İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇ ORTAM HAVASINDA BULUNAN UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN (UOB) FARKLI NANOMALZEME KATKILI POLİMERİK NANOLİF FİLTRELER İLE GİDERİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİLA AYDIN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi Programı

TEMMUZ 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇ ORTAM HAVASINDA BULUNAN UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN (UOB) FARKLI NANOMALZEME KATKILI POLİMERİK NANOLİF FİLTRELER İLE GİDERİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİLA AYDIN

501161705

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi Programı

Tez Danışmanı: Doç.Dr.Derya Yüksel İMER

TEMMUZ 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501161705 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Dila AYDIN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "İÇ ORTAM HAVASINDA BULUNAN UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN (UOB) FARKLI NANOMALZEME KATKILI POLİMERİK NANOLİF FİLTRELER İLE GİDERİLMESİ " başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç.Dr.Derya Yüksel İMER** **.....**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof.Dr.Kadir ALP** **….……..**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. C. Elif ÖZEN CANSOY **……...**
Piri Reis Üniversitesi

Teslim Tarihi : 14 Haziran 2020

Savunma Tarihi : 22 Temmuz 2020

Sevgili aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütme ve oluşumda ilgi ve desteğini benden esirgemeyen, değerli bilgi ve birikimini benimle paylaşan, kendisine danıştığım her konuda kıymetli zamanını bana ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle elinden gelenin fazlasını sunan, güler yüzünü ve samimiyetini benden hiç esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli danışmanım Doç. Dr. Derya Yüksel İmer'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Kadir ALP'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince konu, kaynak ve yöntem bakımından bana sürekli yardımda bulunarak yol gösteren, kıymetli zamanını bana ayıran ve değerli bilgilerini benimle paylaşan, bana kattığı her bilgi için sevgili hocam Doç. Dr. C. Elif Özen Cansoy'a teşekkür ederim.

Bu çalışmayı hazırlarken geçirdiğim süreç boyunca benden yardımlarını bir an olsun esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Elifnur Gezmiş Yavuş ve Esra Büyükada Kesici'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim, pozitif yönleriyle bana güç veren, en güzel anılarımı paylaştığım, birlikte çok güzel yıllar geçirdiğim ve daha nice güzel yıllar geçirmek istediğim, sonsuz güvendiğim ve çok sevdiğim, teşekkürlerin az kalacağı sevgili dostlarım Ebru Özkan ve Züleyha Sancak'a her koşulda yanımda oldukları için teşekkür ederim.

Tanıştığımız ilk günden beri her zaman yanımda olan, sevgisini ve dostluğunu her daim hissettiğim, beni olduğumdan daha iyi bir insan yapan ve akademik hayatımda yaşadığım iniş çıkışlarımda desteğini ve yardımını benden hiç esirgemeyen, gösterdiği sabır ve zekasına her daim hayran olduğum, çözümleri ve bakış açısıyla her zaman yanımda olduğunu ve olacağını bildiğim sevgili Furkan Aytekin'e teşekkür ederim.

Beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını çok iyi bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden desteklerini bir an için bile esirgemeyen, bu hayattaki en büyük şansın aile olduğunu bana hayatımın her döneminde hissettiren aileme sonsuz teşekkür ederim. Her başarımda yanımda olduğunuzu bilmek benim için çok büyük bir şans, iyi ki varsınız. Bugünlere gelmemde çok fazla emeği geçen, hayatım boyunca maddi manevi desteğini benden esirgemeyen, beni bugünlere büyük özveriyle getiren, başarılı olduğum her durumda belki de en çok sevinen, hayatımın her adımında onun mutlu olacağını düşünerek hareket ettiğim canım dedem Yusuf Aydın'a, tüm çocukluğum boyunca dizinden ayrılmadığım, onsuz bir gün bile geçirmediğim ve malesef şuan hayatta olmayan, yanımda olup geldiğim noktayı görmesini en çok istediğim ve çok özlediğim sevgili babaannem Emine Aydın'a, verdiğim her kararda bana destek olacağını bildiğim, fedakarlığını ve karşılıksız sevgisini her zaman bana hissettiren canım babam Sezgin Aydın'a, hayata karşı gösterdiği azmine, çalışkanlığına ve eğitime verdiği önemi her zaman örnek aldığım

annem Süreyya Aydın'a, hayatımın her alanını onunla paylaştığım, kardeşliğin sahip olunabilecek en güzel duygu olduğunu hissettiren, başarılarımın her zaman destekçisi olan ve bana güvenen canım kardeşim Yusuf Altar Aydın'a, her zaman desteği benimle olduğu, sonsuz güven duyabildiğim ve hayatımın her aşamasında hep yan yana olacağımızı hissettirdiği için çok teşekkür ederim.

Bu tez TÜBİTAK 118Y412 numaralı proje kapsamında yapılmıştır. Maddi desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Haziran 2020

Dila Aydın

Çevre Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
SEMBOLLER ..... **xiii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xx**
SUMMARY ..... **xxiii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 2
1.2 Tezin Anlam ve Önemi 3
2. LİTERATÜR **5**
2.1 İç Ortam Hava Kalitesi ve Standartları 5
2.2 Uçucu Organik Bileşikler (UOB), Ölçümü ve Kaynakları 8
2.3 İç Ortam Havasından UOB Giderimi İçin Kullanılan Yöntemler 11
2.3.1 Adsorpsiyon 12
2.3.2 Fotokatalitik oksidasyon 16
2.4 Nanolif Malzemelerin Üretimi 20
3. MATERYAL- METOT **25**
3.1 Kullanılan Kimyasal Malzemeler 25
3.2 Nanolif Filtreler için Polimer Çözeltilerinin Hazırlanması 25
3.3 Nanolif Filtreler için Elektroeğirme Yöntemi 28
3.4 Deney Setleri 29
3.4.1 Taguchi deneysel tasarım yönteminin uygulanması 29
3.4.2 Nanoliflerin üretim deney seti 31
3.5 Hava Filtrelerinin Karakterizasyonu 32
3.5.1 Üretilen nanoliflerin yapılarının ve çaplarının belirlenmesi 32
3.5.2 XRD ve FTIR analizleri 33

3.5.3 Nanolif filtrelerin mekanik testleri 36
3.6 Hava Filtrelerinin Performans Testleri 38
3.6.1 Hava geçirgenliği testi 38
3.6.2 Su buharı testi 40
3.6.3 Adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerindeki toluen giderim testleri 41
4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI 47
4.1 HNT ile Üretilen PA6 Nanoliflerin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ... 47
4.1.1 HNT-TiO_2 içeren nanoliflerin fiber çapı sonuçlarının değerlendirilmesi . 48
4.1.2 HNT-TiO_2 içeren nanoliflerin hava geçirgenliği sonuçlarının değerlendirilmesi 51
4.1.3 HNT-TiO_2 içeren nanoliflerin su buharı geçişi sonuçlarının değerlendirilmesi 52
4.1.4 HNT-TiO_2 içeren nanoliflerin FTIR sonuçlarının değerlendirilmesi 53
4.1.5 HNT-TiO_2 içeren nanoliflerin XRD sonuçlarının değerlendirilmesi 54
4.1.6 HNT-TiO_2 içeren nanoliflerin mekanik dayanım sonuçlarının değerlendirilmesi 56
4.1.7 HNT-TiO_2 içeren nanoliflerin adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerinde giderim verimleri sonuçlarının değerlendirilmesi 58
4.2 Nanokil ve PA6 ile üretilen nanoliflerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi 60
4.2.1 Nanokil-TiO_2 ve ZnO içeren nanoliflerin fiber çapı sonuçlarının değerlendirilmesi 62
4.2.2 Nanokil-TiO_2 ve ZnO içeren nanoliflerin hava geçirgenliği sonuçlarının değerlendirilmesi 67
4.2.3 Nanokil-TiO_2 ve ZnO içeren nanoliflerin su buharı geçişi sonuçlarının değerlendirilmesi 69
4.2.4 Nanokil-TiO_2 ve ZnO içeren nanoliflerin FTIR sonuçlarının değerlendirilmesi 71
4.2.5 Nanokil-TiO_2 ve ZnO içeren nanoliflerin SEM-EDS ve XRD sonuçlarının değerlendirilmesi 73
4.2.6 Nanokil-TiO_2 ve ZnO içeren nanoliflerin mekanik dayanım sonuçlarının değerlendirilmesi 74
4.2.7 Nanokil-TiO_2 ve ZnO içeren nanoliflerin toluen giderim verimleri sonuçlarının değerlendirilmesi 79
5. GENEL DEĞERLENDİRME 87
6. KAYNAKLAR 91
ÖZGEÇMİŞ 97

KISALTMALAR

AA : Asetik Asit

AC : Aktif Karbon

ASHRAE : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

CA : Selüloz Asetat

CEN : Avrupa Standartlar Komitesi

CFC : Klorofloro Karbon

DB : Değerlik Bandı

DMA : Dinamik Mekanik Analiz

DOE : Deneysel Tasarım Testleri

FA : Formik Asit

FTIR : Fourier-transform kızılötesi spektroskopisi

GC-MS : Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi)

HBS : Hasta Bina Sendromu

HCFC : Hidro Klorofloro Karbon

HNT : Halloysit Nanotüp

HNT-Ti : Halloysit ve titanyum dioksit içeren nanofiberler

ISO : International Organization for Standardization

İB : İletim Bandı

NK : Nanokil

NK-Ti : Nanokil ve titanyum dioksit içeren nanofiberler

NK-Zn : Nanokil ve çinko oksit içeren nanofiberler

PA 6,6 : Poliamit 6,6

PA6 : Poliamit 6

PAN : Poliakrilonitril

PET : Polietilen Tereftalat

PP : Polipropilen

PS : Polistiren

PSF : Polietersülfon

PU : Poliüretan

PVA : Polivinil Alkol

PVDF : Polivinilidenflorit

SEM : Taramalı Elektron Mikroskobu

UOB : Uçucu Organik Bileşik

WHO : Dünya Sağlık Örgütü

XRD : X-Işını Kırınım yöntemi

SEMBOLLER

TiO_2 : Titanyum dioksit

ZnO : Çinko oksit

CO_2 : Karbondioksit

NO_x : Azot oksitler

PAH : Polisiklik aromatik hidrokarbonlar

H_2O : Su molekülü

CdS : Kadmiyum sülfür

ZnS : Sfalerit

Fe_2O_3 : Demir (III) oksit / Ferrik oksit

WO_3 : Tungsten trioksit

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: İç Ortam Havasında Bulunan Uçucu Organik Bileşiklerin Kaynakları. **10**
Çizelge 2.2: UOB gideriminde kullanılan adsorbentlerin çalışma koşulları ve giderim verimleri. **14**
Çizelge 2.3: Fotokatalitik oksidasyon verimini etkileyen faktörler. **18**
Çizelge 2.4: Fotokatalitik oksidasyon yöntemi ve TiO_2 ile UOB'lerin giderim çalışmaları. **19**
Çizelge 2.5: Elektroeğirme yöntemi ile filtre üretimini etkileyen parametreler. **21**
Çizelge 3.1: Deneylerde kullanılan kimyasalların marka ve kodları. **25**
Çizelge 4.1: HNT+TiO_2 içeren PA6 nanoliflerin Taguchi deney tasarımı ve değişkenleri. **47**
Çizelge 4.2: Nanokil+TiO_2 içeren PA6 nanoliflerin Taguchi deney tasarımı ve değişkenleri. **61**
Çizelge 4.3: Nanokil+ZnO içeren PA6 nanoliflerin Taguchi deney tasarımı ve değişkenleri. **62**
Çizelge 4.4: Nanolif filtrelere ait tüm sonuçların özet çizelgesi. **85**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Fotokatalitik oksidasyon prosesi (Youssef ve diğ., 2018). **17**
Şekil 2.2: Elektroeğirme yöntemi. **20**
Şekil 3.1: Kompozit çözelti fotoğrafları (HNT-Ti). **26**
Şekil 3.2: Kompozit çözelti fotoğrafları (NK-Ti). **27**
Şekil 3.3: Kompozit çözelti fotoğrafları (NK-Zn). **27**
Şekil 3.4: Elektroeğirme cihazı. **29**
Şekil 3.5: Deney setleri akış şeması. **31**
Şekil 3.6: SEM Cihazı. **32**
Şekil 3.7: İmage J program görüntüsü ve örnek SEM resmi. **33**
Şekil 3.8: XRD cihazı. **34**
Şekil 3.9: Fonksiyonel grup spektrumları. **35**
Şekil 3.10: Perkin Elmer Spectrum 100 spektrofotometre cihazı. **36**
Şekil 3.11: Instron 3345 Çekme-Basma Cihazı. **37**
Şekil 3.12: Gerilme-Uzama Eğrisi. **38**
Şekil 3.13: Hava geçirgenliği cihazı. **39**
Şekil 3.14: Su buharı geçişi test düzeneği. **40**
Şekil 3.15: Toluen adsorpsiyonu ve oksidasyonu için kullanılan deney seti. **41**
Şekil 3.16: Toluen Kalibrasyonu. **42**
Şekil 3.17: GC-MS Cihazı. **43**
Şekil 3.18: UV LED'li reaktör kapağı. **44**
Şekil 4.1: HNT-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin fiber çapı grafikleri (a) HNT-Ti+ PA6 ile üretilen nanoliflerin fiber çapı dağılımları ve SEM Görüntüsü (b) Taguchi ana etki/SN grafiği. **48**
Şekil 4.2: HNT-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin hava geçirgenliği grafikleri (a) Tüm filtrelerin hava geçirgenliği (b) Taguchi ana etki/SN grafiği. **52**
Şekil 4.3: HNT-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin su buharı geçişi grafikleri (a) Tüm filtrelerin su buharı geçişleri (b) Taguchi ana etki/SN grafiği. **53**
Şekil 4.4: Saf ve nanokatkılı PA6 nanoliflere ait FTIR spektrumları (a) PA6 nanolif (b) HNT ve HNT+TiO_2 içeren PA6 nanolif. **54**
Şekil 4.5: Saf (a), HNT (b) ve HNT+TiO_2 (c) katkılı nanoliflere ait XRD grafikleri… **55**
Şekil 4.6: HNT-Ti Nanoliflerin Akma Dayanımı Değerleri. **56**
Şekil 4.7: HNT-Ti içeren Nanoliflerin Akma Dayanımı Değerlerinin Taguchi deneysel tasarımı sonucu elde edilen ana etki/SN grafiği. **57**

Şekil 4.8: HNT-Ti Nanoliflerin Çekme Dayanımı Değerleri. **57**
Şekil 4.9: HNT-Ti Nanoliflerin Çekme Dayanımı Değerlerinin Taguchi deneysel tasarımı sonucu elde edilen ana etki/SN grafiği **58**
Şekil 4.10: HNT-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin toluenin adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerindeki giderim verimi grafiği. **59**
Şekil 4.11: HNT-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin toluen giderim verimlerinin Taguchi ana etki/SN grafiği (a) adsorpsiyon (b) oksidasyon. **60**
Şekil 4.12: NK-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin fiber çapı grafikleri (a) NK-Ti+ PA6 ile üretilen nanoliflerin fiber çapı dağılımları ve SEM Görüntüsü (b) Taguchi ana etki/SN grafiği. **63**
Şekil 4.13: NK-Zn+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin fiber çapı grafikleri (a) NK-Zn + PA6 ile üretilen nanoliflerin fiber çapı dağılımları ve SEM Görüntüleri (b) Taguchi ana etki/SN grafiği **65**
Şekil 4.14: NK-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin hava geçirgenliği grafikleri (a) Tüm filtrelerin hava geçirgenliği (b) Taguchi ana etki/SN grafiği. **67**
Şekil 4.15: NK-Zn+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin hava geçirgenliği grafikleri (a) Tüm filtrelerin hava geçirgenliği (b) Taguchi ana etki/SN grafiği. **68**
Şekil 4.16: NK-Ti ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin su buharı geçişi grafikleri (a) Tüm filtrelerin su buharı geçişleri (b) Taguchi ana etki/SN grafiği. **70**
Şekil 4.17: NK-Zn ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin su buharı geçişi grafikleri (a) Tüm filtrelerin su buharı geçişleri (b) Taguchi ana etki/SN grafiği. . **71**
Şekil 4.18: (a) PA6 Nanolif ve (b) Nanokil, Nanokil+TiO_2 ve Nanokil+ZnO içeren PA6 nanoliflere ait FTIR spektrumları. **72**
Şekil 4.19: Nanokil içeren nanoliflerin SEM-EDS sonucu. **73**
Şekil 4.20: Nanokil (a), Nanokil+ TiO_2 (b) ve Nanokil+ZnO (c) katkılı nanoliflere ait XRD grafikleri. **73**
Şekil 4.21: Nanoliflerin Akma Dayanımı Değerleri (a) NK-Ti (b) NK-Zn. **75**
Şekil 4.22: Nanoliflerin Akma Dayanımı Değerlerinin Taguchi deneysel tasarımı sonucu elde edilen ana etki/SN grafiği (a)NK-Ti (b) NK-Zn. **76**
Şekil 4.23: Nanoliflerin Çekme Dayanımı Değerleri (a) NK-Ti (b) NK-Zn. **77**
Şekil 4.24: Nanoliflerin Çekme Dayanımı Değerlerinin Taguchi deneysel tasarımı sonucu elde edilen ana etki/SN grafiği (a) NK-Ti (b) NK-Zn. **78**
Şekil 4.25: NK-Ti setinde üretimi yapılmış olan nanoliflerin zamana bağlı toluen için C/Co değerleri (a) adsorpsiyon (b) oksidasyon. **80**
Şekil 4.26: NK-Ti setinde üretimi yapılmış olan nanoliflerin toluenin adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerindeki giderim verimi grafiği. **81**
Şekil 4.27: NK-Ti setinde üretimi yapılmış olan nanoliflerin toluen giderim verimlerinin Taguchi ana etki/SN grafiği (a) adsorpsiyon (b) oksidasyon. **82**
Şekil 4.28: NK-Zn setinde üretimi yapılmış olan nanoliflerin zamana bağlı toluen için C/Co değerleri (a) adsorpsiyon (b) oksidasyon. **83**
Şekil 4.29: NK-Zn setinde üretimi yapılmış olan nanoliflerin toluenin adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerindeki giderim verimi grafiği. **84**

Şekil 4.30: NK-Zn setinde üretimi yapılmış olan nanoliflerin toluen giderim verimlerinin Taguchi ana etki/SN grafiği (a) adsorpsiyon (b) oksidasyon.. .....**85**

İÇ ORTAM HAVASINDA BULUNAN UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN (UOB) FARKLI NANOMALZEME KATKILI POLİMERİK NANOLİF FİLTRELER İLE GİDERİLMESİ

ÖZET

Şehirlerde yaşayan insanların çoğu zamanlarının yaklaşık olarak %80-90'ını evler, işyerleri, alışveriş merkezleri, ulaşım araçları (tren, otobüs, uçak, gemi vb.) gibi kapalı mekânlarda geçirmektedir. Bu durum zamanlarının çoğunu bu gibi kapalı ortamlarda geçiren insanların sağlıklarını, çalışma verimliliklerini etkilediği için son yıllarda yapılan çalışmalar da iç ortam hava kalitesine yoğunlaşmaktadır. Yapılan bu araştırmalar, iç ortam havasının havalandırma sistemindeki zayıflıklar nedeniyle dış ortamdaki seviyelerden daha yüksek kirletici madde bulundurabileceğini göstermektedir. Bu kirleticilerden uçucu organik bileşikler (UOB) miktarsal olarak büyük paya sahiptir ve özellikle "Hasta Bina Sendromu (HBS) " olarak isimlendirilen rahatsızlığın en temel nedenlerinden birisidir. UOB'lerin gideriminde farklı teknolojiler kullanılabilmektedir. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında en ideal teknolojinin fotokatalitik oksidasyon olduğu fakat adsorpsiyonunda yardımcı mekanizma olarak kullanılması gerektiği sonucuna varılmaktadır. Bu iki mekanizmanın farklı malzemelerin kullanımıyla filtre malzemesinde gerçekleştirilmesi bu tezin ana fikridir. Heterojen fotokatalizörlerin havadaki organik kirleticilerin gideriminde verimli, ekonomik ve çevre dostu malzemeler olduğu literatürde belirtilmiştir. Özellikle titanyum dioksit (TiO_2) ve çinko oksit (ZnO) katalizörleri sahip oldukları yüksek fotokatalitik aktivite, kimyasal ve biyolojik olarak parçalanamıyor olmaları ve yüksek fotokimyasal stabiliteleri nedeniyle organik maddelerin parçalanmasında kullanılan en verimli ve özellikleri en iyi bilinen fotokatalizörlerdir. Tezde önerilen temel mekanizma, bir nanolif ağ yapısı içerisine adsorpsiyonu arttırıcı nanokil ve fotokatalitik oksidasyon sağlayıcı TiO_2 ve ZnO malzemelerin entengre edilmesi ve uzun süreli ortam havasından UOB'nin giderilmesidir. Bu mekanizmanın verimini etkileyen iki önemli faktör bulunmaktadır. Bu faktörler iç ortam havasında düşük konsantrasyonlarda bulunan UOB'lerin fotokatalizör ile temasının sağlanması için adsorpsiyonu arttıracak yüzey alanı ihtiyacı ve zamanla kirlenmeden dolayı verimi düşecek olan fotokatalizörlerin sürdürülebilir bir şekilde tekrar kullanılabilirliğinin sağlanmasıdır. Bu sebeple temel reaksiyonu sağlayacak fotokatalizörlerin bu iki faktör göz önünde bulundurularak uygun bir nanolif yapısı içerisinde kullanılması gerekmektedir. Bu yapıların oluşturulması için son yıllarda birçok alanda kullanılan yüksek yüzey alanı ve düşük filtrasyon dirençlerine sahip olan polimerik nanolif filtreler incelenmiştir. Nanolif filtre üretiminde poliamit-6 (PA6) polimeri ve bu polimer ile nanoadsorbent olarak halloysit nanotüp-HNT ve nanokil-NK, katalizör olarak ise TiO_2 ve ZnO yapıların kompozit

olarak hazırlanması, karakterizasyon ve performans çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Polimer ile elektroeğirme yönteminin optimizasyonu sonrası HNT ve NK adsorbentleri ve nanofotokatalizörler için (i) agloremasyon olmayacak şekilde konsantrasyon belirlenmesi (ii) uygun disperse etme koşullarının belirlenmesi (iii) elektroeğirme şartlarının belirlenmesi aşamaları uygulanmıştır. Üretim ardından nanoliflerin yapısal karakterizasyonu için fiber çapı (SEM ile), organik bağlar (FTIR ile), kristal yapısı (XRD ve SEM-EDS ile) ve akma/çekme dayanımı değerleri ile mekanik dayanım özelliği (DMA ile), performans değerlendirmesi için standart yöntemler ile hava geçirgenliği ve su buharı geçişi, model UOB olarak toluen adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerinde giderim verimleri belirlenmiştir. Bu tezdeki özgün değer; iç ortam havasından UOB giderimi için hızlı kütle transferi sağlayacak, yüksek oksidasyon verimine ve kendi kendini temizleme özelliğine sahip ve yüksek mekanik dayanımı olan, eşzamanlı giderim mekanizmalarının (adsorpsiyon+oksidasyon) gerçekleşeceği verimli ve modüler filtre sistemlerine yerleştirilebilecek filtre malzemelerinin literatürden farklı yaklaşımlar ile gerçekleştirilmesidir. Güçlendirilmiş/fotokatalizör katkılı polimerik nanolif filtre malzemelerinin mühendislik yaklaşımıyla üretilmesi, karakterizasyonu, laboratuvar ölçekte denenmesi izlenen temel yöntemlerdir.

REMOVAL OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOC) IN INDOOR AIR WITH POLYMERIC NANOFIBER FILTERS ADDED TO DIFFERENT NANOPARTICLES

SUMMARY

Most of the people living in cities spend approximately 80-90% of their time in closed places such as houses, workplaces, shopping malls, transportation vehicles (train, bus, plane, ship, etc.). Since this situation affects the health and working efficiency of people who spend most of their time in such indoor environments, recent studies focus on indoor air quality. These studies show that indoor air may contain higher pollutants than the outdoor levels due to weaknesses in the ventilation system. Volatile organic compounds (VOCs) from these pollutants have a large share in quantity and are one of the main causes of the disease called "Sick Building Syndrome" in particular. Different technologies can be used in the removal of VOCs. Considering the studies in the literature, it is concluded that the most ideal technology is photocatalytic oxidation but should be used as an auxiliary mechanism in its adsorption. The realization of these two mechanisms in filter material by using different materials is the main idea of this thesis. It is stated in the literature that heterogeneous photocatalysts are efficient, economical and environmentally friendly materials for the removal of organic pollutants in the air. In particular, titanium dioxide (TiO_2) and zinc oxide (ZnO) catalysts are the most efficient and most well-known photocatalysts used in the decomposition of organic substances due to their high photocatalytic activity, chemical and biodegradability and high photochemical stability. In heterogeneous catalysts, since the catalyst and the pollutant are in different phases, the molecules that will react with the catalyst first adsorb on the catalyst surface and undergo oxidation in a very rapid time. In the aquatic environment, this process is fast, but in the indoor air, the catalyst shows a weak adsorption feature against apolar VOCs due to its polar structure. Low adsorption for air pollutants also affects the oxidation efficiency because VOCs, which are in very low concentrations in the air environment, need to contact the material for a certain period of time for efficient photocatalytic oxidation. While this contact time in the aquatic environment is adjusted by the reactor designs and the reaction occurs very quickly, it is more difficult to follow and control the reactions in the air environment. For this reason, the adsorption feature of the nanofiber filter system to be developed for VOC removal should be considered during the material development phase. In order to remove the pollutant, its certain concentration on the surface of the catalyst should be reached, the adsorption must be provided on the surface where the catalyst is located, especially in the air environment, due to the low mass transfer of the low concentration pollutants to the surface of the photocatalyst. The main mechanism proposed in the thesis is to introduce adsorption-

enhancing nanoclay and photocatalytic oxidants (TiO_2 and ZnO) into a nanofiber network structure and remove the VOC from long-term indoor air. There are two important factors that affect the efficiency of this mechanism. These factors are the need for a surface area that will increase adsorption and the reusability of photocatalysts, whose efficiency will decrease due to contamination over time, to ensure that VOCs with low concentrations in indoor air are in contact with the photocatalyst. For this reason, the photocatalysts that will provide the basic reaction should be used in a suitable nanofiber structure considering these two factors. In the development of nanofiber materials to integrate TiO_2 and ZnO photocatalysts, it is aimed to successfully apply the classical electrospinning technique. Electrospinning mechanisms consist of three basic parts. In the first part, it is a thin tube that can consist of a syringe-like structure in which the polymer solution is stored and sprayed. This section can be both passive (starting the motion of the solution with the effect of gravity) and active (spraying the solution with the help of a device such as a syringe pump). The second part consists of the electric field region formed along the jet trajectory by means of high voltage, and the last part consists of the assembly where the formed nanofiber structure is collected. The aim of this thesis is that photocatalysts with high performance do not lose their performance after being integrated into the nanofiber structure. Therefore, especially in the design of nanofiber filters produced by this method, it is thought that the high rate of adsorption of VOCs to the photocatalysts captured on the fibers at the first stage, the immediate occurrence of oxidation and the contact between the photocatalysts and the UV-LED light source during the photocatalytic reaction will be more. The reason for using UV-LED is less energy consumption and longer service life. Other UV sources emit a significant portion of their power as heat. At the same time, conventional UV lamps contain mercury and their use is harmful to nature. Both environmentally friendly and energy efficient oxidation can be achieved with UV-LEDs. In addition, UV-LEDs' average 60000 hour lifetime provides an advantage. Toluene was used as the model VOC in the system for the performance tests of nanofiber filters produced. The system consists of four basic parts. The first component is the CO_2 and hydrocarbon-free dry air generator (air flow is kept constant at 1.5 L / min) providing a continuous and constant air flow, the second component is the gas mixing bottle in which the incoming fixed air enters the toluene vapor and is positioned in the water bath. The third component is the filtration cell where the measurement of adsorption and oxidation is provided together and the fourth component is the sampling point. The temperature of the water bath was kept at 40^oC in the adsorption and oxidation cycles and tests of all materials. The inlet flow was continuously controlled by the flow meter device in order to control any leakage problems in the drift of toluene to the filtration cell with the continuous air flow. The filtration cell used in preliminary tests has approximately 300 mL of void volume. In order to prevent toluene from condensing in all lines, the temperature was kept constant at 40^oC with the heater. At the sampling point, gas analyses were carried out in GC-MS using both toluene in gas phase and methanol accumulation methods. In experiment setups, the method of accumulation in methanol was preferred due to the ease of sampling depending on time and high reproducibility. Here, by using vials with air gaps and providing the necessary sealing, the off-gas stream was collected in methanol for 1 min. It has been stated in the studies that the adsorption capacity of VOCs in the indoor air under dark conditions, ie. without photocatalytic oxidation, varies between 11-20% of the inlet VOC concentration. In this thesis, it was aimed that the total adsorption capacity of the fabricated filter materials reached at least 10% in the dark conditions, considering that two approaches including methods that have

not been tried in this field. High adsorption efficiency increased the basic oxidation mechanism of the nanocomposite filter. It is possible that both the adsorption and oxidation capacities of the materials decreased after a certain period of time because of material properties. This will reduce the useful life of the materials. Thus, it is aimed to identify and evaluate these uncertainties and performance-reducing risks and to design nanofiber filters with a long service life. The final goal is to develop innovative materials for the removal of gas phase pollutants / characterization / performance tests and to construct all stages of filter development / production within an experimental systematic with disciplines and to finalize them using statistical methods. In order to create these structures, the polymeric nanofiber filters with high surface area and low filtration resistance, which have been used in many areas in recent years, have been studied. PA-6 polymers were used in the studies. PA-6 nanofibers were prepared by dissolving the polymer in formic acid (FA) and acetic acid (AA) solvents at the appropriate concentration (13% by mass, m/m). The optimum voltage for the preparation of nanofibers (25 kV), polymer feed rate (between 1, 1.5 and 2 ml / h), end-collector distance (15 cm) were determined by preliminary tests. Each parameter affecting the efficiency of the electrospinning process has been evaluated within itself and optimum conditions have been reached. After this stage, the conditions for each polymer have been determined and the effect of nanoparticles has been investigated. Halloysite nanotubes (HNT) and nanoclay (NK) are expressed as nanoclay to be used. It is stated that due to the increased conductivity of the solution with nanoclay additive, fiber diameters had more uniform and no bead formation, which can be named as production defects. Bentonite was used as the nanoclay addition and it is stated that it increased the mechanical strength of the fibers and caused to a more reticulated structure. The solutions were prepared by using nanoclay at the rate of 0.025%, 0.05, 0.1 and 0.5% by mass according to the polymer and the most suitable ratios were determined by making trials. TiO_2 and ZnO are used as photocatalysts. TiO_2 and ZnO materials were obtained commercially and their ratios to polymer were realized as 0.5% by mass of ZnO and 1% of TiO_2. Nanoclay and HNT were dispersed in suitable solvents (AA and FA) and mixed with PA polymer solutions. Then, photocatalysts were dispersed in the mixture and used in the preparation of nanofibers by classical electrospinning method. Composite production, characterization and performance studies of polyamide-6 (PA6) polymer and nanoadsorbent as well as halloysite nanotube-HNT and nanoclay-NC as a catalyst, and characterization and performance studies were carried out in nanofibre filter production. PA can easily form fibers due to the short di-acid and di-amine functional groups in its structure. PA fibers can be used as effective materials in air filtration due to their properties such as small and narrow distribution of fiber diameters and large surface area. After optimization of the electrospinning method with polymer, the steps of (i) determining the concentration of no dispersion (ii) appropriate dispersing conditions for the HNT and NC adsorbents and nanofotocatalysts (iii) determining the electrospinning conditions were applied. Production, characterization and laboratory testing of reinforced / photocatalytic added polymeric nanofiber filter materials with engineering approach are the main methods. Following the production, fiber diameter (with SEM), organic bonds (with FTIR), crystal structure (with XRD and SEM-EDS) and mechanical strength properties (with DMA) were determined with standard methods for performance evaluation and structural characterization of nanofibers. With air permeability and water vapor transmission, the removal efficiency in toluene adsorption and oxidation cycles were determined using with test systems. The original value in this thesis, it is the realization of filter materials with different approaches from the literature that will provide rapid

mass transfer from indoor air VOC removal, have high oxidation efficiency and self-cleaning properties, and have high mechanical strength, can be placed in efficient and modular filter systems where simultaneous removal mechanisms (adsorption + oxidation) will take place.

1. GİRİŞ

Tezin konusu; zamanımızın büyük bir çoğunluğunu geçirdiğimiz yaşam ve çalışma alanlarımızda iç ortam havasında bulunan uçucu organik bileşenlerin (UOB) giderimi için yenilikçi bir yaklaşımın kullanıldığı bir iç ortam hava filtrelerinin geliştirilmesidir. İç ortam hava kalitesi insan sağlığı açısından önemli bir faktörüdür. Genel olarak iç ortam kirleticilerine CO_2, NOx, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), uçucu organik bileşikler (UOB'ler), radon, formaldehit, sigara dumanı, havadaki alerjenler, patojenler, mineral lifler, polimerler ve tüketici mallarından kaynaklanan toksik emisyonlar örnek olarak verilebilir. UOB'ler 250°C'den düşük bir kaynama noktasına ve yüksek buhar basıncına sahip olan organik bileşiklerdir ve bu nedenle atmosfer basıncında oda sıcaklığından kolayca buharlaştırılırlar. İç ortam havasında UOB'lere maruz kalınması; konjunktival tahriş, burun ve boyun ağrısı, baş ağrısı, alerjik cilt reaksiyonları ve bulantı gibi semptomlar yaratmakta ve hasta bina sendromuna (HBS) neden olmaktadır. İç ortam havasından UOB uzaklaştırmada; adsorpsiyon, termal ve katalitik oksidasyon, filtrasyon, biyoreaksiyon ve fotokataliz gibi birçok teknoloji kullanılmaktadır. Bu teknolojilerden fotokatalitik oksidasyon, yenilikçi ve umut verici bir yaklaşımdır. Fotokatalitik oksidasyonda, organik bileşiği suya (H_2O) ve karbon dioksite (CO_2) dönüştürmek için yarı iletken katalizörler ve ultraviyole (UV) ışık kullanılmaktadır. Fotokatalitik oksidasyonda, ZnO, ZnS, CdS, Fe_2O_3, $W0_3$, TiO_2 kullanılan en popüler oksidanlardır fakat bu oksidanlar arasında TiO_2, UOB'lerin ayrışması için kullanılan en verimli oksidandır. TiO_2 ve ZnO heterojen fotokatalizörler havadaki organik kirleticilerin gideriminde oldukça verimli, ekonomik ve çevre dostu malzemelerdir. Bu fotokatalizörler yüksek fotokatalitik aktiviteye, kimyasal ve biyolojik olarak parçalanamama ve yüksek fotokimyasal stabiliteye sahiptirler. Bu sebeple organik maddelerin parçalanmasında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Heterojen katalizörlerde, katalizör ve kirletici madde farklı fazlarda bulunduğu için katalizör ile tepkimeye girecek moleküller ilk olarak katalizörün yüzeyine adsorbe olur ve çok kısa bir sürede oksidasyona uğrarlar. Adsorpsiyon ise özellikle düşük UOB konsantrasyonlarında etkili giderim uygulamalarından biridir. İç ortam havasında, apolar uçucu organik bileşiklere (UOB) karşı katalizörün polar yapısı zayıf bir

adsorpsiyon özelliği göstermektedir. Hava kirleticileri için adsorpsiyonun düşük olması oksidasyon verimini de etkilemektedir. Bunun sebebi; hava ortamında çok düşük konsantrasyonda bulunan UOB'lerin verimli fotokatalitik oksidasyonu için belirli bir süre malzeme ile temas etmesi ve adsorbe olmaları gerekmektedir. Hava ortamındaki reaksiyonları takip etmek ve onlara müdahale etmek oldukça zordur. Hava ortamında düşük konsantrasyondaki kirleticilerin fotokatalizörün yüzeyine doğru olan kütle transferinin düşük olması sebebiyle katalizörün yüzeyinde kirleticinin belirli bir konsantrasyona ulaşabilmesi için adsorpsiyonun katalizörün olduğu yüzeyde sağlanması gerekmektedir. UOB'lerin gideriminde Aktif karbon (AC) ile adsorpsiyon, yaygın olarak kullanılmaktadır Adsorpsiyonda kullanılan diğer alternatif materyaller ise aktif karbon fiberler, zeolitler, nanokil, gözenekli alümina, silika jel ve / veya moleküler elektir. Günümüzde nanokil; yüksek en-boy oranına sahip olması kullanım kolaylığı, düşük maliyeti, iyi dispersiyon özellikleri ve toksik olmaması nedeniyle polimerler için ideal nanoadsorbent malzemelerden biridir. Elektroeğirme yöntemi ile üretilen nanolifler, yüksek gözeneklilik, küçük çaplar, gözenekler arası bağlantı, geniş spesifik yüzey alanı, yüzey işlevselliğinde esneklik ve mükemmel gözenek boyutu gibi özgün özellikleri nedeniyle iç mekan hava filtresi için yenilikçi malzemeler ve benzersiz avantajlar sağlamaktadır. Elektroeğirme yöntemi, büyük ölçekli nanolifler üretmek amacıyla kullanılan çok yönlü ve gelişmiş bir tekniktir. Üstün filtreleme performansı ve düşük hava direncine sahip olması, bunların yanında yüksek adsorpsiyon kapasitesine ve yüksek geri kazanıma sahip olması, nanolif yapıları hava filtrasyonu için umut verici bir aday haline getirmektedir. Bu tezde, nanokompozit poliamit-6 (PA6) nanolifler yüksek adsorpsiyon ve oksidasyon verimliliği, kendi kendini temizleme özellikleri ve yüksek mekanik mukavemet gibi çok işlevli özelliklerle üretilmiştir. Üretim sırasında HNT, nanokil, TiO_2 ve ZnO dahil olmak üzere nanoadsorbentlerin ve üretim şartlarının eş zamanlı etkilerini görebilmek için, seçilen üretim parametreleri ve oluşan Taguchi matrisine göre deneysel tasarım (DOE) setleri oluşturulmuş ve her bir deney seti karakterizasyon ve performans parametrelerine göre değerlendirilmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Yapılan literatür araştırmalarında iç ortam havasından düşük konsantrasyonlardaki UOB'lerin fotokatalitik oksidasyon ile giderimi için adsorpsiyonun önemli bir aşama olduğu ve geliştirilecek filtre malzemesinin adsorpsiyon özelliğinin malzeme

geliştirme aşamasında dikkate alınması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sebeple tezdeki temel amaç; UOB'lerin giderimi için adsorpsiyon ve fotokatalitik oksidasyon döngülerinin eş zamanlı olarak gerçekleşeceği bir malzemenin yeni üretim teknikleri ile geliştirilmesi ve bu malzemelerin modüler bir filtre sisteminde kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Özellikle UOB gibi gaz kirleticilerin gideriminde fotodegredasyonu arttırıcı yüksek verimli malzemelerin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle tezdeki temel amaç UOB'lerin giderimi için yenilikçi fotokatalizör malzeme olarak isimlendirilebilecek güçlendirilmiş fotokatalizör katkılı nanolif yapıları üretmek ve bu nanolif yapıları başarılı bir şekilde UOB gideriminde kullanmaktır.

