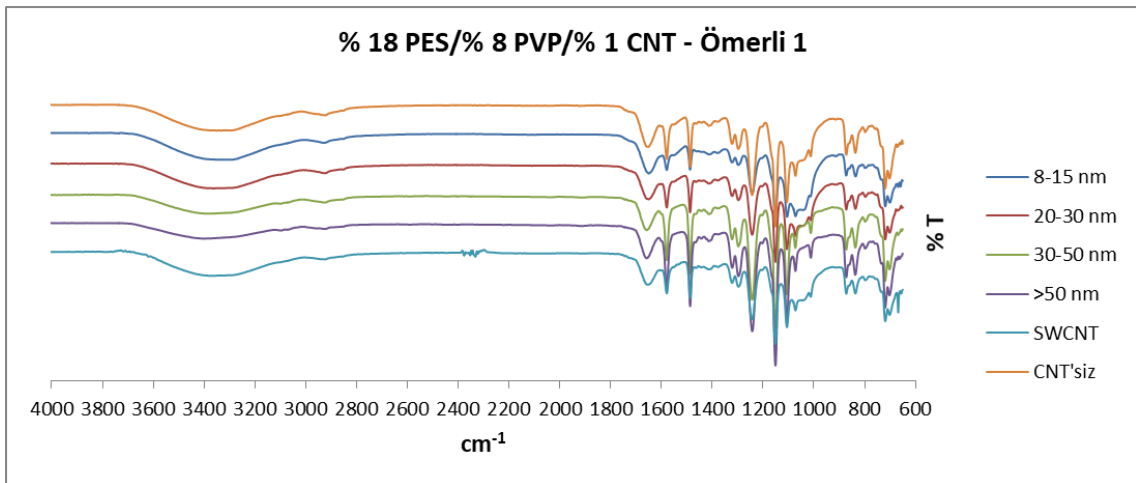


Şekil 4.102: Büyükçekmece Göl suyu filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları (Ekim 2013).

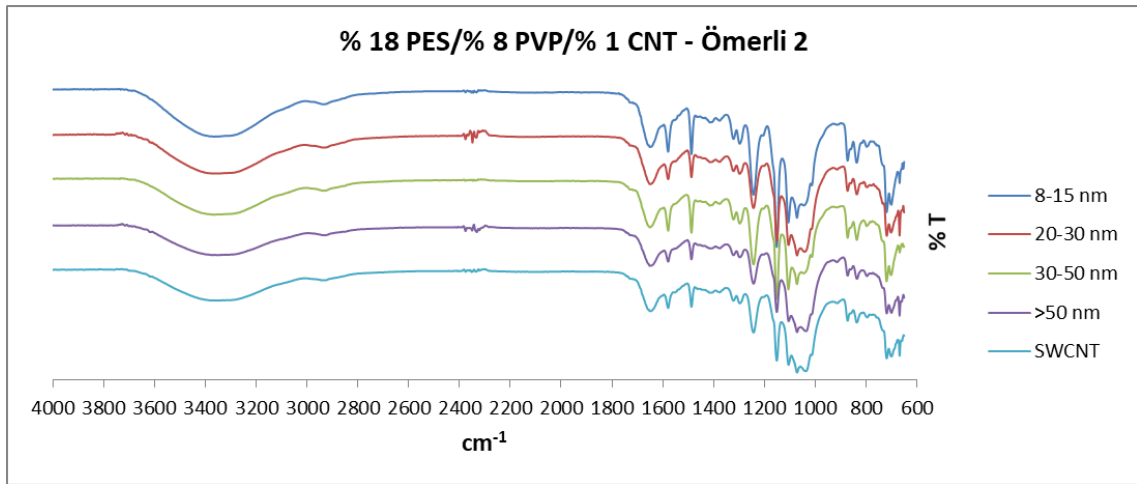


Şekil 4.103: Büyükçekmece Göl suyu filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları (Aralık 2013).

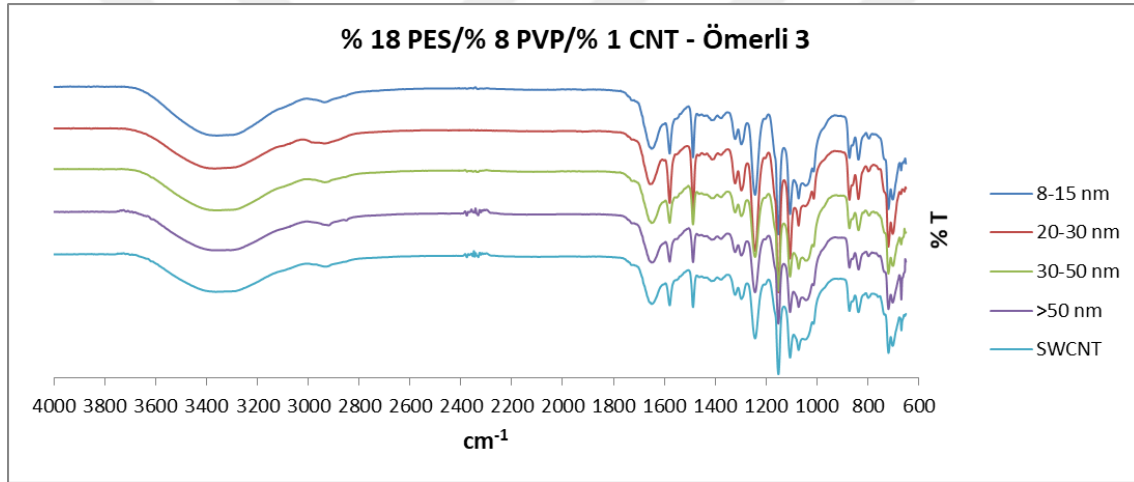
Şekil 4.104 ve Şekil 4.106 arasında ise, 3 farklı zamanda alınan Ömerli göl suyu numunelerinin membran filtrasyonu gerçekleştirildikten sonra, kirlenen % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumlarında, pik değerleri (ortalama) sırasıyla 1650, 1578, 1486, 1420, 1320, 1295, 1240, 1151, 1072, 872, 834, 718, 700, 664 cm^{-1} de okunmuştur. Temiz membranlardaki pik değerlerinden pek farklı olmamakla beraber, membranların yüzeyindeki aromatik C_C grubunun varlığı 1420 cm^{-1} 'de ortaya çıkarken, 664 cm^{-1} 'de vinil bağlı C_H tespit edilmiştir.



Şekil 4.104: Ömerli Göl suyu filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları (Temmuz 2013).



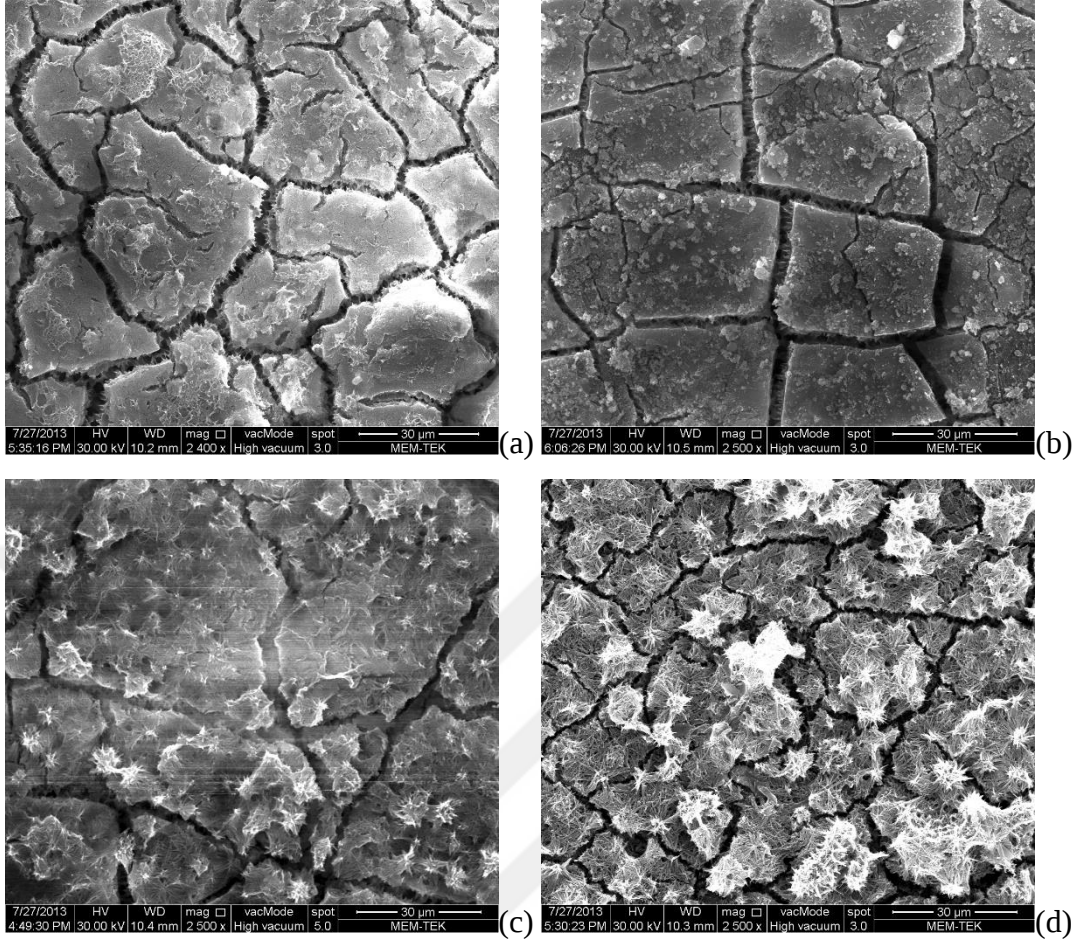
Şekil 4.105: Ömerli Göl suyu filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları (Ekim 2013).



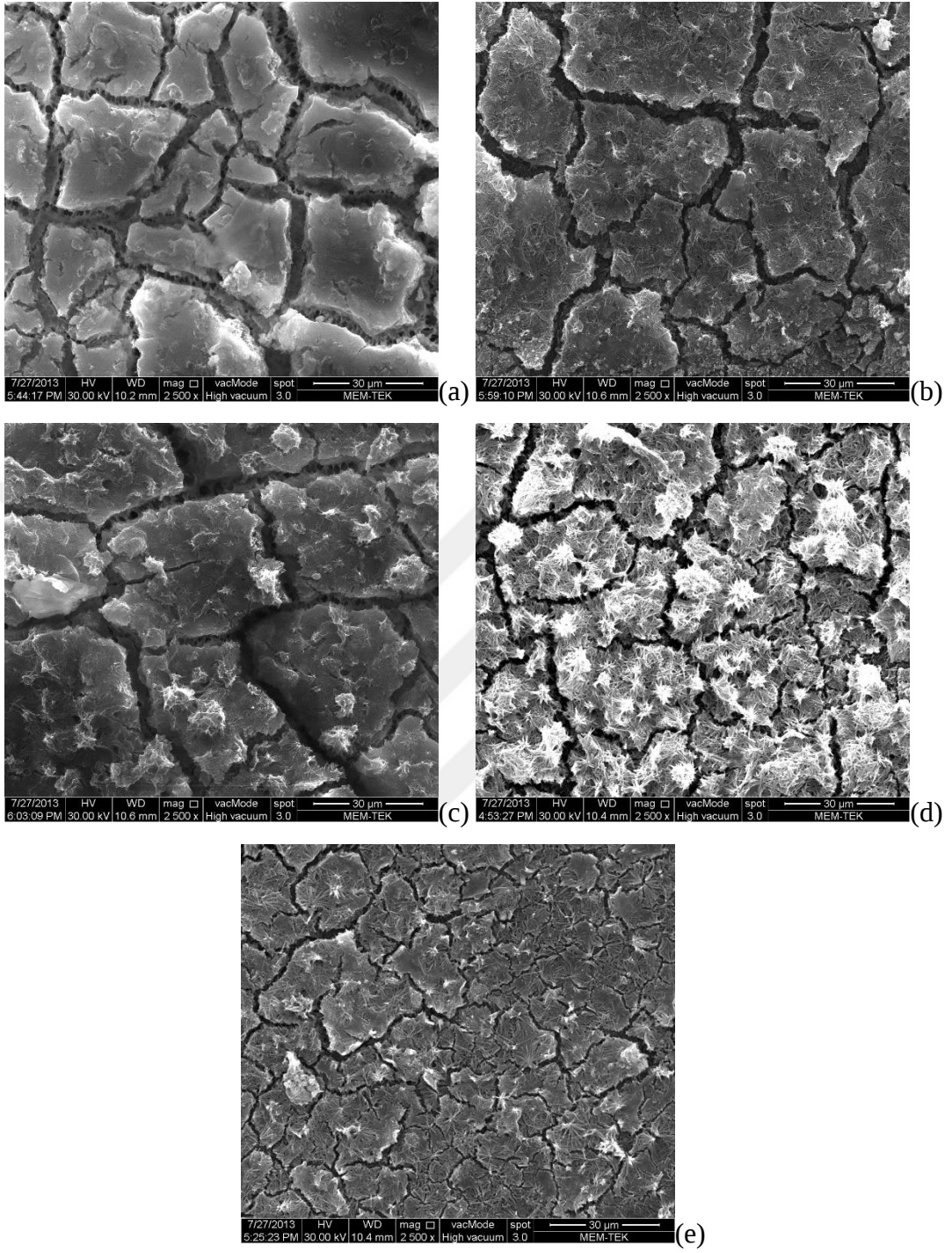
Şekil 4.106: Ömerli Göl suyu filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların FTIR spektrumları (Aralık 2013).

4.3.2. Filtrasyonu Tamamlanan Membranların SEM Görüntüleri

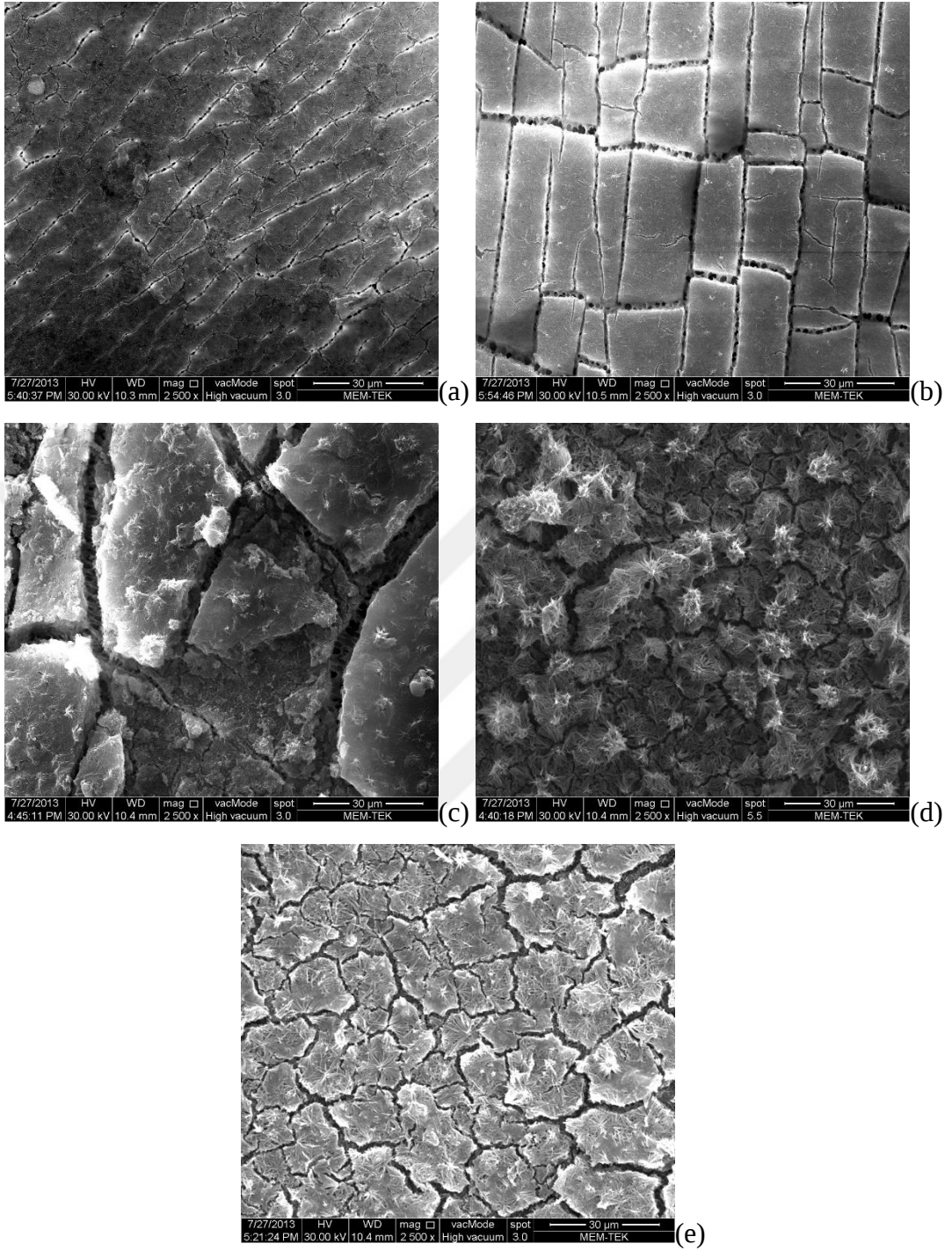
Şekil 4.107 ve Şekil 4.109 arasında, sırasıyla % 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT, % 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT ve % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranları için sentetik numune (tanin) filtrasyonu sonrası elde edilen yüzey görüntüleri her bir membran için farklı CNT türleri için görülmektedir. Burada amaç, temiz membranlar ile tıkanmış (kirli) membranlar arasındaki morfolojik değişimin karşılaştırılmasıdır. Her bir membranın görüntüsü incelendiğinde, su süzümünden kaynaklanan deformasyon net bir şekilde gözlemlenebilmektedir. Bu durum, membranın üst yüzeyinde inorganik kökenli (sertlik) olduğu tahmin edilen kirlenmelerden kaynaklanabilmektedir.



Şekil 4.107: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % 14 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey alanı görüntüleri (a) 20-30 nm, b) 30-50 nm, c) >50 nm, d) SWCNT).



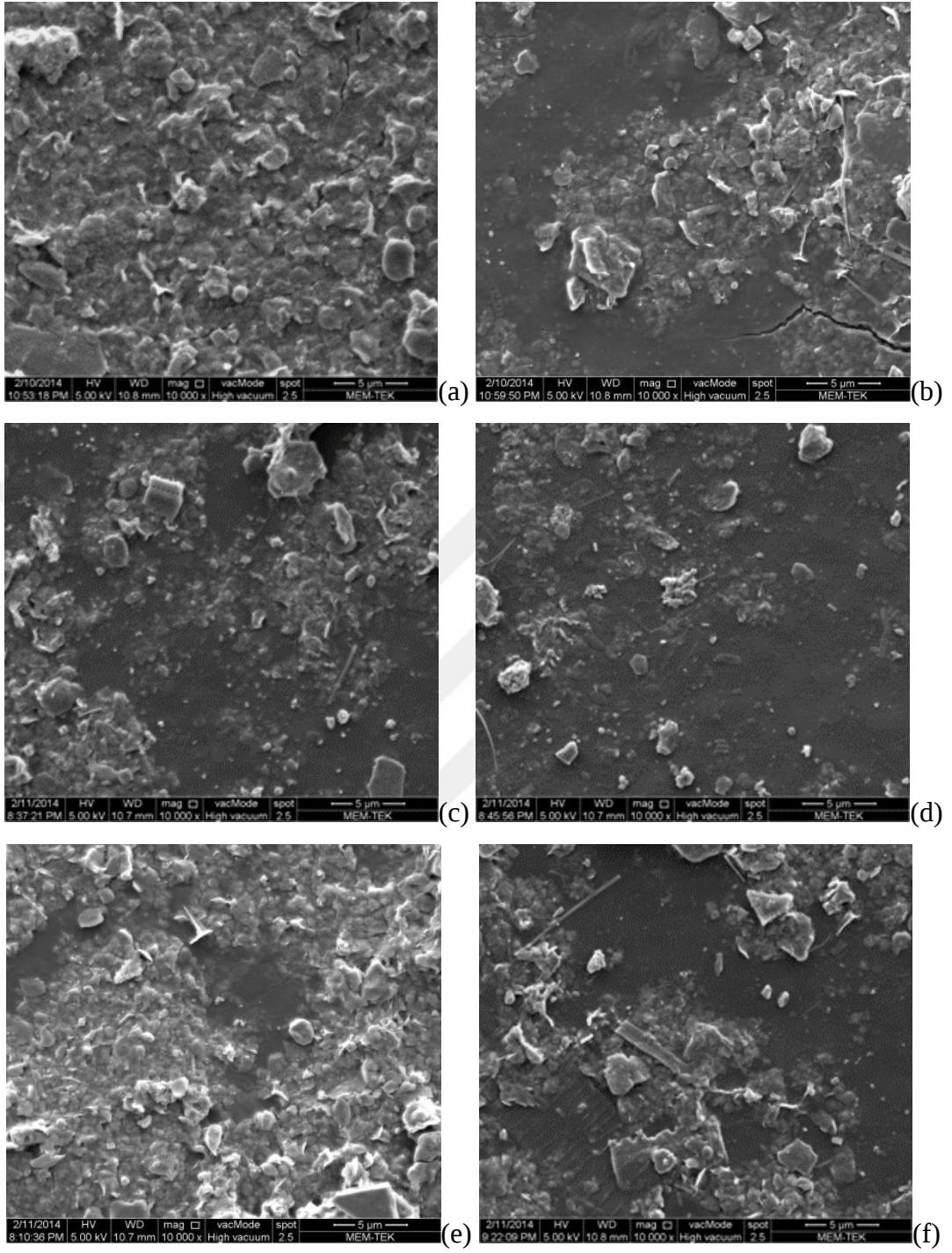
Şekil 4.108: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % 16 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey alanı görüntüleri (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).



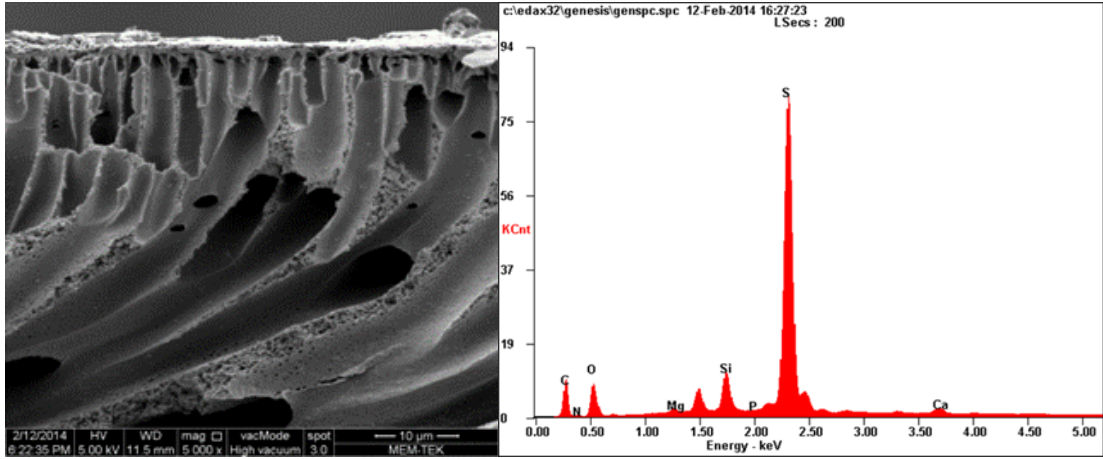
Şekil 4.109: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey alanı görüntüleri (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).

Şekil 4.110 ve Şekil 4.122’de, Büyükçekmece Gölü ve Ömerli Barajı’ndan farklı zamanlarda alınan numunelerin membran filtrasyonu gerçekleştirildikten sonra, kirlenen membranların SEM görüntüleri yer almaktadır.

Şekil 4.110 ve Şekil 4.111’de, Büyükçekmece göl suyu (Temmuz 2013) filtre edilen farklı tanecik çapına sahip CNT ile sentezlenen % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranları için elde edilen yüzey görüntüleri ile % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranı için elde edilen kesit alanı görüntüleri ve EDS analizi yer almaktadır. Membranların yüzey görüntülerinde, sudaki inorganik içerikli kolloidal yapıların membran yüzeyinde biriktiği gözlenmiştir. Kesit alanı görüntülerinde ise, parmakı uzun ince kanallı CNT yapıların varlığı ve alt tabakadaki makrogözenekli yapıların boyutlarında değişiklik olduğu görülmüştür. EDS analizinde Büyükçekmece göl suyu filtre edilen membranda C, N, O, Mg, Si, P, S ve Ca elementlerine rastlanmıştır. Bu da, göl sularının membran filtrasyonu sonucu membran yüzeyinde Ca (CaCO_3) ve Mg (MgSO_4) gibi sertlik kökenli maddelerin birikimine işaret etmektedir. Aynı zamanda, membran yüzeyindeki sülfür (S) pikinin poliethersülfon (PES) polimerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

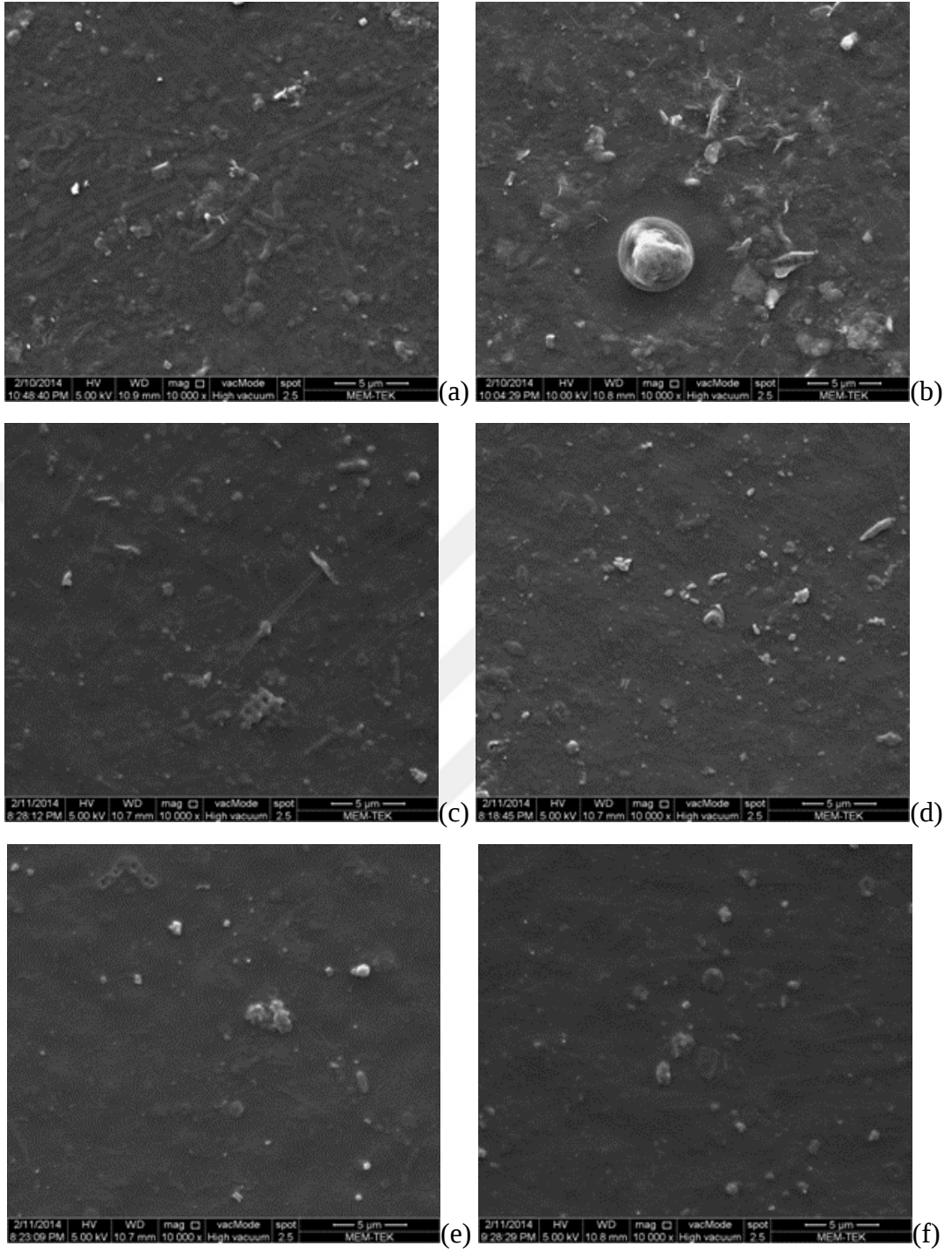


Şekil 4.110: Büyükçekmece Göl suyu (Temmuz 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey görüntüleri (a) CNT'siz, b) 8-15 nm, c) 20-30 nm, d) 30-50 nm, e) >50 nm, f) SWCNT).

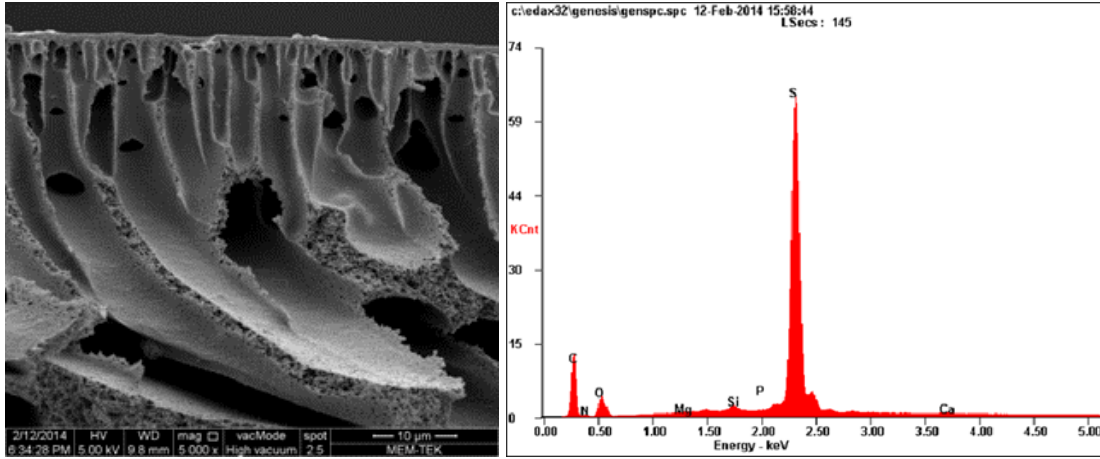


Şekil 4.111: Büyükçekmece Göl suyu (Temmuz 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların kesit alanı görüntüsü ile EDS analizi.

Şekil 4.112 ve Şekil 4.113'te ise, Ömerli Barajı suyu (Temmuz 2013) filtre edilen % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranlar için elde edilen yüzey görüntüleri ve % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15) membranı için elde edilen kesit alanı görüntüleri EDS analiziyle görülmektedir. Yüzey görüntülerine bakıldığında, sudaki inorganik içerikli kolloidal yapıların membran yüzeyinde biriktiği gözlenmiştir. EDS analizinde ise Ömerli Barajı suyu filtre edilen membranda C, N, O, Mg, Si, P, S ve Ca elementlerine rastlanmıştır.