1.2 Tezin Anlam ve Önemi

Bu tezin önemi, konsantrasyondan bağımsız iç ortam havasında UOB'lerin giderimi için etkin ve uygulanabilir filtre sistemleri için filtre malzemesi geliştirme gerçekleştirmektir. Geliştirilen malzemelerdeki temel giderim mekanizması oksidasyondur ve bununla birlikte adsorpsiyon mekanizması da oksidasyonu hızlandırıcı veya oksidasyon mekanizmasına yardımcı mekanizma olarak kullanılmaktadır. Bu iki yaklaşım ile iç ortam havasından UOB giderimi için hızlı kütle transferi sağlayacak, yüksek oksidasyon verimine ve kendi kendini temizleme özelliğine sahip ve yüksek mekanik dayanımı olan, eşzamanlı giderim mekanizmaların (adsorpsiyon+oksidasyon) gerçekleşeceği verimli ve modüler bir filtre sistemleri için filtre malzemelesi gerçekleştirmek amaçlanmıştır. İç ortam havasından toluen uzaklaştırılması için homojen lif oluşumuna, yüksek adsorpsiyon kapasitesine, kendi kendini temizleme özelliğine ve yüksek mekanik mukavemete sahip kompozit nanolif hava filtreleri üretmektir. Nanolif üretimi sırasında, polimer olarak poliamit-6 (PA6), güçlendirilmiş nanolif üretimi için nanoadsorbent olarak nanokil (NK) ve halloysit nanotüp (HNT) yapıları, katalizör olarak ise TiO_2 ve ZnO kullanılmıştır. PA, yapısında bulunan kısa di-asit ve di-amin fonksiyonel gruplarından dolayı kolayca lif oluşturabilmektedir. PA liflerinin fiber çapları; küçük ve dar aralıkta dağılım, büyük yüzey alanı gibi özellikleri nedeniyle hava filtrasyonunda etkili malzemeler olarak kullanılabilmektedir. Nanokil katkısı ile çözeltinin iletkenliği arttığından dolayı lif çaplarının daha uniform olduğu ve üretim kusuru olarak isimlendirilebilecek bead oluşumlarının önlendiği belirtilmektedir (L. Yu, 2009). Nanokillerin nanolif

üretiminde çalışılan bir malzeme olup (S. Marras, 2008) liflerin mekanik dayanımını arttırdığı ve daha ağsı bir yapıya sebep olduğu belirtilmektedir. En iyi filtre özelliklerini elde etmek için NK oranı (ağırlıkça %), katalizör oranı (ağırlıkça %) ve polimer besleme hızı (ml/sa) gibi etki faktörleri Taguchi yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Deney tasarımının ana parametreleri, karakterizasyon parametreleri (lif çapı, akma ve çekme dayanımı değerleri) ve performans parametreleri (hava geçirgenliği, su buharı geçirgenliği, toluen giderim verimi) olarak seçilmiştir.

2. LİTERATÜR

2.1 İç Ortam Hava Kalitesi ve Standartları

İnsanlar yaşadıkları ve vakitlerinin büyük bir kısmını geçirdikleri ortamlardaki havanın temiz ve sağlıklarını tehdit etmeyecek nitelikte olmasını istemektedirler. Bu nedenle; iç ortamın hava kalitesi önemli bir sağlık konusu haline gelmiştir. Özellikle enerji tasarrufu için sıkıca kapatılmış binalarda havalandırma sistemlerindeki zayıflıklar nedeniyle maruz kalınan kirletici konsantrasyonları gittikçe artmaktadır. Farklı düzeylerde iç ortam hava kirleticileri, iz konsantrasyonlardan yüksek konsantrasyonlara kadar aynı zamanda yaşam alanının koşullarına göre değişen türlerde farklılık göstermektedir. Dolayısıyla her ortam kendi içerisinde spesifikleşmektedir. İç ortam hava kalitesi; rahatsızlık, konforsuzluk hissi ve sağlık sorunlarına neden olmayan havanın niteliği olarak açıklanmaktadır. İç ortam hava kalitesi ve hasta bina sendromu kavramı 1890'li yıllarda, petrol krizi ve enerji darboğazının gündeme gelmesiyle ortaya çıkmıştır. Okullar, ofisler, hastaneler, evler, alışveriş merkezleri vb. yerler ve son çalışmalarda uçak, tren vb. taşıtların kabin ortamları özellikle iç ortam hava kalitesi açısından incelenmesi gereken yerlerdir. Son yıllarda, iç ortam hava kalitesinin insan sağlığı üzerine olan etkileri ile ilgili çalışmalar çoğalmıştır. Pek çok kaynaktan iç ortam havasına yayılan kirleticiler akut ve kronik sağlık sorunlarına sebep olmaktadır.

İç ortam hava kalitesinin ölçüsü olarak standartlarda sıklıkla kullanılan parametre, taze hava miktarı veya hava değişimi katsayısıdır. Bu parametreler genellikle iç ortamdaki kirlilik kaynaklarını dikkate almadığı için zayıf göstergelerdir. Fakat kirlilik unsurları güçlü ise, yüksek havalandırma miktarları uygulanan bir alan yine kirli olarak nitelendirilebilmektedir. Diğer taraftan kirlilik kaynaklarının zayıf olduğu alanlarda da basit bir havalandırma yöntemi ile yüksek bir hava kalitesi elde edilebilmektedir (Fanger, 2005; Kayhan, 2005). Dünyada referans olarak gösterilebilecek iç ortam hava kalitesi standartları mevcuttur. Ülkemizde henüz iç hava kalitesi standardı bulunmamaktadır.

Amerikan kuruluşu olan American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) iç ortam hava kalitesi ile ilgili "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality (ASHRAE, 622013)" ve "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (ASHRAE 55-2004)" standartlarını yayımlamıştır. Bu dökümanlarda "kabul edilebilir iç hava kalitesi" terimi kabul edilmiştir. Kabul edilebilir iç ortam hava kalitesi "içinde, bilinen kirleticilerin, yetkili kuruluşlar tarafından belirlenmiş zararlı konsantrasyon seviyelerinde bulunmadığı ve bu hava içinde bulunan insanların %80 veya daha üzerindeki oranın havanın kalitesiyle ilgili herhangi bir memnuniyetsizlik hissetmediği hava" olarak tanımlanmıştır (ASHRAE, 62.1-2013).

ASHRAE 62.1 standardı kişi başına solunum bölgesinde gerekli minimum havalandırma miktarlarını tanımlar. Bu tanımlama kullanım kategorisi özelinde yapılır örneğin tren yolcuğu ile hastane ya da anaokulu farklı kategoride değerlendirilmektedir. Endüstriler özelinde ayrı kabuller vardır. ASHRAE 55 standardı ise, belirli bir ortamda bulunan insanlar için tanımlanan çevreyi ısıl olarak kabul edilebilir seviyede olduğu şartları ortaya koymaktadır. Aynı zamanda, operatif sıcaklık ve nem için kabul edilebilir aralıklar sunar ve duyusal analize göre şekillenir. ASHRAE standartlarının yanında, Avrupa Standartlar Komitesi (CEN) tarafından bina içi ortam hava kalitesi ve iç ortamda hava kalitesi için kullanıcıların ihtiyacına yönelik CR 1752 (1998) 2002 "Ventilation for Buildings: Design Criteria for the Indoor Environment" standardı yayımlanmıştır (TS CR 1752/Nisan, 2002) (Karaman, 2013).

Diğer bir standart ise, WHO'un önermiş olduğu standarttır. Genel olarak, sigara içilmeyen ortamların $PM_{2,5}$ (partikül madde<2,5 μm) iç ortam hava konsantrasyonu, dış ortam konsantrasyonundan büyük ölçüde etkilendiğinden, konutlarda yaşam alanlarının iç havası için bir kılavuz olarak 24 saatlik ortalama 25 μg $PM_{2,5}/m^3$ (WHO, 2006) standart seviyesini önermektedir (AdhocAG, 2008b). Bununla birlikte, iç mekânlarda PM konsantrasyonlarını azaltmak için verimli havalandırma vazgeçilmez bir yöntemdir. Ayrıca, bilinen iç mekân PM kaynaklarının belirlenmesi ve en aza indirilmesi önerilmektedir.

Uluslararası Standardizasyon Örgütü'nün hava filtresi ve kirletici kaynaklarının azaltılmasına yönelik onayladığı UOB'ler için uygulanan bazı standartlar mevcuttur. Bunlar;

- ISO 16890 - Genel Havalandırma için Hava Filtreleri

- ISO 16000-5: 2007 UOB İçin Örnekleme Stratejisi

- ISO 16000-9: 2006 Yapı Ürünlerinden ve Mobilyalardan Kaynaklanan UOB Emisyonunun Belirlenmesi

- ISO 16000-24: 2009 Uçucu Organik Bileşiklerin (Formaldehit Hariç) Konsantrasyonlarının Sorptif Yapı Malzemeleri ile Azalmasının Değerlendirilmesi İçin Performans Testi

- ISO 16000-6: 2011 İç Mekan ve Test Odası Havasında Uçucu Organik Bileşiklerin Tenax TA Sorbentinde Aktif Örnekleme, Termal Desorpsiyon ve MS/FID Kullanarak Gaz Kromatografi ile Belirlenmesi

- ISO 16000-24: 2018 UOB Konsantrasyonlarının Sorptif Yapı Malzemeleri ile Azalmasının Değerlendirilmesi İçin Performans Testi

- ISO 16890 hava filtreleri için hazırlanan yeni bir standarttır, bunun öncesinde hava filtreleri için EN779 standardı kullanılmaktaydı. Standarttaki temel değişim, filtre kullanıcılarının ihtiyaçlarına göre filtre tercihini çok daha hassas yapabilme imkânı sağlamasıdır. EN779 da değerlendirme sadece 0,4 μm partikül boyutunda yapılırken,

- ISO 16890 da 0,3-10 μm arasındaki partikül boyutunda değerlendirme yapılabilmektedir.

EPA, İç Ortam Hava Kalitesinin İyileştirilmesinde 3 temel strateji belirlemiştir (Karaman, 2013).:

Kaynakta Kontrol; Bu yöntem iç ortamda kirlilik kaynaklarının tespit edilmesinin ardından bu kaynakları ve de bunların meydana getireceği kirliliği azaltma prensibine dayanmaktadır. Çoğu durumda diğer yöntemlerden daha etkili ve de ucuzdur. Enerji maliyetleri yoktur. Bununla birlikte iç ortam hava kirliliğinde kirlilik oluşturan kaynağın türüne ve kirleticinin cinsine bağlı olarak bu yöntemin verimliliği değişmektedir ve çoğu kirletici için sınırlı kalmaktadır.

Havalandırmanın geliştirilmesi; Bu yöntem iç ortamda dış ortamdan daha yüksek konsantrasyonlarda bulunan kirleticilerin konsantrasyonunun azaltılması için dış ortamdaki havanın ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers) havalandırma standardına göre bina içlerine verilmesi yaklaşımını içermektedir. Bazı kısa süreli aktivitelerde yüksek konsantrasyonlardaki

kirleticilerden kurtulmak için havalandırma yöntemi kullanılsa da bu yöntemin etkinliği çoğunlukla sınırlıdır. Geliştirilen çeşitli mekanik sistemler iç ortama tamamen temiz hava sağlamadıkları gibi önemli ölçüde de enerji maliyetleri vardır. Mekanik havalandırma sistemlerinin kontrolü, filtre temizliği gibi bakımlarının yapılıp/yapılmaması verimliliği önemli derecede etkileyen faktörlerdir.

Hava temizleyiciler ve mekanik filtreler; Günümüzde kullanılan çok sayıda çeşitli hava temizleyicileri bulunmaktadır. Bu hava temizleyicilerin türleri donanımlarına ve maliyetlerine göre oldukça değişmektedir. Çok fazla çeşidi bulunmasına rağmen çoğu temizleyici genellikle gaz kirleticileri gidermek için dizayn edilmemişlerdir. Bu temizleyicilerin çoğu partiküler madde (PM) gideriminde kullanılmaktadır. Enerji maliyetleri yüksektir. Hava temizleyicilerinin verimliliği, sirküle ettiği hava oranı ve havayı filtreleme kapasitesine bağlı olarak değişmektedir. Filtrelerin yanında son yıllarda özellikle masaüstü ozon üreten temizleyicilerin kullanımında da artış gözlenmektedir. Bu temizleyicilerin insan sağlığı üzerine yaptığı etkilere yönelik henüz bir çalışma yapılmamıştır. Yapılan model çalışmalarında verimlerinin de beklenen değerlerden çok daha az olduğu görülmüştür. Bununla birlikte EPA bu tip hava temizleyicilerin kullanımını önermemektedir. Iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesinde hava temizleyicilerin etkinliği iç ortam hava kirleticisinin cinsine ve yoğunluğuna, iç ortamın türüne göre değişebilmektedir.

İç ortam havasının genel özelliklerine ve iyileştirilmesi için önerilen stratejiler de incelendiğinde özellikle üçüncü strateji olan hava temizleyiciler ve mekanik filtrelerde kullanılan filtrelerin çoğunun PM ve mikrobiyolojik kirleticilerin giderimine yönelik olduğu, UOB giderimi için filtre dizaynlarının çok fazla çalışılmadığı gözlenmektedir. Neden UOB filtrelerine odaklanılmadığı araştırıldığında ise, bunun sebebinin özellikle iç ortam hava kalitesini sağlamada genellikle mekanik filtrelerin kullanılması ve çoğu yerde mevcut havalandırma sistemleri ile UOB'lerin giderildiğinin düşünülmesi olduğu görülmektedir.

2.2 Uçucu Organik Bileşikler (UOB), Ölçümü ve Kaynakları

Organik bileşikler uçucu organik bileşikler (UOB), yarı uçucu organik bileşikler ve uçucu olmayan organik bileşikler olmak üzere üç ana grupta incelenmektedir. Oda sıcaklığında en az 10 Pa'lık buhar basıncına sahip olan organik bileşikler uçucu organik bileşik (UOB) olarak tanımlanmaktadır. Uçucu organik bileşikler kimyasal,

petrokimyasal ve buna benzer diğer birçok endüstriden alıcı çevre ortamına verilen kirleticilerdendir. Çözücü, inceltici, temizleyici ve kaydırıcı gibi kimyasalların buharlaşması, endüstriyel ve kentsel faaliyetler için fosil yakıtların yanması sonucu oluşan baca gazı emisyonları, kentsel yaşamın sonucu oluşan atıkların yakılması, petrol rafinerileri ve istasyonları vb. gibi sayısız UOB kaynağı bulunmaktadır (Kalender,2009). UOB'lerin kaynama noktaları 50-260°C arasında değişmektedir. Düşük kaynama noktaları nedeniyle iç ortam havasında uçucu halde bulunmaktadırlar (Yılmaz E,2011). İç ortam havasında sıklıkla gözlenen ve hava kalitesi açısından UOB olarak adlandırılan grup, genellikle bazı parafinler ve Benzen'den başlayarak Naftalin'e kadar olan bileşiklerdir. Düşük kaynama noktaları nedeniyle iç ortam havasında buhar halinde bulunmaktadırlar. Yüksek uçucuların 25 ^{o}C'deki buhar basıncı > 380 mmHg, uçucu organik bileşiklerin 25 ^{o}C'deki buhar basıncı 0 - 380 mmHg, yarı uçucuların 25 ^{o}C'deki buhar basıncı 10^{-7} - 0,1 mmHg ve uçucu olmayan organik bileşiklerin 25^{o}C'deki buhar basıncı ise < 10^{-7} mmHg aralığında değişmektedir.

UOB'ler kimyasal yapılarına göre Alifatik (düz veya dallı zincir), Aromatik (halkalı), Halojenli ve Oksijenlenmiş Hidrokarbonlar olarak 4 gruba ayrılmaktadır. UOB sınıfı farklı kimyasal ve fiziksel davranışlarına sahip türleri kapsamaktadır. Karbon ve hidrojen içeren (sadece element olarak) hidrokarbonlar önemli UOB'lerdendir (alkan, alken, alkin ve aromatikler). Bununla birlikte UOB'lerin C ve H'nin yanında içerdiği oksijen, klor ve halojenler oldukça önemlidir. Bu ikinci sınıftakiler aldehit, alkoller, ketonlar, klorlu alkanlar ve alkenler, klorofloro karbonlar (CFC) ve hidro klorofloro karbonlar (HCFC) gibi bileşikleri içerir.

Çizelge 2.1 : İç Ortam Havasında Bulunan Uçucu Organik Bileşiklerin Kaynakları (Maroni ve diğ.,1995).

Kaynaklar	Tipik Kirleticiler
Ticari Ürünler	Alifatik hidrokarbonlar (n-dekan, dallanmış alkanlar, aromatik hidrokarbonlar (toluen, ksilen), halojenlenmiş hidrokarbonlar (metil klrorür), alkoller, ketonlar (aseton, metil etil keton), aldehidler (formaldehit), esterler (glikoleterler), terpenler (limonen, alfa-pinen)
Boyalar	Alifatik hidrokarbonlar (n-hekzan, n-heptan), aromatik hidrokarbonlar (toluen), halojenlenmiş hidrokarbonlar (metil klorür, propilen diklorür), alkoller, ketonlar (metil etil keton), esterler (etil asetat), eterler (metil eter, etil eter, butil eter)
Yapıştırı Malzemeler	Alifatik hidrokarbonlar (hekzan, heptan), aromatik hidrokarbonlar, halojenlenmiş hidrokarbonlar, alkoller, aminler, ketonlar (aseton, metil etil keton), esterler (vinil asetat)
Döşeme ve Kumaşlar	Aromatik hidrokarbonlar (stiren, bromlaşmış aromatikler), halojenlenmiş hidrokarbonlar (vinil klorür), aldehitler (formaldehit), eterler, esterler.
Yapı Malzemeleri	Alifatik hidrokarbonlar (n-dekan, n-dodekan, aromatik hidrokarbonlar (toluen, etil benzen), halojenlenmiş hidrokarbonlar (vinil klorür), aldehitler (formaldehit), ketonlar (aseton), eterler, esterler

Yukarıdaki çizelgeden de görüldüğü gibi UOB'ler; boya, vernik, yapıştırıcı ve inşaat malzemelerinin yapısında bulunmaktadırlar. Yapılan araştırmalar sonucunda bu malzeme ve ürünlerin kullanıldığı ortamlarda uçucu organik karbon bileşiklerine sıkça rastlanıldığı ortaya konmuştur (Guo ve Murray, 2001; Guo ve diğ., 2000). Ofis ortamlarında kullanılan yazıcılar ve fotokopi makineleri, iç ortam havası için önemli birer UOB kaynağıdırlar (Lee ve diğ., 2006). Yapılan araştırmalarda, fotokopi çekme işlemi sırasında havaya ozon gazıyla birlikte pek çok UOB'nin yayıldığı belirlenmiştir (Brown, 1999; Henschel ve diğ., 2001; US EPA, 1995). Fotokopi işlemleri sırasında

yaklaşık 60 farklı UOB türünün ortama salındığı raporlanmıştır (Wolkoff ve diğ., 1993). İç ortamlarda bulunan UOB'lerin önemli bir diğer kaynağı ise yoğun trafiğe sahip dış mekânlardır. Trafiğin yoğun olduğu bölgelerde bulunan evlerde ölçülen benzen konsantrasyonlarının (7,7 μg/m^3), trafiğin az olduğu bölgelerdeki evlere göre (5,7 μg/m3) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Fischer ve diğ., 2000).

2.3 İç Ortam Havasından UOB Giderimi İçin Kullanılan Yöntemler

Son yıllarda sanayileşmenin ve ekonomik büyümenin artması ile birlikte, özellikle gelişmekte olan ülkelerde UOB'lerin yıllık emisyonları, çarpıcı biçimde artmaktadır ve bunun etkisiyle insanların yaşam ve çalışma alanlarında bu kirleticilerin konsantrasyonları ciddi seviyelere ulaşmaktadır. UOB iç mekan havasındaki önemli kirleticilerdir (Wang ve diğ., 2007; Jo ve Park, 2004). Genel olarak, UOB giderimini de kapsayan iç mekan hava kalitesini iyileştirmek için daha öncede belirtildiği üç yöntem önerilmektedir; kaynakta kontrol, havalandırma ve hava temizleyicileri (Li ve diğ., 2001; Lee ve diğ., 2002). Özellikle hava temizleyicileri için geliştirilen ürünlerde aşağıda belirtilen yöntemler tercih edilebilmektedir;

1- Filtrasyon ve adsorpsiyon
2- Ozonla hava temizleyiciler
3- UV destekli hava temizleyiciler-fotokatalitik adsorpsiyon
4- UV destekli hava temizleyiciler-çoklu dalga hidroksil üreticiler

Filtrasyon ve adsorpsiyon; PM ve düşük ppb seviyesinde UOB'leri giderme konusunda başarılı olmalarının yanında yüksek seviyede UOB giderimi konusunda başarısızlardır. Partiküllerin %90'ı 10 μm'den daha küçük boyuttadır ve yüksek gözenekli filtreler 10 μm'den daha büyük boyuttaki partikülleri daha iyi gidermektedirler. Bu nedenle, 0,3 mikronun üzerindeki partiküllerin %99,97'sini giderebilen HEPA filtrasyonuna gerek duyulmaktadır. *Düşük enerjili iyonizerler*; filtrasyonu geliştirmek için pozitif ve negatif yüklü partiküller üretirler ve bu partiküller yüklü toplama yüzeylerinde tutulabilmektedirler. Filtreler, adsorbentler ya da toplama yüzeyleri bakteri ve virüs birikimini önlemek ve verimliliği uzun süre sağlamak amacıyla zamanla mutlaka değiştirilmelidir. Sadece *adsorpsiyon* diğer bozunma yöntemiyle uzaklaştırma ve geri kazanma tekniklerine göre çok daha yeni ve birçok açıdan daha avantajlı bir tekniktir. Özellikle diğer tekniklerin çoğunda gözlemlenen düşük konsantrasyonlarda uygulanamama zorluğu, uygun adsorpsiyon

malzemesinin seçilmesiyle giderilebilmektedir. Adsorpsiyon diğer giderim tekniklerine yardımcı olarak da kullanılabilmektedir (Kalender, 2009). *Membran ile filtrasyon tekniğinin* UOB geri kazanılmasında uygulanması deneysel araştırma safhasındadır. Uygulamada polimerik filmler, kompozit silikon plastik, aromatik poliamit gibi materyaller membran ve polieter (imid) ve polihidratoine gibi materyaller membran destek malzemesi olarak kullanılabilmektedir. Membran temelli giderim sistemleri deneysel olarak iyi sonuçlar vermektedirler fakat yaygın kullanım açısından bazı problemler vardır. Bunlar; genellikle yavaş bir işletme şekline sahip olması, işletme şartlarına duyarlı bir teknik olması, proses hızındaki artışın direkt olarak işletme maliyetlerini arttırması ve yaygın kullanılabilirliğinin düşük olmasıdır. Bu dezavantajları giderecek şekilde üretim yöntemlerini optimize etmek iyi bir strateji olmaktadır.

Ozonlu hava temizleyiciler; Ozon doğal bir oksidanttır. UOB'nin bazı türlerini parçalayabilmekte ve bakteri ve/veya virüsü öldürebilmektedir. Ozon yavaş bir şekilde reaksiyona girmektedir ve bu sebeple yüksek konsantrasyonlarda ozona ihtiyaç duyulmaktadır. *Oksidasyonda*; en çok yapılan uygulama fotokatalizörler kullanılarak ortam sıcaklığında ve UV ışık altında UOB'leri CO_2'ye kadar parçalamaktır. En çok kullanılan fotokatalizörler ise (yarı iletken malzemeler) TiO_2, ZnO, WO_3, ZnS ve CdS'dir. UOB'lerin fotokatalitik reaksiyonu başlıca oksidant türleri, adsorbe edilmiş suyun veya hidroksil iyonunun oksitlenmesi ile oluşan hidroksil radikalleridir. Toplam mineralizasyonunun nihai ürünleri CO_2 ve H_2O'dur. UOB'lerin fotokatalitik oksidasyonu, elektron boşluklarının oluşumu ve rekombinasyonu, UOB'lerin adsorpsiyonu, kimyasal bozunma ve ürünlerin ya da ara ürünlerin desorpsiyonu aşamalarını içermektedir. Su ve oksijen, TiO_2 yüzeyine kimyasal olarak adsorbe olmakta ve daha sonra yüzeyinde reaktif türler üretilmektedir. İlk önce $Ti^{4+}O^{2-}$ çiftlerinde suyun dissosiye kemisorpsiyonu, yüzey OH^{-s} ve bulk OH^{-L} üretmektedir. TiO_2'nin reaktif yüzeyinde, yüzeye adsorbe olmuş O_2ads bir elektron ile O^{-2}ads oluştururken OH^-, $OH^{\cdot}$ üretmek için pozitif bir boşluk hapsetmektedir (Banisharif ve di., 2015).

2.3.1 Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, gözenekli malzemeler yardımı ile belirli bileşikleri seçici bir şekilde endüstriyel atık gazdan adsorbe etme prensibine dayanmaktadır. Uçucu organik

bileşiklerin (UOB) giderimi, ayırma ve geri kazanma işlemlerinde yaygın olarak uygulanmaktadır. Adsorpsiyon işlemi, adsorban ile adsorbent arasındaki etkileşime dayanmaktadır. UOB'lerin adsorpsiyonunda önemli bazı parametreler vardır. Bunlar: (i) UOB'lerin kaynama noktası, (ii) sıcaklık, (iii) dipol momenti (Chiang ve diğ., 2001), (iv) gazın hacmi, (v) gazın sıcaklığı, basıncı ve ortamın bağıl nemi, (vi) UOB'lerin bileşimi ve konsantrasyonları (Khan ve Groshal, 2000), (vii) adsorbent madde ve yapısıdır. Verimli bir adsorpsiyon prosesi için uygun bir adsorbent seçmek oldukça önemlidir. Adsorpsiyon ile UOB giderim işlemlerinde ideal bir adsorbentin yüksek adsorpsiyon kapasitesi, hidrofobik olması, yüksek termal ve hidrotermal kararlılığa sahip olması ve kolay rejenere edilebilmesi gibi özelliklere sahip olması istenmektedir (Yang ve diğ., 2019). Adsorbentler genellikle inorganik, organik ve inorganik-organik hibrid adsorbentler olarak sınıflandırılabilmektedir. Ticari adsorpsiyon işlemlerinde aktif karbonlar, zeolitler, silika jeller ve killer gibi inorganik adsorbentler yaygın olarak uygulanmaktadır.

Aktif karbon (AC), yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olması, doğada doğal olarak bulunması ve düşük maliyete sahip olması nedeniyle UOB'lerin adsorpsiyonunda tercih edilmektedir. Fakat su buharının güçlü bir şekilde adsorpsiyonu nedeniyle, aktif karbonun UOB'leri adsorplama kapasitesi düşmektedir. (Alcaniz-Monge ve diğ., 2001). Ayrıca, mikro gözenek boyut aralığındaki AC, özellikle büyük moleküler boyuttaki UOB moleküllerinin difüzyonunu engelleyebilir (Kitagawa ve diğ., 2004, Zhang ve diğ., 2017). Rejenarasyonu da zor olan AC'a alternatif yüksek yüzey alana, ayarlanabilir gözenekliliğe, çok yönlü yüzey işlevlerine ve aynı zamanda termal stabiliteye sahip adsorbentler geliştirmek önemli bir çalışma alanıdır (Ma ve diğ., 2008, Jabbari ve diğ., 2016, Duan ve diğ., 2018). UOB'lerin etkili giderimi için bazı adsorbentlerin spesifik özelliklerini geliştirmek gerekmektedir ve bunun için modifikasyon veya fonksiyonelleştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu nedenle organik-inorganik, metal-organik hibrit adsorbent maddeler geliştirilmektedir. Genel olarak, fiziksel ve kimyasal özelliklerin modifikasyonları üzerine çalışılmakta ve karbonlu malzemeler için asit, baz işlemleri ve ısıl işlemlerin yüzey kimyasını ve yapısal özelliklerini değiştirdiği belirtilmektedir (Yin ve diğ., 2007). Geliştirilen adsorbent maddeler ve bu maddelerin UOB giderimindeki kullanımına ilişkin yürütülmüş olan çalışmalarda kullanılmış yaygın adsorbentlerin özellikleri, bu adsorbentlerin çalışma koşulları ve giderim verimleri Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

UOB'lerin gideriminde klasik adsorbentler, aktif karbonlar, reçineler ve zeolitler tercih edilmektedir (Yang ve diğ., 2019).

Çizelge 2.2 : UOB gideriminde kullanılan adsorbentlerin çalışma koşulları ve giderim verimleri.

UOB	Adsorbent	S_{BET}* (m^2/g)	UOB konsantrasyonu	Verim (mg/g) veya %kapasite	Referans
Toluen	Antrasit bazlı aktif karbon	2746	200 ppm	640 mg/g	Lillo-Ródenas ve diğ., 2005
	Çam odunu bazlı aktif karbon	2044	200 ppm	476 mg/g	Mao ve diğ., 2015
p-Ksilen	Silikalit-Zeolit	377	P/P_0 0,5	138 mg/g	Cosseron ve diğ., 2013
	SSZ-23 Zeolit	536	P/P_0 0,5	103 mg/g	
	CHA-tipi Zeolit	803	P/P_0 0,5	4,2 mg/g	
Trikloroetan	Aktif karbon fiber	830	3400 ppm	100 mg/g	Li ve diğ., 2002
Kloroform	Aktif karbon bazlı hindistan cevizi kabuğu	898	0,1 ppm	% 84	Bansode ve diğ., 2003
Aseton	Silikalit-Zeolit	377	P/P_0 0,5	105,7 mg/g	Cosseron ve diğ., 2013
	SSZ-23 Zeolit	536	P/P_0 0,5	141,1 mg/g	
	CHA-tipi Zeolit	803	P/P_0 0,5	5,808 mg/g	
Fenol	BEA Zeolit	500	1,6 g/L	160 mg/g	Khalid ve diğ., 2004
Asetik asit	Amin Fonksiyonelleştirilmiş Reçine	35	1,2 mol/L	661 mg/g	Anasthas ve Gaikar, 2001

*yüzey alanı

2.3.1.1 Nanolif yapılarında kullanılan adsorbent malzemelerin özellikleri ve uygulama örnekleri

Tez kapsamında nanolif yapılarında kullanılan adsorbent malzemeler Halloysit Nanotüp (HNT) ve Nanokil (NK)'dir. Kil, esas olarak ince taneli minerallerden doğal olarak oluşan bir mineraldir (Zhang ve diğ., 2016). Günümüzde, killer (katmanlı silikatlar), yüksek en boy oranı, kullanılabilirlik kolaylığı ve düşük maliyeti nedeniyle polimerler için ideal nano eklentilerden biri olmuştur (Azeez ve diğ., 2012). Nanokiller, fillosilikat veya tabaka yapısına sahip doğal olarak oluşan tabakalı mineral kil silikat nanoparçacıkları için kullanılan genel bir terimdir. Yaklaşık 1 nm'lik tabaka kalınlığına sahiptir (Sedaghat, 2013). Nanopartiküllerin morfolojisine ve kimyasal bileşime bağlı olarak nanokiller illit, halloysit, bentonit, kaolinit, montmorillonit, hektorit ve klorit gibi çeşitli sınıflara ayrılmaktadır.

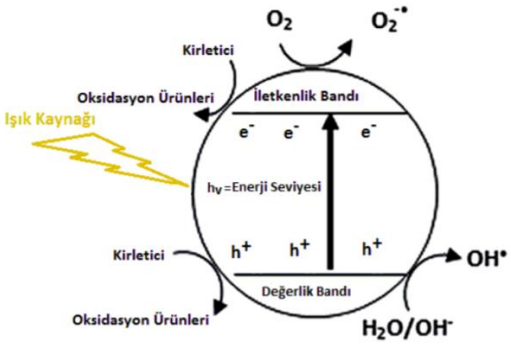
HNT'ler, tübüler nanoyapı, geniş en boy oranı, doğal kullanılabilirlik, zengin işlevsellik, iyi biyouyumluluk ve yüksek mekanik mukavemet özellikleri olan doğal nanomalzemelerdir. Halloysit üzerine kapsamlı araştırmalar 1940'larda başlamıştır (Macewan, 1947; Brindley ve diğ., 1948). Son yıllarda, halloysit, malzeme bilimi ve teknolojisindeki tüp benzeri nanokatkılara artan bir ilgi nedeniyle yeniden dikkat çekmiştir. Bu kil mineralleri oldukça küçük bir yapıya sahiptir, yaklaşık 50-60 nm dış çapa, 600 nm ile 700 nm arasında uzunlukları vardır. 48 m^2/ g'lık özgül bir yüzey alanına ve 0,148 cm^3/g'lık bir gözenek hacmine sahiptir (Wang ve diğ., 2011). Al, Si, H ve O, bu kil bazlı nanotüplerin bileşimini formüle eden dört ana elementtir. Bu nanotüpler, doğal yapıları, düşük maliyetli ve yenilenebilir olması nedeniyle nanobilim ve nanoteknolojideki sayısız uygulama için yaygın olarak kullanılmaktadır (Tharmavaram ve diğ., 2018). HNT yapısı nanopartiküller ile modifiye edilebilirler genellikle yüzey modifikasyonu ile saf nanotüplerin yüzeyine nanokatkılar sabitlenebilir (Saadat ve diğ., 2020). Bu özellikler, HNT-polimer nanokompozitleri için düşük maliyetle yüksek mekanik ve termal dayanım sağlamaktadır. Yüksek yüzey alanına sahip içi boş boru şeklinde lümen yapısındaki HNT'lerin zıt yüklü yüzey moleküllerinin özel yapısı, hem iç yüzeyine hem de dış yüzeyine çeşitli moleküllerin bağlanmasını sağlar. HNT-polimer nanokompozitler mekanik, termal ve alev geciktirici özellikleri yanında benzersiz kristalleşme davranışlarına sahiptir. HNT ile uyumlu polimerler arasında polipropilen (PP), polietilen (PE) ve poliamit-6 (PA6) yer alır (Liu ve diğ., 2014).