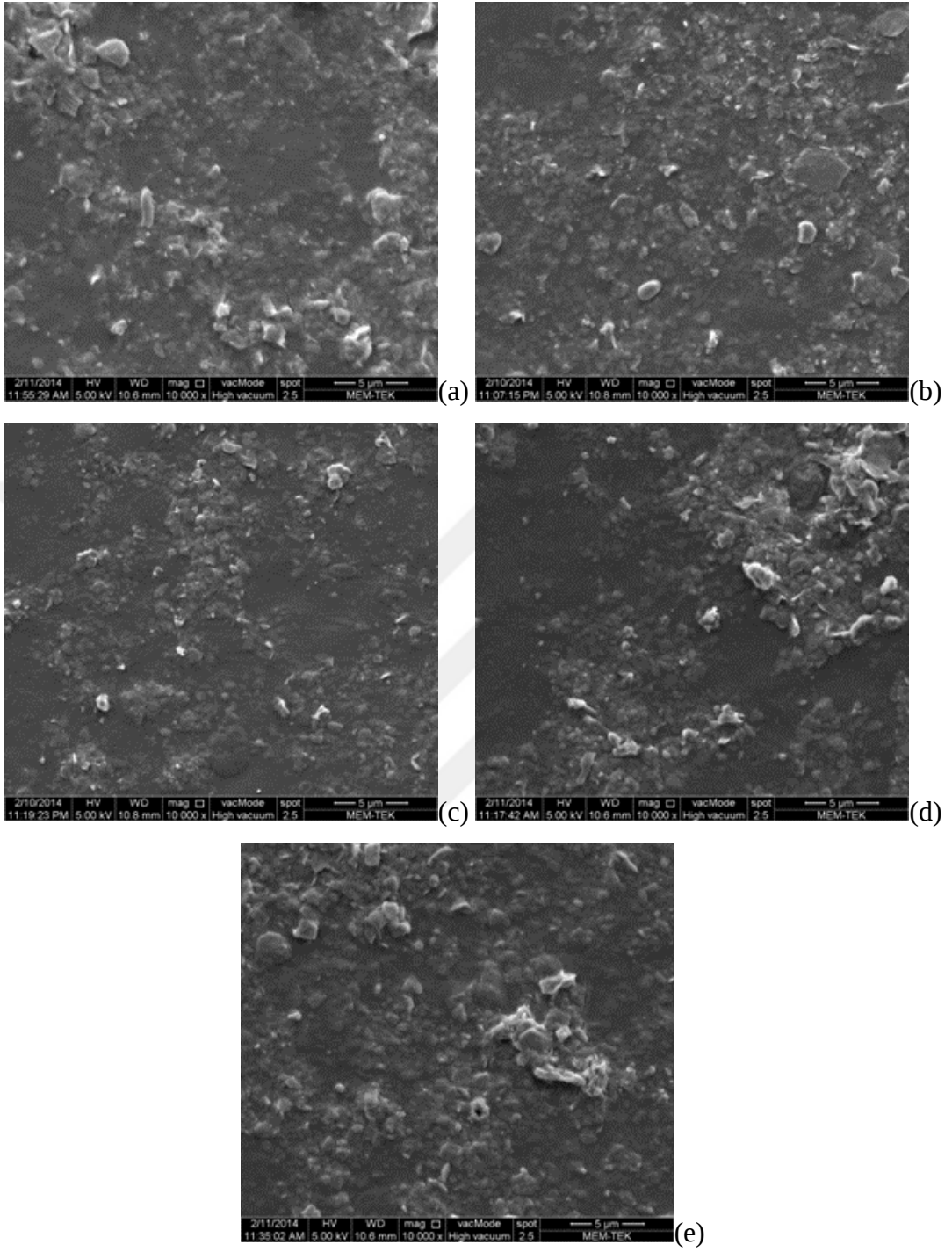


Şekil 4.112: Ömerli Göl suyu (Temmuz 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey görüntüleri (a) CNT'sız, b) 8-15 nm, c) 20-30 nm, d) 30-50 nm, e) >50 nm, f) SWCNT).

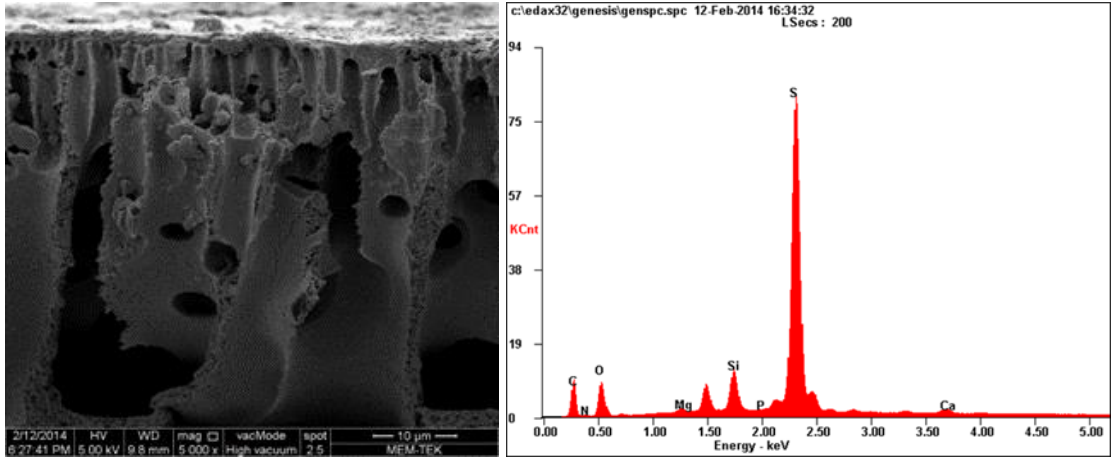


Şekil 4.113: Ömerli Göl suyu (Temmuz 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların kesit alanı görüntüsü ile EDS analizi.

Şekil 4.114’de, Büyükçekmece göl suyu (Ekim 2013) filtre edilen farklı tanecik çapına sahip CNT ile sentezlenen % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranlar için elde edilen yüzey görüntüleri gösterilmiştir. Yüzey görüntülerine bakıldığında, her bir membran için yüzeyde birikmenin meydana geldiği gözlenmiştir. Şekil 4.115’de ise, % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranı için elde edilen kesit alanı görüntüleri ve EDS analizi yer almaktadır. EDS analizinde Büyükçekmece göl suyu filtrasyonu sonrası membranda yine aynı elementlere rastlandığı görülmektedir.

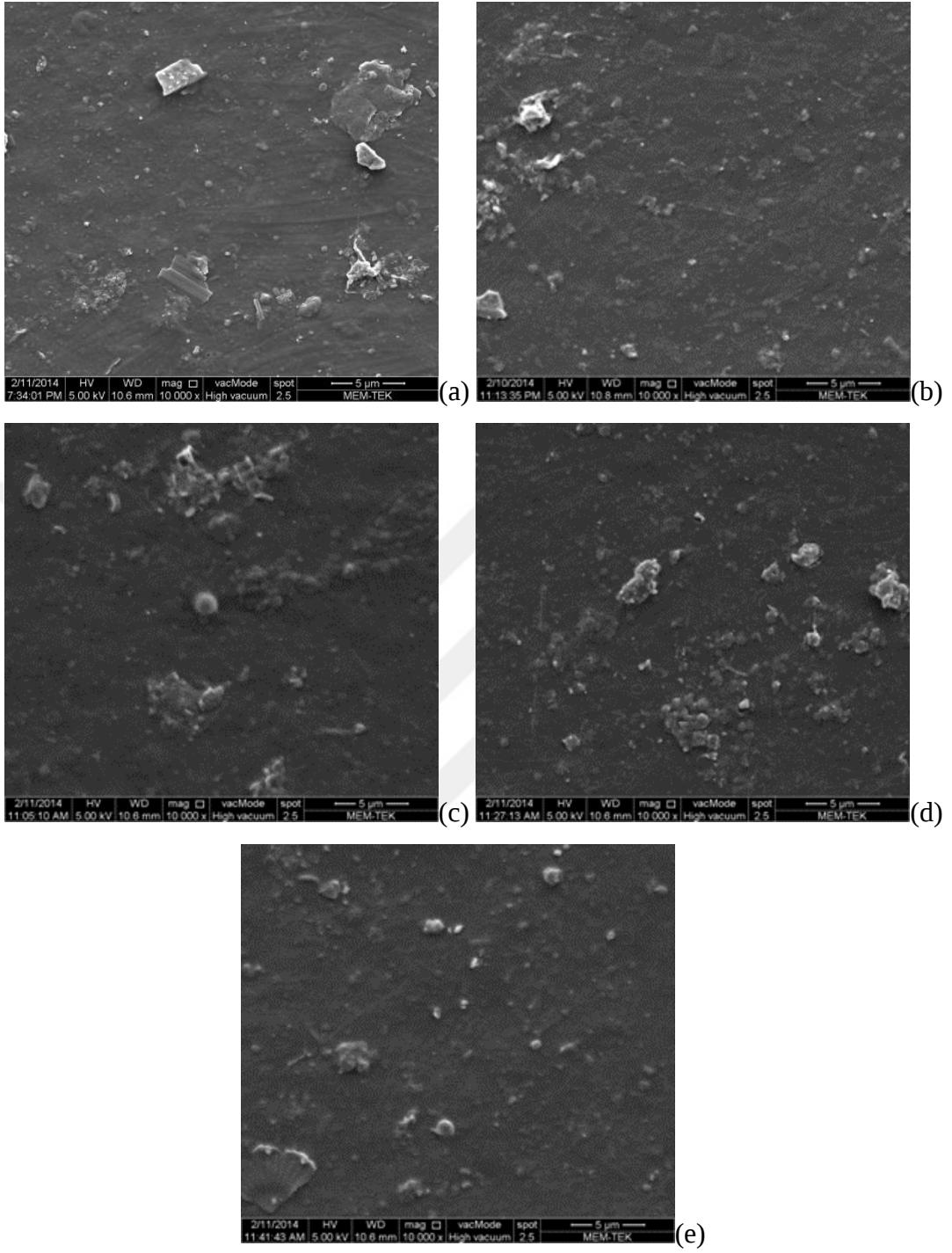


Şekil 4.114: Büyükçekmece Göl suyu (Ekim 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey görüntüleri (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).

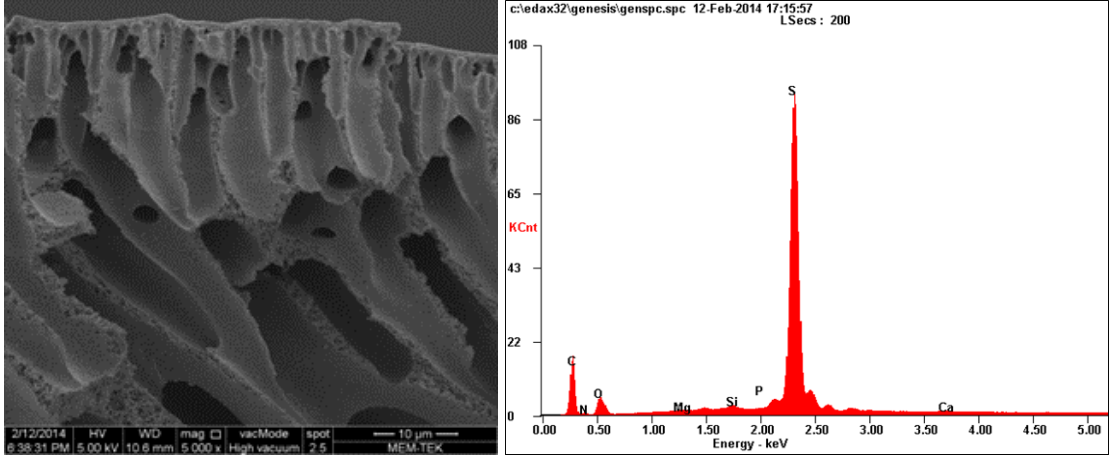


Şekil 4.115: Büyükçekmece Göl suyu (Ekim 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların kesit alanı görüntüsü ile EDS analizi.

Şekil 4.116 ve Şekil 4.117’de ise, yine Ömerli Barajı suyu (Ekim 2013) filtre edilen % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranlarına ait yüzey görüntüleri ve % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranı için elde edilen kesit alanı görüntüleri ve EDS analizi yer almaktadır. EDS analizinde Ömerli Barajı suyu filtre edilen membranda C, N, O, Mg, Si, P, S ve Ca elementlerine rastlanmıştır.

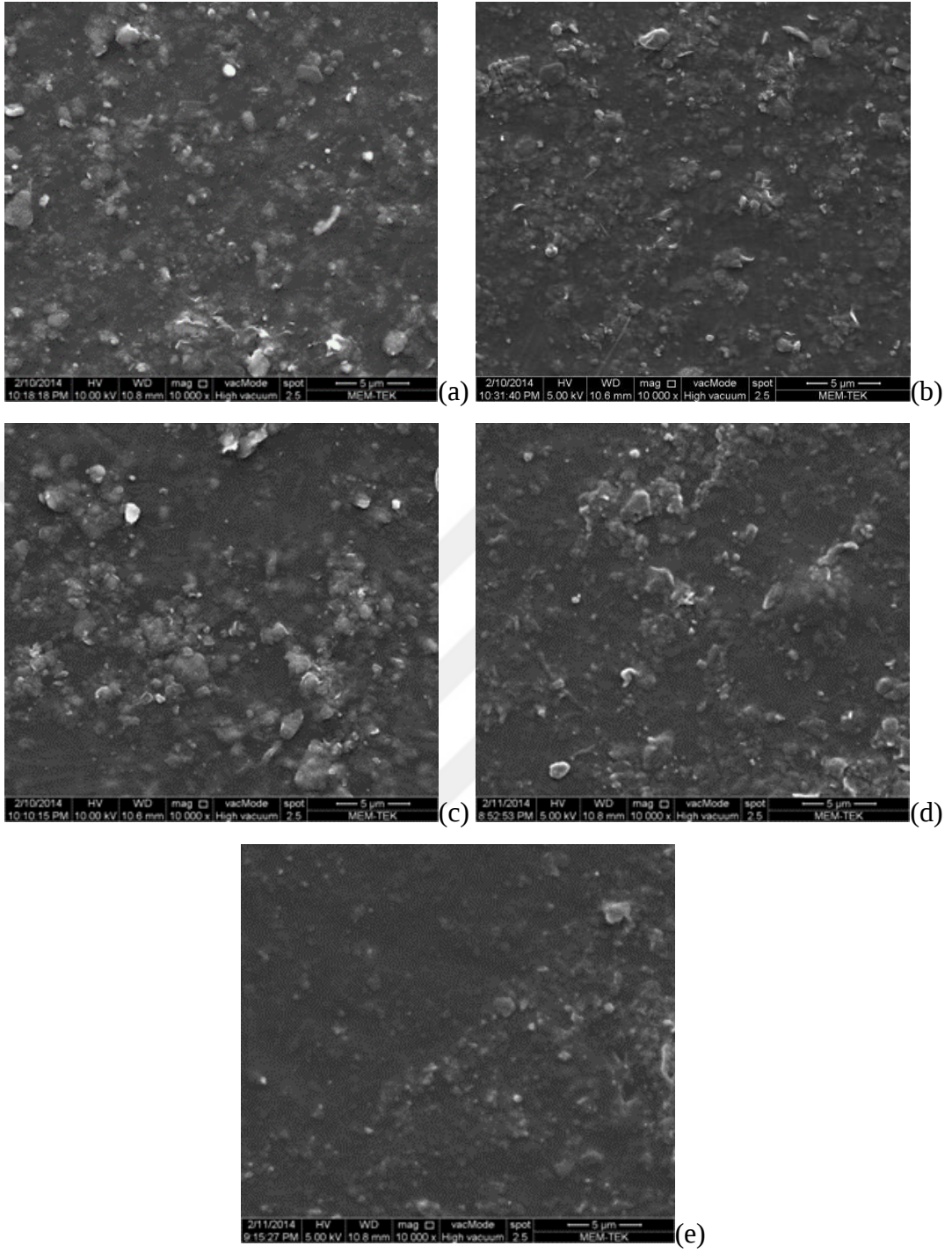


Şekil 4.116: Ömerli Göl suyu (Ekim 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey görüntüleri (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).

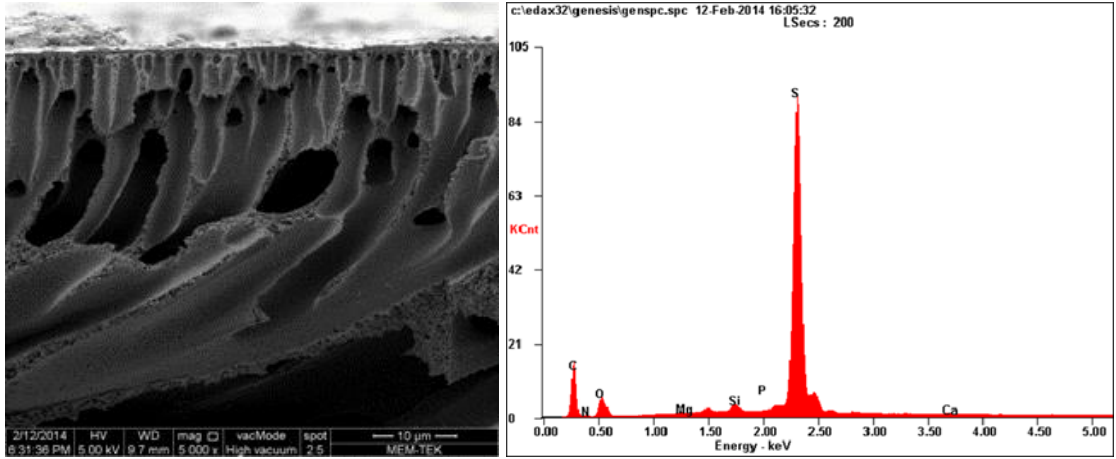


Şekil 4.117: Ömerli Göl suyu (Ekim 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların kesit alanı görüntüsü ile EDS analizi.

Şekil 4.118’de, Büyükçekmece göl suyu (Aralık 2013) filtrasyonu sonrası % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranları için elde edilen yüzey görüntüleri bulunmaktadır. Yüzey görüntülerine bakıldığında, yüzeyde inorganik yapıların konumlandığı net bir şekilde görülmektedir. Şekil 4.119’da ise, % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranı için elde edilen kesit alanı görüntüleri EDS analiziyle verilmiştir. EDS analizinde Büyükçekmece göl suyu filtre edilen membranda yine aynı elementlere rastlandığı görülmüştür.

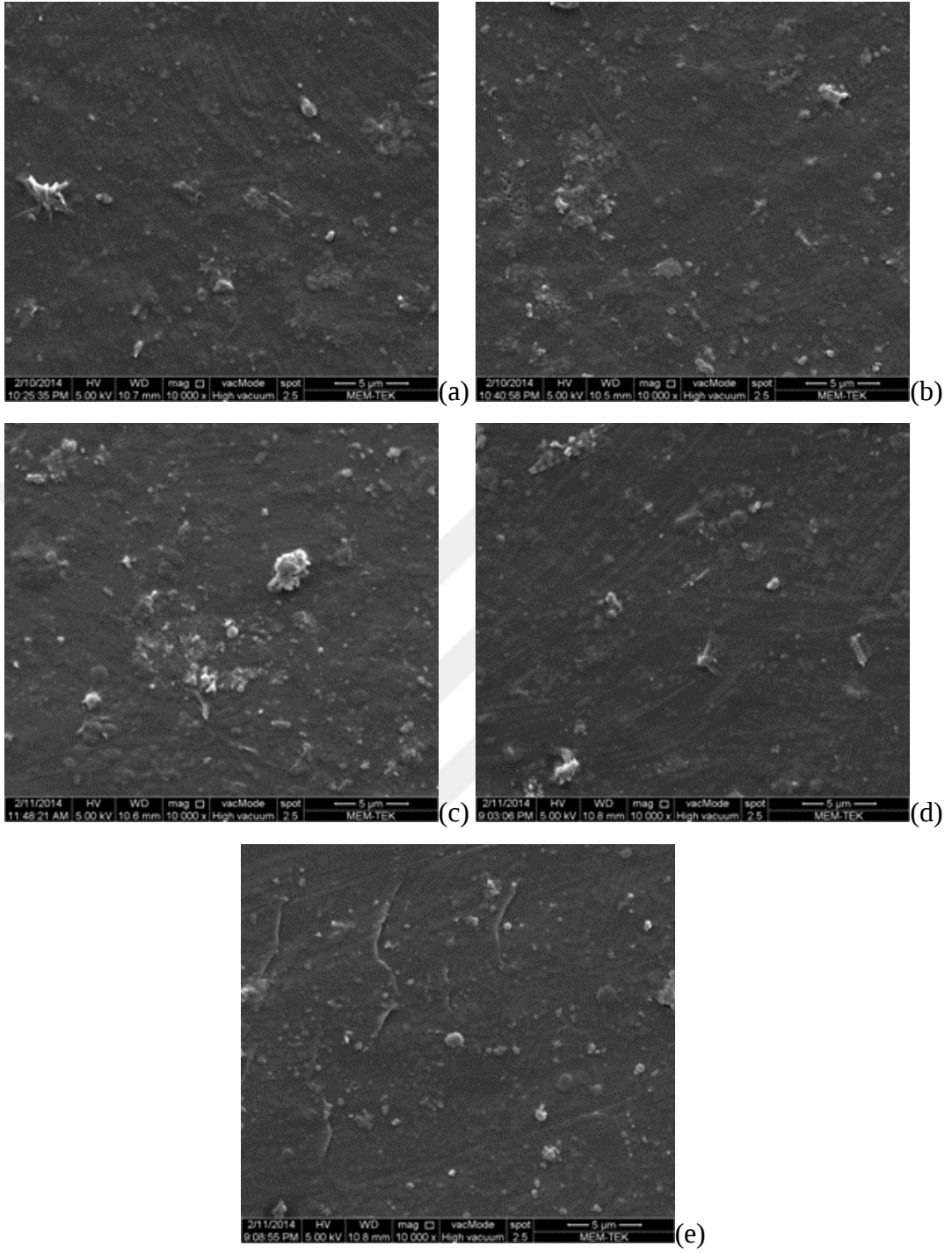


Şekil 4.118: Büyükçekmece Göl suyu (Aralık 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey görüntüleri (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).

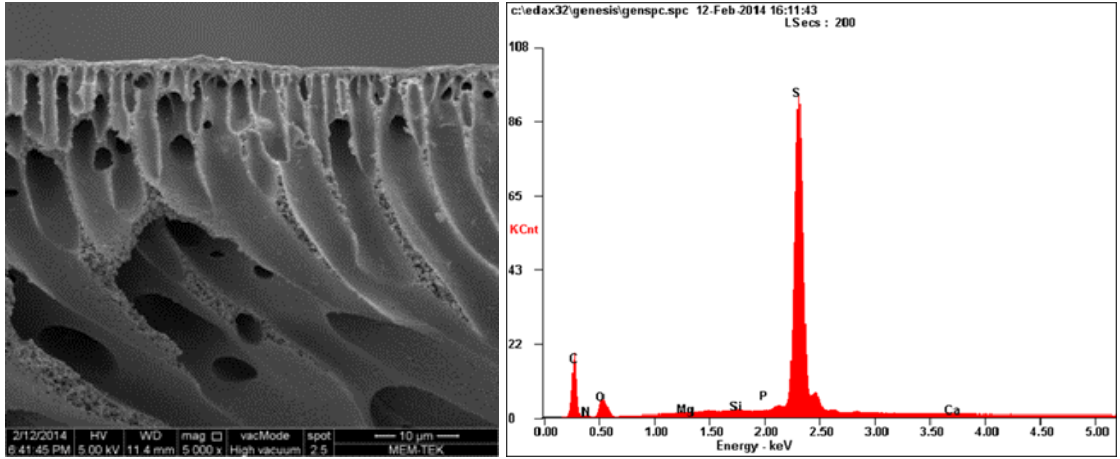


Şekil 4.119: Büyükçekmece Göl suyu (Aralık 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların kesit alanı görüntüsü ile EDS analizi.

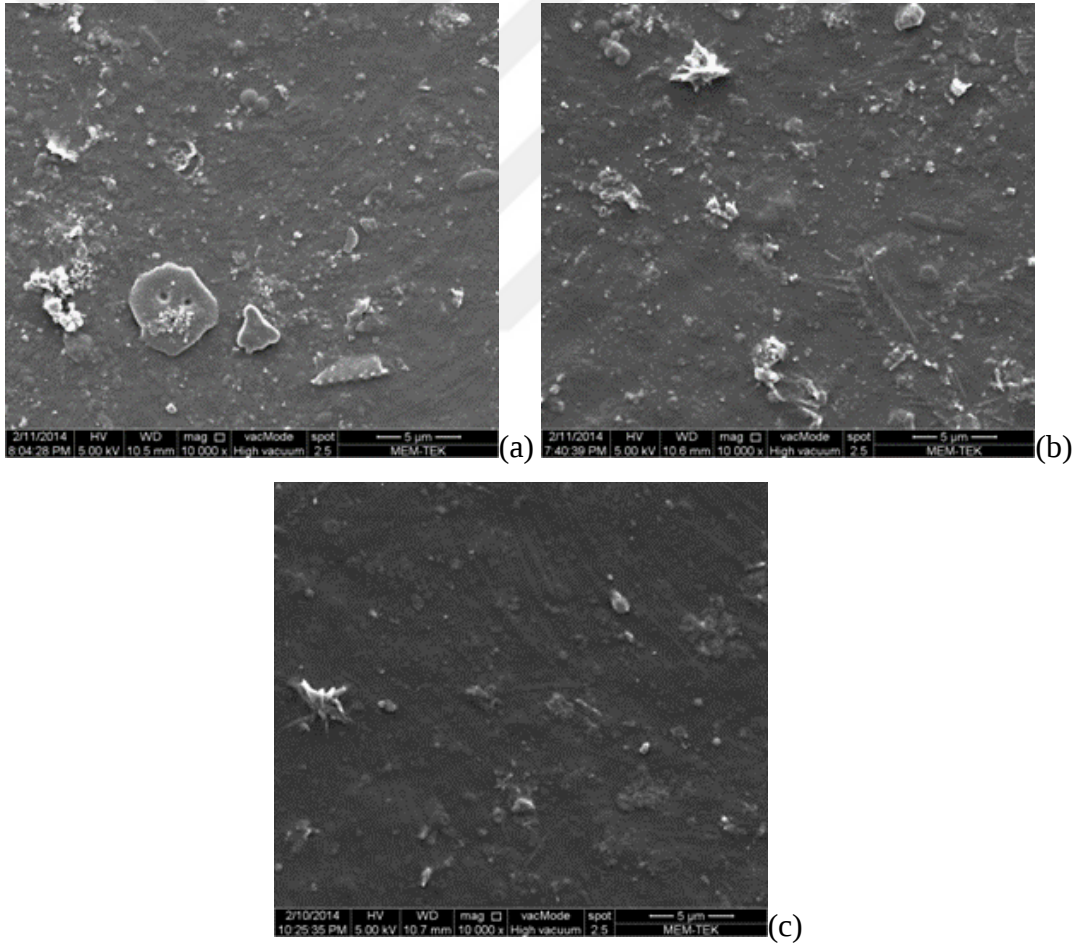
Şekil 4.120 ve Şekil 4.121’de ise, Ömerli Barajı suyu (Aralık 2013) filtre edilen % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranlarına ait yüzey görüntüleri ve % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranın kesit alanı görüntüleri EDS analizi ile yer almaktadır. Şekil 4.122’de ise % PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey görüntüleri verilmiştir. Yüzey görüntüleri, membranların yüzeyindeki yapıların görülmesini net bir şekilde sağlarken EDS analizinde ise C, N, O, Mg, Si, P, S ve Ca elementlerinin yer aldığı ifade edilebilir.



Şekil 4.120: Ömerli Göl suyu (Aralık 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların yüzey görüntüleri (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).



Şekil 4.121: Ömerli Göl suyu (Aralık 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların kesit alanı görüntüsü ile EDS analizi.

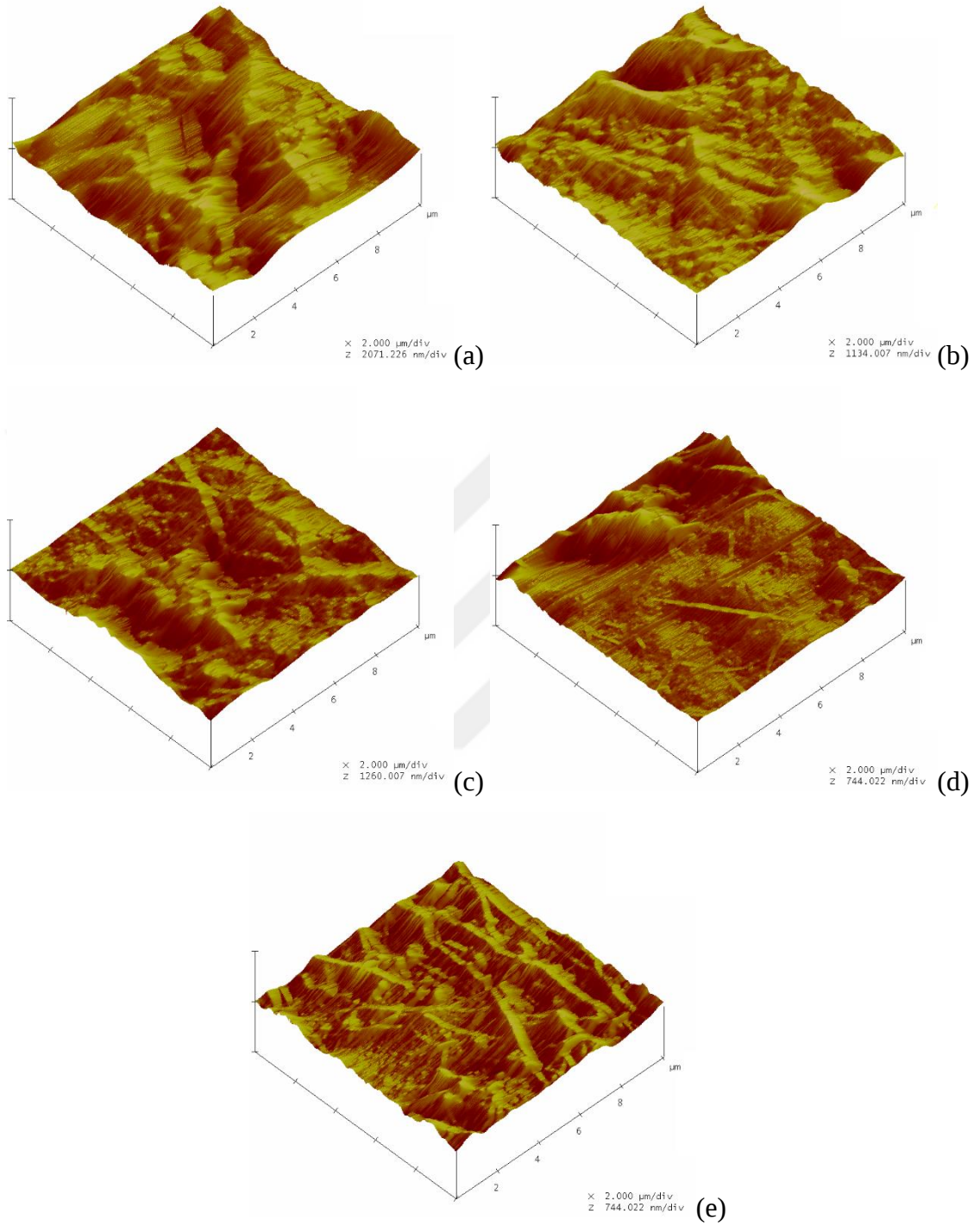


Şekil 4.122: Ömerli Göl suyu (Aralık 2013) filtrasyonu yapılmış % PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların yüzey görüntüleri (a) % 14 PES, b) % 16 PES, c) % 18 PES).