Nanokil (NK) yapıları karbon nanotüp, silika, metal oksitler gibi konvansiyonel malzemelere göre çeşitli avantajlar gösterir. Bu avantajlar, biyobozunurluk, bol miktarda mevcut olma, düşük yoğunluk, yüksek özgül mukavemet, düşük toksisite ve düşük üretim maliyetleridir. Bu nedenle nanokil ile güçlendirilmiş polimer nanokompozitler, yenilenebilirlik ve iyi mekanik özellikleri nedeniyle ambalaj sanayisinden tıbbi ve yüksek performanslı mühendislik malzemelerine kadar geniş alanlarda kullanılmaktadır (Saba ve diğ., 2019). Literatürde NK'nın hava filtresi olarak uygulamasına bakıldığında Herrera-Alonso ve diğ., (2009) tarafından yapılan kil içeriğini değiştirerek poliüretan/kil nanokompozit filtre üretim çalışması görülmektedir. Bu araştırmacılar hava ortamında UOB'lerin adsorpsiyon-desorpsiyon döngülerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada, nanokilin kullanılmasıyla UOB moleküllerinin nüfuz etmesi için daha fazla girintili bir yüzey oluştuğu görülmüştür. Termodinamik analizlerde morfolojinin yanında UOB'lerin polar, non-polar olmasının ve malzemenin hidrofilik veya hidrofobik yüzey özelliklerinin UOB adsorpsiyonunda daha etkin rol oynadığını gözlemlemişlerdir.

2.3.2 Fotokatalitik oksidasyon

Fotokatalitik oksidasyon, UV ışığı varlığında yarı iletken bir katalizör ile dirençli organik kirleticilerin giderimini sağlayan etkili bir ileri oksidasyon prosesidir. Yarı iletken özelliğe sahip birçok metal oksit, fotokatalitik oksidasyon prosesinde fotokatalizör olarak kullanılmaktadır. Bir yarı iletken değerlik bandı (DB) ve iletim bandından (İB) meydana gelmektedir. Değerlik bandı elektronlar ile dolu iken iletim bandı ise boş enerji seviyelerini içermektedir. Yarı iletkenlerde ise bu iki bandın arasındaki boşluk yalıtkan maddelere oranla daha küçüktür. DB'dan İB'na doğru elektron transferi olabilmesi için gerekli olan enerji 0 ile 4 eV arası olduğunda yarı iletken, 4 eV'dan yüksek olduğunda ise yalıtkan olarak tanımlanabilmektedir. Bu enerjiye eşik enerjisi adı verilmektedir. Bir yarı iletken, DB'dan İB'na elektron transferi olabilmesi için gerekli bir minimum enerji ya da daha büyük bir enerji ile uyarılmalıdır. Bu uyarılma gerçekleştiğinde, elektronlar DB'dan İB'na geçmekte ve DB'da boşluklar oluşmaktadır. Fotokatalitik reaksiyon, gerekli olan bu enerji için fotonların kullanılması ile ışıktaki enerjinin elektrokimyasal enerjiye transferi olarak adlandırılmaktadır. DB'da bulunan elektron, yarı iletkenin kendi bulunduğu band aralığından daha yüksek enerjiye sahip olan fotonu absorplamakta ve elektron İB'na geçerek elektron-boşluk çiftleri meydana gelmektedir. DB boşlukları oksitleyici olarak

hareket ederken İB elektronları ise indirgeyici olarak hareket etmektedirler (Zangeneh ve diğ., 2015). Bir yarı iletken katalizör üzerinde gerçekleşen reaksiyonların şematik olarak gösterimi (Şekil 2.1) aşağıdaki gibidir:



Şekil 2.1 : Fotokatalitik oksidasyon prosesi (Youssef ve diğ., 2018).

Fotokatalizörde oluşan boşluklar (h+) yüksek oksitleyici potansiyelleri sayesinde organik maddenin direkt olarak oksidasyonunu sağlamaktadırlar. •OH radikalleri ise hem suyun bozunması nedeniyle hem de boşlukların OH^- ile olan reaksiyonu sonucu oluşmaktadırlar (Hoffmann ve diğ.,1995). Fotokatalitik oksidasyon heterojen durumda gerçekleşmektedir ve başlıca adımları şu şekildedir:

$$\text{Yarı iletken} + h\nu \rightarrow e^- + h^+ \text{ (ışın absorpsiyonu)} \quad (2.1)$$

$$h^+ + OM \rightarrow \bullet OM^+ \text{ (oksidasyon)} \quad (2.2)$$

$$h^+ + H_2O \rightarrow H^+ + \bullet OH \quad (2.3)$$

$$h^+ + OH^- \rightarrow \bullet OH \quad (2.4)$$

$$e^- + O_2 \rightarrow \bullet O_2^- \quad (2.5)$$

$$\bullet O_2^- + 2H^+ \rightarrow H_2O_2 + O_2 \quad (2.6)$$

$$e^- + H_2O_2 \rightarrow OH^- + \bullet OH \quad (2.7)$$

$$e^- + h^+ \rightarrow \text{ısı} \quad (2.8)$$

UOB'lerin giderimine yönelik olan fotokatalitik sistemlerde, gelen gaz akımı katalizör ile kaplanmış olan bir destek yapısı içinden geçirilmektedir. Düşük konsantrasyonlu işlemler veya döngüsel olarak çalışan işlemler için fotokatalitik sistemler çok daha uygundur. Akış oranlarının ve UOB içeriğinin değişken olduğu havalandırma kontrolleri için yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Patkar ve Laznow, 1992; Ruddy ve Carroll, 1993). Fotokatalitik oksidasyon prosesi, ofis binalarında, fabrikalarda, evlerde, arabalarda ve uzay araçlarında hava arıtımı için potansiyel olarak

uygulanabilmektedir. Bu nedenle havadaki organik kirleticileri gidermek için son zamanlarda önemli derecede ilgi görmekte olan bir prosestir (Zhao ve Yang, 2003). Fotokatalitik oksidasyon sistemlerinde kullanılmakta olan fotokatalizörler iç ortam havasında bulunan alkanlar, alkenler, alkoller, aromatikler, klorlu hidrokarbonlar, aldehitler ve ketonlar gibi birçok uçucu organik bileşiği CO_2 ve H_2O gibi çok küçük moleküllere kadar parçalayabilmektedir. Ayrıca, bu sistemler UOB konsantrasyonu 100-2.000 ppm aralığında olacak şekilde tasarlanabilmektedir (Zhao ve Yang, 2003). Reaksiyon hızı fotokatalitik reaksiyon verimliliğinde ve etkinliğinde önemli bir parametredir ve etkileyen diğer faktörler ise Çizelge 2.3'te verilmiştir. Nem, ışık kaynağı ve şiddeti, hava akış hızı, kirletici konsantrasyonu ve fotokatalizör türü UOB'lerin gideriminde reaksiyon hızını etkileyen önemli faktörlerdir (Haghighat Mamaghani ve diğ., 2017).

Çizelge 2.3 : Fotokatalitik oksidasyon verimini etkileyen faktörler.

Etki Faktörü	Düşük Olması	Yüksek Olması
Su buharı	Su buharı olmadığında fotokatalitik bozunma yavaşlamaktadır.	Su buharının katalizör yüzeyindeki aktif merkezleri kapatmasından dolayı, bozunma yavaşlamaktadır.
Işık şiddeti	Daha az foton üretilecektir ve reaksiyon hızı azalacaktır.	Daha fazla foton üretilecektir ve reaksiyon hızı artacaktır. Fakat ışık şiddeti arttığında fotonların kullanım hızı azalmakta, elektron boşluk çiftlerinin yeniden birleşme (rekombinasyon) hızı artmaktadır.
Kirletici içeren gaz akış hızı	Reaktörde kalma süresini arttırır, daha fazla kirletici madde katalizör yüzeyinde adsorbe olur, daha fazla ·OH ile reaksiyona girer ve kirleticilerin bozunma verimliliği artar.	Reaktör içerisinde kalma süresini azaltır ve kirleticilerin bozunma verimliliği azalır.
UOB konsantrasyonu	Daha düşük kirletici konsantrasyonu, tüm UOB'lerde giderim etkinliğini arttırır.	UOB konsantrasyonunun artmasıyla, katalizör aktif alanı sabit olduğundan adsorplanma kapasitesi azalır. Ayrıca oluşan yan ürünler de UOB'lerin adsorpsiyonunu inhibe ederler.

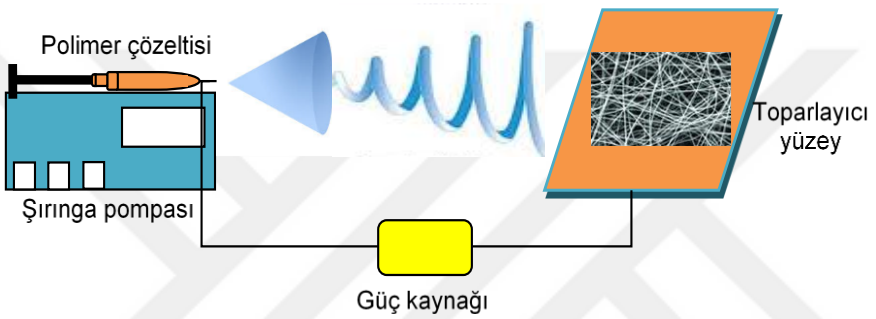
Fotokatalitik oksidasyon prosesinin verimli olmasını etkileyen en önemli parametrelerden biri eşik enerjisidir ve bu enerjinin 2,43 ile 3,2 eV aralığında olması istenmektedir. ZnO ve TiO_2 (anatase) maddeleri yüksek fotoaktiviteye sahip kararlı bir yapıdadırlar. Kolay elde edilebilen, toksik etkilerinin bulunmayan ve ekonomik olan maddelerdir. Bu gibi nedenlerden ötürü fotokatalitik oksidasyon proseslerinde sıklıkla tercih edilmektedirler (Mo ve diğ., 2009). Hava ya da oksijen varlığında UV ışınlarına maruz bırakılmış olan TiO_2 birçok organik kirleticiyi tamamen yok edebilmektedir. Yapılan son çalışmalara bakıldığında, TiO_2'nin modifiye edilerek UOB'lerin giderimi üzerine olan etkisinin araştırıldığı çalışmalara rastlanmaktadır. Bu çalışmalara ek olarak; Çizelge 2.4'te literatürden elde edilen örnek birkaç çalışma gösterilmektedir. Kullanımı sık olarak tercih edilen bu yarı iletken katalizörlerin nanopartikül halinde kullanılması halinde ortamdan uzaklaştırmak için ayrı bir prosese ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda, mevcut yarı iletken katalizörlerin bir destek tabakası kullanılarak aynı performansta kompozit yarı iletken katalizörlerin geliştirilmesi önem kazanmaya başlamıştır.

Çizelge 2.4 : Fotokatalitik oksidasyon yöntemi ve TiO_2 ile UOB'lerin giderim çalışmaları.

Katalizör	Çalışma Koşulları	UOB	Konsantrasyon	Giderim verimi (%)	Referans
TiO_2 nanopartikül	T: 25°C RH: %60 RT: 220 dk Işık kaynağı: UVA+UVB	Etilen Propilen Toluen	200 ppm	73 37 61	Hussain ve diğ., 2011
TiO_2 (P25)	T:250°C RH: %40 RT: 6 h Işık kaynağı: Demir halojen	Toluen	400 ppbv	52 (yan ürünler; benzoik asit, benzaldehit, benzil alkol)	Bianchi ve diğ., 2014
TiO_2	T: 50°C RH: - Işık kaynağı: Düşük basınçlı Hg	Benzen Toluen Etilbenzen Ksilen	21,2 ppmv 8,57 ppmv 19 ppmv 41,31	82 97 83 92	Boulamanti ve diğ., 2008
N katkılı ZnO-TiO_2	T: 25°C RH: NA Işık kaynağı: Beyaz led	Benzen Toluen Ksilen	100 ppm	86 87 86	Ferrari-Lima ve diğ., 2015
SiO_2-TiO_2	T:NA RH: 1,6 g/m^3 Işık kaynağı: UVA	Toluen	7 ppm	90,6 (undoped 69,6)	Zhan ve diğ., 2014
N katkılı TiO_2	T:NA RH: %60 Işık kaynağı: Güneş	Toluen	500 ppm	79,6 (undoped 13,7)	Bianchi ve diğ., 2009

2.4 Nanolif Malzemelerin Üretimi

Elektroeğirme, elektriksel alan yardımı ile çapları mikrondan nanometreye kadar değiştirilebilen fiberlerin üretildiği bir yöntemdir. Şekil 2.2'de elektroeğirme yöntemine ait bir şekil sunulmaktadır. Elektroeğirme yöntemi ile üretilen nanoliflerin özellikleri elektroeğirme parametrelerinin ve malzeme seçiminin değiştirilmesiyle kullanılacak olan alana uygun hale getirilebilmektedir. Elektroeğirme yönteminde Poliamit-6 (PA6), Poliamit 6,6 (PA6,6), selüloz asetat (CA), polivinilalkol (PVA), poliakrilonitril (PAN), polietilen tereftalat (PET), polistiren (PS), polietersülfon (PSF), poliüretan (PU) ve poliviniliden florür (PVDF) gibi polimerler kullanılmaktadır.



Şekil 2.2 : Elektroeğirme yöntemi.

Elektroeğirme prosesini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler Çizelge 2.5'te detaylı olarak verilmektedir. Elektroeğirme yönteminde fiber şekil ve boyutlarının homojenliği için polimer çözeltisinin konsantrasyonu oldukça önemli bir parametredir. Boncuk oluşumu, fiberlerin üretildiği çözeltinin konsantrasyonu veya kullanılan polimerin molekül ağırlığı düşük olduğunda gözlemlenen bir durumdur. Bu durum fiberlerin kalitesini bozan bir etken olarak görülmektedir. Yüksek boncuk oluşumuna sahip fiberler genellikle düşük kaliteli fiberler olarak kabul edilmektedir. Böyle bir durumda üretimin yeniden optimizasyonunun gerekli olduğu değerlendirilmesi yapılmaktadır. Düşük çözelti konsantrasyonları fiberler üzerinde boncuk oluşumuna neden olurken, yüksek konsantrasyonlar ise daha büyük çaplı ve homojen olmayan fiberlerin oluşumuna neden olmaktadır. Homojen ve silindirik fiberler elde etmek için polimer konsantrasyonunun elektroeğirmedeki diğer parametreler ile birlikte göz önüne alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Polimerin moleküler ağırlığı bu üretim yöntemini etkileyen önemli bir diğer çözelti parametresidir. Düşük molekül ağırlıklı polimerler daha fazla boncuk oluşumuna

neden olurken, yüksek molekül ağırlıklı polimerler ile daha homojen fiberler üretilebilmektedir. Polimer çözeltisinin viskozite değeri, polimer konsantrasyonu ve molekül ağırlığıyla ilişkili olan bir parametredir. Düşük viskoziteli çözeltilerde kesintili fiber oluşumu gözlenmekte ve çok yüksek viskozitelerde ise fiber oluşumu güç olmaktadır. Bunun sonucu olarak da elektroeğirme cihazındaki iğnelerin tıkanabilmesi durumu ortaya çıkabilmektedir. Fiber yapısında önemli etkisi olan çözelti viskozitesinin değerinini 1-200 P aralığında olması, homojen ve pürüzsüz fiberlerin sentezlenmesinde oldukça etkilidir.

Elektroeğirme yöntemini etkileyen önemli bir diğer parametre ise çözeltinin iletkenliğidir. Yüksek iletkenliğe sahip olan çözeltiler ile daha ince fiberler üretilebilmektedir. Çözelti iletkenliğinin yüksek olması mekanik dayanımını arttırmakta ve elektrik alana maruz kaldıkça fiberlerin daha uzun olmasına neden olmaktadır. Yüksek iletkenlik değerlerinde daha ince fiberler üretilmektedir. İletkenlik arttığında yük taşıma kapasitesinin yükselmesinden dolayı elektrik alan altında fiberlerin uzamasının daha fazla olacağı gözlenirken, düşük iletkenlik değerleri yetersiz uzamayı ve boncuk oluşumunu meydana getirmektedir. Çözeltinin iletkenliğinin artması fiber oluşumunu olumlu etkilediğinden çalışmalarda iletkenliği arttırmak için polimer çözeltisine tuzlar ilave edilebilmektedir.

Yüzey gerilimi çözücünün cinsine bağlı olarak değişmektedir ve düşük yüzey gerilimi, düşük elektrik alanda pürüzsüz fiberler üretebilmeyi sağlamaktadır. Yüzey geriliminin yüksek olması ise üretim esnasında boncuk oluşumunu arttırmaktadır.

Çizelge 2.5 : Elektroeğirme yöntemi ile filtre üretimini etkileyen parametreler.

Çözelti Parametreleri	Proses Parametreleri	Diğer Parametreler
Konsantrasyon	Voltaj	Sıcaklık
Moleküler Ağırlık	Besleme Hızı	Nem Oranı
Viskozite	Kollektör Tipi	Son İyileştirme
İletkenlik / Yüzey Yük Yoğunluğu	Uç-Kollektör Mesafesi	
Yüzeysel Gerilim		

Elektroeğirme yöntemi ile fiber üretimini etkileyen yöntem parametreleri; uygulanan voltaj, besleme hızı, kolektör ve iğne-kolektör mesafesidir. Polimer çözeltisi şırınga pompası ile kontrol edilebilmekte ve besleme hızı, polimerin türü ve polimer çözeltisinin özelliklerine göre seçilebilmektedir. Buharlaşma süresini kısaltmak ve homojen fiberler üretebilmek amacıyla genelde 1 ml/sa altındaki besleme hızları kullanılmaktadır. Yüksek besleme hızlarına çıkıldığında boncuk oluşumu artarken, düşük besleme hızlarında düzenli bir fiber üretimi görülememektedir. Polimer çözeltisinden fiber oluşumunun başlayabilmesi için eşik gerilimine ulaşılması beklenmektedir. Elektroeğirme yönteminde genellikle 5-40 kV arasında voltaj değerleri uygulandığı görülmektedir. Elektroeğirme yönteminde en çok kullanılan kolektörler, plaka ve döner tambur tipidir. Daha büyük alanlarda homojen fiber üretimi yapılabilmesi için döner tambur tipi kolektör kullanılmaktadır. Alüminyum folyo, teflon veya fırın kâğıdı filtrenin kullanılacağı alana göre plaka üzerine kaplanmaktadır. Kolektör, sistemde elektrik alanı sağlamak için topraklanmış olmalıdır. Uç-kollektör arasındaki mesafe elektrik alanın kuvvetini etkilemektedir. Fiberlerin yeterli uzaması ve çözücülerin kuruması için uygun mesafe bırakılmalıdır. Fiber oluşumu kısa kolektör uç mesafelerinde gözlenmezken, çok uzun mesafelerde boncuk oluşumu gözlenmektedir. Uygun mesafeyi bulmak için optimizasyon çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Sıcaklık, nem oranı ve son iyileştirmeler elektroeğirme yöntemini etkileyen diğer parametrelerdir. Fiber üzerinde kalan çözücünün buharlaştırılması için son iyileştirmeler yapılmaktadır. Yüksek nemde daha fazla gözenekli fiber yapısı görülmektedir. Elektroeğirme sırasında çevrenin sıcaklık ve nemi, ortaya çıkan fiber morfolojisini ve yapısını etkileyebilmektedir. Genellikle, yüksek sıcaklık, daha ince bir fiber yapısına neden olmaktadır. Kurutma sıcaklığı, kullanılan çözücünün kaynama noktasının altından olmalıdır. Daha yüksek sıcaklıklarda fiberlerin kurutulması, kalıntı çözücülerin kaynama ihtimalinden dolayı fiberlerin yüzeyinde veya içerisinde gözeneklerin oluşmasına sebep olabilmektedir. (Tijing ve diğ., 2014).

Literatürde nanolifler ile hava filtrasyonun yapıldığı bazı çalışmalar mevcuttur. Celebioğlu ve diğ., (2016) siklodekstrin nanolifleri üreterek UOB'lerin moleküler tutunmasını gerçekleştirmişlerdir. UOB olarak anilin ve benzen ile çalışmışlar ve yüksek oranlarda UOB tutunumu sağlamışlardır. Ürettikleri nanoliflerin çok yüksek yüzey alanına, gözenekliliğe ve yüksek mekanik dayanıma sahip olduklarını bulmuşlardır. Bikshapathi ve diğ., (2012) Fe nanoparçacık katkılı karbon mikro ve

nanolif üretimi yapmışlar ve UOB gideriminde kullanmışlardır. UOB olarak karbontetraklorür ve benzen ile çalışmışlardır. %90 oranında giderim verimleri elde etmişlerdir. Tian ve diğ., (2017) TiO_2 nanolif+aktif karbon fiberlerini kullanarak toluen giderimi için kompozit bir malzeme üretmişler ve adsorpsiyon+oksidasyon mekanizmasıyla giderim yapmışlardır. Adsorpsiyon verimi %98,0 ve oksidasyon verimi de %97,2 bulunmuştur.

3. MATERYAL- METOT

3.1 Kullanılan Kimyasal Malzemeler

Deneyler sırasında kullanılan çözücü, polimer ve nanokatkıların marka ve kodları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Kullanılan kimyasallarda ekstra saflaştırma işlemi yapılmamıştır.

Çizelge 3.1 : Deneylerde kullanılan kimyasalların marka ve kodları.

Kimyasal Adı	Marka	Kod
Etanol	Merck	1.00983.2511
Formik asit (98-100%)	Merck	1.00263.2500
Metanol	Merck	106007.2500
Asetik Asit (100%)	Merck	100056.2500
Poliamit- 6 (PA6)	BASF	ULTRAMID B24
Titanyum(IV) oksit, anataz	Sigma-Aldrich	248576
Çinko oksit (ZnO)	Sigma-Aldrich	96479
Halloysit Nanotüp (HNT)	Esan	-
Nanokil	Nanografi	NG10SM0101
Destek Tabakası	Mogul-Polyester Spunbound	Pointbond-50 gr/m^3

Ek olarak, Nanokil (NK) %99,9 saflığa ve 400-500 nm aralığında bir boyuta sahiptir. PA6'nın molekül ağırlığı yaklaşık olarak ~ 145.000'dir. Destek tabakası ise şu özelliklere sahiptir; beyaz, % 100 polipropilendir. Birim ağırlığı 50 G / SQ. M'dir.

3.2 Nanolif Filtreler için Polimer Çözeltilerinin Hazırlanması

PA6 polimer çözeltileri içerisine nano katkı malzemeleri, çözeltiye göre ağırlıkça yüzde oranlarında hesaplanarak katılmış ve kompozit çözeltiler hazırlanmıştır. Nano katkı malzemeleri çözücü içerisinde dağıtmak için (dispersiye etmek) için Hielscher

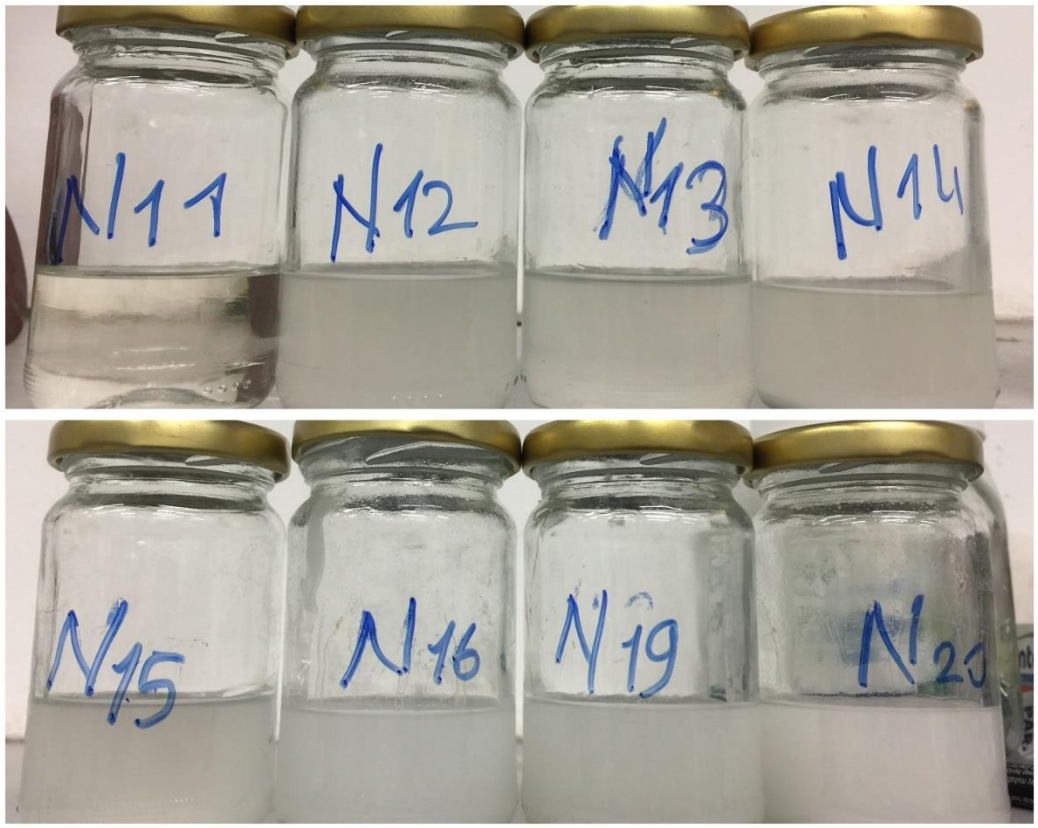
marka UP200St model sonikasyon cihazı kullanılmıştır. Nanokatkı (nanokil-NK, HNT) ve fotokatalizör (TiO_2 ve ZnO) malzemeler, AA: FA (2:1) oranındaki çözücü karışımı içerisinde sonikasyon yöntemiyle 20 dakika süre ile karıştırılarak, homojen dağılım sağlanmıştır. Çözücü karışımı içerisinde dağıtılan nanokatkı malzemelere, ağırlıkça %13 oranında polimer çözeltileri elde etmek üzere, PA6 polimeri eklendikten sonra %80 amplitütta 45 dak. süreyle karıştırılmaya devam edilmiştir. Hazırlanan kompozit çözeltiler elektroeğirme cihazında nano katkılı filtre malzemelerini üretmek üzere kullanılmıştır. Farklı oranlarda nano katkı ve fotokatalizör malzeme içeren kompozit çözeltilere ait fotoğraflar Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3' de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Kompozit çözelti fotoğrafları (HNT-Ti).



Şekil 3.2 : Kompozit çözelti fotoğrafları (NK-Ti).



Şekil 3.3 : Kompozit çözelti fotoğrafları (NK-Zn).

3.3 Nanolif Filtreler için Elektroeğirme Yöntemi

Elektroeğirme metodunda üç bileşen bulunmaktadır. Bu bileşenler yüksek gerilim güç kaynağı, polimer çözeltisi içeren metal uçlu şırınga ve topraklamış kolektördür. İlk olarak polimer çözeltisi şırınga içerisine doldurulur ve bir şırınga pompası yardımıyla itme gücü uygulanır ve yüksek gerilimin uygulandığı metal uca doğru beslenir. Uygulanan elektrik alan polimer çözeltisinin yüzey–gerilimini aştığında, Taylor konisinden polimer çözeltisi püskürtülür ve topraklanmış kolektöre doğru giderek kararsız bir salınım yapar. Polimer çözeltisi boşlukta hareket ederken, çözücü buharlaşır ve katılaşmış polimer nanolifler topraklanmış toplayıcı üzerinde, gözenekli tabaka formunda toplanır. Elektroeğirme düzeneği ile nanolif filtre malzeme üretimi denemelerinde öncelikle sistemin optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon çalışmalarındaki temel parametreler, literatür kısmında da anlatıldığı gibi, polimer çözelti konsantrasyonu, uç-kolektör mesafesi, voltaj, polimer çözeltisi besleme hızı ve elektroeğirme süresidir. Üretim cihazına ait resimler Şekil 3.4'te verilmiştir. Bu cihazdaki üretim çalışmalarında, uç-kolektör mesafesi 15 cm ve voltaj 25 kV değerlerinde sabit tutulmuş, besleme hızı alanın geniş olması nedeniyle arttırılarak 1,0-1,5 ve 2 ml/sa arasında çalışılmıştır. Nanolif üretim süresi 30, 45 ve 60 dakika arasında tutulmuştur.



Şekil 3.4 : Elektroeğirme cihazı.

3.4 Deney Setleri

3.4.1 Taguchi deneysel tasarım yönteminin uygulanması

Taguchi Metodu, ortogonal dizileri kullanarak kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini minimize etmek için kullanılan bir deneysel tasarım tekniğidir. Bu faktörler kullanılan cihazdan, operatörden ya da ortam koşullarından kaynaklı olabilir. Taguchi deneysel tasarımı kullanmadaki temel amaç; hedeflenen veya araştırılan sonuçları ve bu sonuçlardan meydana gelen sapmaları doğru bir şekilde analiz etmek için kullanılan

deney setlerini iyi bir şekilde planlamaktır. Nanolif filtre malzemesi üretiminde Taguchi deneysel tasarımı, özellikle her şarttan kolayca etkilenen elektro eğirme yönteminin sabit şartlarda ve tekrarlanabilir olmasını sağlamak ve olası üretim hatalarını minimize edebilmek için kullanılmıştır. Taguchi ile daha az deney sayısı ve çoklu tekrarlar ile daha temsil edici sonuçlara ulaşılır ve bu yönüyle hem zamanın hem de malzemenin en verimli şekilde kullanılmasını sağlanır. Bu amaçla nano katkıların ve üretim şartlarının eş zamanlı etkilerini görebilmek için Minitab 16 yazılımı kullanılarak seçilen üretim parametreleri ve oluşan Taguchi matrisine göre deneysel tasarım (DOE) setleri oluşturulmuş ve her bir deney seti karakterizasyon ve performans parametrelerine göre değerlendirilmiştir. Karakterizasyon parametreleri; fiber çapı, akma ve çekme dayanımıdır. Performans parametreleri ise; hava geçirgenliği, su buharı geçişi, toluen adsorpsiyonu ve oksidasyonu döngüsünde giderim verimleridir. Minitab yazılımda oluşturulan deney setinin karakterizasyon ve performans parametreleri sonuçları Taguchi Tasarımı Analiz Et komutuyla değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda yazılım Sinyal/Gürültü oranı (S/N) vermekte, S/N oranındaki S sinyal faktörünü, N ise gürültü faktörünü ifade etmektedir. Sinyal faktörü sistemden alınan gerçek değeri, gürültü faktörü ise deney tasarımına katılamayan fakat deney sonucuna etki eden faktörleri ifade etmektedir. S/N oranındaki gürültü faktörlerini ifade eden N değeri ne kadar küçük olursa istenen hedef değere o kadar yaklaşılmış olur. Yani bu analizde amaç S/N oranının maksimize etmektir.

S/N Oranı için kullanılan matematiksel formüller şu şekildedir;

Larger is better ;

$$- 10\times \log_{10}\left(\frac{1}{n}\times \sum_{i=1}^{n} Y_i^2\right)$$

(3.1)

Nominal is best ;

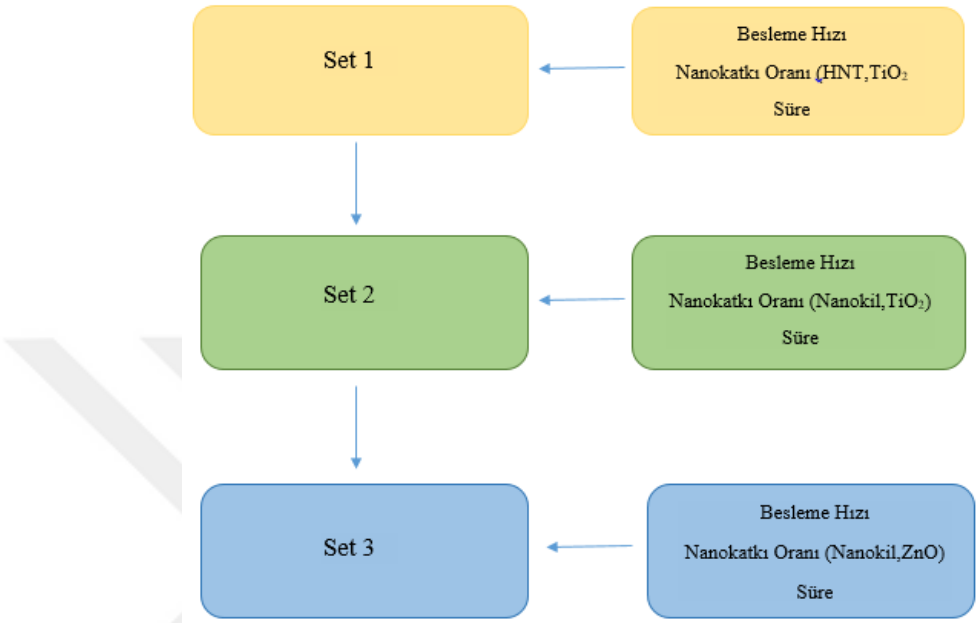
$$- 10\times \log_{10}\left(S^2\right) \text{ ya da } -10\times \log_{10}\left(Y_{bar}^2 \Big/ S^2\right) \quad (3.2)$$

Smaller is better;

$$-10\times \log_{10}\left(\frac{1}{n}\times \sum_{i=1}^{n} Y_i^2\right) \quad (3.3)$$

3.4.2 Nanoliflerin üretim deney seti

Deney setlerinde çözelti konsantrasyonu (%13) sabit tutulmuş ve besleme hızı, nanolif üretim süresi ve nano katkı malzemelerin oranları değiştirilmiş, Deney setlerine ait detaylar Şekil 3.5'te sunulmaktadır:



Şekil 3.5 : Deney setleri akış şeması.

Set 1: Bu sette PA6 filtre malzemeleri HNT ve TiO_2 katkılı olarak üretilmiştir. Üretim sırasında uç-kolektör mesafesi 15 cm, voltaj 25 kV, üretim süresi 30 ve 45 dakika, polimer çözeltisi konsantrasyonu ise ağırlıkça %13 olarak sabit tutulmuştur. HNT ve TiO_2 katkılı çözeltilerin hazırlanmasında, HNT çözeltiye göre ağırlıkça %0,025, 0,035, 0,05 ve TiO_2 çözeltiye göre ağırlıkça %0,1, 0,3 ve 0,5 oranlarında kullanılmıştır. Toplamda 16 adet nanolif filtre üretilmiştir.

Set 2: Bu sette Nanokil ve TiO_2 katkılı PA6 nanolif filtreler üretilmiştir. Nanokil çözeltiye göre ağırlıkça %0,025, 0,05, 0,1 ve 0,5 oranlarında, TiO_2 ise çözeltiye göre ağırlıkça %1 oranda sabit olarak kullanılmıştır. Besleme hızı 1 ve 1,5 ml/sa olarak denenmiş ve uç-kolektör mesafesi 15 cm, voltaj 25 kV, üretim süresi 60 dk., polimer çözeltisi konsantrasyonu ise ağırlıkça %13 olarak sabit tutulmuştur. Toplamda 10 adet nanolif filtre üretilmiştir.

Set 3: Bu sette Nanokil ve ZnO katkılı PA6 nanolif filtreler üretilmiştir. Nanokil ve ZnO katkılı polimer çözeltilerinin hazırlanmasında, nanokil çözeltiye göre ağırlıkça %0,025, 0,05 ve 0,5 oranlarında, ZnO ise çözeltiye göre ağırlıkça %0,5 oranında

kullanılmıştır. Besleme hızı 1 ve 1,5 ml/sa olarak denenmiş ve uç-kolektör mesafesi 15 cm, voltaj 25 kV, üretim süresi 60 dk., polimer çözeltisi konsantrasyonu ise ağırlıkça %13 olarak sabit tutulmuştur. Toplamda 8 adet nanolif filtre üretilmiştir.

3.5 Hava Filtrelerinin Karakterizasyonu

Polimer nanolif malzemeler üretimleri sonrasında ilk olarak yapısal olarak karakterize edilmişlerdir ve daha sonra da laboratuvar ölçekli filtrasyon sisteminde performans testlerine alınmışlardır. Karakterizasyon ve performans testlerinde elde edilen sonuçlar Taguchi deney setlerinin yanıt (response) değişkenlerini oluşturmuştur.