4.3.3. Filtrasyonu Tamamlanan Membranların AFM Görüntüleri

% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analizleri sonucu elde edilen görüntüleri Şekil 4.123 (a-e)'de farklı CNT tanecik çapı içeriklerine göre toplu halde verilmiştir.



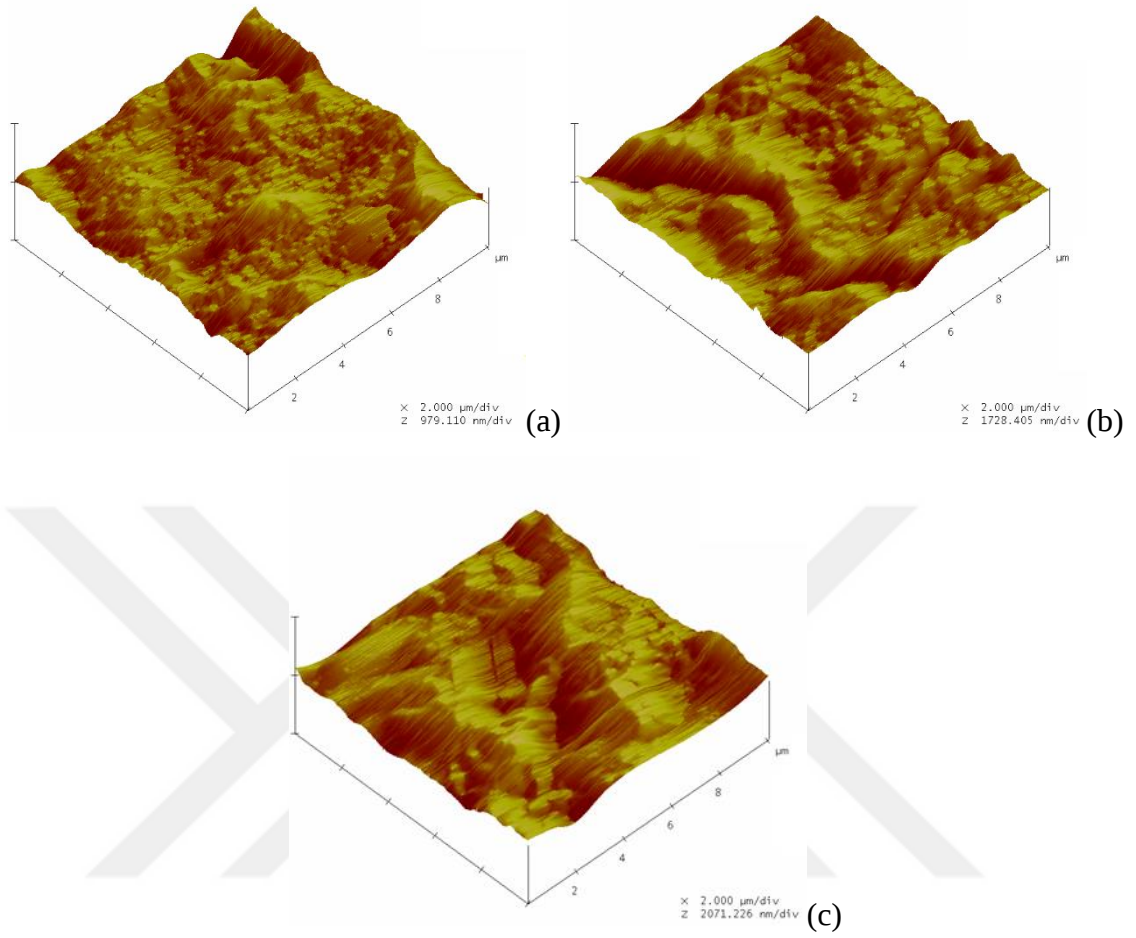


Şekil 4.123: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).

% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analizinde ölçülen ortalama pürüzlülük (R_a) değerleri Tablo 4.31’de verilmiştir. Sentetik numune (tanin) filtrasyonu sonrası % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranlarının hepsi için pürüzlülük değeri artmıştır. % 18 PES/% 8 PVP/%

Tablo 4.31: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların Ra değerleri.

Sentetik numune (tanin) filtrasyonu sonrası CNT (8-15 nm)'li membranların AFM analizleri sonucu elde edilen görüntüleri Şekil 4.124 (a-c)'de gösterilmiştir. Pürüzlülük değerleri ise sayısal olarak Tablo 4.32'de verilmiştir. Sentetik numune filtrasyonu ile pürüzlülük değerleri artmış olup, en yüksek pürüzlülük değerlerine % 18 PES içeren membranda ulaşılmıştır.



Şekil 4.124: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların AFM analiz sonuçları (a) % 14 PES, b) % 16 PES, c) % 18 PES).

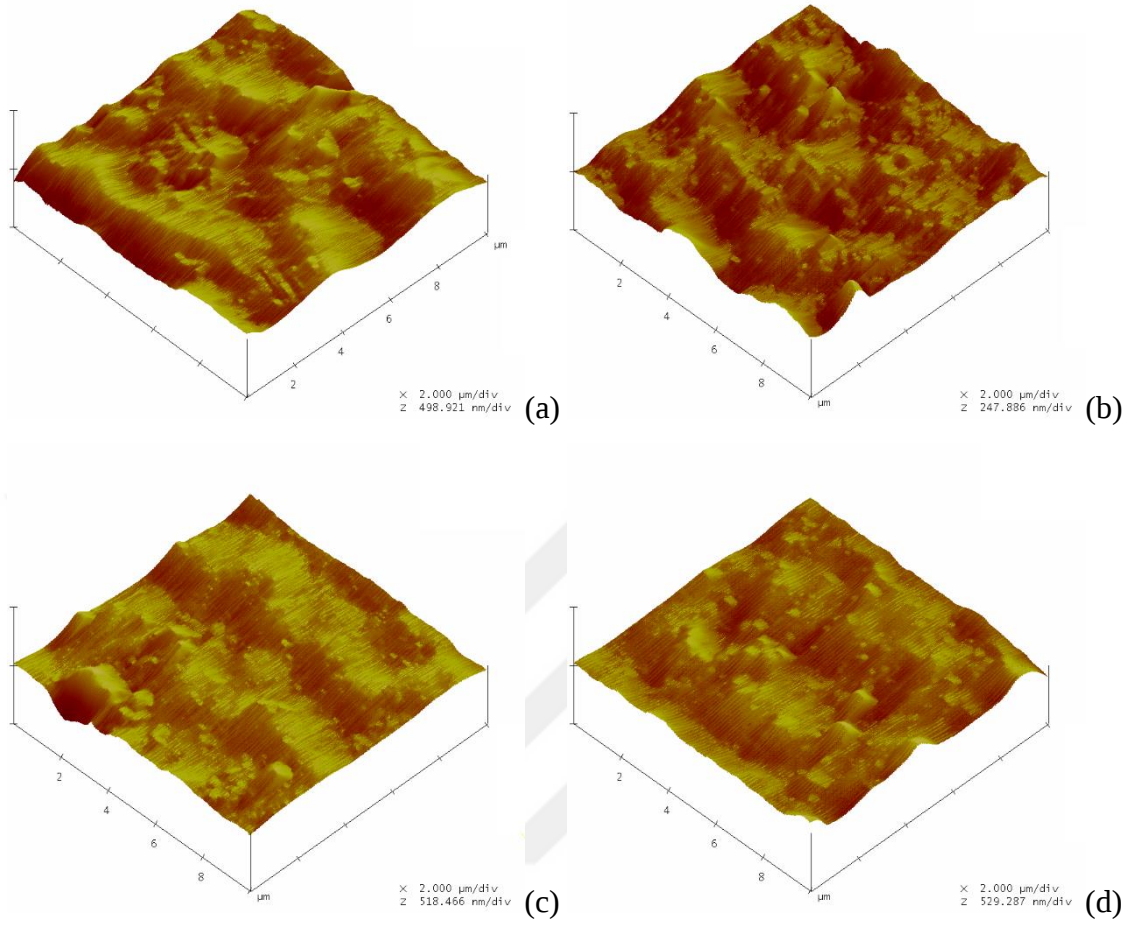
Tablo 4.32: Sentetik numune (Tanin) filtrasyonu yapılmış % PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranların Ra değerleri.

Numune	Membran Türü		Ra (Ortalama Pürüzlülük, nm)
Tanin	% PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm)	% 14 PES	42,768
		% 16 PES	69,188
		% 18 PES	78,394

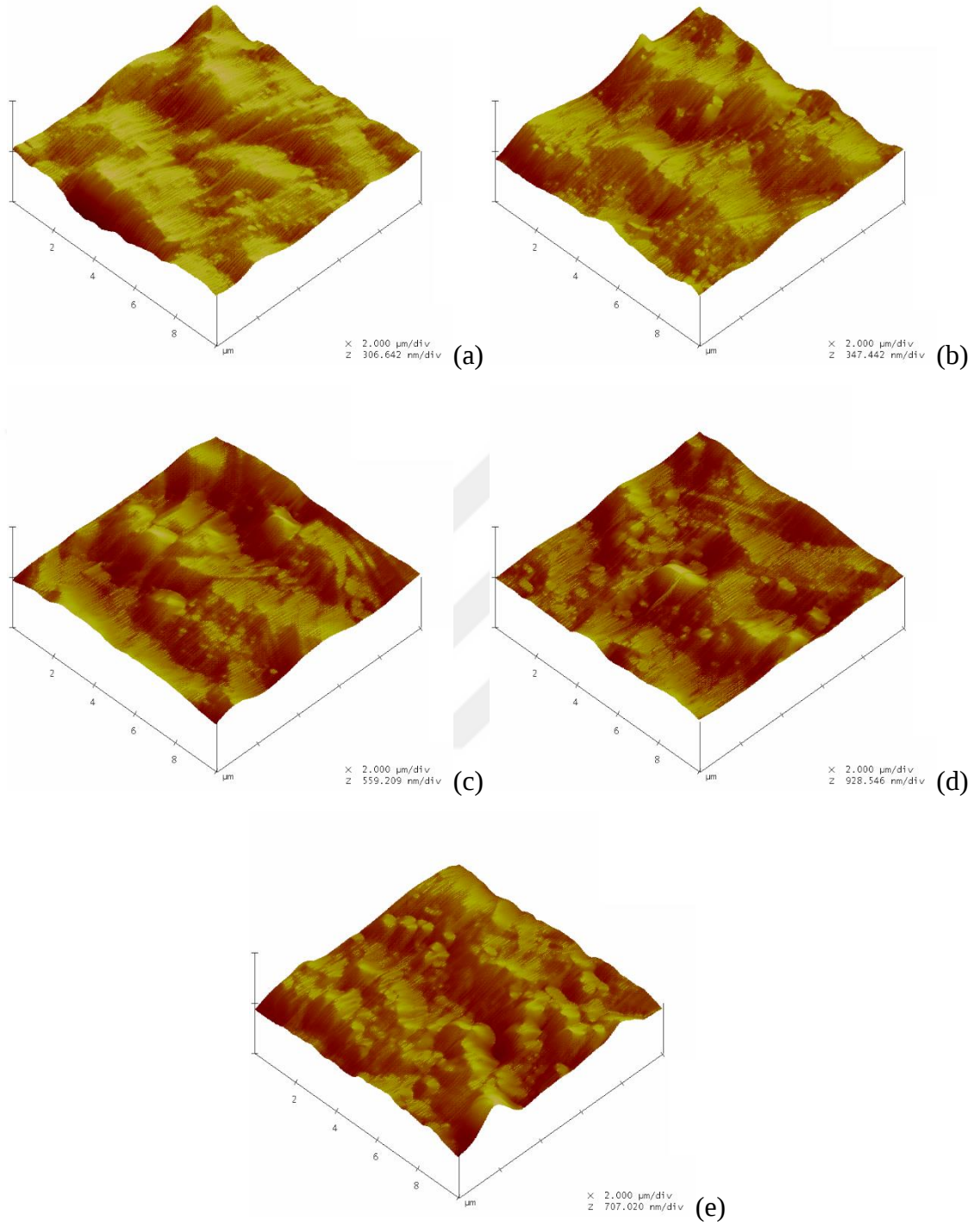
Büyükçekmece göl suları filtrasyonu sonrası % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analizleri sonucu elde edilen görüntüleri Şekil 4.125 (a-e) ve Şekil 4.127 (a-e) arasında yer almaktadır. Pürüzlülük değerleri ise sayısal olarak Tablo 4.33’de verilmiştir. En yüksek pürüzlülük değeri, Temmuz 2013’te alınan numune için 8-15 nm tanecik çapı ile sentezlenen

membranda karşımıza çıkarken Ekim 2013 ve Aralık 2013 tarihlerinde alınan gl suyu numuneleri için bu SWCNT içeren membranlar ile oluşmuştur.

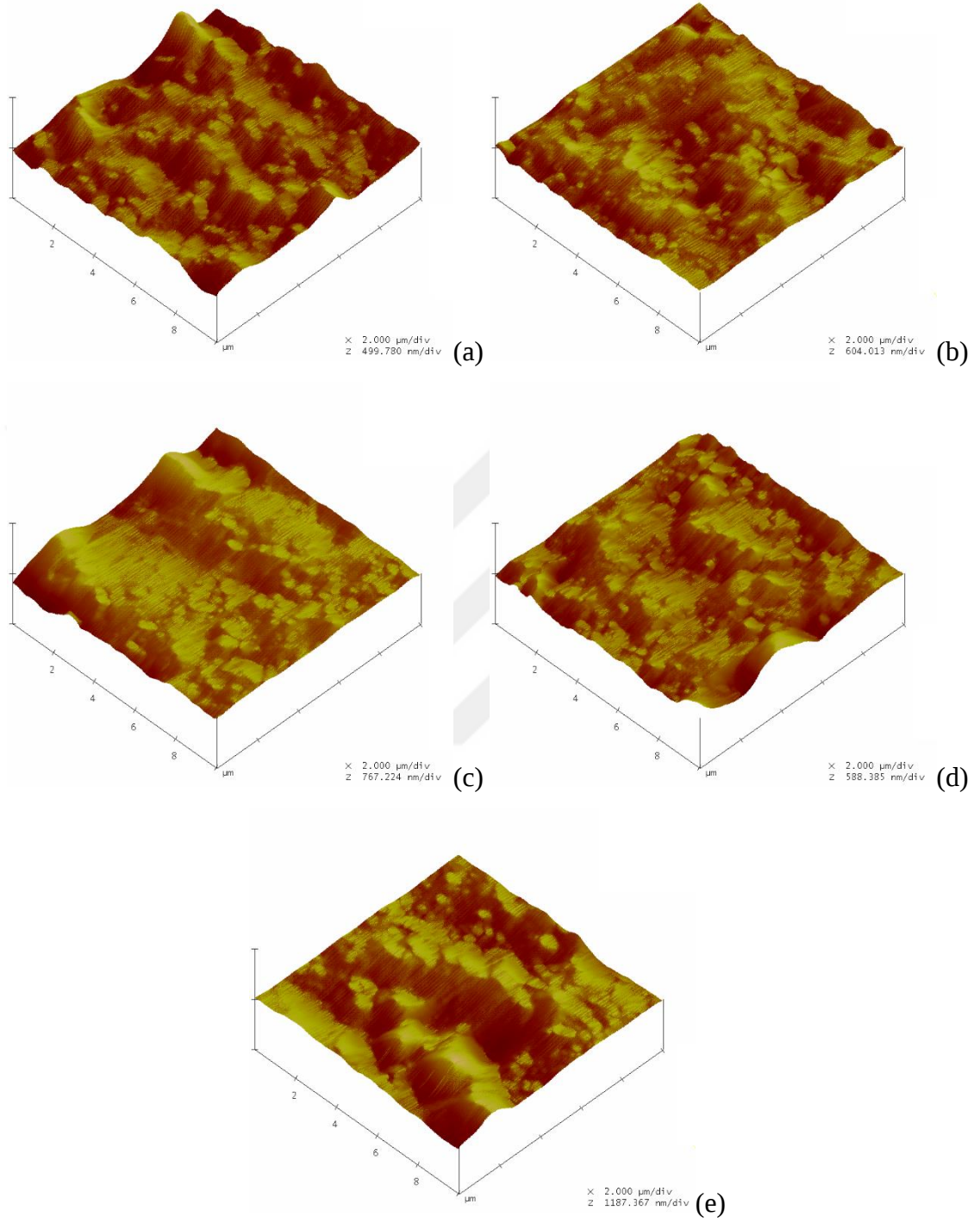




Şekil 4.125: Büyükçekmece göl suyu (Temmuz 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) SWCNT).



Şekil 4.126: Büyükçekmece göl suyu (Ekim 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).



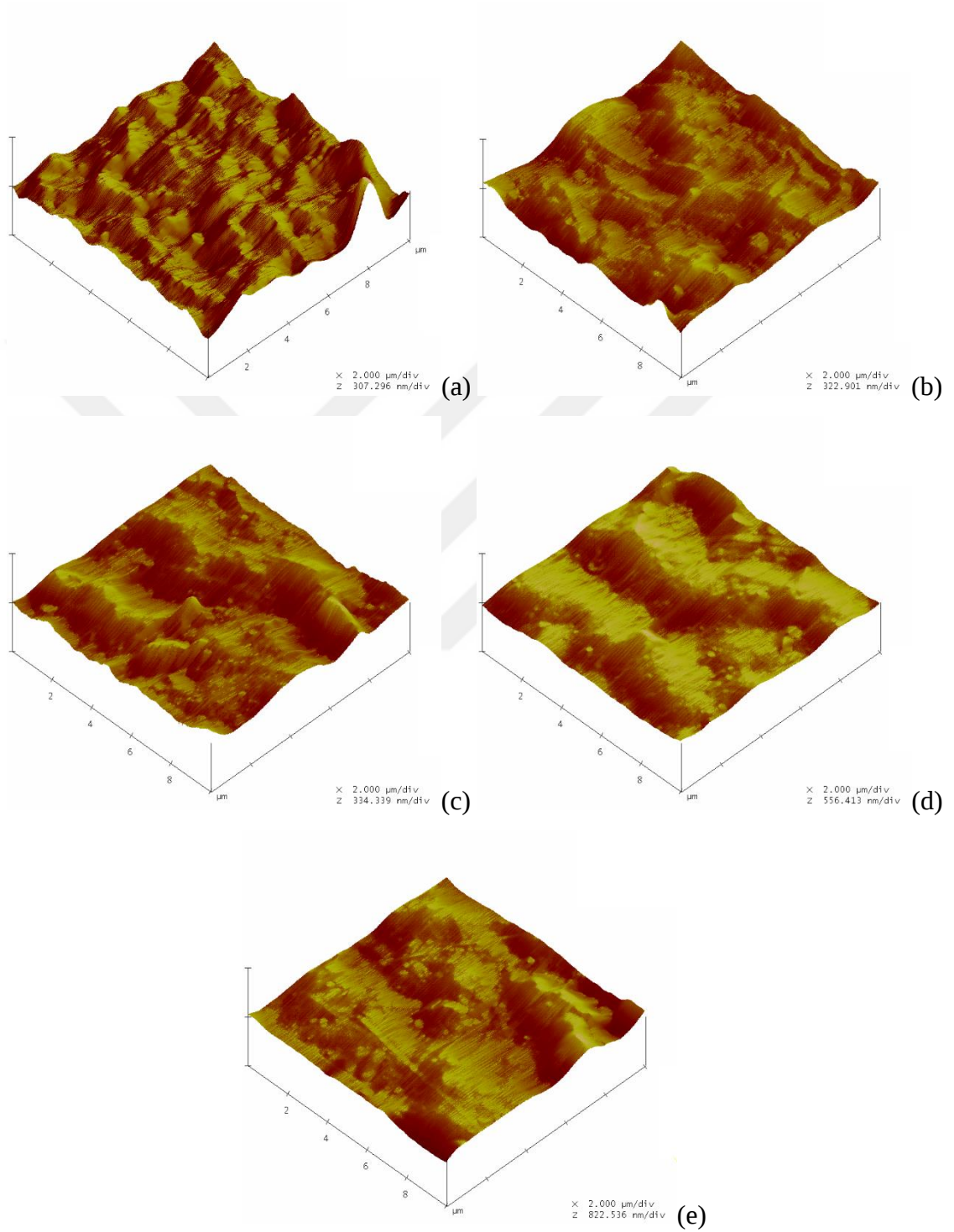
Şekil 4.127: Büyükçekmece göl suyu (Aralık 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).

Tablo 4.33: Büyükçekmece göl suyu filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların Ra değerleri.

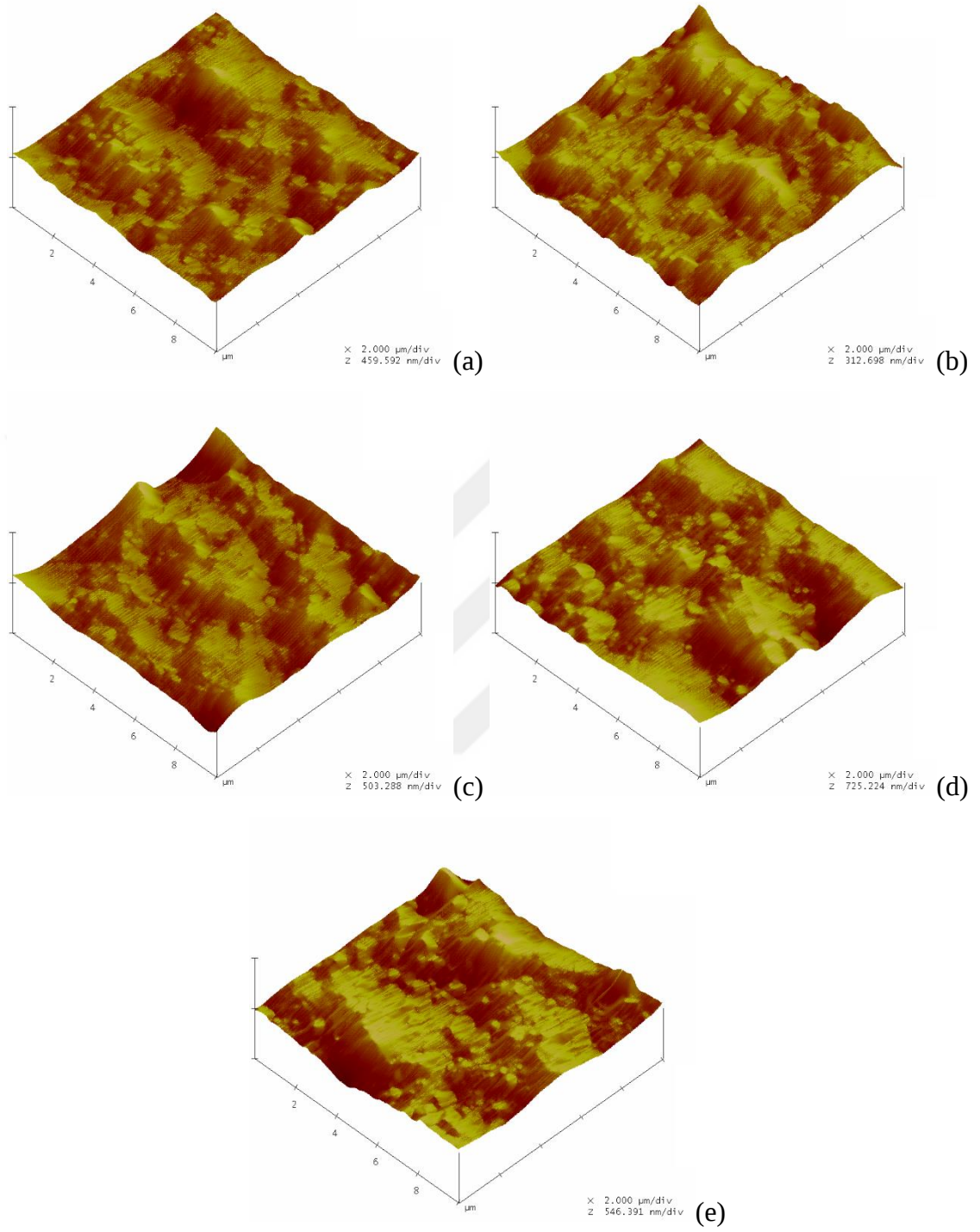
Numune	Membran Türü	Ra (Ortalama Pürüzlülük, nm)
Büyükçekmece (Temmuz 2013)	% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT	8-15 nm
		20-30 nm
		30-50 nm
		>50 nm
		SWCNT
Büyükçekmece (Ekim 2013)	% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT	8-15 nm
		20-30 nm
		30-50 nm
		>50 nm
		SWCNT
Büyükçekmece (Aralık 2013)	% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT	8-15 nm
		20-30 nm
		30-50 nm
		>50 nm
		SWCNT

Bu kısımda, Ömerli Göl suyu numuneleri filtrasyonu sonrasında % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analizleri sonucu elde edilen görüntüleri Şekil 4.128 (a-e), Şekil 4.129 (a-e) ve Şekil 4.130 (a-e) ile sunulmuştur. Pürüzlülük değerleri ise sayısal olarak Tablo 4.34’de verilmiştir. Temmuz 2013’te alınan numune için 8-15 nm tanecik çapı ile sentezlenen membranda en yüksek pürüzlülük değeri oluşmuşken, Ekim 2013 ve Aralık 2013 tarihlerinde

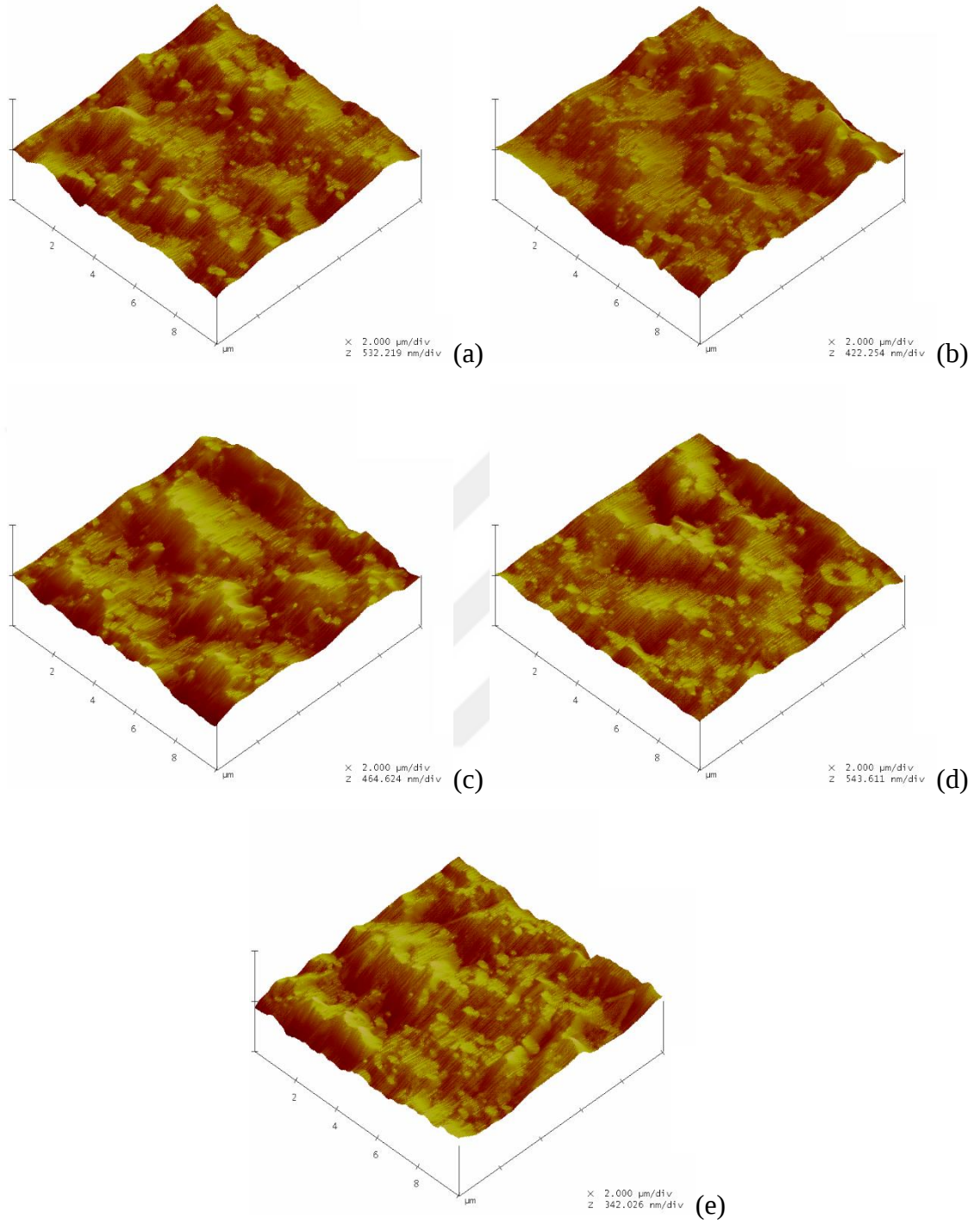
alınan göl suyu numuneleri için bu >50 nm tanecik çapına sahip CNT ile sentezlenen membranlarda meydana gelmiştir.



Şekil 4.128: Ömerli göl suyu (Temmuz 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).



Şekil 4.129: Ömerli göl suyu (Ekim 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).



Şekil 4.130: Ömerli göl suyu (Aralık 2013) filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların AFM analiz sonuçları (a) 8-15 nm, b) 20-30 nm, c) 30-50 nm, d) >50 nm, e) SWCNT).

Tablo 4.34: Ömerli göl suyu filtrasyonu yapılmış % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranların Ra değerleri.