3.5.1 Üretilen nanoliflerin yapılarının ve çaplarının belirlenmesi

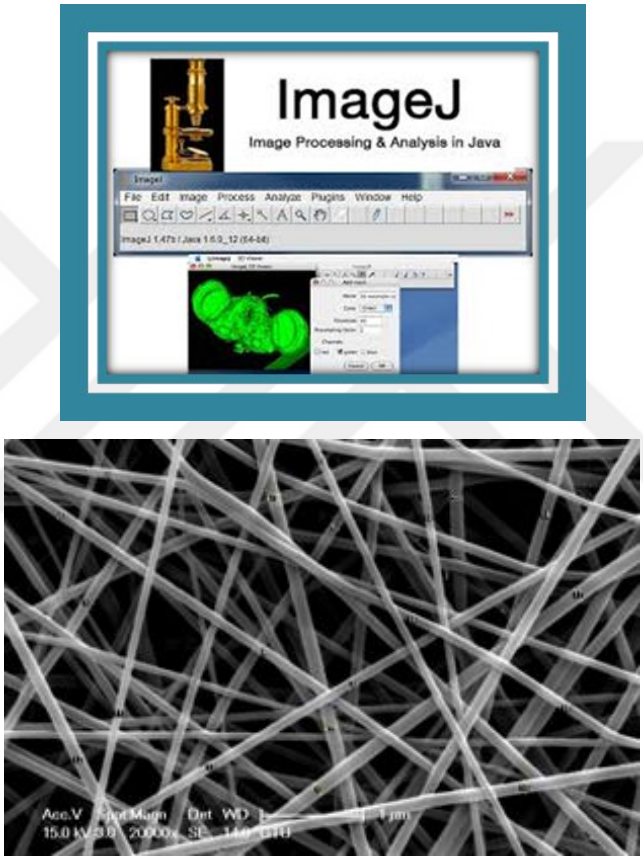
Fiber yapıların morfolojilerinin ve lif çaplarının belirlenmesi amacıyla, hazırlanan örnekler Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile görüntülenmiştir. Ölçüm için kullanılan cihaz Philips XL30SFEG olup, Gebze Teknik Üniversitesi-Malzeme Mühendisliğin bölümünde bulunmaktadır. Numuneler yüksek vakum altında ($3,7x10^{-6}$) mbar altın ile kaplanarak analiz için hazır hale getirilmektedir. Şekil 3.6'da SEM cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : SEM Cihazı.

Fiber çaplarının boyut analizleri için Şekil 3.7'de verilen Image J (Image J, 1.52a JAVA 1.8.0_112, National Institutes of Health, USA) adlı görüntü analiz programı

kullanılmıştır. Bu programla SEM görüntüleri üzerinden fiber çap ortalaması hesaplanmaktadır. Öncelikle, SEM görüntüleri üzerindeki gerçek ölçek kullanılarak programa birim uzunluk (genel olarak 1 µm kullanılmıştır) tanıtılmaktadır. Daha sonra SEM görüntüleri üzerinde 50 farklı noktadan fiber çapı işaretlenmektedir ve fiber çapı boyutları program hafızasına yüklenmektedir. Fiber çaplarının ölçüldüğü noktaların işaretlendiği SEM görüntüsü ve fiber çapı boyutlarının olduğu excel dosyası kaydedilmektedir. Fiber çaplarının ortalama değerleri ve standart sapmaları hesaplanmaktadır.



Şekil 3.7 : İmage J program görüntüsü ve örnek SEM resmi.

3.5.2 XRD ve FTIR analizleri

X-Işını Kırınım yöntemi (XRD), her bir kristal fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanmaktadır. Her bir kristal faz için bu kırınım profilleri parmak izi gibi o kristali tanımlamaktadır. X-Işını Kırınım analiz metodu, analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi (sıvı, toz, kristal ve ince film halindeki)

analizlerinin yapılmasını sağlar. X-Işını Kırınım cihazıyla kayaçların, kristal malzemelerin, ince filmlerin ve polimerlerin nitel ve nicel incelemeleri yapılabilmektedir. Saf ve nano eklentili polimerik filtre malzemelerin X ışını kırınımı, GTÜ-Malzeme Mühendisliği bölümünde bulunan Rigaku marka XRD cihazı ile gerçekleştirilmiştir. 2 teta aralığı 20-80 derece olarak ayarlanmış, tarama aralığı ise 20/dak olarak belirlenmiştir. Analiz sırasında kullanılan cihazın resmi Şekil 3.8'de verilmiştir.



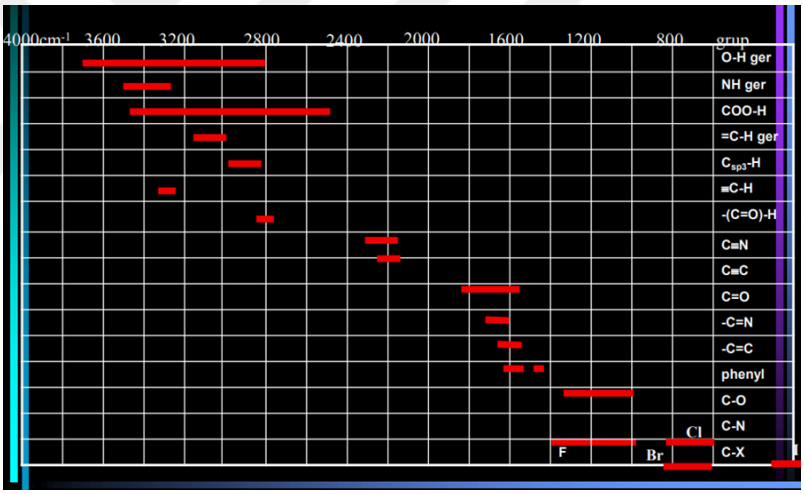
Şekil 3.8 : XRD cihazı.

Filtrelerin kızılötesi (IR) spektroskopisi (FTIR) analizleri, organik bağların karakterize edilmesi için gerçekleştirilmiştir. FTIR spektrumu, maddeyi oluşturan atomlar arasındaki bağların titreşimiyle oluşan frekanslarına karşılık gelen absorpsiyon pikleri ile örneğin parmak izini göstermektedir (Lin ve diğ. , 2011). Her maddenin kendine has bir spektrumu vardır. Bunun tek istisnası optik izomerlerdir. Organik madde spektrumlarının özellikle de 2000 cm^{-1} den sonra gelen kısmı daha ayrıntılıdır. Bu bölgeye parmak izi bölgesi denir. Veri, farklı moleküler bağlardan kaynaklanan farklı titreşim frekanslarını temsil eder (Ergin ve diğ., 2013).

FTIR spektroskopisi katı, sıvı ve gaz örneklerin analizinde kullanılmaktadır. FTIR analizi yapılması planlanan katı örnekler için üç farklı hazırlama tekniği kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden ilkinde örnek KBr (130 °C' de 4 sa. kurutularak (Zhang ve diğ., 2012) elde edilen) ile karıştırılarak ince disk haline getirilmektedir.

İkinci teknikte ise KBr kullanılmaksızın örneğin kendisi ince bir film haline getirilmektedir. Üçüncü yöntem olan solüsyon tekniğinde ise örnek bir çözücü içerisinde çözülerek analize hazırlanmaktadır (Mak ve diğ., 2013). İnce film veya disk tekniğinde film formuna getirilmiş maddelerin kalitatif ve kantitatif analizi yapılmaktadır.

Bu yöntem ile, moleküler bağ karakterizasyonu yapılarak; organik bileşiklerin yapısındaki fonksiyonel gruplar, iki bileşiğin aynı olup olmadığı, yapıdaki bağların durumu, bağlanma yerleri ve yapının aromatik yada alifatik olup olmadığı belirlenebilir. Ayrıca biyokimyasal olarak; karbonhidrat, fosfolipit, aminoasit ve proteinlerin yapı analizlerinde belirleyicidir. Bir Fourier transformasyonu (matematiksel metot) uygulanarak veriyi zaman alanından frekans alanına aktarır. Veri değişik frekanslarda oluşan absorbasyonlar grafiğe dökülür. Bazı fonksiyonel gruplara ilişkin spektrumları Şekil 3.9'da verildiği gibidir.



Şekil 3.9 : Fonksiyonel grup spektrumları.

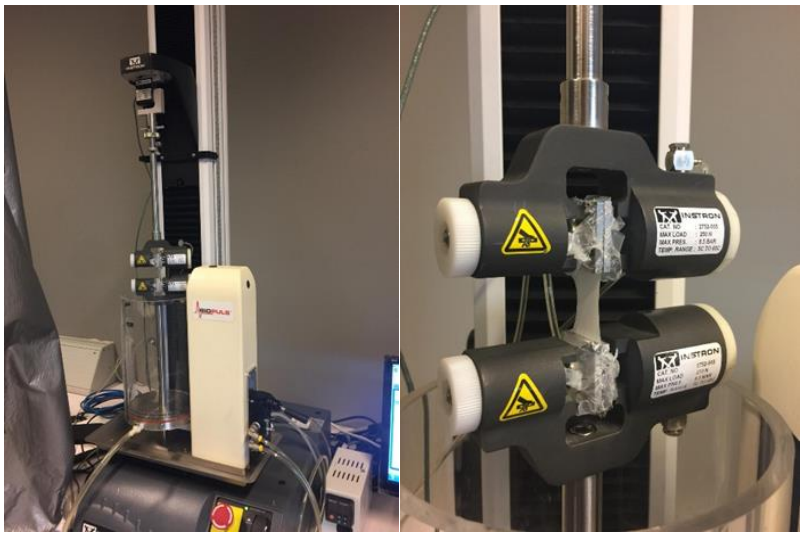
Yapılmış olan FTIR analizleri katı numuneler için uygulanmış ve GTÜ-Kimya bölümünde bulunan Perkin Elmer Spectrum 100 spektrofotometre cihazı (Şekil 3.10) kullanılmıştır. FTIR ölçümleri için tarama aralığı 4000-500 cm^{-1} arasında belirlenmiştir.



Şekil 3.10 : Perkin Elmer Spectrum 100 spektrofotometre cihazı.

3.5.3 Nanolif filtrelerin mekanik testleri

Çekme deneyi, deney numunesinin tek eksende, belirli bir çekme hızında ve sabit sıcaklıkta koparılıncaya kadar numunenin çekilmesidir. Deney esnasında çekme numunesine uygulanan kuvvet ya da gerilme ile meydana gelen uzama değerleri kaydedilir. Çekme deneyi yapılacak numuneler, temsil ettiği malzemenin tüm özelliklerini taşımalıdır. Bu nedenle, numunenin alındığı bölgenin, alınış ve hazırlanış şeklinin büyük önemi vardır. Numune hazırlanırken, temsil ettiği malzeme özelliklerinde herhangi bir değişiklik oluşmamasına dikkat edilmelidir. Üretim sırasında aşırı sıcaklık oluşumu önlenmeli, ayrıca deformasyondan kaynaklanan etkilerde Ortadan kaldırılmalıdır. Çalışmalarımızda çekme testi yapılacak numunenin boyutları 2 x 5 cm olarak belirlenmiştir. Filtre malzemelerinin mekanik dayanımını test etmek amacıyla PRU Laboratuvarında bulunan Instron marka 3345 model çekme-basma cihazı kullanılmıştır. Analiz sırasında kullanılan cihazın fotoğrafı Şekil 3.11'de verilmiştir. 2 x 5 cm boyutunda hazırlanan nanolif malzemeler, cihazın çenelerine yerleştirilmiş, malzeme kalınlığının değeri ve boyutu programdan cihaza tanıtılmıştır. Kullanılan yük hücresi 500N değerinde tutulmuş ve ölçümler oda sıcaklığında alınmıştır.



Şekil 3.11 : Instron 3345 Çekme-Basma Cihazı.

Ölçüm sonucunda, analiz edilen malzemeye ait süre (sn), uzama (mm), yükleme (N), birim şekil değişimi-uzama (Tensile strain, mm/mm) ve çekme gerilimi (Tensile strength, MPa) parametreleri excel dosyasında alınmaktadır. Cihazdan alınan bu veriler kullanılarak Uzama/Gerilme (Strain/Stress) grafiği çizilmiş ve mekanik özellikler ile ilgili ayrıntılı hesaplamalar yapılmıştır. Şekil 3.12'de örnek grafikte gösterildiği gibi elastik deformasyon bölgesinde gerilme-uzama eğrisi doğrusal bir değişim göstermektedir. Diğer bir deyişle, artan gerilme ile birlikte malzemenin uzama değeri doğrusal olarak artar. Bu aralıkta uygulanan gerilme kaldırılırsa uzama değeri sıfıra iner yani malzeme üzerinde kalıcı şekil değişimi oluşmaz. Bu bölgede "Hooke Kanunu" geçerli olup, grafiğin eğiminden malzemenin "Elastisite (Esneklik) Modülü(E)" hesaplanır. Hesaplama formülü aşağıdaki gibidir;

$$\sigma = E.\varepsilon \tag{3.1}$$

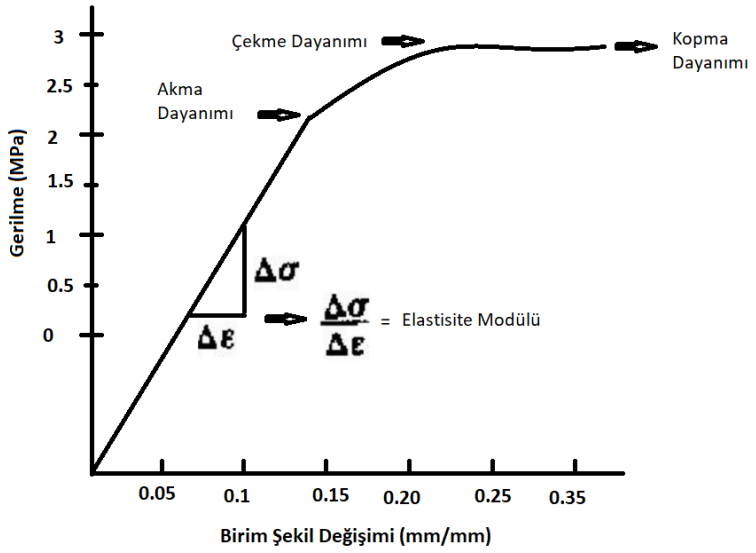
E: Elastisite modülü (kg/mm^2 veya N/mm^2)

σ: Uygulanan gerilme (kg/mm^2 veya N/mm^2)

ε: Elastik şekil değişimi (mm/mm)

Uygulanan gerilme elastik bölgenin dışına çıktığında, malzeme kalıcı şekil değişimine uğramaya başlar. Çekme işlemine devam edildiğinde malzemede kararsızlık oluşur ve numunenin ölçü boyundaki herhangi bir noktada kesit alanı büzülmeye başlar ve numune boyun verir. Bundan sonra kesit alanında daralma nedeniyle, malzemenin boyun verdiği bölge çevresinde deformasyon daha az bir kuvvetle devam eder ve

malzeme boyun bölgesi civarında kopar. Malzemenin kalıcı deformasyona uğramaya başladığı noktada ölçülen gerilme "akma dayanımını (Yield Strength)" verir. Tepe noktasından sonra numune sadece deforme olur. Malzemenin boyun verdiği bölgede kesit alanının sürekli azalması, uygulanan yükte düşmeye neden olur ve uygulanan gerilme azalmaya başladığından eğri azalan yönde değişir. Bu olay deney numunesinin kopmasıyla son bulur. Çekmenin veya kopmanın meydana geldiği anda ölçülen gerilme değeri ise "çekme veya kopma dayanımı (Tensile Strength)" olarak alınır (Pürçek,2014).



Şekil 3.12 : Gerilme-Uzama Eğrisi.

3.6 Hava Filtrelerinin Performans Testleri

3.6.1 Hava geçirgenliği testi

Hava geçirgenliği testi nanolif filtrelerde yapılmış ve İTÜ-Temag'da bulunan ProWhite AirTest II hava geçirgenliği cihazı kullanılmıştır. Cihazın besleme gerilimi 220 V % 10-50 Hz.'dir ve metal aksamları elektrostatik toz boya ile kaplı olan dkp saçtan imal edilmiştir. Cihaz elektronik kontrol paneli plc kontrollü dijital göstergeli ve dokunmatik tuşlara sahiptir. Kontrol panelinde bulunan F2 butonu ile ayarlar menüsünü açılır ve ayarlar menüsünden tanımlanmış olan standartlardan uygun olan standart seçilir. Yapılan ölçümlerde tüm hava geçirgenliği ölçümleri TS 391 EN ISO 9237 standardına göre yapılmıştır (Şekil 3.13). Numune, kıskaç ile 20 cm^2'lik test

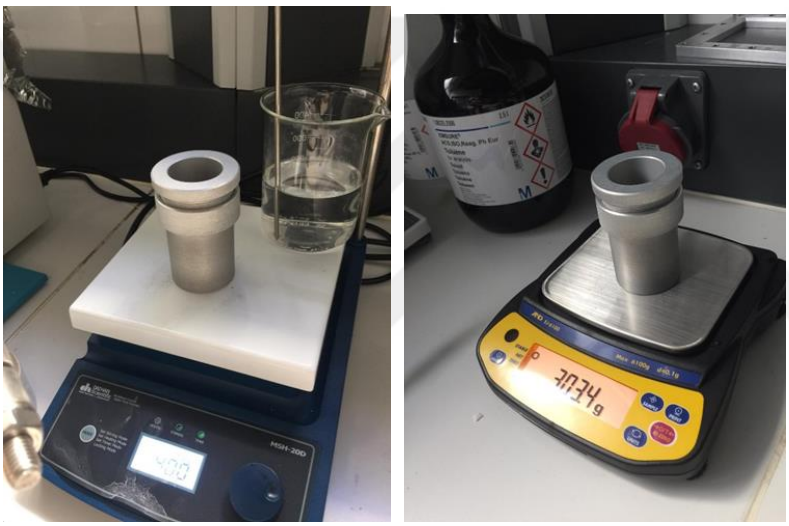
başlıklarına sabitlenerek hava akımı uygulanmıştır. Testi başlatmak için düğmeye basıldığında, güçlü bir aspiratör pompası değiştirilebilir bir test kafasından dairesel bir açıklıkta hava çekmeye başlamaktadır. Önceden ayarlanmış 500 kPa basınçta birkaç saniye boyunca otomatik olarak başlatılıp tutulduktan sonra, farklı basınçlar altında test edilen numunenin hava geçirgenliği mm/s ölçüm biriminde görüntülenmektedir. Temsil edici sonuca ulaşabilmek için filtrenin 3 farklı noktasından ölçüm yapılmıştır. Her ölçüm yaklaşık 5 dk aralığında gerçekleşmektedir.



Şekil 3.13 : Hava geçirgenliği cihazı.

3.6.2 Su buharı testi

Su Buharı Geçirgenliği, su buharının bir filtre içinden geçme ölçüsüdür ve geçirimlilik performansını verir. Su buharı geçişi difüzyon yoluyla gerçekleşmektedir. Su buharı iletim hızı ve geçiş değerleri, deneye tabi tutulan deney numunesinin kalınlığına bağlı bir değerdir. Bu nedenle filtre kalınlığı, su moleküllerinin filtreden difüzyonu sırasında kat ettikleri yolu etkilediği için önemlidir. Kalın filtreler ince olanlara göre su buharı transferine daha fazla direnç gösterirler. Su buharı geçişi testleri, ASTM E96 standardına göre yapılmış ve nanolif filtrelerde uygulanmıştır. Testler için standartta kullanılan aparat özel olarak temin edilmiştir. Testler İTÜ-Çevre Müh. laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.14 : Su buharı geçişi test düzeneği.

Su buharı geçişi deneyine, geçirgenlik kabının numune ve su arasında belirli bir miktar hava boşluğu (0,75 ile 0,25 cm) bırakılarak deiyonize su ile doldurulmasıyla başlanır (Şekil 3.14) Geçirgenlik kabının üzerine tam olarak oturması gerektiği için yaklaşık 6,5 mm'lik çapa sahip bir filtre numunesi kullanılır. Test düzeneği 40 °C'ye ayarlanmış ısıtıcı üzerine yerleştirilir. Su dolu geçirgenlik kabı deney başlamadan önce ve daha sonra periyodik olarak 10 dakika aralıklarla hassas terazide tartılarak ağırlık değişimi kaydedilir. Deney süresi toplam 1 saate ayarlanır. 1 saat sonunda elde edilen ağırlık cinsinden toplam fark, geçirgenlik kabının alanına bölünerek g/m^2/sa cinsinden değer elde edilmektedir.

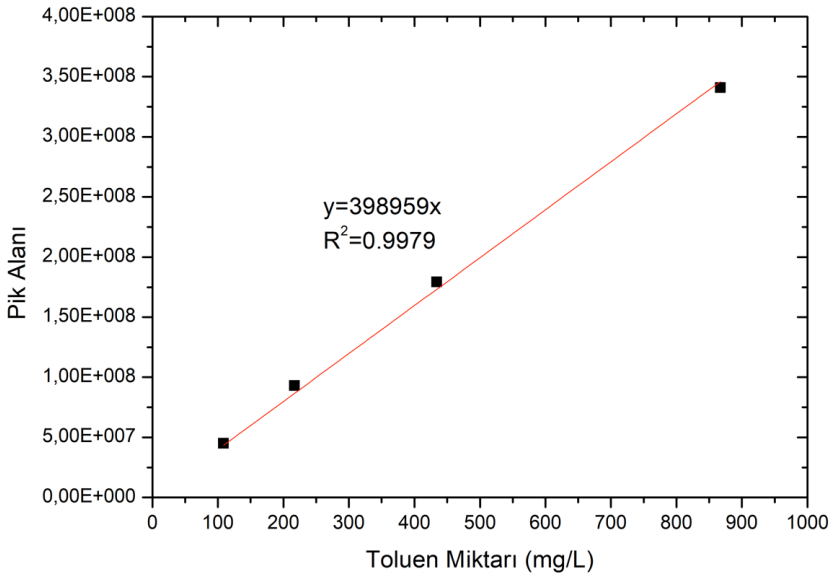
3.6.3 Adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerindeki toluen giderim testleri

Adsorpsiyon ve oksidasyon testleri hava sızdırmazlığı sağlanmış ve modifiye edilmiş bir filtrasyon hücresinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.15'de verilmiş olan resimden görülebileceği gibi deney seti dört bileşenden oluşmaktadır. İlk bileşen sürekli ve sabit hava akışını sağlayan PEAK marka CO_2 ve hidrokarbondan arıtılmış kuru hava jeneratörü (hava akışı 1,5 L/dk da sabit tutulmuştur), ikinci bileşen gelen sabit havanın toluen buharını sürüklediği su banyosu içinde konumlandırılmış gaz yıkama şişesi, üçüncü bileşen adsorpsiyon ve oksidasyonun bir arada ölçümünün sağlandığı 14,6 cm^2 filtre alanına sahip filtrasyon hücresi ve dördüncü bileşen numune alma noktasıdır. Su banyosunun sıcaklığı adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerinde ve tüm malzemelerin testlerinde 40 ºC'de tutulmuştur. Sürekli hava akışı ile toluenin filtrasyon hücresine sürüklenmesinde, akışlar herhangi bir sızma problemini kontrol etmek amacıyla sürekli olarak Schlumberger – Gallus 2000 marka akış ölçer cihazı ile kontrol edilmiştir. Ön denemelerde kullanılan filtrasyon hücresi yaklaşık 300 mL boşluk hacmine sahiptir. Tüm hatlarda toluenin yoğuşmasını engellemek amacıyla ısıtıcı ile sıcaklık 40 ºC'de sabit tutulmuştur. Numune alma noktasında hem gaz fazında toluen hem de metanol içerisinde biriktirme yöntemleri ile GC-MS'te analizler gerçekleştirilmiştir. Deney setlerinde, süreye bağlı numune alımındaki kolaylık ve yüksek tekrarlanabilirlik nedeniyle metanol içerisinde biriktirme yöntemi tercih edilmiştir. Burada hava boşluklu vialler kullanılarak ve gerekli sızdırmazlık sağlanarak 1 dakika süreyle çıkış gaz akımının metanol içerisinde biriktirilmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.15 : Toluen adsorpsiyonu ve oksidasyonu için kullanılan deney seti.

Deney setlerine geçilmeden önce analizin doğrulaması için ön testler yapılmıştır. İlk olarak sıvı metanol ve sıvı toluen karışımları ile standart çözeltiler hazırlanmış ve GC-MS'te metanol ve toluen piklerinin çıkış zamanları kontrol edilmiştir. Standart çözeltileri hazırlamak için 10 ml metanol içerisine 10 µl toluen eklenmiştir, seri olarak yarı yarıya seyreltme yaparak toplamda 4 standart çözelti elde edilmiştir. Bu çözeltilerin toluen kütlesi sırasıyla 8,67, 4,34, 2,17, 1,09 mg'dır ve bu çözeltilerin GC-MS'te verdiği alan kullanılarak toluen konsantrasyonuna karşı kalibrasyon grafiği elde edilmiştir (Şekil 3.16). Son olarak filtrasyon hücresi boş olarak ve destek malzemesi yerleştirilerek reaktördeki bir sıfırlama grafiği oluşturulmuştur. Tüm deney setlerinde besleme hava akışında toluen miktar, geçen hava hacminde % 0,6-0,7 (v/v) toluen olacak şekilde çalışılmıştır. Bu değer ppm olarak 6000-7000 ppm aralığına denk gelmektedir. Toluen miktarı ayarlanırken sadece toluenin gaz yıkama şişesinde 400ºC'de buharlaşması ve geçen sabit hava hacmi göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 3.16 : Toluen Kalibrasyonu.

Adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerinde HNT ve TiO_2 katkılı nanolifler hariç diğer testlerde 15 dakika aralıklarla dört kez reaktörün çıkışından numune alınmıştır. Numune vialleri olası bir toluen kaybı nedeniyle bekletilmeden buzdolabına konulmuş ve tüm numuneler aynı analiz şartlarında Şekil 3.17'te fotoğrafı verilmiş olan İTÜ-Çevre Müh. Laboratuvarında bulunan Agilent marka (7890GC ve 5973MSD) Gaz

Kromatografi-Kütle Spektrometresi'nde (GC-MS) 2 µL enjekte edilerek ölçülmüştür. GC-MS'de HP-5MS (uzunluk: 30m, çap: 0,25 mm, film kalınlığı: 0,25 µm) kolon kullanılmıştır. Fırının başlangıç sıcaklığı 40 °C'ye ayarlanmıştır ve bu sıcaklıkta 3 dakika kalmaktadır. Dakikada 10 °C sıcaklık artışıyla fırın 80 °C'ye ulaşır ve bu sıcaklıkta 1 dakika beklemektedir. Son olarak, dakikada 50 °C yükselerek 180 °C'ye ulaşır ve bu sıcaklıkta 3 dakika beklemektedir. MS cihazı SCAN modunda çalıştırılmıştır ve Wiley kütüphanesinin bilgi bankası kullanılmıştır. Enjeksiyon sırasında inlet sıcaklığı 280 °C'ye ayarlanmış ve 1:10 oranında Split modu seçilmiştir.



Şekil 3.17 : GC-MS Cihazı.

Adsorpsiyon döngüsünde 1 saatlik toluen+hava karışımının filtrelerden geçişi takip edilmiş ve oksidasyon döngüsünde ise Şekil 3.18'te gösterilmiş olan özel yapım kapak kullanılmıştır. Oksidasyon döngüsünde, adsorpsiyonda kullanılan, 15 cm'lik filtre yüzeyine sahip nanolif filtre değiştirilip, yeni filtre takılarak ve filtrasyon hücresinin kapağına yerleştirilmiş 3 adet 365 nm'lik UV LED (3 Watt- Chanzon marka AA0328 model) lambalar açılarak aynı deney yapılmıştır. Döngüler farklı yerlerden kesilmiş nanolif filtrelerde tekrarlı test edilmiştir ve giderim verimleri ortalama olarak verilmiştir. Oksidasyon döngüsünde, UV-LED entegre edilmiş kapağın filtrasyon hücresinin derinliğine göre ışık yoğunluğu, Digital Instruments marka UVA-365SD model ışık ölçer cihazı ile ölçülmüş ve filtrelerin üzerindeki ışık yoğunluğu 0,885 Mw/cm^2 bulunmuştur. Deney başlamadan önce filtrede bulunan TiO_2 ya da ZnO nano parçacıklarını aktif hale getirebilmek için UV LED lambalar açılıp ve 10 dakika beklenmiştir. Bu süre sonunda adsorpsiyonda olduğu gibi akış başlatılmıştır.

Adsorpsiyon ve oksidasyonda döngüsündeki giderim verimleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.



Şekil 3.18 : UV LED'li reaktör kapağı.

$$D = \frac{C_o - C}{C_o} x100 \quad (3.2)$$

D: adsorpsiyon veya oksidasyon döngüsünde giderim verimi (%)

C_o: beslemede ölçülen toluen miktarı

C: belirli zaman aralıklarında reaktör çıkışında ölçülen toluen miktarı

Nanoliflerin oksidasyon özellikleri, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan fotokatalitik oksidasyon sistemi ile belirlenmiştir. Sıvı ortamda oksidasyon verimliliği metilen mavisinin fotokatalitik oksidasyon ile giderimiyle gerçekleştirilmiştir. Fotokatalitik çalışmalar 18 adet UV-A (Philips, 8W) lambası bulunan UV fotoreaktörde 25°C sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar 20 mL aktif hacimde gerçekleştirilmiş ve sabit hızda manyetik karıştırma yapılmıştır. Deneysel çalışmaya başlamadan önce 30 dk. boyunca lambalar kapalı tutulmuş ve adsorpsiyon-desorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda fotokatalitik oksidasyon süresinin metilen mavisinin giderimine etkisini gözlemlemek amacıyla 0-90 dk. fotokatalitik oksidasyon yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda 10 dk. aralıklarla 3 mL numune alınmıştır. Alınan numuneler 6000 rpm hızda 10 dk. santrifüj edilerek nanofiberlerin numuneden ayrılması sağlanmıştır. Daha sonra santrifüj numunesi, UV-Vis spektrofotometre (Schimadzu UV mini 1240 PC instrument) cihazında 664 nm dalga boyunda giderilen metilen mavisi miktarı belirlenmiştir. UV spektrofotometrede okumalar quartz

küvetler ile gerçekleştirilmiştir. Oksidasyon verimi başlangıç metilen mavisi ve zaman bağlı metilen mavisi miktarlarına göre % giderim olarak hesaplanmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

4.1 HNT ile Üretilen PA6 Nanoliflerin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

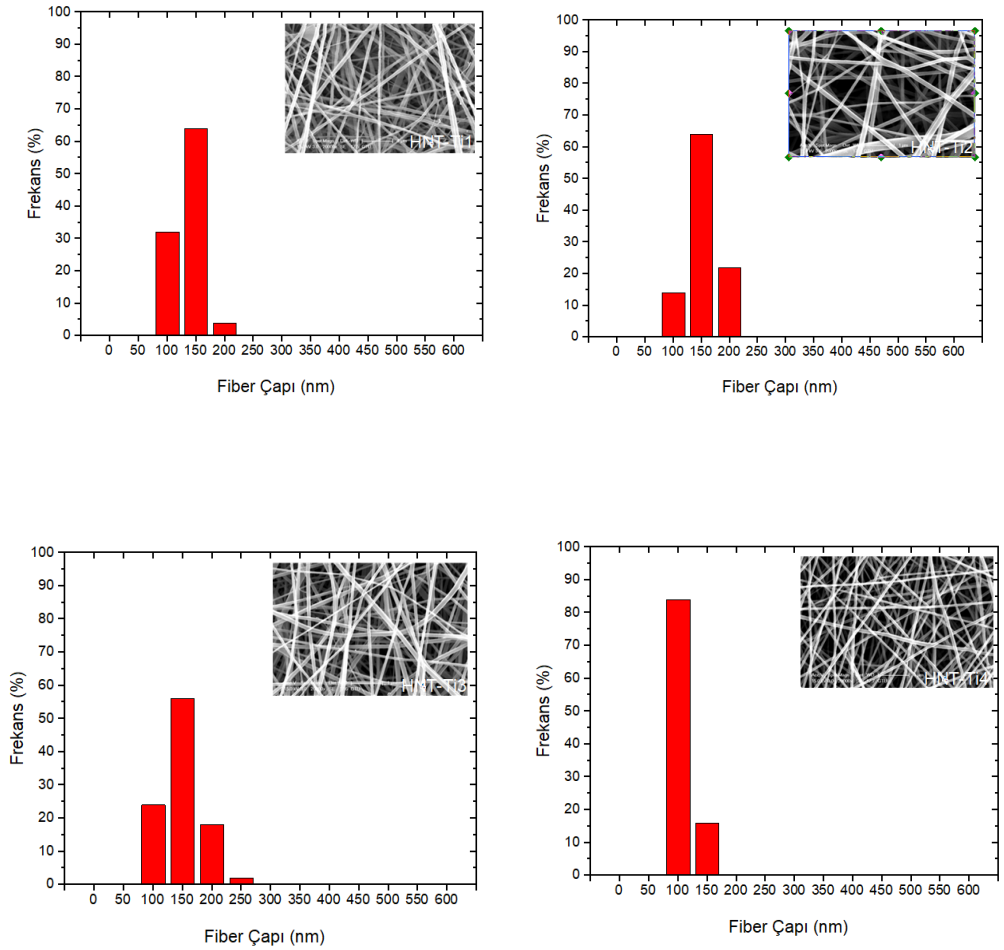
Bu aşamada üretilen nanolifler HNT-Ti kodu ile verilmiştir. Üretim cihazında büyük alanlarda üretim yapıldığı için besleme hızları yüksek çalışılmıştır. Voltaj 25 kV, mesafe 15 cm ve polimer konsantrasyonu ağırlıkça %13 olarak çalışılmıştır. Çözeltiye göre ağırlıkça %0,025 , %0,035 ile %0,05 oranlarında HNT içeren PA6 nanolif filtrelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Her sette iki farklı besleme hızı (15-2 ml/sa) ve süre (30-45 dk) denemesi yapılmıştır. Bu deneyler Taguchi yaklaşımı ile tasarlanmıştır. HNT ve TiO_2 ile yapılan deney setine ait Taguchi deney tasarımı ve değişkenleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Bu aşamada toplamda 16 adet nanolif üretimi yapılmış HNT oranı, TiO_2 oranı, üretim süresi ve besleme hızı etkisi aynı deney setinde izlenebilmiştir.

Çizelge 4.1 : HNT+TiO_2 içeren PA6 nanoliflerin Taguchi deney tasarımı ve değişkenleri.

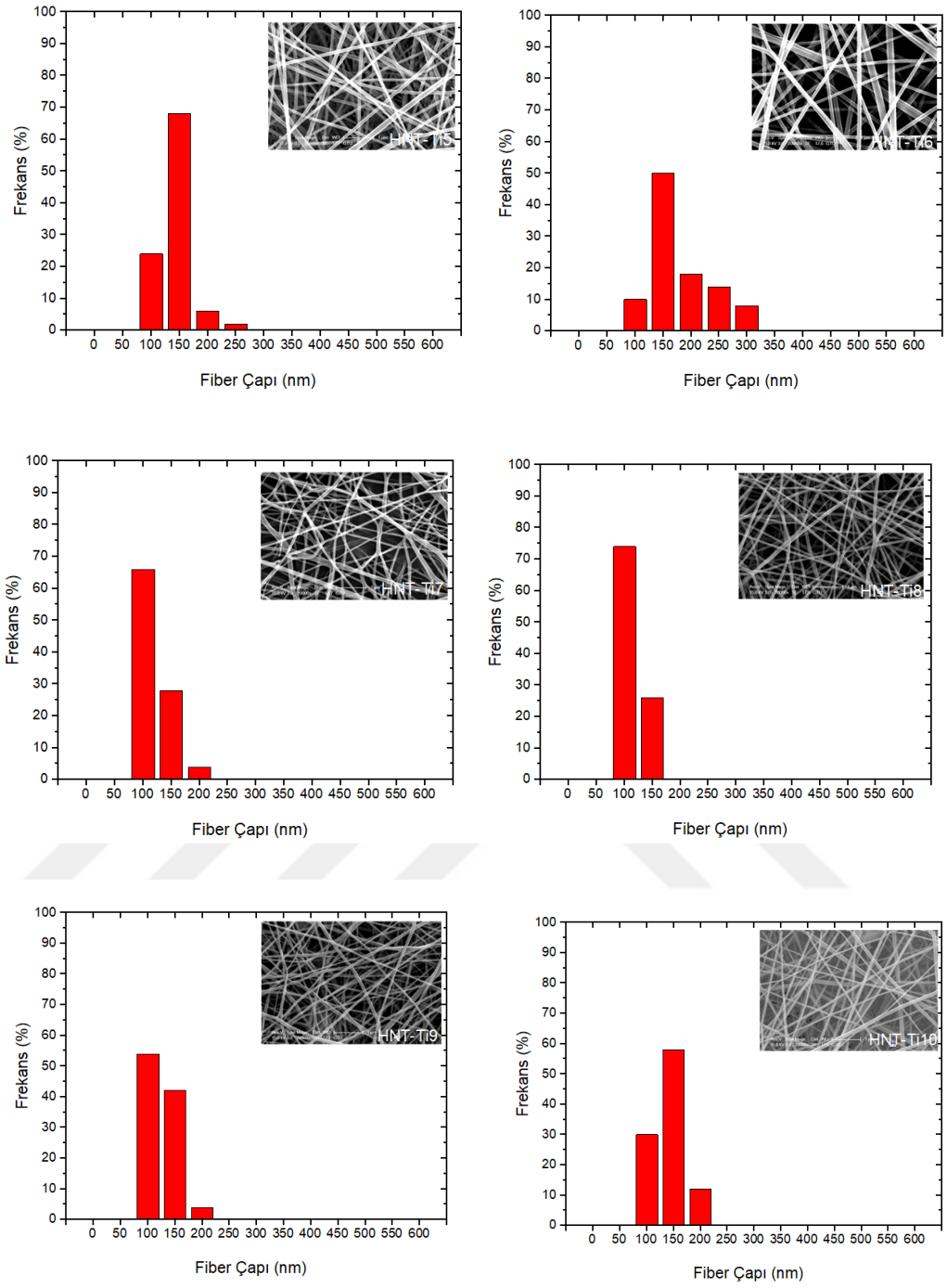
Filtre Adı	HNT Oranı (%)	TiO_2 Oranı (%)	Besleme Hızı (ml/sa)	Süre (dk)
HNT-Ti1	0	0	1,5	30
HNT-Ti2	0,025	0	1,5	45
HNT-Ti3	0,035	0	2	30
HNT-Ti4	0,05	0	2	45
HNT-Ti5	0	0,1	1,5	30
HNT-Ti6	0,025	0,1	1,5	45
HNT-Ti7	0,035	0,1	2	30
HNT-Ti8	0,05	0,1	2	45
HNT-Ti9	0	0,3	2	45
HNT-Ti10	0,025	0,3	2	30
HNT-Ti11	0,035	0,3	1,5	45
HNT-Ti12	0,05	0,3	1,5	30
HNT-Ti13	0	0,5	2	45
HNT-Ti14	0,025	0,5	2	30
HNT-Ti15	0,035	0,5	1,5	45
HNT-Ti16	0,05	0,5	1,5	30

4.1.1 HNT-TİO$_2$ içeren nanoliflerin fiber çapı sonuçlarının değerlendirilmesi

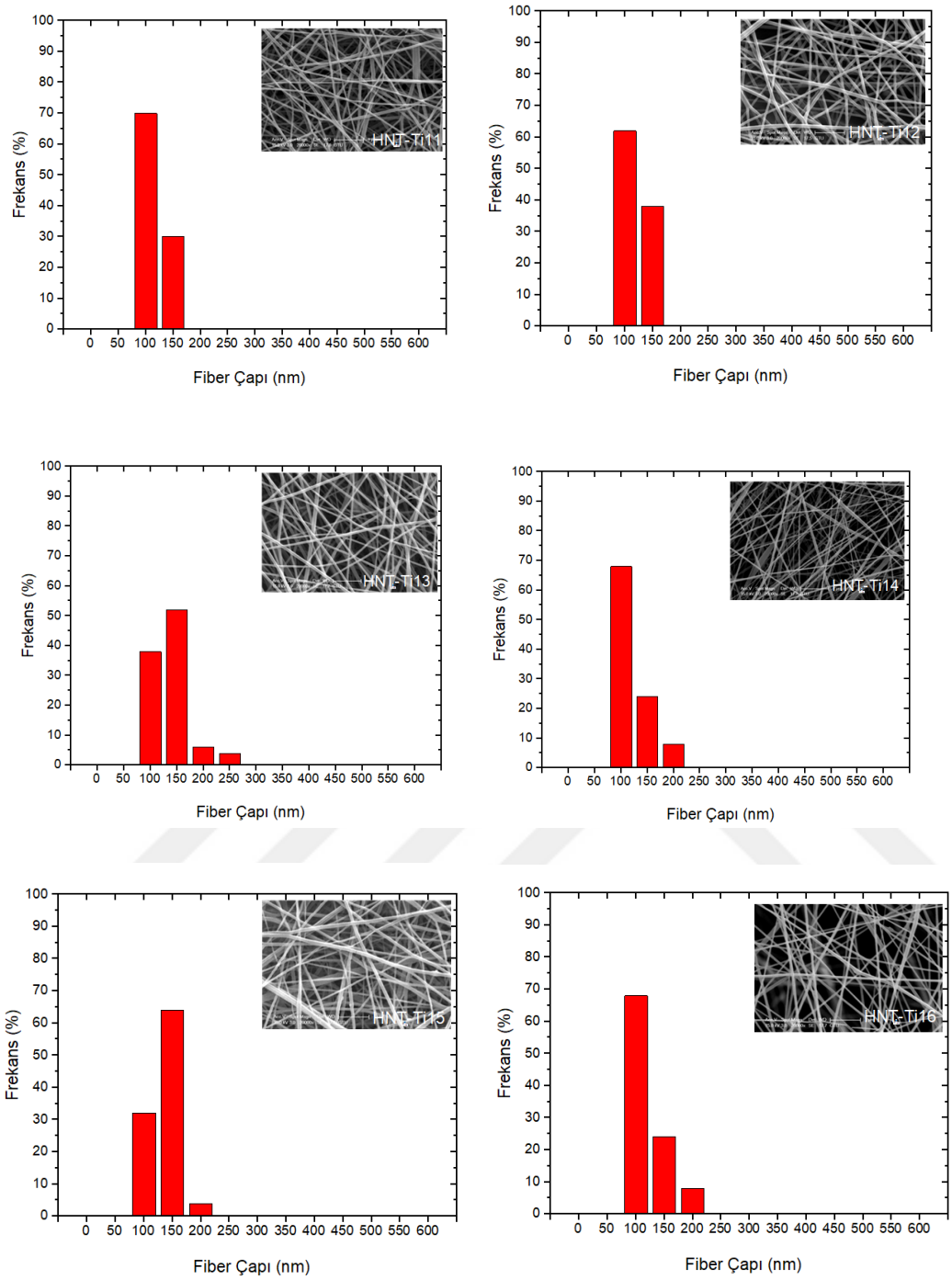
HNT-Ti setine ait fiber çapı dağılımları ve SEM görüntüleri Şekil 4.1-a'da verilmiştir. Fiber çaplarının dörtlü setler halinde (HNT oranı değişmekte) değişimi düşünüldüğünde, genel trend olarak, TiO_2 oranının artması ile fiber çapının azaldığı söylenebilmektedir. Şekil 4.1-b'de HNT ve TiO_2 oranı ile besleme hızının birlikte etkisine bakıldığında, TiO_2 oranının fiber çapına en fazla etki eden parametre olduğu ve artan TiO_2 oranlarında fiber çapının azaldığı görülmektedir. TiO_2 oranı değişiminin etkisine benzer şekilde, besleme hızının artması da fiber çaplarında azalmalara sebep olmuştur. Üretim süresi, fiber çapında belirgin bir değişime sebep olmazken, HNT eklenmesi ile fiber çapları azalmış fakat değişen HNT oranlarında fiber çapları değişmemiştir.



Şekil 4.1 : HNT-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin fiber çapı grafikleri (a) HNT-Ti+ PA6 ile üretilen nanoliflerin fiber çapı dağılımları ve SEM Görüntüsü (b) Taguchi ana etki/SN grafiği.

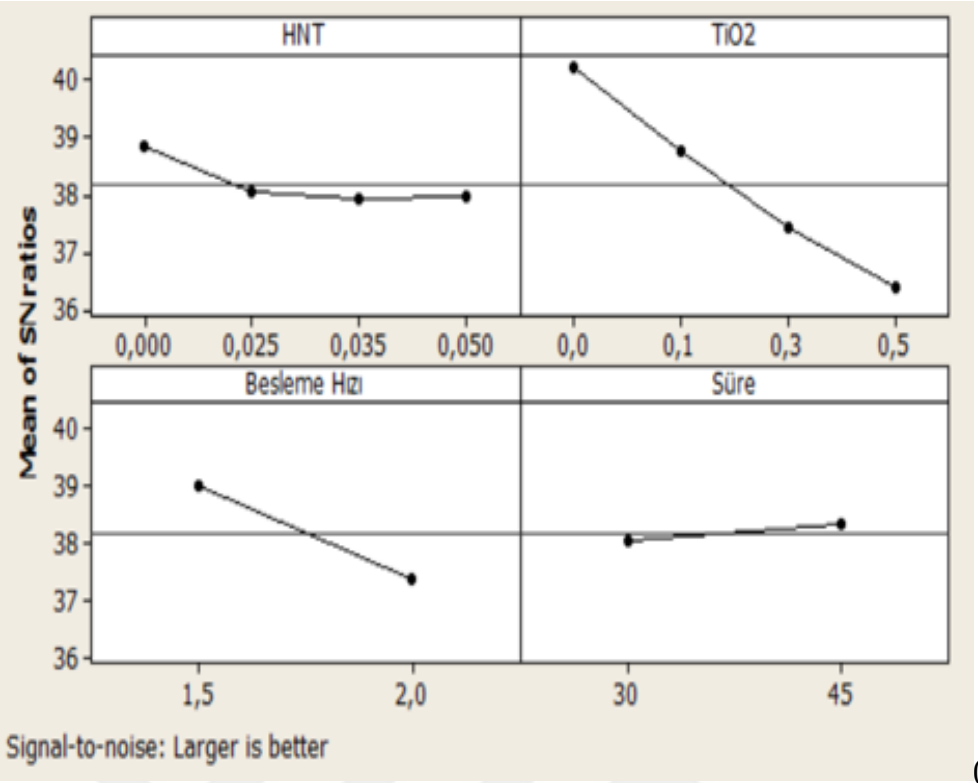


Şekil 4.1 (devam) : HNT-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin fiber çapı grafikleri (a) HNT-Ti+ PA6 ile üretilen nanoliflerin fiber çapı dağılımları ve SEM Görüntüsü (b) Taguchi ana etki/SN grafiği.



Şekil 4.1 (devam) : HNT-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin fiber çapı grafikleri (a) HNT-Ti+ PA6 ile üretilen nanoliflerin fiber çapı dağılımları ve SEM Görüntüsü (b) Taguchi ana etki/SN grafiği.

(a)

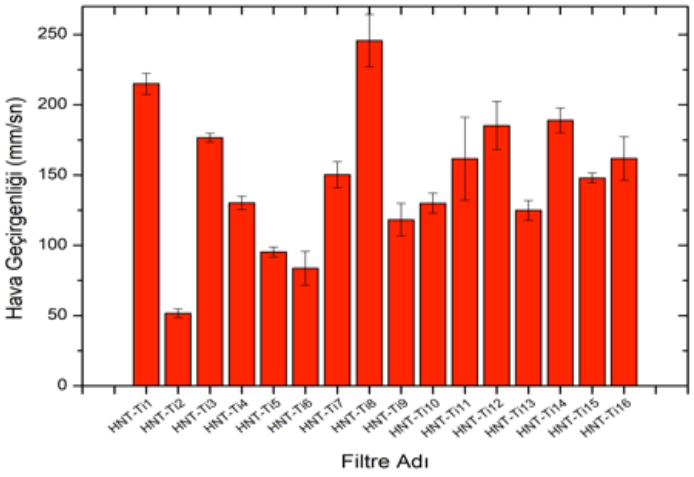


(b)

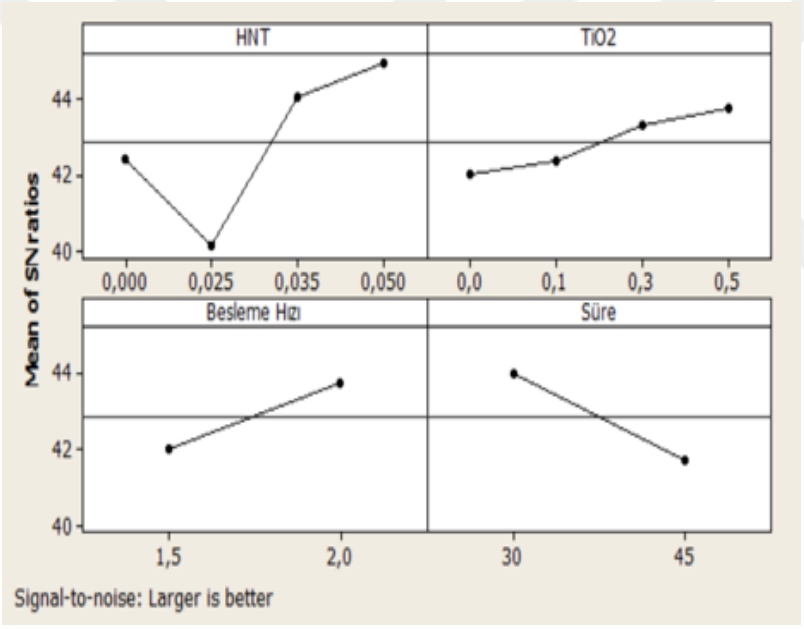
Şekil 4.1 (devam) : HNT-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin fiber çapı grafikleri (a) HNT-Ti+ PA6 ile üretilen nanoliflerin fiber çapı dağılımları ve SEM Görüntüsü (b) Taguchi ana etki/SN grafiği.

4.1.2 HNT-TiO_2 içeren nanoliflerin hava geçirgenliği sonuçlarının değerlendirilmesi

HNT+TiO_2 setine ait hava geçirgenliği değerleri Şekil 4.2-a'da ve Taguchi deneysel tasarımı sonucu elde edilen ana etki/SN grafiği Şekil 4.2-b'de verilmiştir. Bu sette, katalizör olmayan HNT setinden farklı olarak, besleme hızı ve HNT oranı arttığında hava geçirgenliği değerleri de artış göstermiştir. HNT setine benzer şekilde artan sürelerde hava geçirgenliği azalmaktadır. TiO_2 artışı ile fiber çaplarının azalması ve hava geçirgenliğinin artması arasındaki ilişkiye bakıldığında, fiber çapları azaldığında fiberler arasındaki boşluklar yani gözeneklerin alanı artmaktadır. Gözenek alanındaki bu artışın hava geçirgenliğini arttırdığı düşünülmektedir. Bu sette üretilen nanoliflerin hava geçirgenlikleri, yalnızca HNT ile üretilen ve daha düşük besleme hızlarında üretilmiş olan saf PA6 nanoliflerine göre daha yüksek olmuştur.



(a)



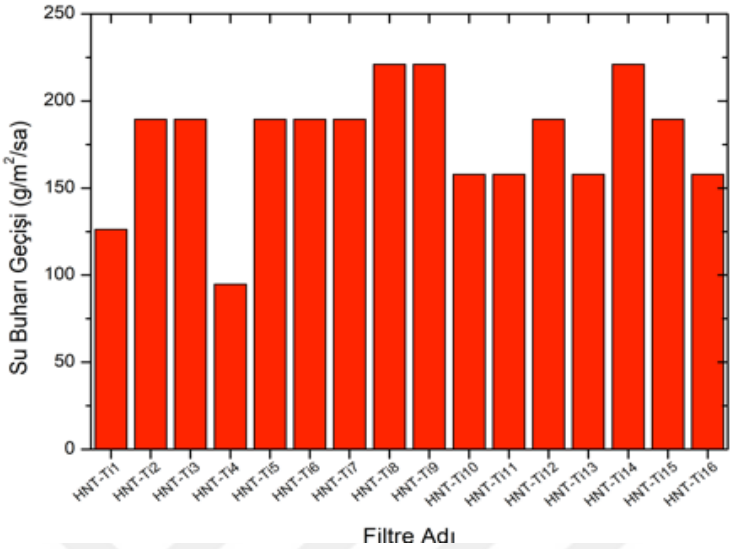
(b)

Şekil 4.2 : HNT-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin hava geçirgenliği grafikleri (a) Tüm filtrelerin hava geçirgenliği (b) Taguchi ana etki/SN grafiği.

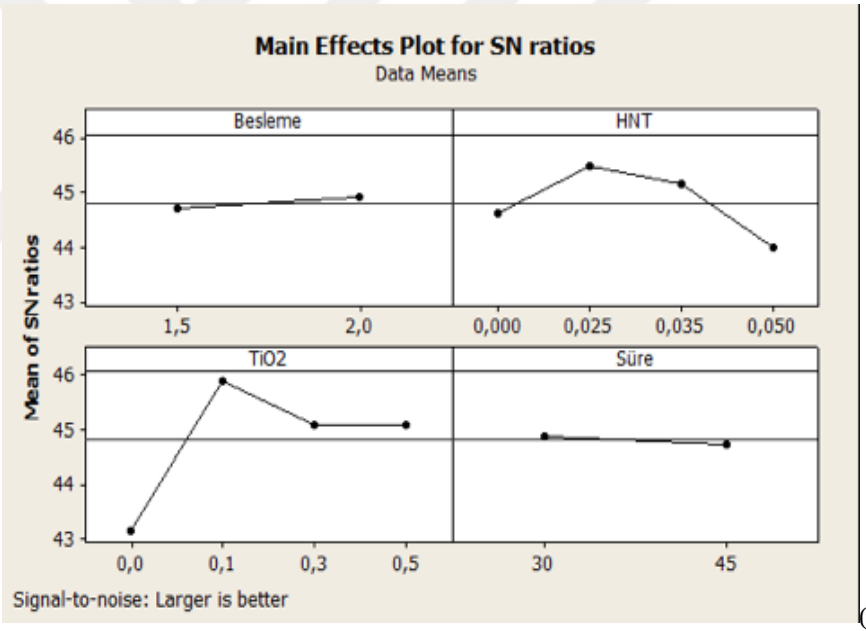
4.1.3 HNT-TİO$_2$ içeren nanoliflerin su buharı geçişi sonuçlarının değerlendirilmesi

HNT+TiO_2 setine ait su buharı geçişi değerleri Şekil 4.3-a'da ve Taguchi deneysel tasarımı sonucu elde edilen ana etki/SN grafiği Şekil 4.3-b'de verilmiştir. Su buharı geçişi besleme hızı ve süre değişimi ile çok fazla değişmemiş, TiO_2 ve HNT oranının

ilk değerlerinde saf nanolife göre önce artmış, daha sonra HNT ve TiO_2 oranı arttıkça azalmıştır.



(a)



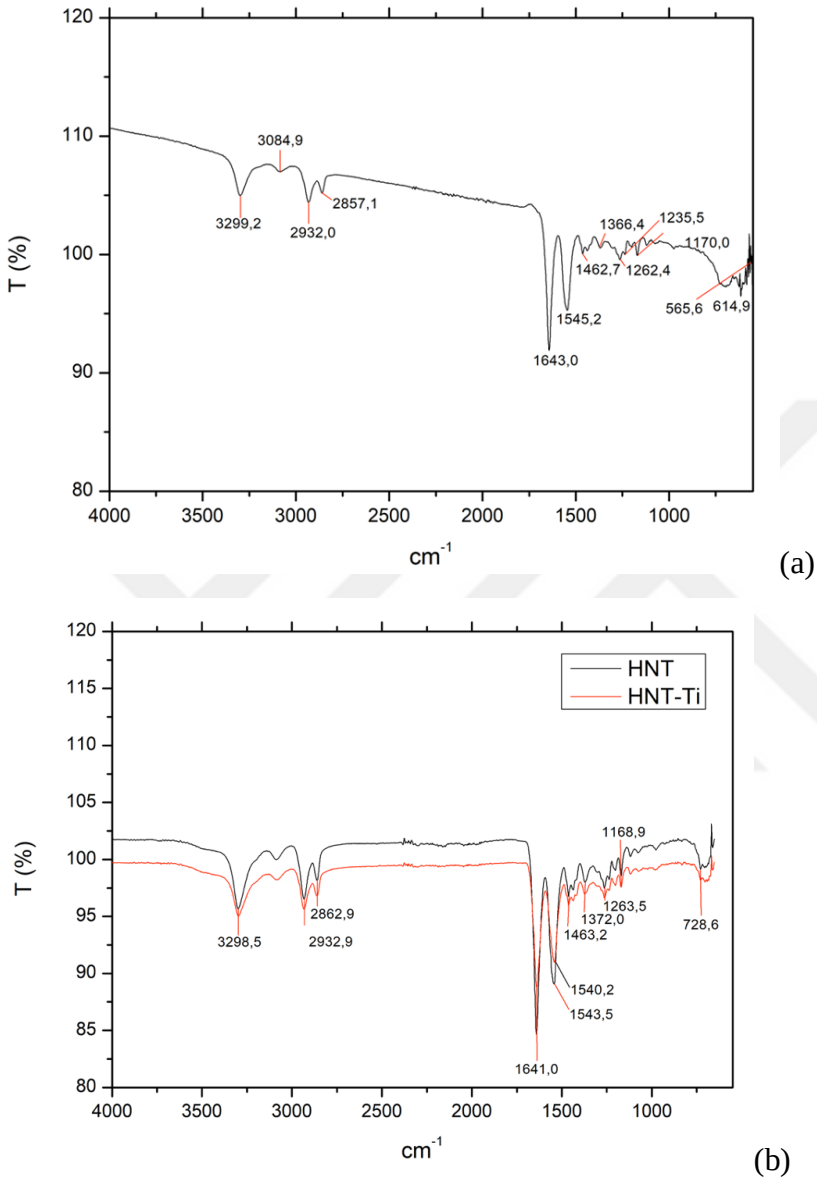
(b)

Şekil 4.3 : HNT-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin su buharı geçişi grafikleri (a) Tüm filtrelerin su buharı geçişleri (b) Taguchi ana etki/SN grafiği.

4.1.4 HNT-TİO$_2$ içeren nanoliflerin FTIR sonuçlarının değerlendirilmesi

Üretilen nanoliflerin FTIR ile organik bağ yapıları dört ana grup halinde Şekil 4.4-a ve Şekil 4.4-b'de verilmiştir. PA6 polimerinin FTIR spektrumunda görülen 2932 ve 2857,1 cm^{-1} pikleri CH bağını, 1462,7 cm^{-1} piki CH_2 bağını, 1643, 1545,2 ve 1235,5 cm^{-1} pikleri poliamitteki amid gruplarını vermektedir (Cheng ve diğ., 2017). PA6 ve

HNT'li ve HNT+TiO_2'li kompozit nanolifte 728,6 cm^{-1} piki HNT ve TiO_2 eklentisi ile oluşmuş yeni bir bağı göstermektedir. Pang ve diğ. (2014), 500–800 cm^{-1} aralığının Ti-O bağından kaynaklandığını belirtmektedir.

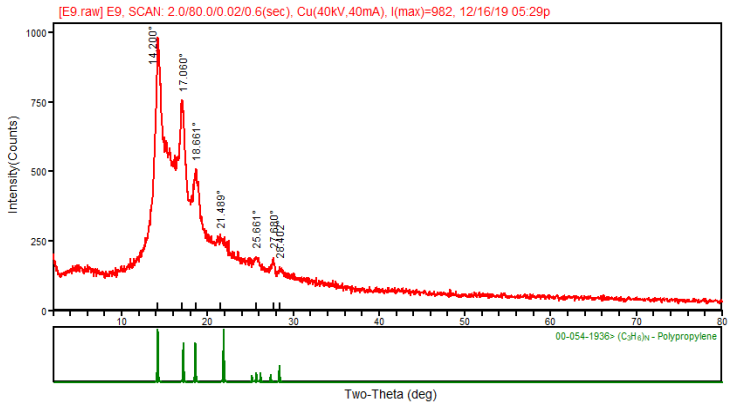


Şekil 4.4 : Saf ve nanokatkılı PA6 nanoliflere ait FTIR spektrumları (a) PA6 nanolif (b) HNT ve HNT+TiO_2 içeren PA6 nanolif.

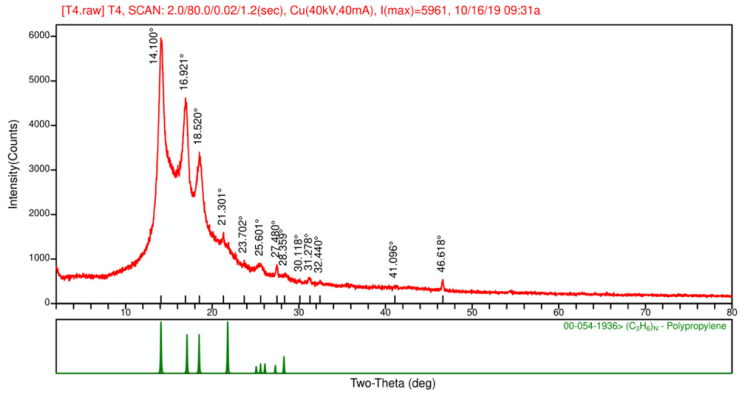
4.1.5 HNT-$TİO_2$ içeren nanoliflerin XRD sonuçlarının değerlendirilmesi

Şekil 4.5-a ve c arasında PA6, HNT ve HNT+TiO_2 içeren nanoliflerin XRD grafikleri verilmektedir. PA6'nın XRD'sinden farklı olarak HNT ve HNT+TiO_2 içeren

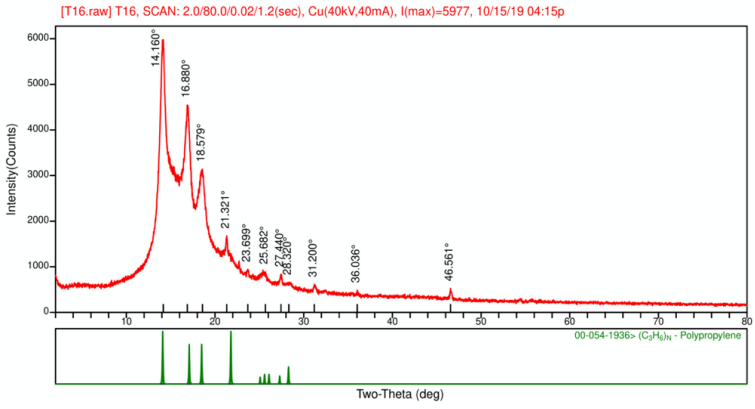
nanoliflerde 31.278^0 ve 46.618^0 2θ değerlerinde yeni pikler görünmüş bunların kil yapısından kaynaklandığı literatürde bahsedilmiştir (Khajeh ve Ghaemi, 2020).



(a)



(b)

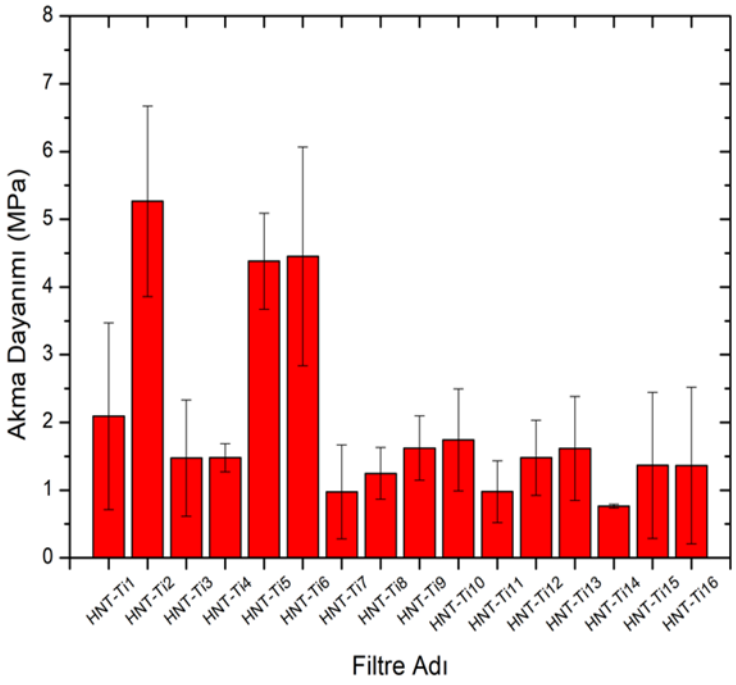


(c)

Şekil 4.5 : Saf (a), HNT (b) ve HNT+TiO_2 (c) katkılı nanoliflere ait XRD grafikleri.

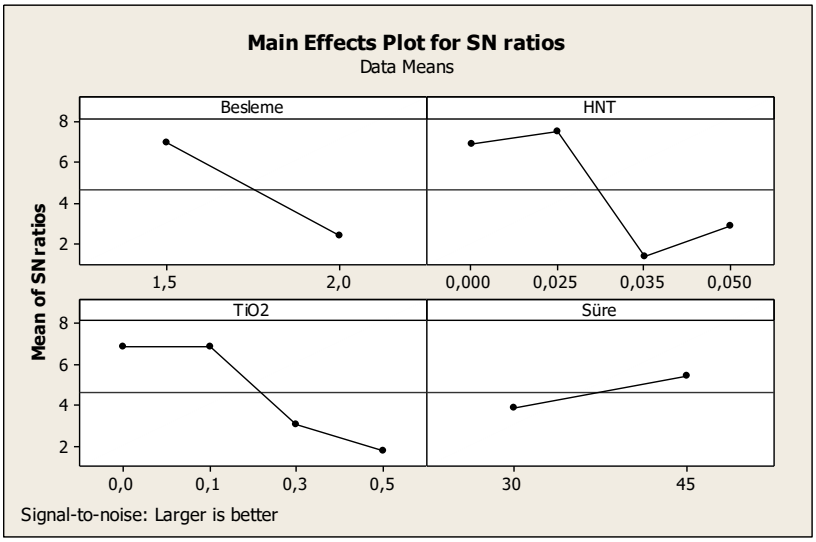
4.1.6 HNT-TİO$_2$ içeren nanoliflerin mekanik dayanım sonuçlarının değerlendirilmesi

Üretilen nanoliflerin akma dayanımı değerleri Şekil 4.6'de verilmiştir. Tüm nanoliflerin akma dayanımı değeri 6 MPa'dan düşük olmuştur. Akma dayanımı, malzemenin kalıcı deformasyona uğramasına neden olan gerilimin karşılanmasını ifade etmektedir. Dolayısıyla akma dayanımının yüksek olması malzemenin uygulanan gerilime karşı dayanımının yüksek olduğu yani daha yüksek gerilim değerlerinde kalıcı deformasyona uğradığı (mekanik olarak daha dayanıklı olduğu) anlamına gelmektedir.



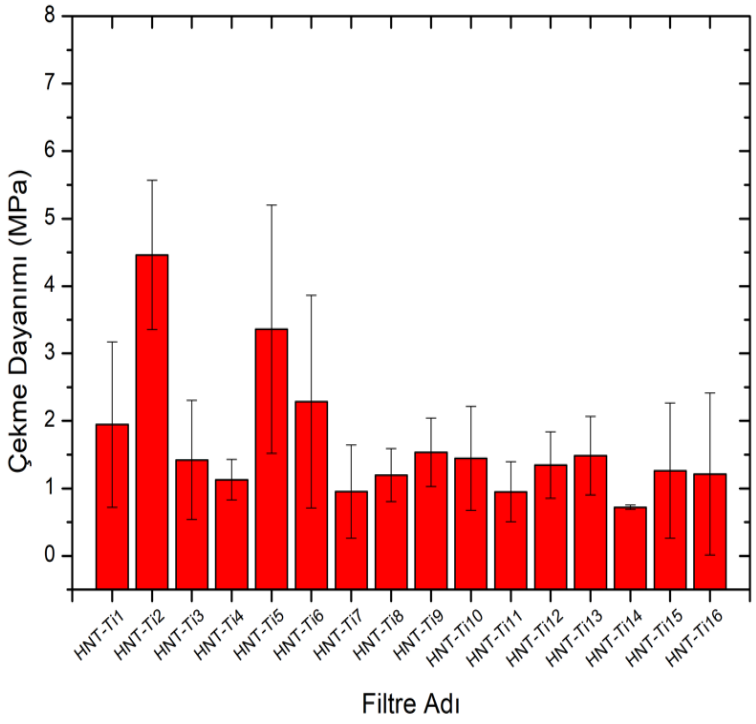
Şekil 4.6 : HNT-Ti Nanoliflerin Akma Dayanımı Değerleri.

Şekil 4.7'de nanoliflerin akma dayanımı değerlerinin Taguchi deneysel tasarımı ana etki/SN grafikleri verilmiştir. HNT-Ti'li sette HNT ve TiO_2 miktarının artışı ile akma dayanımı değerleri azalmıştır. HNT ve TiO_2 oranı arttıkça akma dayanımı azalmaya devam etmiş ve bu değişime benzer şekilde besleme hızı da azalma eğilimi göstermiştir.



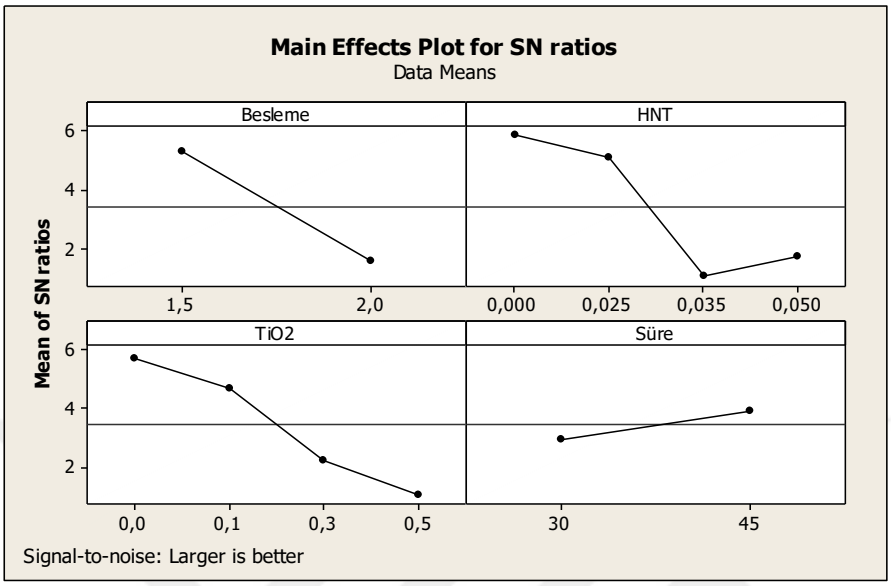
Şekil 4.7 : HNT-Ti içeren Nanoliflerin Akma Dayanımı Değerlerinin Taguchi deneysel tasarımı sonucu elde edilen ana etki/SN grafiği.

Üretilen nanoliflerin çekme dayanımı değerleri Şekil 4.8'de verilmiştir. Tüm nanoliflerin çekme dayanımı değerleri genel olarak 5 MPa'dan düşük olmuştur. Çekme dayanımı malzemenin kopması anında uygulanan gerilimi ifade etmektedir.



Şekil 4.8 : HNT-Ti Nanoliflerin Çekme Dayanımı Değerleri.

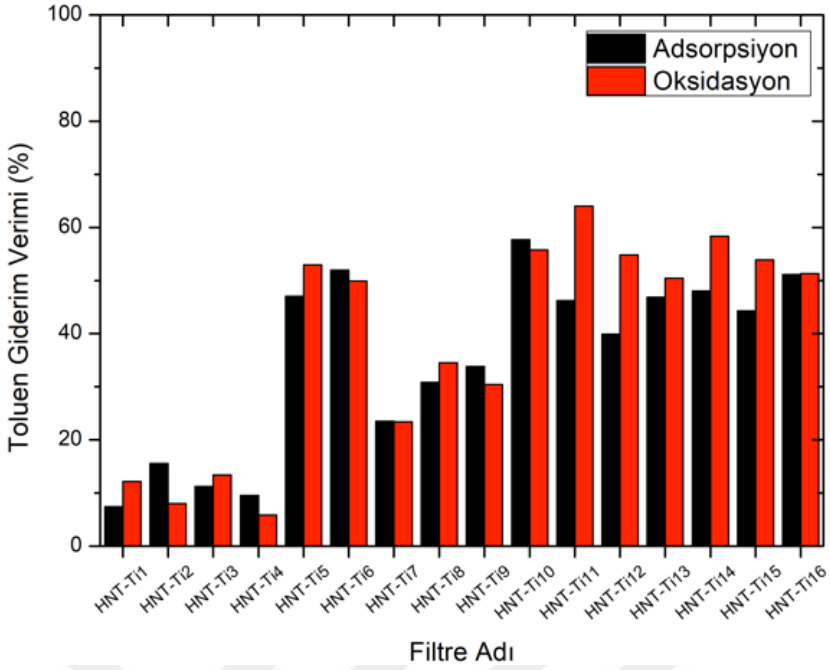
Şekil 4.9'da nanoliflerin çekme dayanımı değerlerinin Taguchi deneysel tasarımı ana etki/SN grafikleri verilmiştir. HNT-Ti'li sette HNT ve TiO_2 miktarının artışı ile akma dayanımına benzer şekilde, çekme dayanımı değerleri de azalmıştır.