Numune	Membran Türü	Ra (Ortalama Pürüzlülük, nm)
Ömerli (Temmuz 2013)	% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT	8-15 nm
		20-30 nm
		30-50 nm
		>50 nm
		SWCNT
Ömerli (Ekim 2013)	% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT	8-15 nm
		20-30 nm
		30-50 nm
		>50 nm
		SWCNT
Ömerli (Aralık 2013)	% 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT	8-15 nm
		20-30 nm
		30-50 nm
		>50 nm
		SWCNT

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma kapsamında % PES/% 8 PVP/% CNT membranlarının sentezi için faz inversiyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, CNT-COOH tanecikleri NMP içeren solvente eklenmiş ve ardından CNT taneciklerinin NMP solventi içinde iyice dağılması sağlamak için ultrason homojenizatörü kullanılmıştır. Bu işlemin ardından, PES polimeri ve PVP kimyasalı NMP içeren solvente eklenip 60 °C’de sabit hızda 24 saat karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Ağırlıkça PES polimerinin oranı % 14, % 16, % 18, % 20 ve CNT miktarları ise % 0.5, % 1, % 2, % 4 olarak ayarlanmıştır. Proje kapsamında Çin’de bulunan Timesnano firmasından sipariş edilen karboksilik grup ihtiva eden CNT tanecikleri kullanılmıştır. Aynı zamanda, bu proje kapsamında hem farklı CNT boyutunun hemde farklı PES içeriğinin uygulanması ile elde edilen polimerik membran türünün permeabilite ve arıtma giderimi miktarlarına olan etkisi detaylı bir şekilde ortaya çıkarılmıştır. CNT tanecik çapının artmasının permeabilite değerlerinde bir miktar artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Membran bünyesindeki CNT tanecik çapının artması membran gözenek yapısının değişmesine neden olmuştur. Bu yoruma gerekçe olarak 8-15 nm tanecik çapına sahip CNT’ün fizikokimyasal özelliklerinin 20-30 nm CNT ye göre farklılık göstermesidir. Bu çalışmada belirtildiği gibi PES membranları içerisine CNT taneciklerinin eklenmesi ve homojen bir şekilde dağıtılması membran pürüzlülüğünü ve saf su akı miktarını artırmaktadır. Bunun yanında, % PES/% 8 PVP/% CNT polimerik membranlarının morfolojisi ve ayırma özelliklerinin bu kompozit membran içerisine eklenen CNT miktarları ile yakından ilgili olduğu görülmüştür.

Bu projede sentezi yapılan % PES/% 8 PVP ve % PES/% 8 PVP/% CNT membranların yüzey ve kesit alanı morfolojileri SEM görüntüleri ile karakterize edilmiştir. % PES/% 8 PVP membranların yüzey SEM görüntülerinin yoğun bir gözenek yapısına sahip olduğu belirlenmiştir. Söz konusu membranların PES içeriği arttıkça daha yoğun bir üst tabakaya ve yoğun bir gözenek yapısına sahip oldukları tespit edilmiştir. Yani, PES içeriği açısından %14’ten %20’ye doğru gidildikçe gözenek çapı beklendiği gibi düşüş göstermiştir. Diğer yandan tüm % PES/% 8 PVP membranların kesit alanı SEM görüntüleri süngerimsi yapıda benzer şekiller ortaya koymuştur. Faz inversiyon yöntemiyle sentezi yapılan söz konusu PES membranlarının geniş parmaklı yapılaraya sahip oldukları belirlenmiştir. % PES/% 8 PVP/% CNT membranların yüzey SEM görüntülerinden elde edilen sonuçlara göre, farklı CNT içeriğine sahip % PES/% 8 PVP/% CNT membranlarının, CNT içeriği arttıkça pürüzlü bir

yüzeye sahip olduğu görülmüştür. Literatür çalışmalarına paralel olarak bu proje kapsamında sentezi yapılan tüm % PES/% 8 PVP/% CNT membranları tipik bir asimetrik membran yapısı sergiledikleri tespit edilmiştir. Bu yapıda, en üstte yoğun bir tabaka, altında gözenekli bir tabaka ve daha sonra aşağı doğru makro gözenekli bir yapı oluşmaktadır. CNT içeriği arttıkça, membranların yüzeyinde daha fazla CNT biriktiği düşünülmektedir. Söz konusu bu membranların yüzeyindeki CNT içeriğinin artması, membran yüzeyini daha fazla hidrofilik yapmakta ve dolayısıyla temas açısı miktarının düşmesine neden olmaktadır.

Membranların yüzeyindeki fonksiyonel grupların belirlenmesi ve kimyasal yapısının ortaya konması amacıyla, bu çalışma kapsamında % PES/% 8 PVP ve % PES/% 8 PVP/% CNT membranlarının FTIR ölçümleri Perkin Elmer Spectrum 100 cihazı ile gerçekleştirilmiştir. % PES/% 8 PVP membranlar için elde edilen FTIR spektrumlarında, pik değerleri sırasıyla 1673, 1577, 1485, 1322, 1297, 1242, 1151, 1106, 1071, 1012, 872, 836 ve 719 cm^{-1} de okunmuştur. Bu FTIR pikleri uluslararası çalışmalar ışığında bir sınıflamaya tabi tutulduğunda; PES membranı yüzeyindeki aromatik bağlar 1577, 872 ve 719 cm^{-1} 'de ortaya çıkarken, 1485 cm^{-1} C_C ve C_S sülfür bağlarının varlığına işaret etmektedir. 1242 cm^{-1} 'de okunan değer ise membran yüzeyinde aromatik eter bağlarının (C_O_C) varlığını göstermektedir. 1106 cm^{-1} 'de okunan spektrum ise sulfonik asit fonksiyonel yapılarının varlığını ifade etmektedir. Ayrıca, 1146 cm^{-1} 'de okunan pik ise membran yüzeyindeki S=C bağlarının varlığını sergilemektedir. % PES/% 8 PVP/% CNT membranları için elde edilen FTIR spektrumlarında, pik değerleri (ortalama) sırasıyla 1660, 1578, 1486, 1464, 1412, 1322, 1297, 1242, 1151, 1106, 1072, 1011, 872, 836, 796, 719 ve 700 cm^{-1} de okunmuştur. % PES/% 8 PVP/% CNT membranlarının FTIR spektrumlarında 1464 ve 1414 cm^{-1} 'de okunan değerler, % PES/% 8 PVP/% CNT membranların % PES/% 8 PVP membranlardan farkını ortaya koyarak CNT varlığını göz önüne sermiştir.

AFM yöntemi membran yüzeyinin morfolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, AFM ölçümleri Digital Instruments marka cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Membranların AFM analizinde ölçülen ortalama pürüzlülük (R_a) değerleride okunmuştur. % PES/% 8 PVP membranlarda genel olarak polimer oranı arttıkça R_a değerlerinin de bir miktar düştüğü gözlemlense de bu durum % 18'lik membranda artış ile sonuçlanmıştır. En düşük pürüzlülüğe sahip membran % 20 PES/% 8 PVP (7.3 nm) membranı olarak belirlenmiştir. % 1 CNT (8-15nm) ilavesi ile membranların pürüzlülük değerleri, % 14

PES ve % 20 PES içeren membranlarda artış gösterirken % 16 PES ve % 18 PES içeren membranlarda azalmaya neden olmuştur. % 1 CNT (8-15nm)'li membranların tümünde en düşük pürüzlülük değerlerine % 16 PES içeren membranlarda (10.9 nm) ulaşılmıştır. Bu veriler ışığında, CNT içeriği ile pürüzlülük arasında net bir ilişkinin olmadığı ortaya konmuştur.

Katı yüzeylerin ıslanabilirliği çok önemli bir özelliktir ve yüzeyin kimyasal kompozisyonu ve jeometrikal mikroyapısı tarafından kontrol edilir. Bir yüzeyin hidrofobikliği bir yüzey ile bir sıvı damlası arasındaki temas açısının ölçülmesi şeklinde tanımlanır. Bu çalışmada, % PES/% 8 PVP ve % PES/% 8 PVP/% CNT membran yüzeylerinin temas açısı ölçümleri için KSV Attension marka Theta model temas açısı cihazı kullanılmış ve damlatma yöntemi ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında sentezlenen sırasıyla % PES/% 8 PVP membranları için elde edilen ortalama temas açısı değerleri PES oranı artışına göre (% 14 PES, % 16 PES, % 18 PES ve % 20 PES) sırasıyla 75, 76, 81 ve 84 derece olarak ölçülmüştür. PES polimerinin membrana hidrofobiklik kazandırdığı bilgisi ışığında, membran bünyesindeki PES yüzdesinin azalması membranın daha az hidrofobik olacağına veya başka bir deyişle daha fazla hidrofilik olacağına işaret etmektedir. Genellikle temas açısı ile hidrofilik içerik arasında ters bir ilişki söz konusudur. Yani, membran temas açısı miktarı azaldıkça, membranın hidrofilik içeriği artış gösterir. Bilimsel çalışmalar membran bünyesindeki CNT içeriğinin artmasıyla temas açısı değerinin azalmasının beklendiğini belirtmiştir. % 18 PES/% 8 PVP/% CNT membranlarında bir azalma trendi tespit edilmiştir. Öte yandan geriye kalan % 16 PES/% 8 PVP/% CNT ve % 20 PES/% 8 PVP/% CNT membranlarında önce bir artış ve ardından sürekli bir azalma eğilimi tespit edilmiştir. Bu durumun, membran bünyesindeki CNT ve PES içeriğine bağlı olarak, CNT taneciklerinin pozisyonları ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında sentezi yapılan % PES/% 8 PVP ve % PES/% 8 PVP/% CNT membranlarından içerisinde model organik bileşik bulunan sentetik çözeltiler süzölmüştür. % PES/% 8 PVP/% CNT membranlarından süzülen 6 adet model bileşiğin TOK ve UV₂₅₄ parametresi giderme verimleri tespit edilmiştir. Tanin için TOK ve UV₂₅₄ giderme verimi sırasıyla % 82 ve 73 olarak elde edilmiştir. Bunlara ilaveten, diğer 5 adet model bileşiğin arıtma verimi % 7 ile % 16 arasında değişmiştir. Yüksek moleküler ağırlığa sahip (4250 Da) tanin çözeltisinde yüksek arıtma verimi elde edilmesi beklenen bir durumdur. Öte yandan, düşük moleküler ağırlığa sahip ve ortalama 724 ile 960 Da arasında bir moleküler ağırlığa sahip 5 adet model organik bileşiğin membran sisteminde pek tutulamadığı görölmüştür. Bu TOK ve UV₂₅₄

giderme verimi trendi tüm % PES/% 8 PVP/% CNT membranlarında da gözlenmiştir. Öte yandan her membran grubu için en fazla akı azalma miktarının tanin çözeltisi filtrasyonunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında farklı tarihlerde Büyükçekmece ve Ömerli göl sularından alınan numunelerin su kalite parametreleri belirlenmiştir. 2013 yılındaki numune toplama dönemleri kapsamında, Temmuz ayından Aralık ayına gidildikçe sudaki iletkenlik parametresinin her iki su kaynağı için bir artış gösterdiği görülmüştür. İletkenlik parametresinin artması sudaki çözünmüş madde miktarının artışına işaret etmektedir. Bu durumun gerekçesi olarak Aralık ayında meydana gelen yağışlar gösterilebilir. Özellikle Büyükçekmece Göl suyunda, bulanıklılık ve TOK parametresinde ciddi artışlar tespit edilmiştir. Bu artışlar göl suyundaki organik ve inorganik kökenli maddelerin çözünmüş ve kolloidal formda membranları tıkamasına neden olabilmektedir. Ömerli Göl suyunda bu tür bir artış trendi pek gözlenmemiştir. Genellikle her iki göl suyunda Temmuz ayından Aralık ayına gittikçe suyun hümit içeriğinin ($SUVA_{254}$) azaldığı ya da başka bir ifadeyle hidrofilik içeriğinin arttığı belirlenmiştir. Hidrofilik karakterli suların arıtılması çok zordur. Bu tür organik yapılar düşük moleküler ağırlığa sahip suda iyi çözünen alifatik yapılardır. Genellikle membran sistemlerinde nanofiltrasyon membranları ile giderimleri sağlanır. Bu projede sentezlenen membranların tamamı UF membranı olduğu için organik madde gideriminin düşük olacağı beklenmektedir. Göl sularındaki TOK parametresinin arıtma veriminin % 30'un altında kalması beklenen bir durumdur.

Çalışma kapsamında sentezlenen membranlardan söz konusu bu iki göl suyunun filtrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. En yüksek TOK ve UV_{254} giderme verimi CNT tanecik çapı >50 nm olan membran için Büyükçekmece Göl suyunda sırasıyla % 16,8 ve 36,6 olarak elde edilmiştir. UV_{254} arıtma verimleri TOK parametresine nazaran daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, aromatik yapıli bileşiklerin membran tarafından daha iyi giderildiğine işaret etmektedir. Ömerli göl suyunda yapılan membran filtrasyon sonuçları, bu su kaynağındaki TOK bileşiklerinin daha fazla giderildiğini göstermektedir. Aynı durum UV_{254} parametresi arıtımı değerleri için de geçerlidir. Ham sudaki hümit madde içeriğinin bir göstergesi olan $SUVA_{254}$ parametresinin Ömerli Göl suyu için Büyükçekmece Göl suyundan biraz fazla olması bunun bir gerekçesi olarak gösterilebilir. Bilindiği gibi hümit madde içeriği arttıkça sudaki çözünmüş organik maddelerin moleküler ağırlıkları da artmaktadır. Moleküler ağırlığının artması suyun

hidrofobikliğinin artması olarak anlaşılmakta ve membran sistemlerinde giderme verimine genellikle pozitif yönde etki etmektedir. Büyükçekmece Göl suyunun membran filtrasyonu sonucu % PES/% 8 PVP membranı için TOK giderme verimi % 6,34 olarak tespit edilmiştir. Öte yandan >50 nm den büyük tanecik çapına sahip % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranında TOK giderme verimi ise % 16,81 olarak belirlenmiştir. % PES/% 8 PVP membranlarında giderme mekanizmasının PES polimerinden kaynaklanan hidrofobik adsorpsiyon ve boyut dışlama olduğu belirtilmektedir. Bunun yanında, CNT içerikli PES membranlarında ise organik madde giderim mekanizması CNT taneciklerinin yapısında bulunan karboksilik gruplardan dolayı elektrostatik itme olarak düşünülmektedir. Burada elektrostatik itme mekanizması negatif yüklü Doğal Organik Maddeler (DOM) ile membran yüzeyindeki negatif yüklü karboksilik gruplar arasında meydana gelmektedir. Göl suları arasındaki TOK giderme verimi farklılıkları ham sulardaki organik maddenin moleküler ağırlığı, hidrofilikliği ve inorganik iyon matriksi tarafından kaynaklanmaktadır. Diğer yandan, Büyükçekmece Göl suyu numunesin membran filtrasyonu sonucu en fazla akı azalma miktarının %1 CNT içeren % 18'lik CNT/PES (8-15 nm) membranında görüldüğü tespit edilmiştir. Ömerli Göl suyu numunesinin membran filtrasyonu sonucu en yüksek akı azalma trendi ise yine % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT (8-15 nm) membranında belirlenmiştir. % PES/% 8 PVP ve farklı tanecik boyutuna sahip % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranlarının neredeyse tümünde aynı paralelde bir akı azalma trendi gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar bize CNT/PES membranlarında kayda değer bir organik maddenin giderilmediğini ve bununda membranda organik madde içeriğinden kaynaklı ciddi bir tıkanmaya neden olmadığını göstermektedir. Dolayısıyla, membranda meydana gelen tıkanmanın inorganik orijinli olduğu görülmektedir.