Şekil 4.9 : HNT-Ti Nanoliflerin Çekme Dayanımı Değerlerinin Taguchi deneysel tasarımı sonucu elde edilen ana etki/SN grafiği

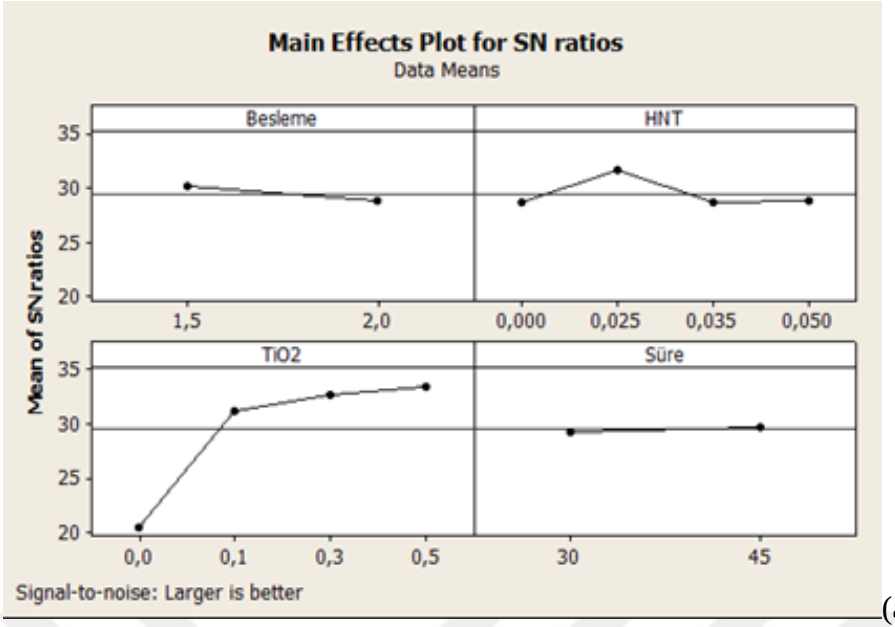
4.1.7 HNT-$TİO_2$ içeren nanoliflerin adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerinde giderim verimleri sonuçlarının değerlendirilmesi

HNT+TiO_2 setine ait adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerinde elde edilen toluen giderim değerleri Şekil 4.10'de ve Taguchi deneysel tasarımı sonucu elde edilen ana etki/SN grafiği Şekil 4.11-a ve Şekil 4.11-b'de verilmiştir. Bu deney setinde adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerinde farklı nanolifler kullanılmış ve 1 sa. akış sonucunda numuneler alınarak verimler hesaplanmıştır. Adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerindeki giderim verimleri genel olarak %10-60 arasında değişim göstermiştir. Oksidasyon verimleri genel olarak TiO_2 içeren nanoliflerde adsorpsiyona göre daha yüksek olmuştur.

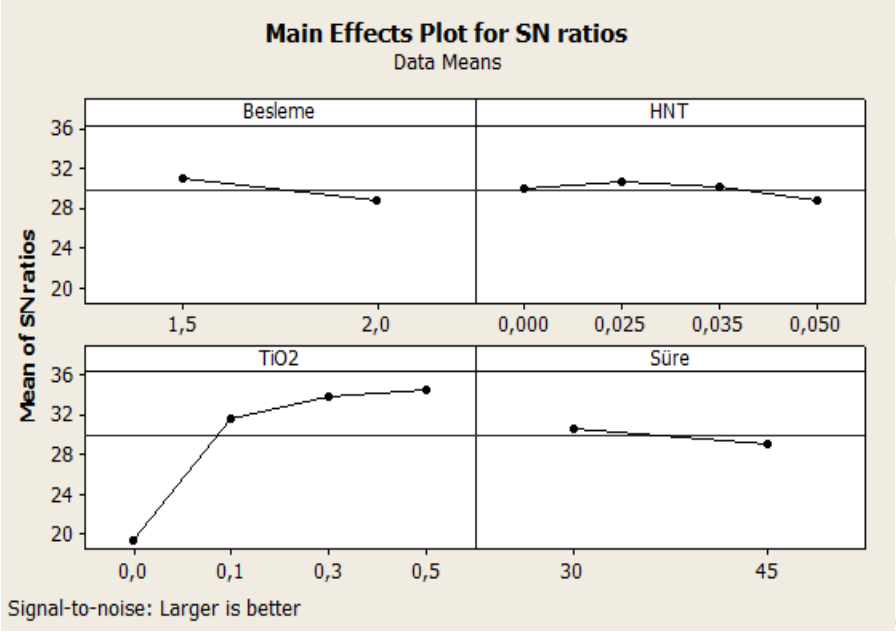


Şekil 4.10 : HNT-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin toluenin adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerindeki giderim verimi grafiği.

HNT+TiO_2 setine ait toluen adsorpsiyon ve oksidasyonun ana etki/SN grafiklerine baktığımızda, besleme hızı ve sürenin adsorpsiyon ve oksidasyona çok fazla etkisinin olmadığı fakat özelikle TiO_2 oranının etkisinin yüksek olduğu görülmüştür. HNT oranının oksidasyonda etkisi düşük olsa da adsorpsiyonda saf nanolife göre ilk oranda adsorpsiyonun arttığı daha sonra azalıp sabit kaldığı görülmektedir. HNT'nin adsorpsiyonda beklenen artış trendini göstermemesinin sebebi, kullandığımız çözücünün asit olması (AA: FA karışımı) ve asit yapısının HNT'nin kendine özgü sarmal yapısına zarar vermesinden olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında sonikasyonun da yine HNT yapısına zarar verilmiş olması da muhtemeldir. Oksidasyonda beklenildiği gibi, artan TiO_2 oranlarında adsorpsiyon ve oksidasyon verimleri artmış, en yüksek TiO_2 oranlarında en yüksek adsorpsiyon ve oksidasyon verimleri elde edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.11 : HNT-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin toluen giderim verimlerinin Taguchi ana etki/SN grafiği (a) adsorpsiyon (b) oksidasyon.

4.2 Nanokil ve PA6 ile üretilen nanoliflerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Deneyler kapsamında endüstriyel bir firmadan satın alınmış bentonit yapıda ortalama 400 nm boyutlarında nanokil kullanılmış ve iki farklı üretim çalışması yapılmıştır. İlk aşamada nanokil+TiO_2 içeren ve ikinci aşamada ise nanokil+ZnO içeren nanoliflerin üretimleri gerçekleştirilmiştir. Deney setlerine ait Taguchi deney tasarımı ve

değişkenleri Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir. Toplamda 18 adet nanolif üretimi yapılmış nanokil, TiO_2 veya ZnO oranı ve besleme hızı etkisi aynı deney setinde izlenebilmiştir. Üretimde iki farklı besleme hızı (1 ve 1,5 ml/sa) denemesi yapılmış, üretim süresi 60 dk. olarak sabit tutulmuştur. TiO_2 oranları çözeltiye göre kütlece %0 ve %1, ZnO oranları %0 ve %0,5 olarak test edilmiş ve bu aşamada öncelikle nanokilin performans parametreleri üzerine etkisini görmek hedeflenmiştir. Nanokil oranları %0-0,025-0,05-0,1-0,5 olarak denenmiştir. Bu üretime ait nanolif filtreler NK-Ti ve NK-Zn ile kodlanmış ve nanokil ve fotokatalitik ajan eklenmesi ile performans parametrelerinin nasıl değiştiği yorumlanmıştır.

Çizelge 4.2 : Nanokil+TiO_2 içeren PA6 nanoliflerin Taguchi deney tasarımı ve değişkenleri.

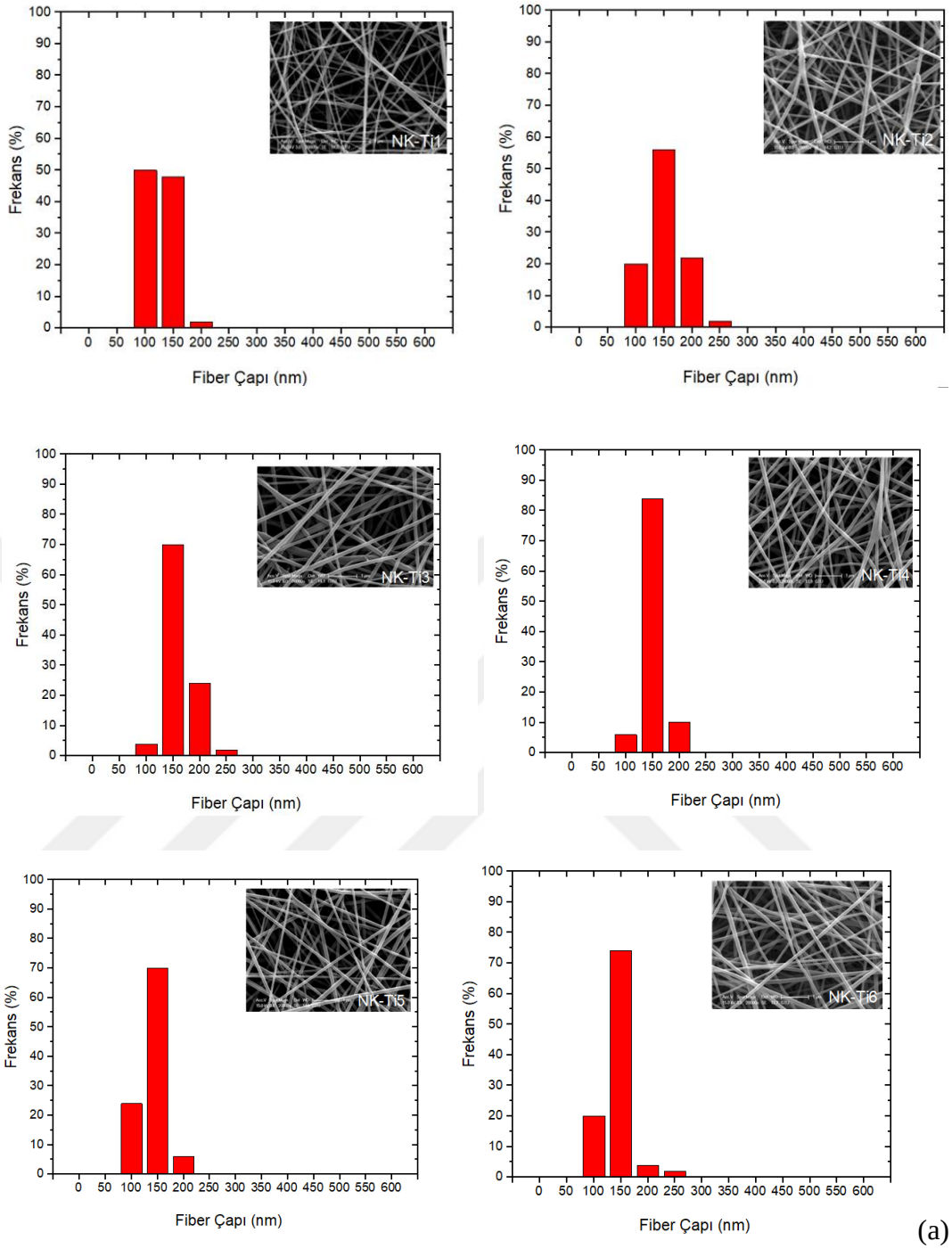
Filtre Adı	Nanokil Oranı (%)	TiO_2 Oranı (%)	Besleme Hızı
NK-Ti1	0	0	1
NK-Ti2	0	1	1,5
NK-Ti3	0,025	0	1
NK-Ti4	0,025	1	1,5
NK-Ti5	0,05	0	1
NK-Ti6	0,05	1	1,5
NK-Ti7	0,1	0	1
NK-Ti8	0,1	1	1,5
NK-Ti9	05	0	1
NK-Ti10	0,5	1	1,5

Çizelge 4.3 : Nanokil+ZnO içeren PA6 nanoliflerin Taguchi deney tasarımı ve değişkenleri.

Filtre Adı	Nanokil Oranı (%)	ZnO Oranı (%)	Besleme Hızı
NK-Zn1	0	0	1
NK-Zn2	0	0,5	1,5
NK-Zn3	0,025	0	1
NK-Zn4	0,025	0,5	1,5
NK-Zn5	0,05	0	1,5
NK-Zn6	0,05	0,5	1
NK-Zn7	0,5	0	1,5
NK-Zn8	0,5	0,5	1

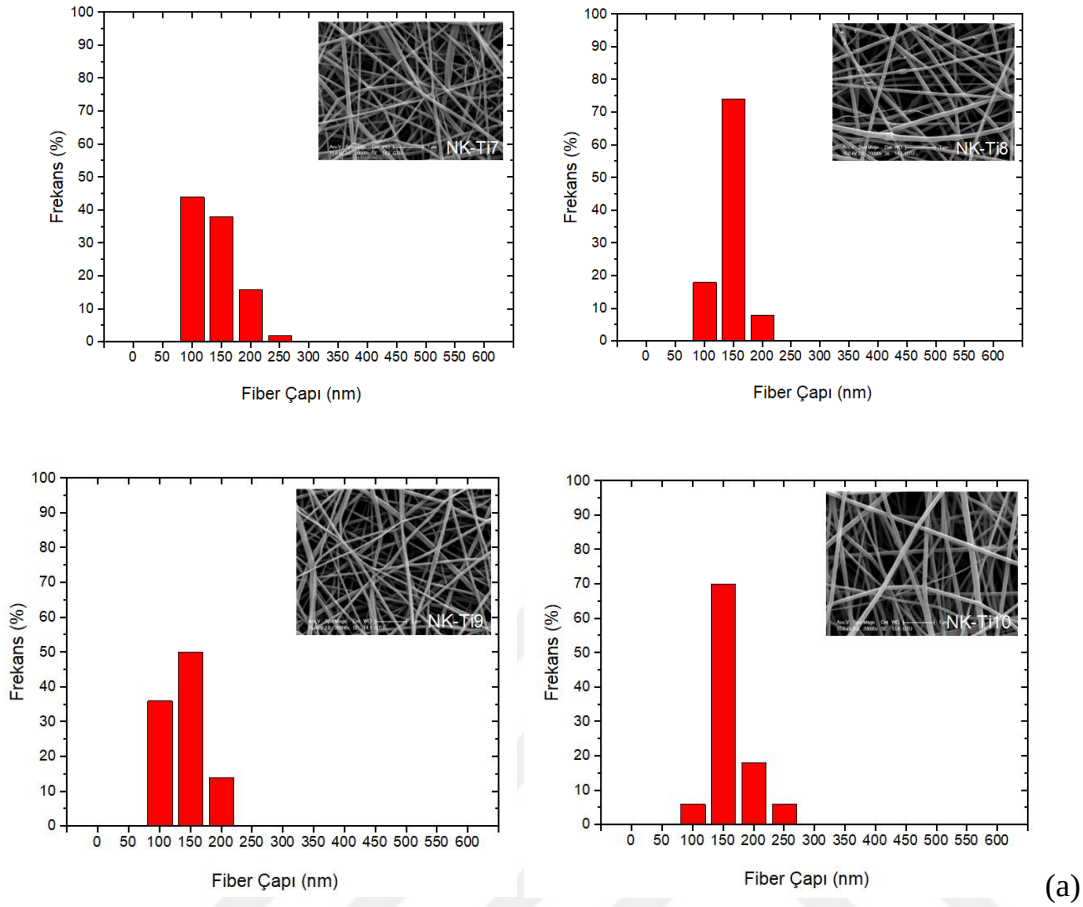
4.2.1 Nanokil-$TİO_2$ ve ZnO içeren nanoliflerin fiber çapı sonuçlarının değerlendirilmesi

NK-Ti setine ait fiber çapı dağılımları ve SEM görüntüleri Şekil 4.12-a'da verilmiştir. Fiber çaplarının değişimi incelendiğinde, TiO_2 oranının artması ile fiber çapının, HNT ile yapılan setten farklı olarak, bu sette arttığı ve nanokil eklenmesi ile önce artış daha sonra azalma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Şekil 4.12-b'de nanokil ve TiO_2 oranı ile besleme hızının birlikte etkisine bakıldığında, nanokil oranının fiber çapına en fazla etki eden parametre olduğu görülmektedir. TiO_2 oranına benzer şekilde, besleme hızının artması da fiber çapında artışa sebep olmuştur. Genel olarak, saf PA6 ile üretilen nanoliflerin lif çaplarının nano katkılı olanlara göre daha büyük olduğu gözlenmiştir. HNT ile yapılan set ile karşılaştırıldığında, genel olarak, besleme hızı, nanokil ve TiO_2 artışı ile fiber çaplarının saf nanolife göre arttığı gözlemlenmiştir.

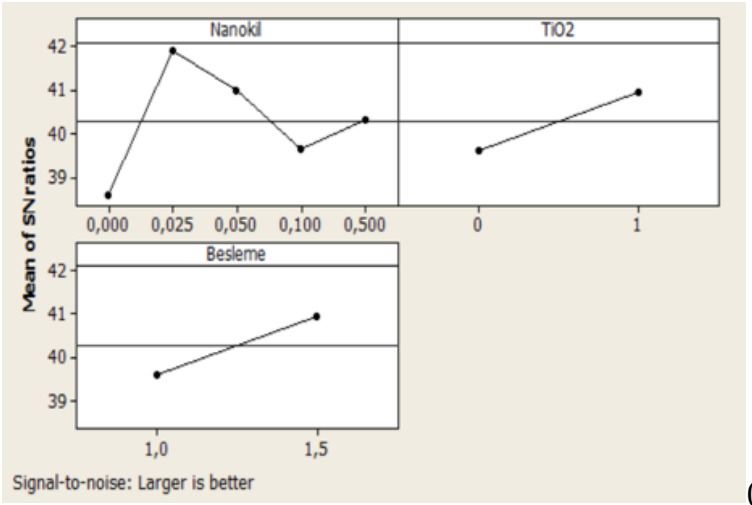


(a)

Şekil 4.12 : NK-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin fiber çapı grafikleri (a) NK-Ti+ PA6 ile üretilen nanoliflerin fiber çapı dağılımları ve SEM Görüntüsü (b) Taguchi ana etki/SN grafiği.



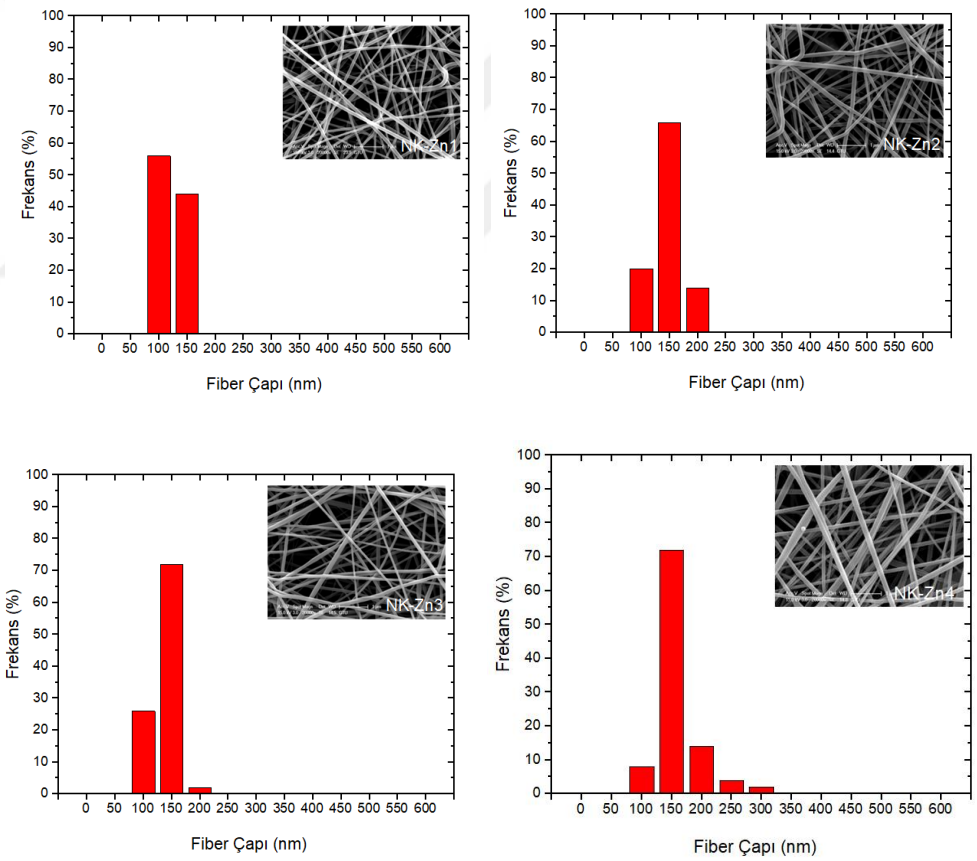
(a)



(b)

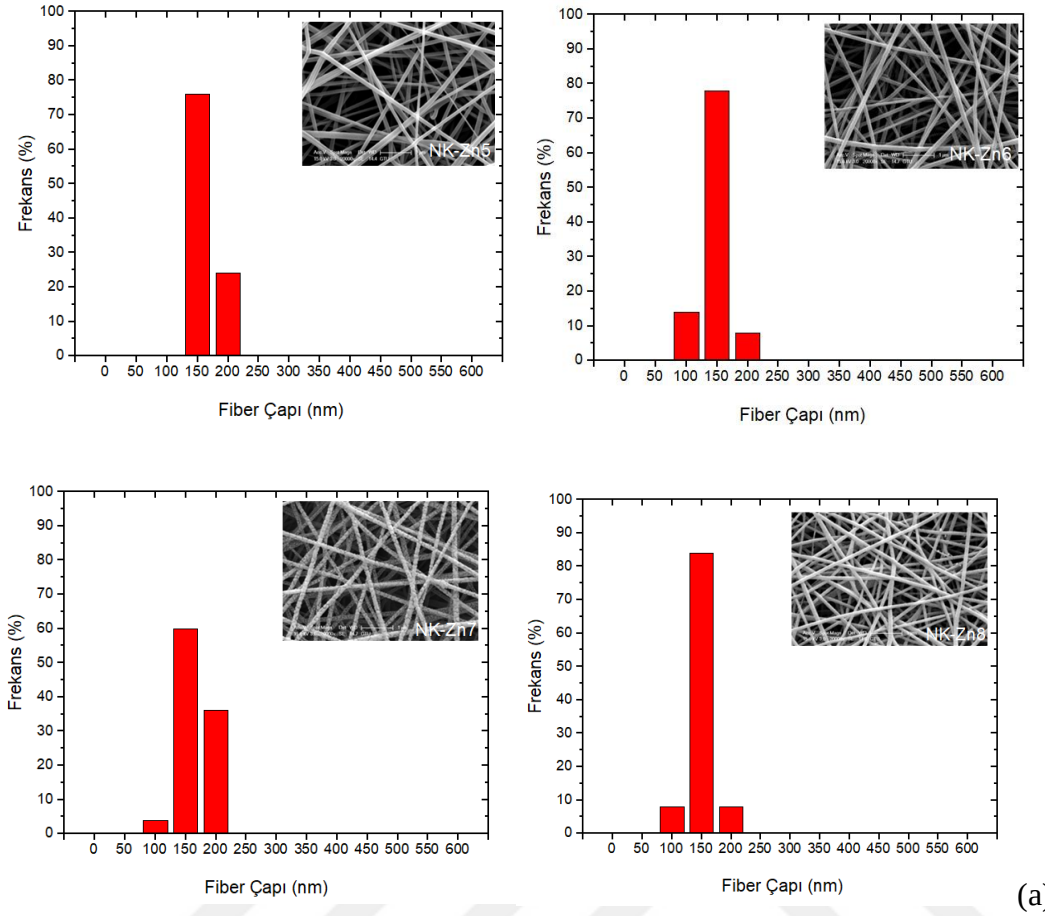
Şekil 4.12 (devam) : NK-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin fiber çapı grafikleri (a) NK-Ti+ PA6 ile üretilen nanoliflerin fiber çapı dağılımları ve SEM Görüntüsü (b) Taguchi ana etki/SN grafiği.

NK-Zn setine ait fiber çapı değerlerinin ortalaması ve standart sapmaları Şekil 4.13-a'da verilmiştir. Fiber çaplarının değişimi incelendiğinde, NK-Ti ile yapılan set ile benzer olarak, ZnO oranının artması ile fiber çapının arttığı fakat nanokil oranının artması ile fiber çapının önce arttığı ancak %0,05 nanokil oranından sonra azaldığı söylenebilir. Fiber çapında gözlemlenen bu farklılığın oksidasyon için kullanılan ZnO miktarının etkisinin olduğu sonucuna varmak mümkündür. Şekil 4.13-b'de nanokil ve ZnO oranı ve besleme hızının birlikte etkisine bakıldığında nanokil oranının fiber çapına en fazla etki eden parametre olduğu ve fotokatalitik özellikli ZnO' in fiber çapını azaltıp arttırmada eş zamanlı etkisi olduğu görülmektedir. ZnO oranının yanında besleme hızının artması da, TiO_2 eklentisinin olduğu setteki gibi, fiber çapında artışa sebep olmuştur. NK-Ti ve NK-Zn setlerinde fiber çaplarının benzer aralıkta (80-140 nm) olmuştur.

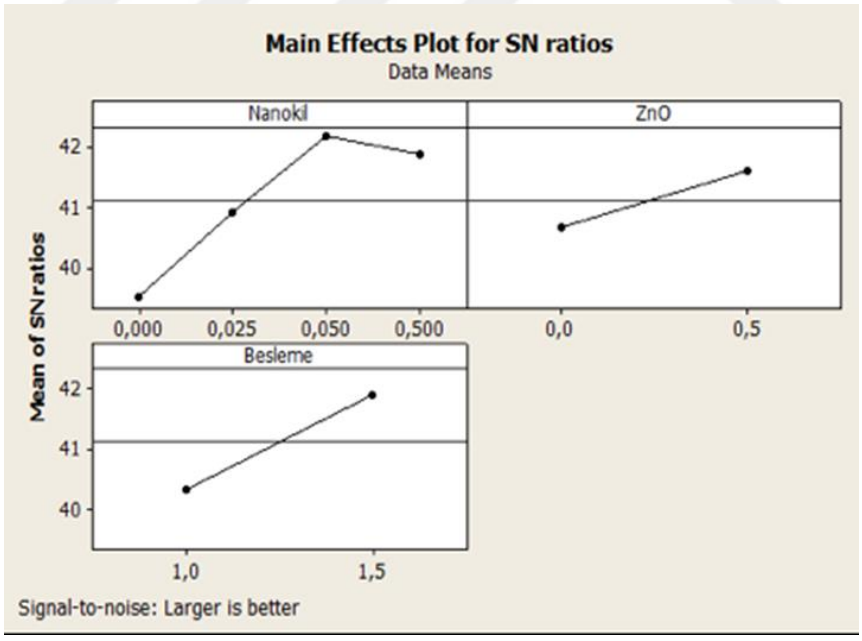


Şekil 4.13 : NK-Zn+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin fiber çapı grafikleri (a) NK-Zn + PA6 ile üretilen nanoliflerin fiber çapı dağılımları ve SEM Görüntüleri (b) Taguchi ana etki/SN grafiği

.



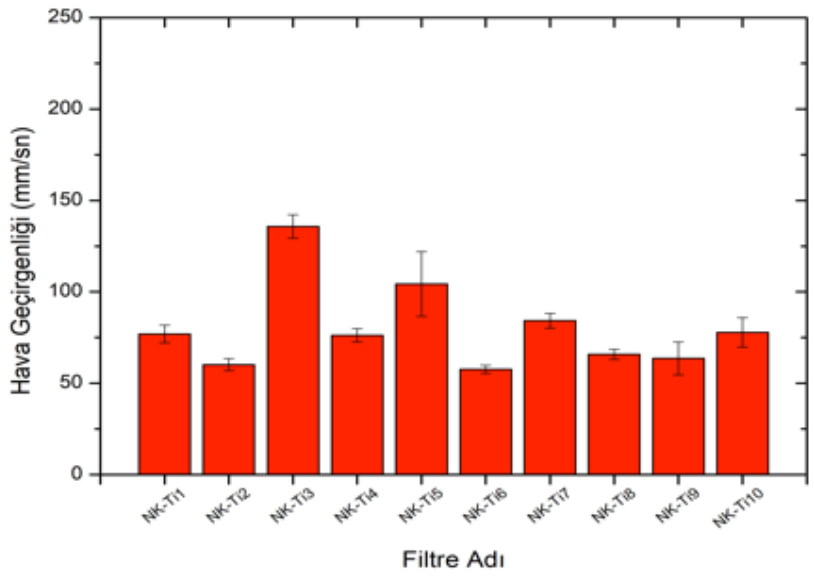
(a)



Şekil 4.13 (devam) : NK-Zn+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin fiber çapı grafikleri (a) NK-Zn + PA6 ile üretilen nanoliflerin fiber çapı dağılımları ve SEM Görüntüleri (b) Taguchi ana etki/SN grafiği.

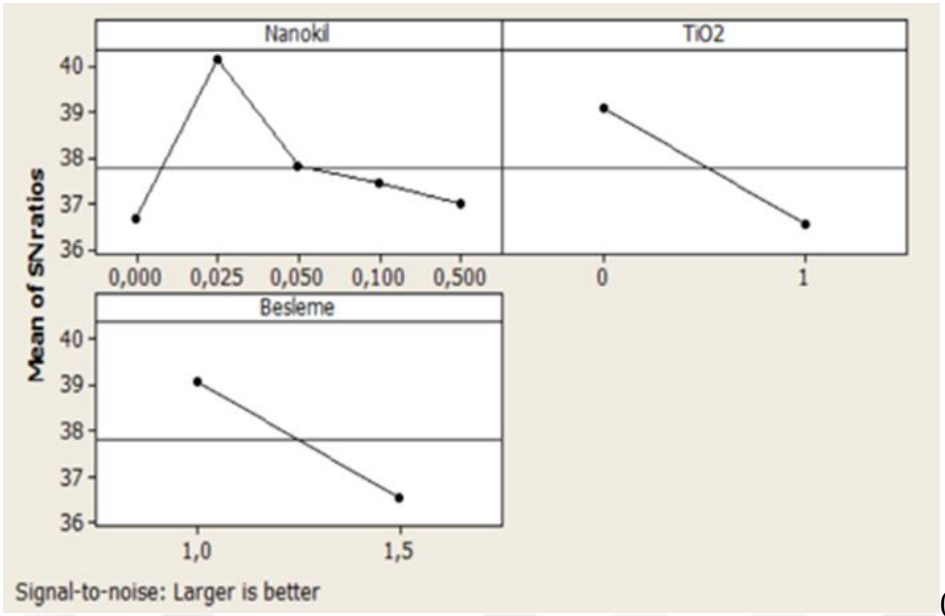
4.2.2 Nanokil-TiO_2 ve ZnO içeren nanoliflerin hava geçirgenliği sonuçlarının değerlendirilmesi

NK-Ti setlerinin hava geçirgenliği değerleri Şekil 4.14-a'da ve Taguchi deneysel tasarımı sonucu elde edilen ana etki/SN grafiği ise Şekil 4.14-b'de verilmiştir. NK-Ti setinde besleme hızı ve TiO_2 oranı arttığında hava geçirgenliği değerleri azalmıştır. Nanokil oranının ağırlıkça % 0'dan ağırlıkça % 0,025'e yükselmesiyle ilk olarak hava geçirgenliği artmış daha sonra nanokil oranının artması ile birlikte azalma eğilimi göstermiştir. NK-Zn setlerinin hava geçirgenliği değerleri Şekil 4.15-a'da ve Taguchi deneysel tasarımı sonucu elde edilen ana etki/SN grafiği ise Şekil 4.15-b'de verilmiştir. NK-Zn setinde de benzer şekilde besleme hızı artışı ile birlikte hava geçirgenlik değerleri azalmıştır. NK-Zn'li sette nanokil artışı ile hava geçirgenliği değerleri artış göstermiştir ancak ZnO artışından etkilenmemiştir. Ryšánek ve diğ. (2018) elektroeğirme yöntemiyle nanolif membranlar hazırlamışlar ve hava geçirgenlik değerini 36,68 mm/sn olarak bildirmişlerdir. Yapılan bir başka çalışmada ise; Polat Y. ve ark (2014) nanolif membranlar için ağırlıkça %10'luk PA6 çözeltisi hazırlamışlar ve hava geçirgenlik değerini 19 mm/sn olarak ölçmüşlerdir.



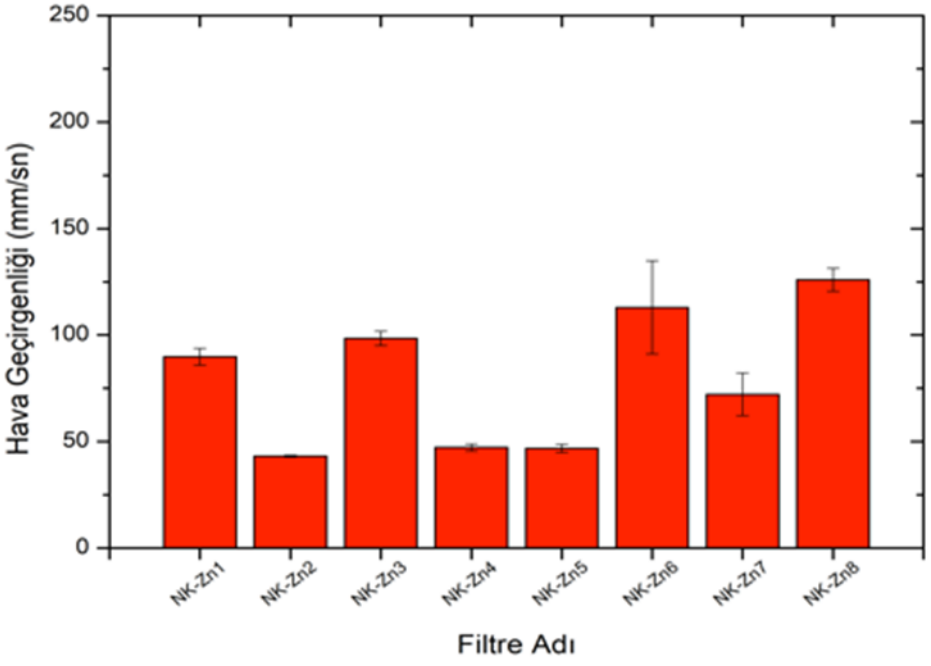
(a)

Şekil 4.14 : NK-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin hava geçirgenliği grafikleri (a) Tüm filtrelerin hava geçirgenliği (b) Taguchi ana etki/SN grafiği.



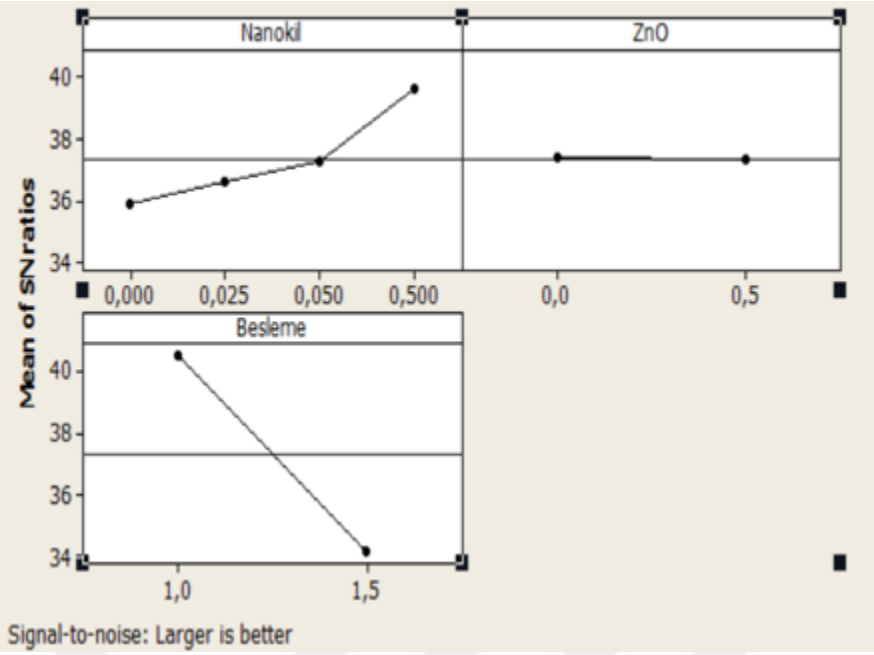
(b)

Şekil 4.14 (devam) : NK-Ti+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin hava geçirgenliği grafikleri (a) Tüm filtrelerin hava geçirgenliği (b) Taguchi ana etki/SN grafiği.



(a)

Şekil 4.15 : NK-Zn+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin hava geçirgenliği grafikleri (a) Tüm filtrelerin hava geçirgenliği (b) Taguchi ana etki/SN grafiği.

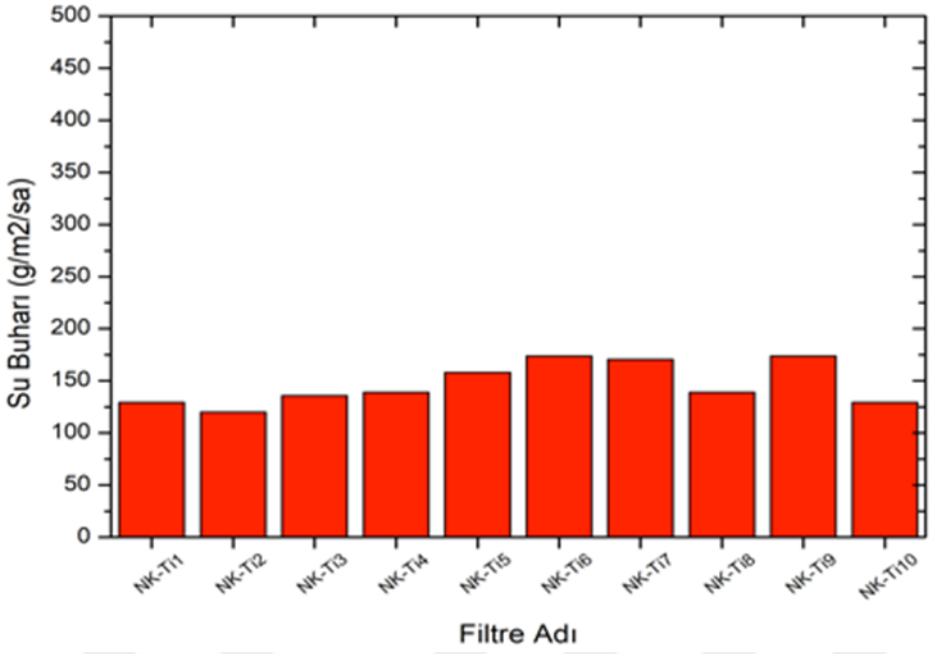


(b)

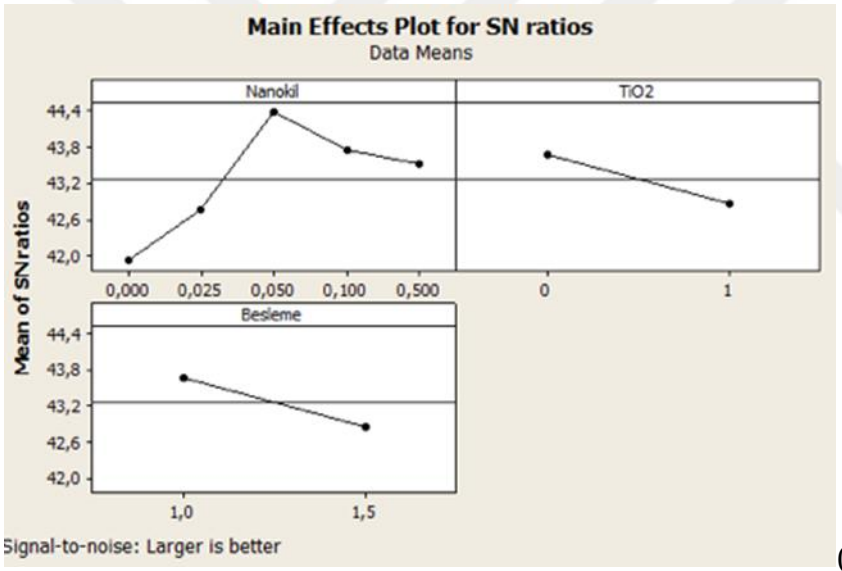
Şekil 4.15 (devam) : NK-Zn+PA6 ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin hava geçirgenliği grafikleri (a) Tüm filtrelerin hava geçirgenliği (b) Taguchi ana etki/SN grafiği.

4.2.3 Nanokil-$TİO_2$ ve ZnO içeren nanoliflerin su buharı geçişi sonuçlarının değerlendirilmesi

NK-Ti setine ait su buharı geçişi değerleri Şekil 4.16-a'da ve Taguchi deneysel tasarımı sonucu elde edilen ana etki/SN grafiği Şekil 4.16-b'de verilmiştir. NK-Ti setinde su buharı geçişindeki trend hava geçirgenliği ile benzer olmuştur. NK-Zn setine ait su buharı geçişi değerleri Şekil 4.17-a'da ve Taguchi deneysel tasarımı sonucu elde edilen ana etki/SN grafiği Şekil 4.17-b'de verilmiştir. NK-Zn setinde ise nanokil oranının artmasıyla hava geçirgenliğine zıt olarak su buharı geçiş değerleri azalmıştır. NK-Zn setindeki nanoliflerin su buharı geçiş değerleri (200-450 $g/m^2.sa$) NK-Ti setine (100-125 $g/m^2.sa$) göre çok daha yüksek olmuştur.

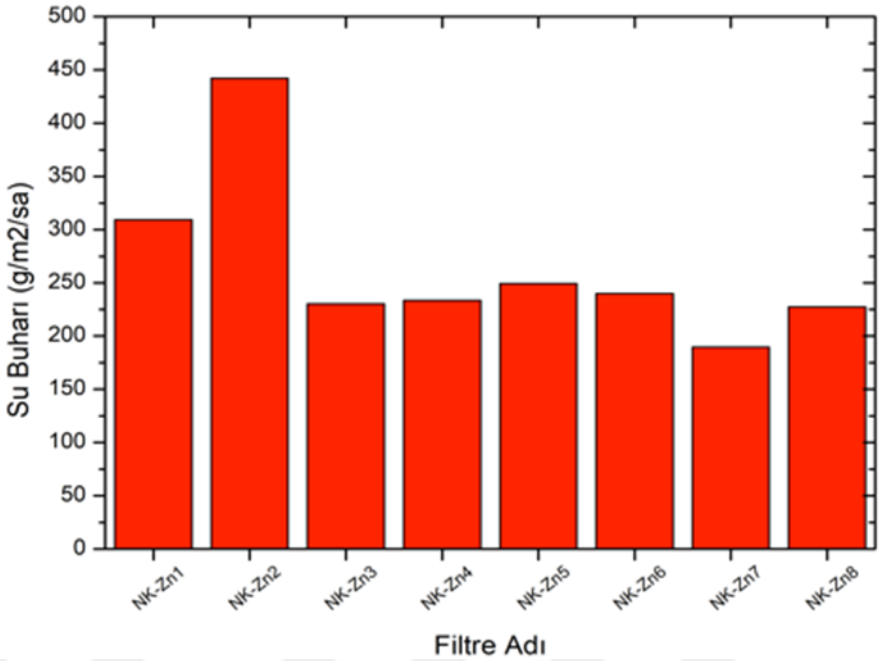


(a)

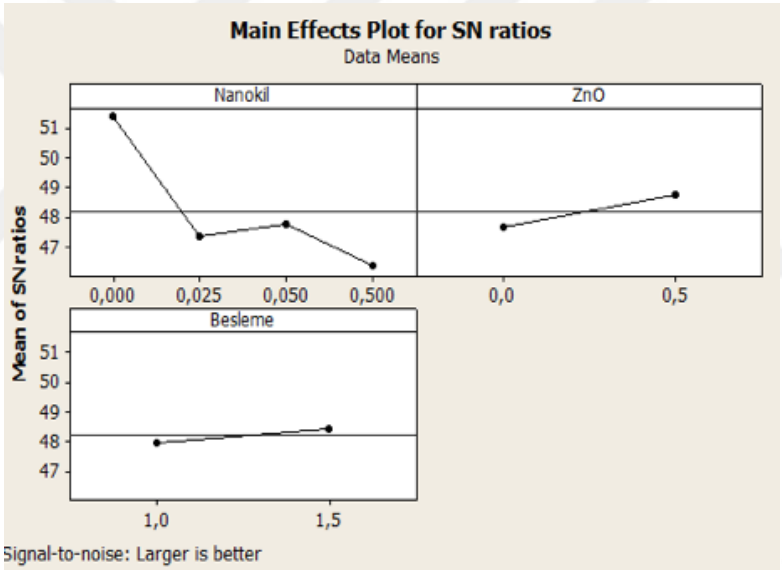


(b)

Şekil 4.16 : NK-Ti ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin su buharı geçişi grafikleri (a) Tüm filtrelerin su buharı geçişleri (b) Taguchi ana etki/SN grafiği.



(a)



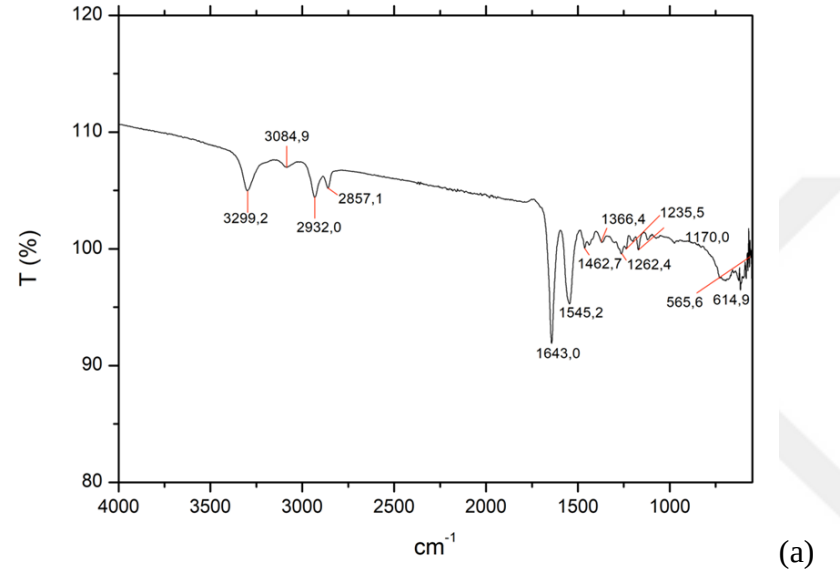
(b)

Şekil 4.17 : NK-Zn ile üretimi yapılmış olan nanoliflerin su buharı geçişi grafikleri (a) Tüm filtrelerin su buharı geçişleri (b) Taguchi ana etki/SN grafiği.

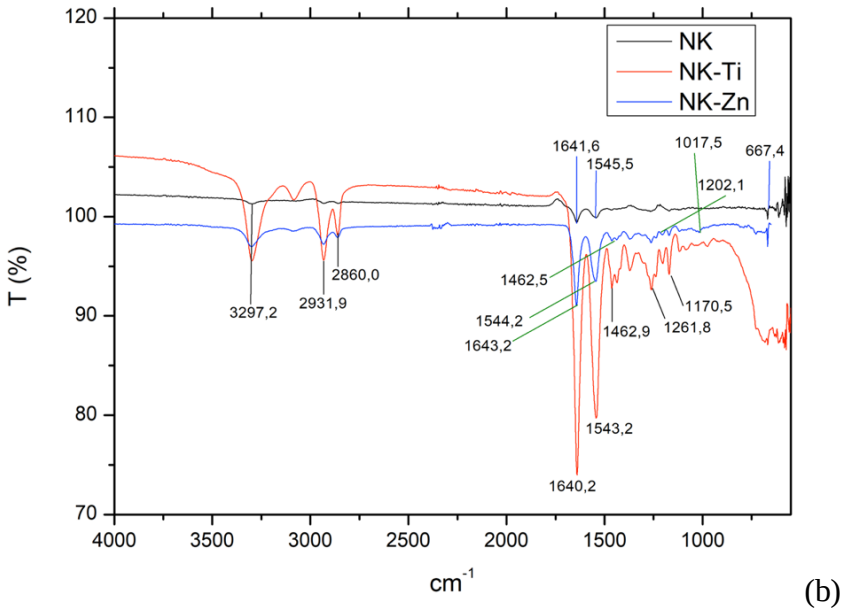
4.2.4 Nanokil-$TİO_2$ ve ZnO içeren nanoliflerin FTIR sonuçlarının değerlendirilmesi

Üretilen nanoliflerin FTIR ile organik bağ yapıları Şekil 4.18-a ve Şekil 4.18-b'de verilmiştir. PA6 polimerinin FTIR spektrumunda görülen 2932 ve 2857,1 cm^{-1} tepe noktaları CH bağı verir, 1462,7 cm^{-1} tepe CH2 bağı, 1643, 1545,2 ve 1235,5 cm^{-1} tepe noktaları poliamidin amid gruplarıdır (Cheng et al., 2017). Pang ve diğ,(2014) 500-800 cm^{-1} aralığının Ti-O bağından kaynaklandığını belirtmişlerdir. PA6 ve

Nanokil+TiO_2'li kompozit nanoliflerde 1261,8 ve 1170,5 cm^{-1}'de çıkan yeni pikler oluşmuştur. PA6 ve Nanokil kompozit nanolifte ZnO eklentisi ile 1010 cm^{-1}'de Si-O'nun oluştuğu görülmüştür (Tang ve diğ. 2020). Kil ile üretilmiş malzemelerin FTIR'larında 1060-1030 cm^{-1} aralığının kilin karakteristik bağı olduğu belirtilmektedir (Monticelli ve diğ. 2007). FTIR grafiklerinden kullanılan nanokatkılar ile PA6 yapısında çok fazla bağ değişimine sebep olmadığı bunun da kullanılan nanokatkıların miktarlarının çok az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



(a)

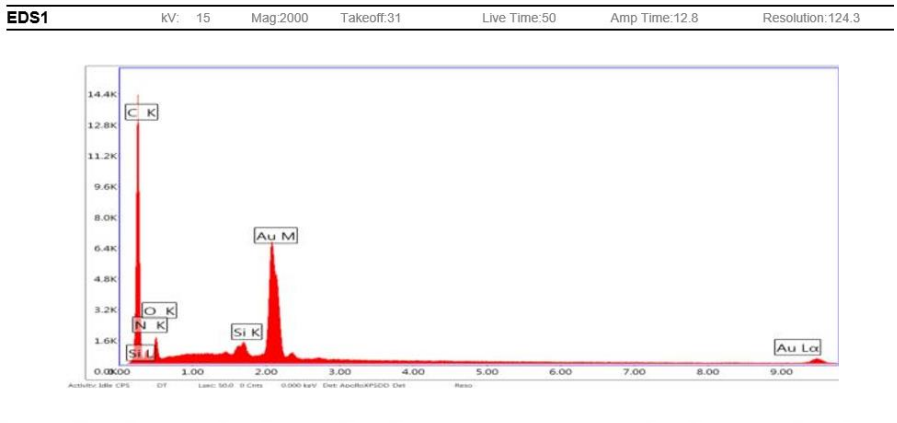


(b)

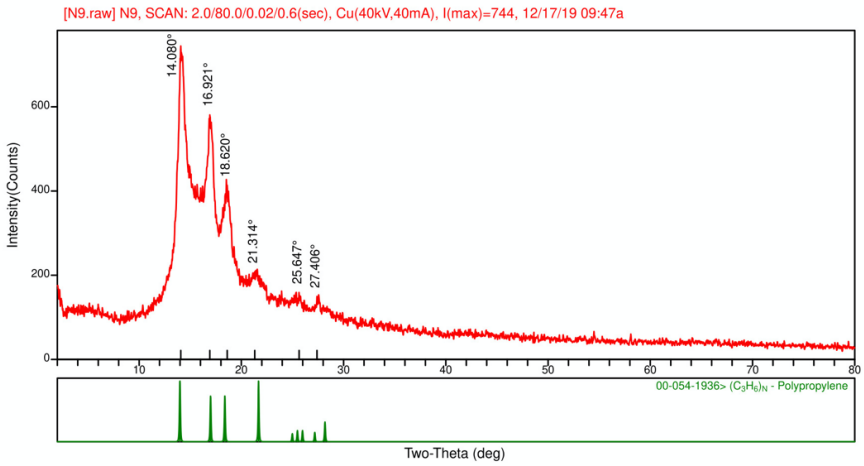
Şekil 4.18 : (a) PA6 Nanolif ve (b) Nanokil, Nanokil+TiO_2 ve Nanokil+ZnO içeren PA6 nanoliflere ait FTIR spektrumları.

4.2.5 Nanokil-TİO$_2$ ve ZnO içeren nanoliflerin SEM-EDS ve XRD sonuçlarının değerlendirilmesi

Şekil 4.20-a ve c arasında Nanokil, Nanokil+TiO_2 ve Nanokil+ZnO içeren nanoliflerin XRD grafikleri verilmektedir. Bu nanoliflerin XRD'lerinde yeni ve PA6'dan farklı yapılar gözlenmemiştir. Bunun konsantrasyonun düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmüş ve SEM-EDS analiz yapılmıştır. Nanokil içeren nanoliflere ait SEM-EDS sonucu Şekil 4.19'da verilmektedir. Yapılan SEM-EDS analizi sonucunda nanokil yapısında Si varlığı belirlenmiştir.

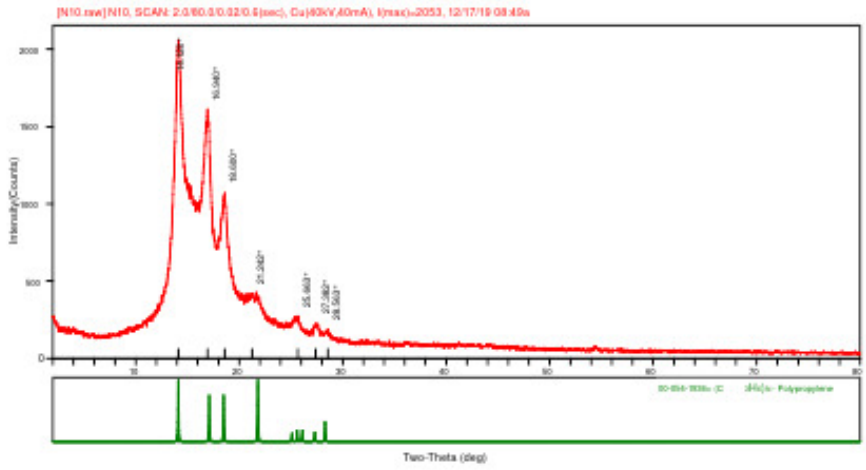


Şekil 4.19 : Nanokil içeren nanoliflerin SEM-EDS sonucu.

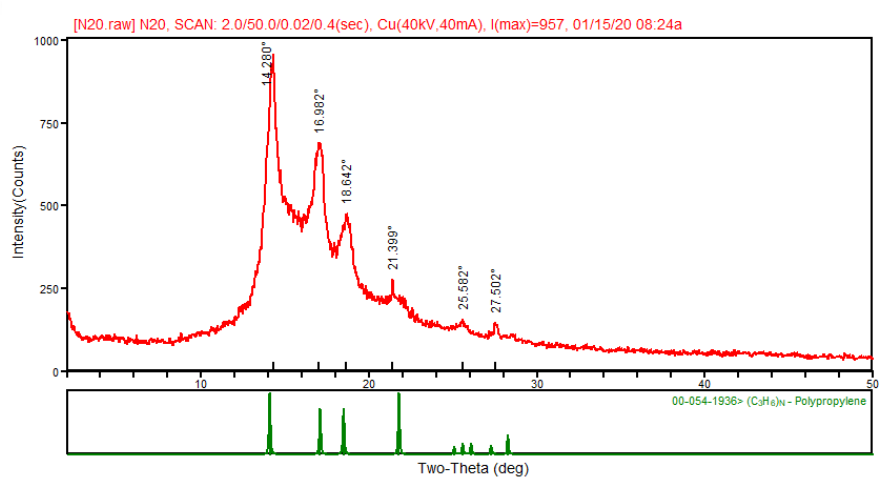


(a)

Şekil 4.20 : Nanokil (a), Nanokil+ TiO_2 (b) ve Nanokil+ZnO (c) katkılı nanoliflere ait XRD grafikleri.



(b)



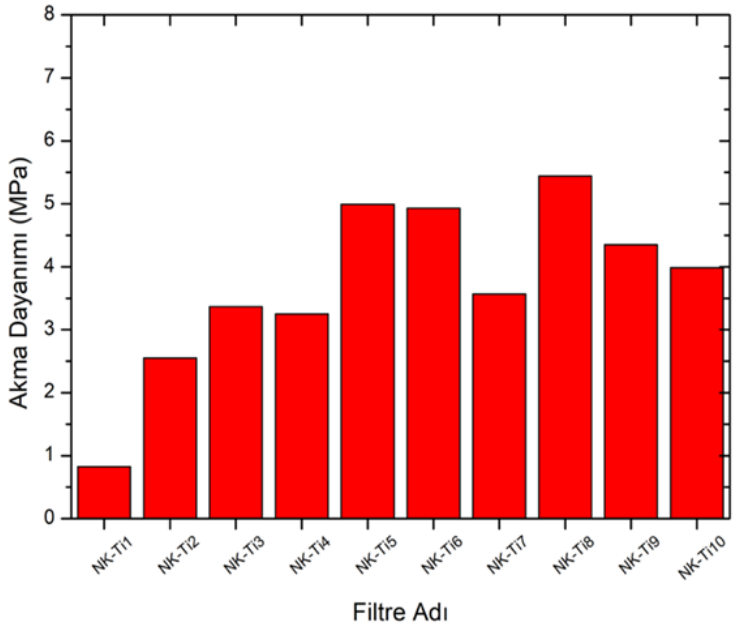
(c)

Şekil 4.20 (devam) : Nanokil (a), Nanokil+ TiO_2 (b) ve Nanokil+ZnO (c) katkılı nanoliflere ait XRD grafikleri.

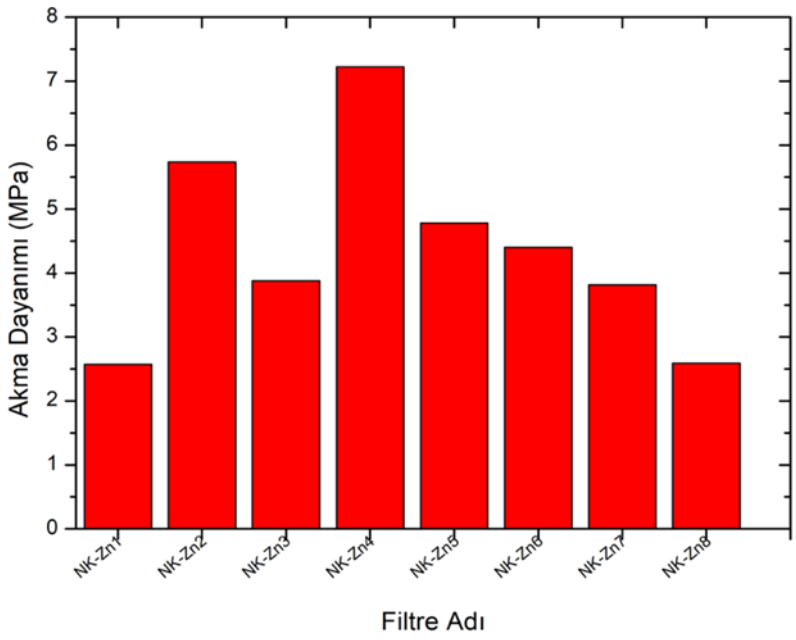
4.2.6 Nanokil-$TİO_2$ ve ZnO içeren nanoliflerin mekanik dayanım sonuçlarının değerlendirilmesi

Üretilen nanoliflerin akma dayanımı değerleri Şekil 4.21-a ve b'de verilmiştir. Tüm nanoliflerin akma dayanımı değeri 6 MPa'dan düşük olmuştur, en yüksek akma dayanımı değerine NK-Zn4 (NK: ağırlıkça % 0,025, ZnO: ağırlıkça % 0,5 ve besleme hızı 1,5 ml/sa) kodlu nanolifte ulaşılmıştır. Akma dayanımı, malzemenin kalıcı deformasyona uğramasına neden olan gerilimin karşılanmasını ifade etmektedir. Dolayısıyla akma dayanımının yüksek olması malzemenin uygulanan gerilime karşı dayanımının yüksek olduğu yani daha yüksek gerilim değerlerinde kalıcı

deformasyona uğradığı (mekanik olarak daha dayanıklı olduğu) anlamına gelmektedir (Wang et al.,2014). Bu açıdan bakıldığında, nanokil katkısının akma dayanımı değerini diğer nanokatkılara göre daha fazla arttırdığı yorumu yapılabilmektedir.



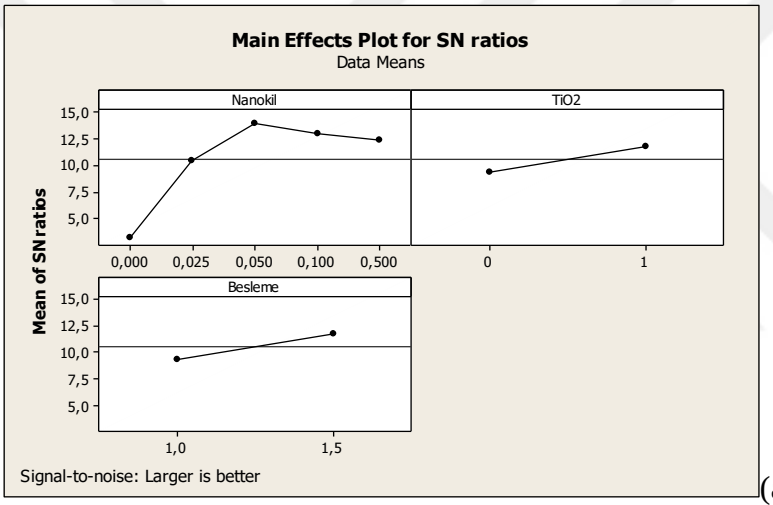
(a)



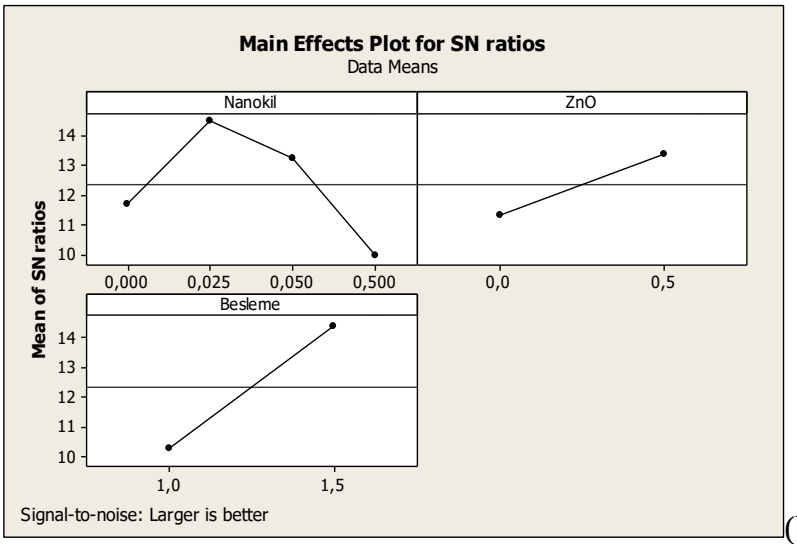
(b)

Şekil 4.21 : Nanoliflerin Akma Dayanımı Değerleri (a) NK-Ti (b) NK-Zn.

Şekil 4.22-a ve b'de nanoliflerin akma dayanımı değerlerinin Taguchi deneysel tasarımı ana etki/SN grafikleri verilmiştir. NK-Ti sette nanokil ve TiO_2 oranı artışıyla akma dayanımı artmış, NK-Zn içeren sette ise nanokil miktarının ağırlıkça % 0,025'e kadar artışı ile ilk olarak artıp daha sonra ağırlıkça % 0,05 nanokil miktarından sonra hızla düşmüştür, ZnO miktarı ile artmıştır. Nanokompozit yapıda ZnO varlığının pozitif bir etki yaptığı ve her zaman akma dayanımı değerlerinde bir artışa neden olduğu sonucuna varılabilmektedir. NK-Ti ve NK-Zn örneklerindeki mekanik özelliklerin farklı olmasının sebebi nanokil ve ZnO'nun birlikte etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



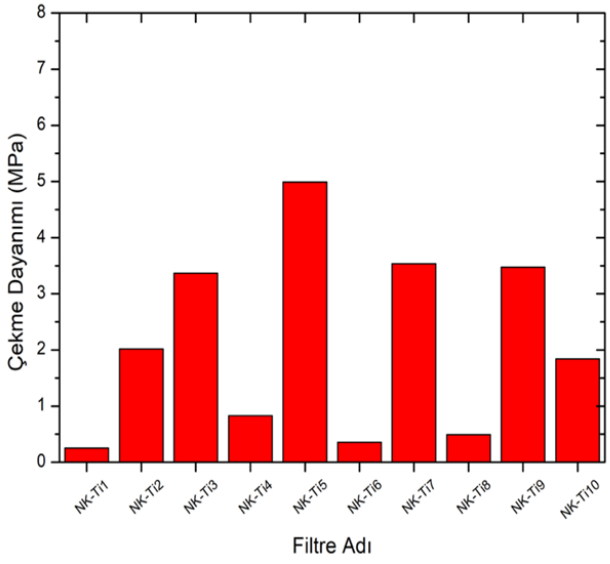
(a)



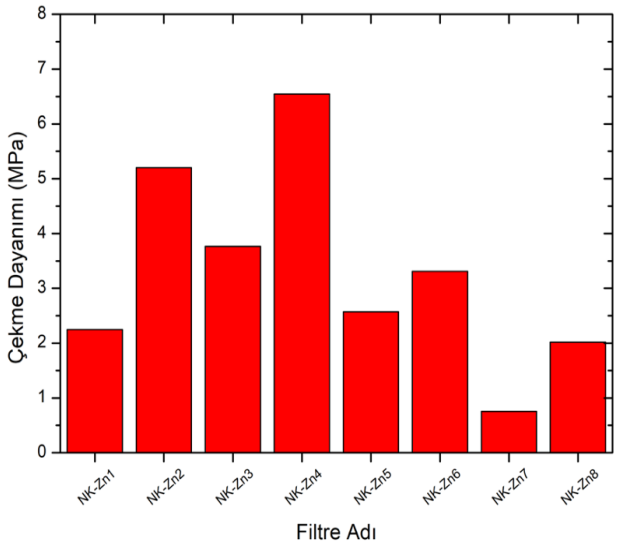
(b)

Şekil 4.22 : Nanoliflerin Akma Dayanımı Değerlerinin Taguchi deneysel tasarımı sonucu elde edilen ana etki/SN grafiği (a)NK-Ti (b) NK-Zn.

Üretilen nanoliflerin çekme dayanımı değerleri Şekil 4.23-a ve b'de verilmiştir. Tüm nanoliflerin çekme dayanımı değerleri genel olarak 5 MPa'dan düşük olmuştur, en yüksek çekme dayanımı değerine NK-Zn4 kodlu nanolifde ulaşılmıştır (NK: ağırlıkça % 0,025, ZnO: ağırlıkça % 0,5 ve besleme hızı 1,5 ml/sa). Çekme dayanımı malzemenin kopması anında uygulanan gerilimi ifade etmektedir. Nanokil ve ZnO katkılarının bu değeri diğer katkılara göre daha fazla arttırdığı yorumu yapılabilmektedir.



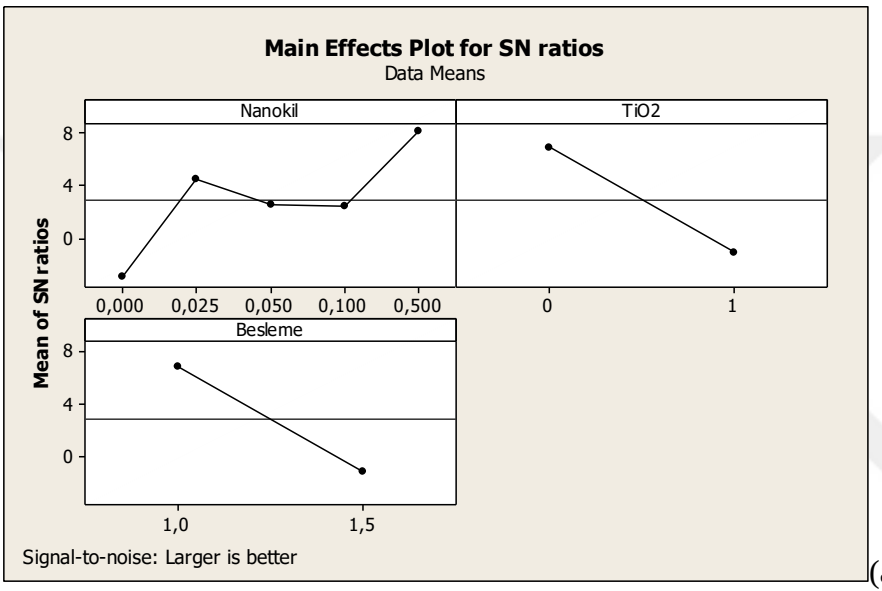
(a)



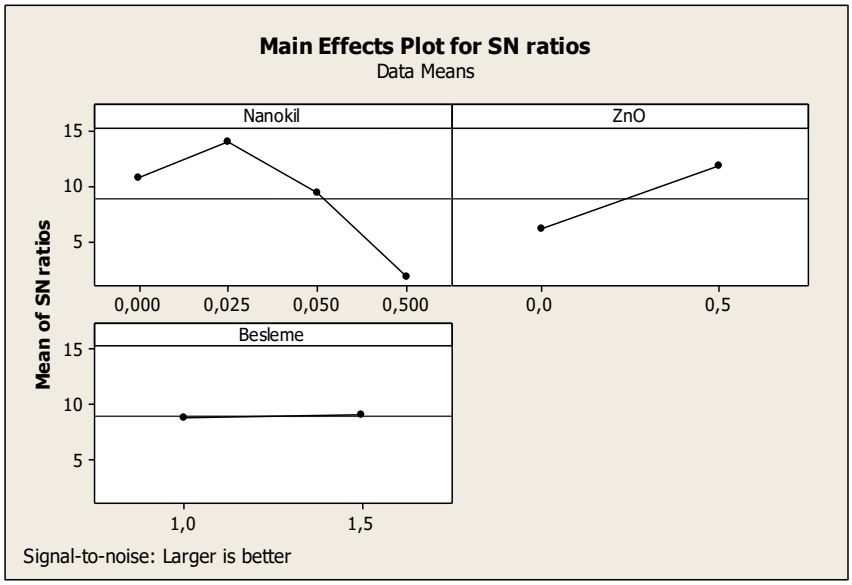
(b)

Şekil 4.23 : Nanoliflerin Çekme Dayanımı Değerleri (a) NK-Ti (b) NK-Zn.

Şekil 4.24-a ve b'de nanoliflerin çekme dayanımı değerlerinin Taguchi deneysel tasarımı ana etki/SN grafikleri verilmiştir. NK-Ti sette nanokil artışıyla çekme dayanımı artmış, TiO_2 katkısıyla ters bir etkiye neden olup çekme dayanımı değerleri azalmıştır. NK-Zn içeren sette ise, akma dayanımına benzer şekilde, nanokil artışı ile önce artmış sonrasında ağırlıkça % 0,05 nanokil miktarından sonra hızla düşmüş, ZnO varlığı olumlu bir etkiye neden olmuş ve ZnO miktarı ile ise çekme dayanımı değerleri artmıştır.



(a)



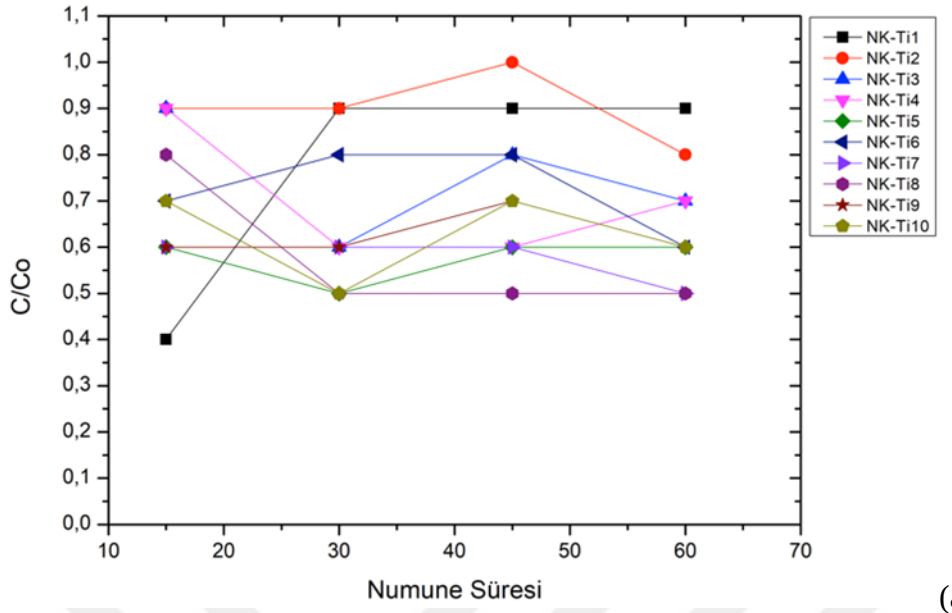
Şekil 4.24 : Nanoliflerin Çekme Dayanımı Değerlerinin Taguchi deneysel tasarımı sonucu elde edilen ana etki/SN grafiği (a) NK-Ti (b) NK-Zn.