Göl suyu numunesi filtrasyonu sağlanan membranların yüzey görüntülerinde, sudaki inorganik içerikli kolloidal yapıların membran yüzeyinde biriktiği gözlenmiştir. EDS spektrum görüntülerinden de anlaşılabileceği gibi, membran yüzeyinde CaCO_3 ve MgSO_4 kristallerinin varlığı gözlenmektedir. Kesit alanı görüntülerinde ise, parmakı uzun ince kanallı CNT yapıların varlığı ve alt tabakadaki makrogözenekli yapıların boyutlarında değişiklik olduğu görülmüştür. EDS spektrum görüntüleri, göl sularının membran filtrasyonu sonucu membran yüzeyinde Ca (CaCO_3) ve Mg (MgSO_4) gibi sertlik kökenli maddelerin birikimine işaret etmektedir. Membran yüzeyindeki sülfür (S) pikinin poliethersülfon (PES) polimerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. 5 adet model bileşiklerle hazırlanmış sentetik çözeltilerin (5 mg/L konsantrasyonunda anilin, benzoik asit, glutamik asit, glisin ve sitrik asit sentetik

çözeltileri) membran filtrasyonu gerçekleştirildikten sonra, kirlenen membranların FTIR spektrumları tespit edilmiştir. Ancak, FTIR spektrumlarına baktığımızda temiz membranlardan farklı pik elde edilmediği görülmektedir. Özellikle söz konusu bu 5 adet model bileşiğin membranlarda tutunmadığı görülmüştür. Büyükçekmece ve Ömerli göl sularının membran filtrasyonu sonucu farklı CNT tanecik çapı içeren % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranları ile 8-15 nm tanecik çapı ile sentezlenen farklı PES içerikli membranlar için elde edilen FTIR spektrumlarında, pik değerleri (ortalama) sırasıyla 1638, 1416, 1010, 914, 872, 796, 668 cm⁻¹ de okunmuştur. Temiz membranlardan farklı olarak, membranların yüzeyindeki aromatik bağlı C-H grubu 914 cm⁻¹'de ortaya çıkarken, vinil bağlı C-H'nin varlığı ise 668 cm⁻¹'de ortaya çıkmıştır. Büyükçekmece ve Ömerli Göl sularından alınan numunelerin % 18 PES/% 8 PVP/% 1 CNT membranlarından süzülmesi sonucu ortaya çıkan kirli membranların AFM görüntüleri üç boyutlu resimler olarak bu çalışmada verilmiştir. Genellikle göl sularının süzülmesi sonucu, membran yüzeyindeki pürüzlülük değerlerinin bir miktar arttığı görülmektedir. Membran yüzeyindeki birikintinin inorganik kökenli olduğu EDS analizleri ile de konfirme edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında sentezi yapılan tüm % PES/% 8 PVP ve % PES/% 8 PVP/% CNT membranların tipik bir asimetric membran yapısı sergiledikleri tespit edilmiş ve bu yapıda, en üstte yoğun bir tabaka, altında gözenekli bir tabaka ve daha sonra aşağı doğru makro gözenekli bir yapı oluşmuştur. Çalışma kapsamında sentezi yapılan farklı % PES/% 8 PVP/% CNT membranları için CNT miktarı arttıkça temas açısı değerlerinde bir azalma eğilimi gözlenmiştir. Bu çalışma kapsamında sentezi yapılan % PES/% 8 PVP ve % PES/% 8 PVP/% CNT membranlarından 6 farklı model organik bileşiğin membran filtrasyon gerçekleştirilmiş ve % PES/% 8 PVP/% CNT membranlarından süzülen bu model bileşiklerin tanin hariç membran sisteminde pek tutulmadığı görülmüştür. Bu çalışmada sentezlenen membranların tamamı UF membranı olduğu için organik madde gideriminin düşük olacağı beklenmektedir. Proje kapsamında sentezlenen membranlardan Büyükçekmece ve Ömerli göl sularının süzülme işlemi gerçekleştirilmiştir. En yüksek TOK ve UV₂₅₄ giderme verimi CNT tanecik çapı >50 nm olan membran için Büyükçekmece Göl suyunda sırasıyla % 16,8 ve 36,6 olarak elde edilmiştir. UV₂₅₄ arıtma verimleri TOK parametresine nazaran daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, aromatik yapıli bileşiklerin membran tarafından daha iyi giderildiğine işaret etmektedir. Göl suları arasındaki TOK giderme verimi farklılıkları ham sulardaki organik maddenin moleküler ağırlığı, hidrofilikliği ve inorganik iyon matriksi tarafından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar bize, % PES/% 8 PVP/% CNT membranlarında kayda değer bir organik

maddenin giderilmediğini ve bununla membranda organik madde içeriğinden kaynaklı ciddi bir tıkanmaya neden olmadığını göstermektedir. Dolayısıyla, membranda meydana gelen tıkanmanın inorganik orijinli olduğu görülmektedir.

Göl suyu numunelerinin filtrasyonu esnasında CNT ile daha fazla temas etmesi ve DOM giderim verimini arttırmak amacıyla membran yüzey kaplama teknolojisi kullanılarak membranların geliştirilmesinin, farklı bir çalışma konusu olabileceği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Arcella, V., Colaianna, P., Maccone, P., Sanguinetti, A., Gordano, A., Clarizia, G., Drioli, E., 1999, A Study on a Perfluoropolymer Purification and its Application to Membrane Formation, *Journal of Membrane Science*, 163, 203-209.
- Arthanareeswaran, G., Srinivasan, K., Mahendran, R., Mohan, D., Rajendran, M., Mohan, V., 2004, Studies on cellulose acetate and sulfonated poly(ether ether ketone) blend ultrafiltration membranes, *European Polymer Journal*, 40, 751-762.
- Baker, R.W., 2004, *Overview of Membrane Science and Technology*, Membrane Technology and applications, 2nd ed., Wiley, England.
- Blanco, J.F., Sublet, J., Nguyen, Q.T., Schaetzel, P., 2006, Formation and morphology studies of different polysulfones-based membranes made by wet phase inversion process, *J. Membr. Sci.*, 283, 27-37.
- Celik, E., Liu, L., Choi, H., 2011, Protein fouling behavior of carbon nanotube/polyethersulfone composite membranes during water filtration, *Water Research*, 45, 5287-5294.
- Celik, E., Park, H., Choi H., Choi H., 2010, Carbon nanotube blended polyethersulfone membranes for fouling control in water treatment, *Water Research*, 45, 274-282.
- Chen, W., Duan, L., Wang, L., Zhu, D., 2008, Adsorption of hydroxyl- and amino-substituted aromatics to carbon nanotubes, *Environmental Science and Technology*, 42 (18), 6862–6868.
- Chen, Y., Li, C.P., Chen, H., Chen, Y., 2006, One-dimensional nanomaterials synthesized using high-energy ball milling and annealing process, *Sci. Technol. Adv. Mater*, 7, 8, 839.
- Choi, J.H., Jegal, J., Kim, W., 2006, Fabrication and characterization of multi-walled carbon nanotubes/polymer blend membranes, *Journal of Membrane Science*, 284, 406-415.
- Donnet, J. B., Bansal, R.C., Wang, M.J., 1993, *Carbon black: Science and Technology*, 2nd ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 1-5.
- Dresselhaus, G., 2001, *Carbon nanotubes: Synthesis, structure, properties and applications*, New York: Springer, 77-80.
- Dresselhaus, M. S., Dresselhaus, G., Saitov, R., 1995, *Physics of carbon nanotubes*, Carbon 33: 883-891.
- Ebbesen, T. W., Hiura, H., Fujita, J., Ochiai, Y., Matsui, S., Tanigaki, K., 1993, Patterns in the bulk growth of carbon nanotubes, *Chem. Phys. Lett.*, 209, 1-2, 83-90.
- Feng, C., Shi, B., Li, G., Wu, Y., 2004, Preparation and properties of microporous membrane from poly(vinylidene fluoride-co-tetrafluoroethylene) (F2.4) for membrane distillation, *Journal of Membrane Science*, 237, 15-24.

- Fiorito, S., 2008, Carbon nanotubes: Angels or demons, Singapore, Pan Stanford Publishing Pte. Ltd. 72.
- Gojny, F. H., 2004, Functionalisation effect on the thermo-mechanical behaviour of multi-wall carbon nanotube/epoxy-composites, *Compos. Sci. Technol.*, 64: 2303.
- Gojny FH, Wichmann M, Kopke U, Fiedler B, Schulte K., 2004, CNT–reinforced epoxy composites: enhanced stiffness and fracture toughness at low nanotube content, *Compos Sci Technol.*, 64:2363–71.
- Hosam, A., Shawky, So-Ryong Chae, Shihong Lin, Mark R., Wiesner, 2011, Synthesis and characterization of a carbon nanotube/polymer nanocomposite membrane for water treatment, *Desalination*, 272, 46-50.
- Hu, Y., ve diğ., 2006, Carbon nanostructures for advanced composites, *Rep. Prog. Phys.*, 69: 1847.
- Kang, I., ve diğ., 2006, Introduction to carbon nanotube and nanofiber smart materials, *Composites*, B 37: 382.
- Kratschmer, W., ve diğ., 1990, C60: a new form of carbon, *Nature*, 347: 354.
- Ma, P.C., ve diğ., 2010, Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: A review, *Composites*, Part A 41: 1345.
- Monthieux, M., ve diğ., 2006, Who should be given the credit for the discovery of carbon nanotubes?, *Carbon*, 44: 1621.
- Mulder, M., 1997, Basics Principles of Membrane Technology, 2nd Edition, *Kluwer Academic Pub.*, Dordrecht, Netherlands.
- Peng, K., Hombergera, L., Nguyena, C. V., Sopory, U., 2007, Processing of dispersed and aligned multi-walled carbon nanotubes in polyvinylidene fluoride, *Journal of Advanced Materials*, 39, (2), 24-31.
- Pinnau, I., Freeman, B., 2000, Membrane Formation and Modification, *American Chemical Society*, Washington, DC, 1-15.
- Qiu, S., Wu, L., Pan, X., Zhang, L., Chen, H., Gao, C., 2009, Preparation and properties of functionalized carbon nanotube/PSF blend ultrafiltration membranes, *Journal of Membrane Science*, 342, 165-172.
- Reddy, A.V.R., Patel, H.R., 2008, Chemically treated polyethersulfone / polyacrylonitrile blend ultrafiltration membranes for better fouling resistance, *Desalination*, 221, 318-323.
- Reich, S., ve diğ., 2004, Carbon nanotubes: Basic concepts and physical properties, 3. New York: Wiley-VCH.
- Strathmann, H., Giorno, L., Drioli, E., 2006, An Introduction to Membrane Science and Technology, *Institute on Membrane Technology*.

- Thostenson, E. T., v.d., 2001, Advances in the science and technology of carbon nanotubes and their composites: a review, *Compos. Sci. Technol.*, 61: 1899.
- Tomaszewska, M., 1996, Preparation and properties of flat-sheet membranes from poly(vinylidene fluoride) for membrane distillation, *Desalination*, 104, 1-11.
- Ulbricht, M., 2006, Advanced functional polymer membranes, *Polymer*, 47, 2217-2262.
- Vatanpour, V., Madaeni, S. S., Moradian, R., Zinadini, S., Astinchap, B., 2011, Fabrication and characterization of novel antifouling nanofiltration membrane prepared from oxidized multiwalled carbon nanotube/polyethersulfone nanocomposite, *Journal of Membrane Science*, 375, 284-294.
- Vatanpour, V., Madaeni, S.S., Moradian, R., Zinadini, S., Astinchap, B., 2012, Novel antibifouling nanofiltration polyethersulfone membrane fabricated from embedding TiO₂ coated multiwalled carbon nanotubes, *Separation and Purification Technology*, 90, 69-82.
- Wang, L.K., Chen, J.P., Hung, Y.T., Shamas, N.K., 2011, Membrane and Desalination Technologies, *Handbook of Environmental Engineering*, Vol. 13, 670 p.
- Wang, X., Fang, D., Yoon, K., Hsiao, B.S., 2006, High performance ultrafiltration composite membranes based on poly(vinyl alcohol) hydrogel coating on crosslinked nanofibrous poly(vinyl alcohol) scaffold, *Journal of Membrane Science*, 278, 261-268.
- Wilson, M., 2002, Nanotechnology: Basic science and emerging technologies, 100, Boca Raton, FL, Chapman & Hall/CRC.
- Yang, K. Xing, B., 2007, Desorption of polycyclic aromatic hydrocarbons from carbon nanomaterials in water, *Environmental Pollution*, 145, 2, 529-537
- Zhang, S.J., Shao, T., Bekaroglu, S.S.K., Karanfil, T., 2009, The impacts of aggregation and surface chemistry of carbon nanotubes on the adsorption of synthetic organic compounds, *Environmental Science and Technology*, 43 (15), 5719–5725.
- Zhang, T.C., Surampalli R.Y., Vigneswaran, S., Tyagi, R.D., Ong, S.L., Kao, M., 2012, Membrane Technology and Environmental Applications, *Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers*, ISBN 978-0-7844-7689-5.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Vildan CANSIZ SELÇUK
Doğum Yeri	ŞİŞLİ
Doğum Tarihi	30.08.1985
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	0536 299 7186
E-Posta Adresi	cansiz.vildan@gmail.com
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Sakarya Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Çevre Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2007

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Çevre Mühendisliği Programı
Mezuniyet Tarihi	2011

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Çevre Mühendisliği Programı
Mezuniyet Tarihi	2017

Makale ve Bildiriler
Özçoban, M.S., Cansız Selçuk, V., Güneş Durak, S., Ormancı Acar, T., Tüfekci, N., 2017, Treatment of Some Metal Ions in Leachate in Compacted and Consolidated Clays and Variability Perability, <i>Fresenius Environmental Bulletin</i> , Sayı:26, Sayfalar:510-519.
Cansız, V., Uyak, V., Koyuncu, İ., 2013, Carbon nanotubes/Polyethersulfone (CNT/PES) Nanocomposite membranes fabrication and characterization, <i>The 7th IWA Specialised Membrane Technology Conference and Exhibition for Water and Wastewater Treatment and Reuse</i> , 25-29 August, Toronto, Canada.

- Karşı, D., Cansız Selçuk, V., Uyak, V., Koyuncu, İ., 2013, Karbon Nanotüplü Nanokompozit membran Üretimi ve Karakterizasyonu, *III. Ulusal Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu*, 26-27 Eylül, Elazığ/Türkiye.
- Cansız, V., Özçoban, M.S., Övez, S., Sengul, A.B., Tüfekci, N., 2012, The Removal of Microbial Activities of Leachate in the Clay Soil Subjected to Compaction and Consolidation, *International Conference on Recycling and Reuse*, 4-6 June, İstanbul/Türkiye.
- Özçoban, M.S., Övez, S., Cansız, V., Türkoğlu Demirkol, G., Tüfekci, N., 2011, Permeability and Removal Rate of Compacted Clays Permeated with Landfill Leachate for Microbial Activity, *1st International Conference on Desalination and Environment: A Water Summit*, 29 October – 1 November, Beach Rotana, Abu Dhabi.
- Cansız, V., Uyak, V., 2011, Karbon nanotüp (CNT) bazlı nanokompozit polimerik membranların içme suyu arıtımında kullanılması, *II. Ulusal Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu*, 2-3 Kasım, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Cansız, V., Ormancı, T., Şengül, A.B., Türkoğlu Demirkol, G., 2011, Sulardan Arsenik Giderim Yöntemleri ve Türkiye’deki Uygulamaları: Literatür Taraması, *Kıyı Bölgelerinde Çevre Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, 17-19 Kasım, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Güneş Durak, S., Türkoğlu Demirkol, G., Şengül, A.B., Cansız, V., 2011, Meyve Suyu Üretimi ile Açığa Çıkan Atıksuyun Mbr Sistem ile İyileştirilmesi, *Kıyı Bölgelerinde Çevre Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, 17-19 Kasım, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Ormancı, T., Türkoğlu Demirkol, G., Cansız, V., Güneş Durak, S., 2011, İnsani Maksatlı Tüketilen Sularda Miktar Ve Kalite Problemleri: Sebepleri, Etkileri Ve Çözümleri, *Kıyı Bölgelerinde Çevre Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, 17-19 Kasım, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.