Clarisa Carrizales ve diğ. (2008) elektroeğirme yöntemi ile nanofiber üretimi gerçekleştirmiş ve nanofiberlere ait pik gerilimlerini (peak stress) 7,2 ± 0,5 MPa olarak rapor etmişlerdir. Başka bir çalışmada, Marsano ve ark. (2010) elektroeğirme yöntemi ile 11,8 MPa akma dayanım değerine sahip PA6 nanolifleri hazırlamış ve ağırlıkça %10'a kadar artan çözelti konsantrasyonu ile mekanik mukavemette artış gözlemlemişlerdir. Bu artış ile birlikte PA6 nanoliflerin yüksek gerilme mukavemeti 12 ± 0,2 MPa gibi iyi bir mekanik özellik göstermiştir. Li ve diğ. (2006) yaptığı çalışmada ise elektroeğirme yöntemi ile üretilen membranlara ait çekme dayanım değerleri 6,8 MPa olarak belirlemişlerdir. Mekanik test sonuçları literatür ile karşılaştırığında, literatür değerlerine oldukça yakın ve uygun olduğu görülmüştür.

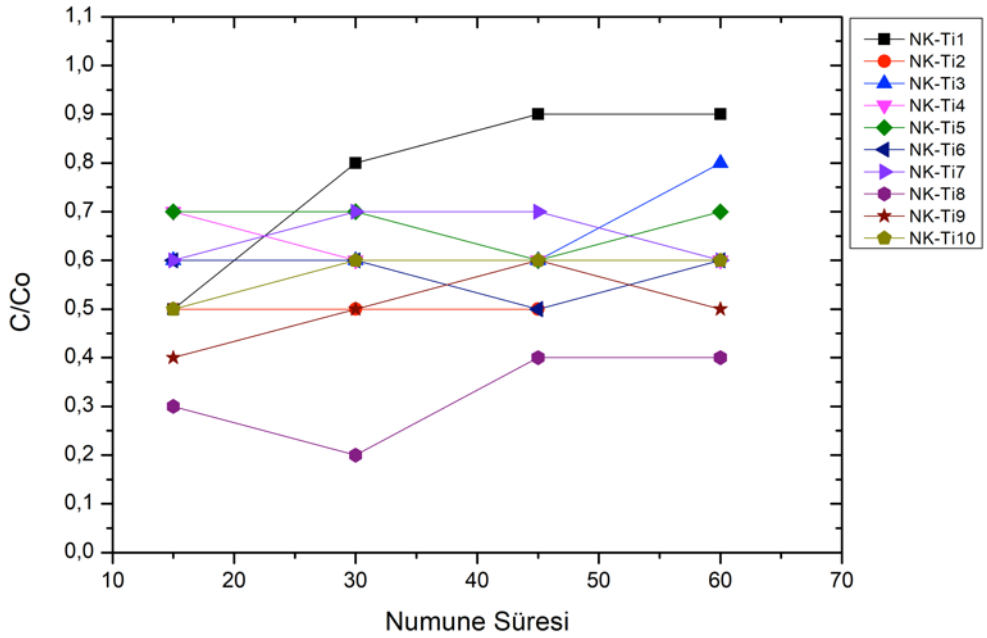
4.2.7 Nanokil-TiO_2 ve ZnO içeren nanoliflerin toluen giderim verimleri sonuçlarının değerlendirilmesi

İlk olarak fotokatalitik nanomalzeme içeren nanoliflerin kesikli ortamda oksidasyon verimi tespit edilmiştir, bu çalışma sonuçlarına bakıldığında, fotokatalitik oksidasyon süresinde NK-Ti10 numunesinde yaklaşık olarak %23 MB (metilen blue) giderimi, NK-Ti2 numunesinde ise %22 MB giderimi elde edilmiştir. NK-Zn2 numuesinde %43 oranında MB giderimi, NK-Zn10 numuesinde ise %46 MB giderimi gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre nanokatalizör katkılı filtrelerin oksidasyon özelliğine sahip olduğu görülmüş ve reaktör şartlarında sürekli akış ortamında toluen adsorpsiyonu ve oksidasyonu denemelerine geçilmiştir.

NK-Ti setine ait adsorpsiyon ve oksidasyon döngüsündeki giderim verimi değerleri Şekil 4.25-a ve Şekil 4.25-b'de verilmiştir. Bu deney setinde 1 sa. akış süresince 15 dakikada bir numuneler alınarak zamana bağlı giderim verimleri (C/Co) hesaplanmıştır. Genel olarak her iki döngüde de nanolif filtreler arasındaki fark 15.dk da ortaya çıkmaktadır. Her bir nanolif birbirlerinden oldukça farklı değerlere sahip olmuştur. Adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerinde en yüksek giderim verimlerine NK-Ti8 kodlu nanolif filtrede ulaşılmıştır. Bu nanolifin özelliklerine bakıldığında, Nanokil oranı ağırlıkça %0,1, TiO_2 oranı %1 ve besleme hızı 1,5 ml/sa'dir. Adsorpsion ve oksidasyon döngüsündeki toluen giderim verimleri arasındaki en yüksek fark NK-Ti2 kodlu nanolifte gözlenmiştir bu nanolifte nanokil miktarı ağırlıkça % 0 ve TiO_2 oranı %1'dir.



(a)

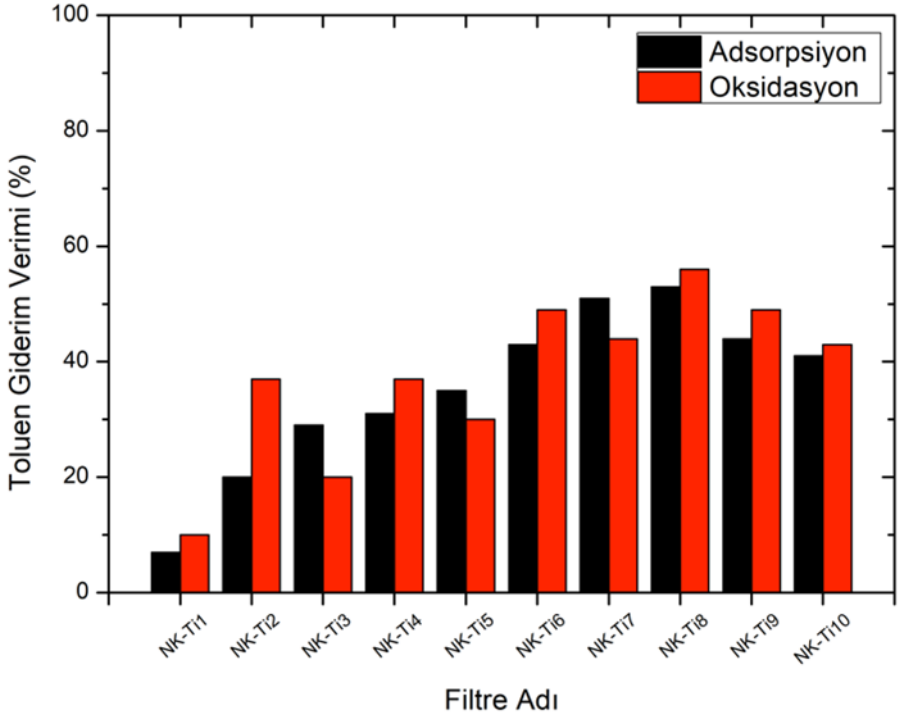


(b)

Şekil 4.25 : NK-Ti setinde üretimi yapılmış olan nanoliflerin zamana bağlı toluen için C/Co değerleri (a) adsorpsiyon (b) oksidasyon.

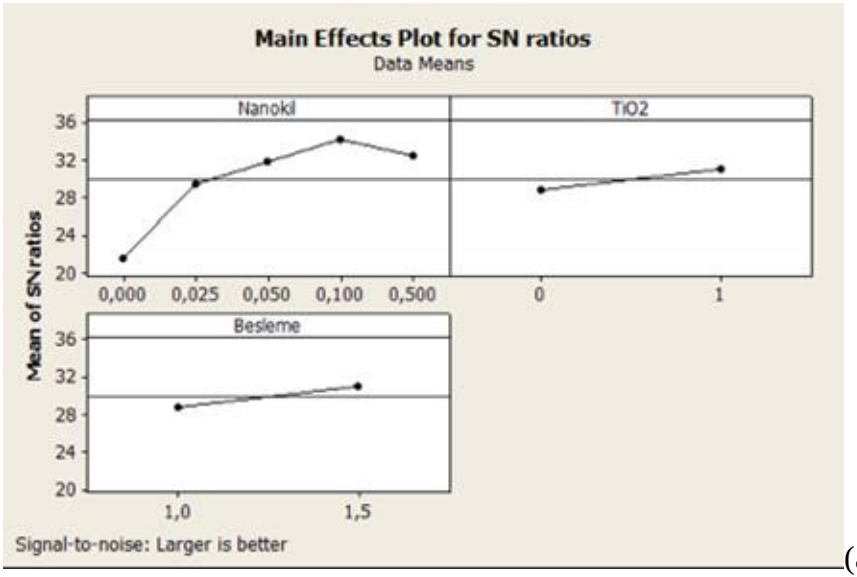
Adsorpsiyon ve oksidasyon döngüsünde besleme konsantrasyonuna göre 60. dk'da giderim verimleri hesaplanmıştır ve Şekil. 4.26 'de sonuçlar grafik olarak gösterilmektedir. Genel olarak oksidasyon döngüsündeki giderim verimleri adsorpsiyona göre yüksek olmuş en yüksek farka NK-Ti2 kodlu nanolifte ulaşılmıştır. Bu filtrede nanokilin bulunmaması TiO2'nin oksidasyon özelliğini ortaya çıkarmıştır.

Genelde TiO_2 ve nanokil eklentili nanoliflerin giderim verimleri eklentisiz nanolife göre daha yüksek olmuştur.

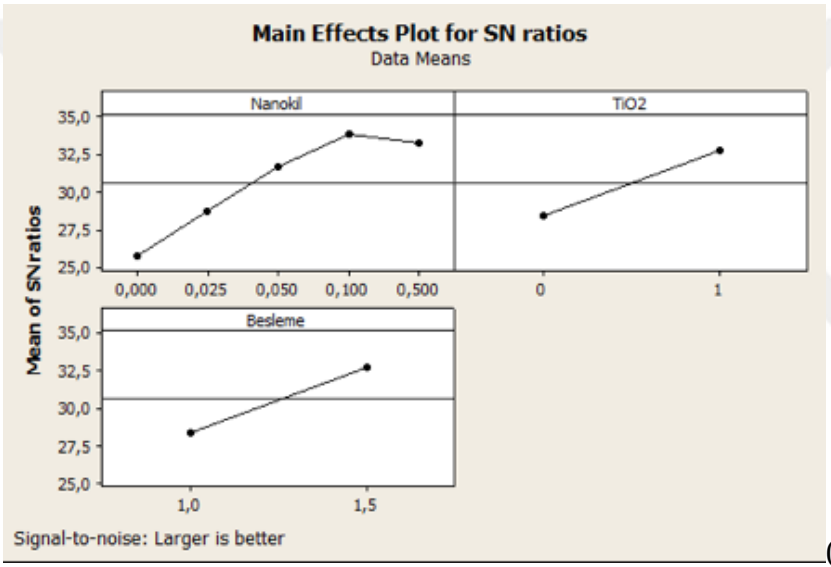


Şekil 4.26 : NK-Ti setinde üretimi yapılmış olan nanoliflerin toluenin adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerindeki giderim verimi grafiği.

NK-Ti setine ait toluen adsorpsiyon ve oksidasyon döngüsündeki giderim verimlerinin Taguchi deneysel tasarımı sonucu elde edilen ana etki/SN grafiği Şekil 4.27-a ve Şekil 4.27-b'de verilmiştir. Her iki döngüde de giderim verimleri nanokil ve TiO_2 oranı ve besleme hızı artışı ile artmaktadır.



(a)

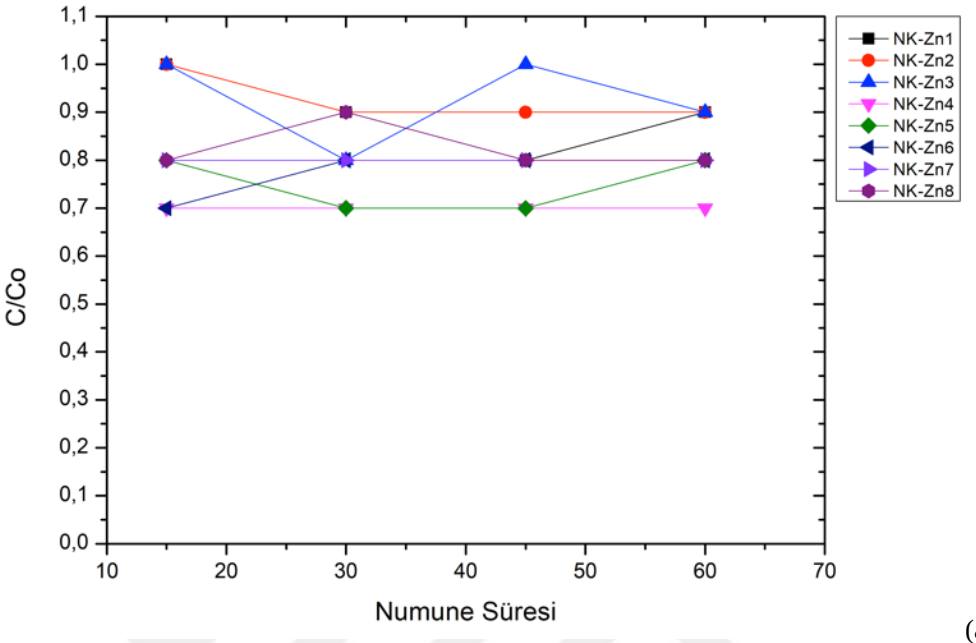


(b)

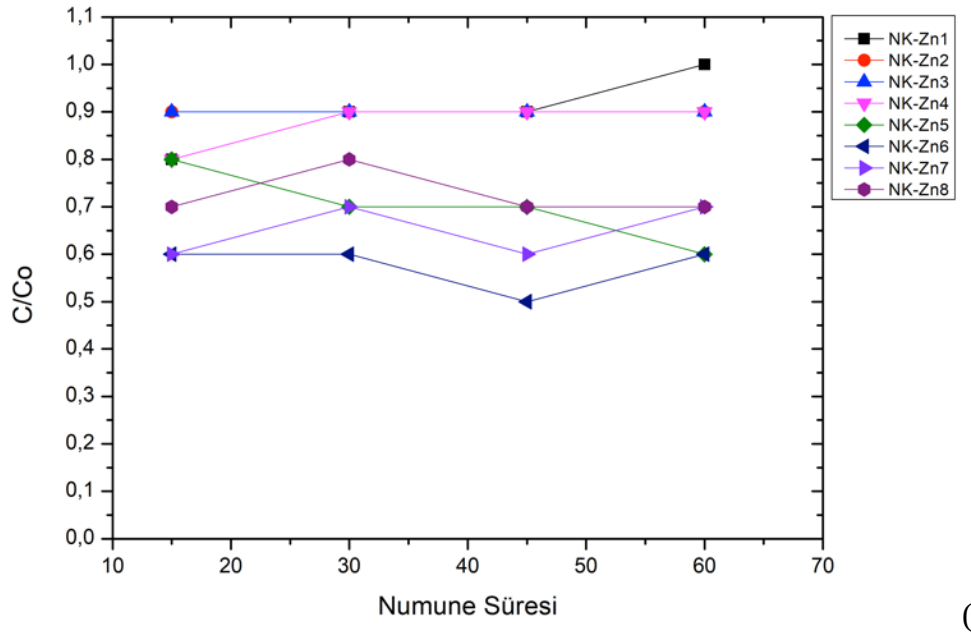
Şekil 4.27 : NK-Ti setinde üretimi yapılmış olan nanoliflerin toluen giderim verimlerinin Taguchi ana etki/SN grafiği (a) adsorpsiyon (b) oksidasyon.

NK-Zn setine ait toluen adsorpsiyon ve oksidasyon döngüsündeki giderim verimi değerleri Şekil 4.28-a ve Şekil 4.28-b'de verilmiştir. Genel olarak bu sette üretilen nanoliflerın giderim verimleri NK-Ti setinden daha düşük olmuştur. Özellikle ZnO oranlarının yüksek olduğu nanoliflerde oksidasyon döngüsündeki giderim verimleri adsorpsiyon döngüsündeki verimlerden daha yüksek olmuştur (NK-Zn6 nanolif). Adsorpsiyon döngüsünde en yüksek giderim verimlerine NK-Zn4 kodlu nanolif filtrede ulaşılmıştır. Bu nanolifin özelliklerine bakıldığında, Nanokil oranı %0,025, ZnO oranı %0,5 ve besleme hızı 1,5 ml/sa'dir. Oksidasyonda en yüksek giderim

verimine sahip nanolif NK-Zn6 olmuş ve nanokil oranı %0,05, ZnO oranı %0,5 ve besleme hızı 1,0 ml/sa'dir.



(a)

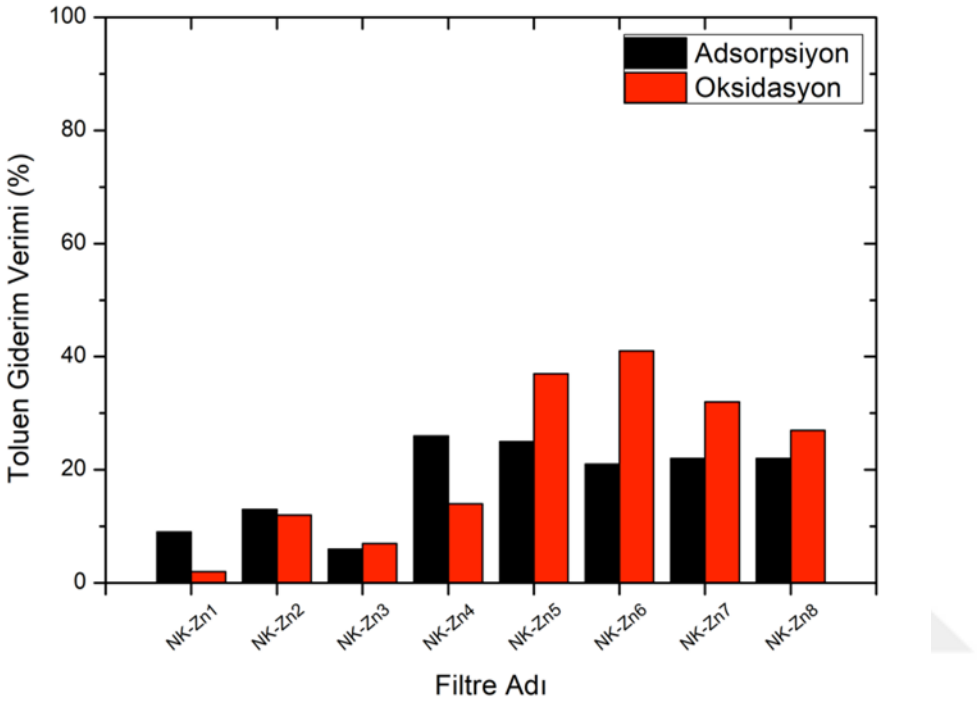


(b)

Şekil 4.28 : NK-Zn setinde üretimi yapılmış olan nanoliflerin zamana bağlı toluen için C/Co değerleri (a) adsorpsiyon (b) oksidasyon.

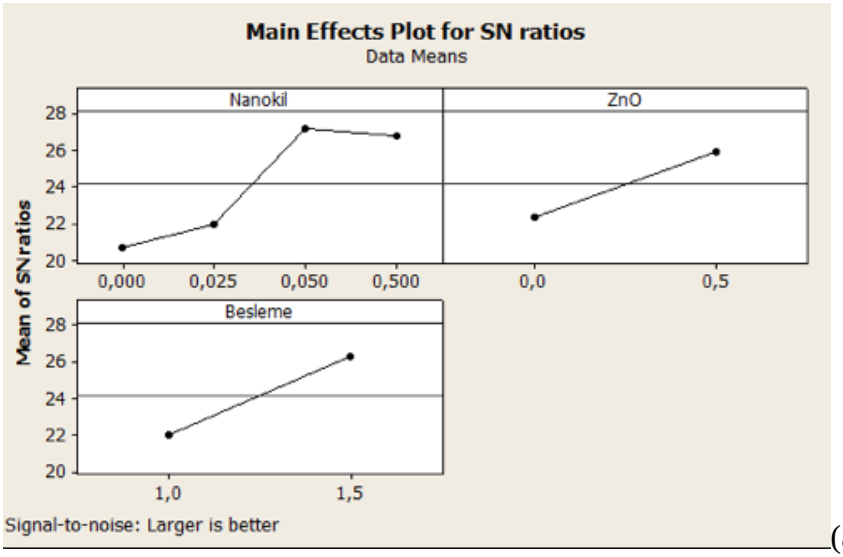
Bu sette de NK-Ti setine benzer şekilde adsorpsiyon ve oksidasyon döngüsünde besleme konsantrasyonuna göre 60. dk'da giderim verimleri hesaplanmıştır ve Şekil

4.29'de sonuçlar grafik olarak gösterilmektedir. Özellikle NK-Zn6 nanolifte oksidasyon döngüsündeki giderim verimi adsorpsiyona göre yaklaşık iki kat daha yüksek olmuştur. Giderim verimleri NK-Ti setine göre düşük fakat eklentisiz nanoliflere göre yüksek olmuştur. NK-Ti setinde görünen nanokilin oksidasyonu azaltıcı etkisi bu set deneylerde gözlenmemiştir.

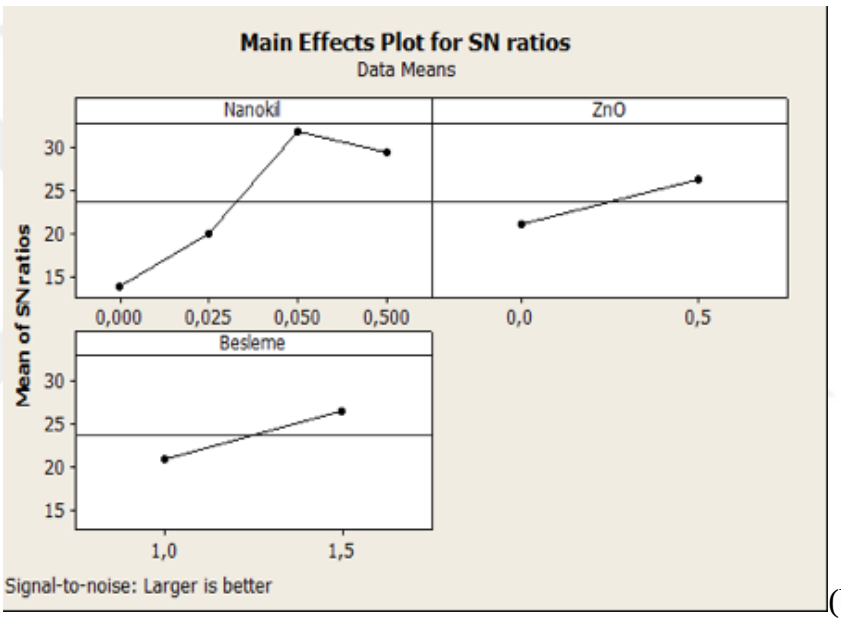


Şekil 4.29 : NK-Zn setinde üretimi yapılmış olan nanoliflerin toluenin adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerindeki giderim verimi grafiği.

NK-Zn setine ait toluen adsorpsiyon ve oksidasyon döngüsündeki giderim verimlerinin taguchi deneysel tasarımı sonucu elde edilen ana etki/SN grafiği Şekil 4.30-a ve Şekil 4.30-b'de verilmiştir. Her iki döngüde de giderim verimleri nanokil ve ZnO oranı ve besleme hızı artışı ile artmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 4.30 : NK-Zn setinde üretimi yapılmış olan nanoliflerin toluen giderim verimlerinin Taguchi ana etki/SN grafiği (a) adsorpsiyon (b) oksidasyon.

Ölçümü yapılan değerlerimizle literatürdeki benzer çalışmaları karşılaştırdığımızda toluen adsorpsiyonu ve oksidasyonu için bizim konsantrasyonlarımızda çalışan Tian ve diğ. (2017)'nin çalışmasında 4600–13800 ppm aralığındaki toluen konsantrasyonları için TiO_2 içeren karbon fiber malzemede %60-80 arasında bir adsorpsiyon giderim verimi ve %87 oranında CO_2 dönüşme verimleri elde etmişlerdir. Buhar fazında toluen giderimini kullanılan reaktör sistemi, çalışılan konsantrasyon, üretilen malzeme vb. birçok faktör etkilemektedir dolayısıyla birebir çalışmalarla giderim verimini karşılaştırmak zor olmuştur.

5. GENEL DEĞERLENDİRME

PA kompozit nanolifler, iç ortam hava filtrasyonu için elektroeğirme yöntemi kullanılarak üretilmişlerdir. Nanolif filtre üretiminde, polimer olarak poliamit-6 (PA6), nano katkı olarak nanokil (NK) ve halloysit nanotüp (HNT) yapıları ve katalizör olarak ise TiO_2 ve ZnO yapıları kullanılmıştır. Polimer ile üretim çalışmalarına başlandıktan sonra; aglomerasyon gerçekleşmeden adsorbanların konsantrasyonunun, uygun dispersiyon ve elektroeğirme koşullarının belirlenmesi adımları uygulanmıştır. Üretim sonrasında, nanoliflerin karakterizasyon özellikleri olan fiber çapları (SEM ile), organik bağları (FTIR ile), kristal yapıları (XRD ve SEM-EDS ile) ve mekanik dayanım özellikleri (DMA ile) belirlenmiştir. Nanolifler ait performans testleri ise hava geçirgenliği, su buharı geçirgenliği, toluen adsorpsiyonu ve oksidasyonu ile belirlenmiştir. Mekanik dayanım değerleri ve özellikle akma dayanımı değerleri hava filtresi geliştirme bakımından oldukça önemlidir. NK-Ti8 kodlu nanolife ait akma dayanımı değeri 5 MPa'dan büyüktür. Nanoliflerin toluen adsorpsiyon ve oksidasyon kapasitesi katalizörlerin ilavesi ile artış göstermiştir. Katalizörlerin etkileri incelendiğinde PA+NK-Ti'ye ait adsorpsiyon ve oksidasyon giderim verimleri PA+NK-Zn'den daha yüksektir. Adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerine ait giderim verimleri incelendiğinde, en yüksek giderim verimi nanokil oranı ağırlıkça % 0,1, TiO_2 oranı ağırlıkça %1 ve besleme hızı 1,5 ml/sa olan NK-Ti8 kodlu nanolifte elde edilmiştir.

Üretilen tüm nanolif filtrelerin fiber çapı, hava geçirgenliği, su buharı geçişi, çekme dayanımı, adsorpsiyon ve oksidasyon döngülerindeki giderim verimleri Çizelge 5.1'de en düşük-yüksek ve ortalama değer olarak sunulmuştur. Çizelge 5.1'den de görülebileceği gibi, performans parametreleri açısından ortalama değerlerde en yüksek değere ulaşan nanolifler şu şekilde olmuştur.

-Fiber çapı: NK-Ti1

-Hava geçirgenliği: HNT-Ti1

-Su buharı: NK-Zn1

-Akma Dayanımı: NK-Ti8

-Adsorpsiyon ve oksidasyon döngüsünde toluen giderim verimi: NK-Ti8

Çizelge 5.1 : Nanolif filtrelere ait tüm sonuçların özet çizelgesi.

Filtre adı	Fiber çapı (nm)		Hava geçirgenliği (mm/sn)		Su buharı (gr/m^2.sa)		Çekme dayanımı (MPa)		Giderim verimi (Ads, %)		Giderim verimi (Oks,%)	
	Ort.	Min-Mak.	Ort.	Min-Mak.	Ort.	Min-Mak.	Ort.	Min-Mak.	Ort.	Min-Mak.	Ort.	Min-Mak.
HNT-Ti1-16	83,1±18,6	49,0- 120,0	161,4±39,1	52-246	177,6±34,3	95,0-221,0	1,67±0,97	0,72-4,47	35±17	7-58	39±20	6-64
NK-Ti1-10	104,9±18,4	75,9-129,0	80,3±23,8	58-136	146,8±20,3	120,0-173,7	2,12±1,65	0,25-4,99	35±14	7-53	37±13	12-56
NK-Zn1-8	115,4±11,1	88,3-138,9	79,5±32,1	43-126	265,2±78,8	189,5-442,1	3,30±1,85	0,75-6,5	18±8	6-26	21±15	2-41

6. KAYNAKLAR

A.A. Azeez, K.Y. Rhee, S.J. Park, D. (2012) Hui Epoxy clay nanocomposites–processing, properties and applications: a review, *Composites Part B: Engineering, 45(1), 308–320.* https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.04.012

A.A. Azeez, K.Y. Rhee, S.J. Park, D. (2012) Hui Epoxy clay nanocomposites–processing, properties and applications: a review, *Composites Part B: Engineering, 45(1), 308–320.* https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.04.012

A.F. Cosseron, T.J. Daou, L. Tzanis, H. Nouali, I. Deroche, B. Coasne, V. Tchamber (2013). Adsorption of volatile organic compounds in pure silica CHA, ∗BEA, MFI and STT type zeolites, *Micropor. Mesopor. Mat.* 173 (2013) 147–154.

A.K. Boulamanti, C.A. Korologos, C.J. Philippopoulos (2008). The rate of photocatalytic oxidation of aromatic volatile organic compounds in the gas-phase, *Atmos. Environ. 42 (34)* (2008) 7844–7850.

A.K. Boulamanti, C.A. Korologos, C.J. Philippopoulos (20089. The rate of photocatalytic oxidation of aromatic volatile organic compounds in the gas-phase, *Atmos. Environ. 42 (34)* (2008) 7844–7850.

AdhocAG,2008b. Health evaluation offine particulate matter in indoor air. Bundesgesundheitsblatt51,1370–1378.

ASHRAE 62.1,2013, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.

Banisharif A, Khodadadi AA, Mortazavi Y, et al.(2015) Highly active Fe2O3-doped TiO_2 photocatalyst for degradation of trichloroethylene in air under UV and visible light irradiation: Experimental and computational studies. *Appl Catal B Environ. 2015*;165:209-221. doi:10.1016/J.APCATB.2014.10.023

Bian, Y., Wang, S., Zhang, L., & Chen, C. (2019). Influence of Fiber Diameter, Filter Thickness, and Packing Density on PM2.5 Removal Efficiency of Electrospun Nanofiber Air Filters for Indoor Applications. *Building and Environment*, 106628. doi:10.1016/j.buildenv.2019.106628

Bikshapathi M, Singh S, Bhaduri B, Mathur GN, Sharma A, Verma N. (2012). Fe-nanoparticles dispersed carbon micro and nanofibers: Surfactant-mediated preparation and application to the removal of gaseous VOCs. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp.* 2012;399:46-55. doi:10.1016/J.COLSURFA.2012.02.023

BOZKURT Z. No Title. 2009

Brindley GW, Robinson K, Goodyear J. X-ray studies of halloysite and metahalloysite. *Miner Mag* 1948;28:407–22.

Brown Sk. (1999) Assessment Of Pollutant Emissions From Dry Process Photocopiers. *Indoor Air.* 9:259-267, 1999

C. Duan, F. Li, M. Yang, H. Zhang, Y. Wu, H. Xi. (2018). Rapid synthesis of hierarchically structured multifunctional metal-organic zeolites with

enhanced volatile organic compounds adsorption capacity, *Ind. Eng. Chem. Res.* 57 (2018) 15385–15394.

C.L. Bianchi, G. Cappelletti, S. Ardizzone, S. Gialanella, A. Naldoni, C. Oliva, C. Pirola (2009). N-doped TiO2 from TiCl3 for photodegradation of air pollutants, *Catal. Today* 144 (1–2) (2009) 31–36.

C.L. Bianchi, S. Gatto, C. Pirola, A. Naldoni, A. Di Michele, G. Cerrato, V. Crocellà, V. Capucci (2014). Photocatalytic degradation of acetone, acetaldehyde and toluene in gas-phase: comparison between nano and micro-sized TiO2, *Appl. Catal. B 146* (2014) 123–130.

C.Y. Yin, M.K. Aroua, W.M.A.W. Daud. (2007). Review of modifications of activated carbon for enhancing contaminant uptakes from aqueous solutions, Sep. Purif. Technol. 52 (2007) 403–415.

Cattaneo,A., Peruzzo,C., Garramone,G., Urso,P., Ruggeri,R., Carrer,P., Cavallo,D.M. (2011). Airborne particulate matter and gaseous air pollutants in residential structures inLodiprovince, Italy. *IndoorAir 21,489–500.*

Celebioglu A, Sen HS, Durgun E, Uyar T. (2016). Molecular entrapment of volatile organic compounds (VOCs) by electrospun cyclodextrin nanofibers.*Chemosphere.* 2016;144:736-744. doi:10.1016/J.CHEMOSPHERE.2015.09.029

Chen, C., He, F., Tang, G., Ding, H., Wang, Z., Li, D., … Faessler, R. (2017). A Copper-Catalyzed Tandem C-H ortho-Hydroxylation and N-N Bond-Formation Transformation: Expedited Synthesis of 1-(ortho-Hydroxyaryl)-1H-indazoles. *European Journal of Organic Chemistry,* 2017(45), 6604–6608. doi:10.1002/ejoc.201701149

Das, D., Gaur, V., & Verma, N. (2004). Removal of volatile organic compound by activated carbon fiber. *Carbon,* 42(14), 2949–2962. doi:10.1016/j.carbon.2004.07.008

Ding, Y., Zhang, P., Jiang, Y., Xu, F., Yin, J., & Zuo, Y. (2009). Mechanical properties of nylon-6/SiO2 nanofibers prepared by electrospinning. *Materials Letters,* 63(1), 34–36. doi:10.1016/j.matlet.2008.08.058

E. N. Ruddy, L. A. Carroll. (1993). Select the best VOC control strategy, Chemical Engineering Progress. 7 (1993) 28.

Environmental Protection Agency, 2010

Ergin Ç, İlkit M, Gök Y, Özel MZ, Çon AH, Kabay N, Söyleyici S, Döğen A. (2013). Fourier transform infrared spectral evaluation for the differentiation of clinically relevant Trichophyton species. *J Microbiol Methods,* 93 (2013) 218-223.

Fanger, P. O. (2005). "Enerjiden Tasarruf Sağlarken, İç Hava Kalitesi Nasıl Yüz Kere Daha İyi Hale Getirebilir?" *TTMD Dergisi*, 37, Mayıs-Haziran, 2005.

Fischer, P. H., Hoek, G., van Reeuwijk, H., Briggs, D. J., Lebret, E., van Wijnen, J. H., … Elliott, P. E. (2000). Traffic-related differences in outdoor and indoor concentrations of particles and volatile organic compounds in Amsterdam. *Atmospheric Environment,* 34(22), 3713–3722. doi:10.1016/s1352-2310(00)00067-4

Fromme,H., Diemer,J., Dietrich,S.,Cyrys, J.,Heinrich,J., Lang,W., Kiranoglu,M., Twardella,D.(2008). Chemical and morphological properties of particulate matter (PM10,PM2.5) from school class rooms and outdoor air. *Atmos.Environ.*42, 6597–6605.

Gallego, E., Roca, F. J., Perales, J. F., & Guardino, X. (2013). Experimental evaluation of VOC removal efficiency of a coconut shell activated carbon

filter for indoor air quality enhancement. *Building and Environment*, 67, 14–25. doi:10.1016/j.buildenv.2013.05.003

Guo H, Murray F, Wılkınson S.(2000). Evalution Of Total Volatile Organic Compound Emissions From Adhesives Based On Chamber Tests. Journal Of The Air And Waste Management Association. 50:199-206, 2000.

Guo H, Murray F.(2001). Characterization Of Total Volatile Organic Compound Emissions From Paints. *Clean Product And Processes.* 3:42-8, 2001. 18.

H. Mao, D. Zhou, Z. Hashisho, S. Wang, H. Chen, H. Wang, M.J. Lashaki. (2015). Microporous activated carbon from pinewood and wheat straw by microwave assisted KOH treatment for the adsorption of toluene and acetone vapors, *RSC Adv.* 5 (2015) 36051–36058.

H. Zangeneh, A.A.L. Zinatizadeh, M. Habibi, M. Akia, M. Hasnain Isa. (2015). Photocatalytic oxidation of organic dyes and pollutants in wastewater using different modified titanium dioxides: A comparative review, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 26 (2015) 1–36.

H.M. Anasthas, V.G. Gaikar (2001). Adsorption of acetic acid on ion-exchange resins in non-aqueous conditions, *React. Funct. Polym. 47* (2001) 23–35.

Haghighat Mamaghani, F. Haghighat, C. S. Lee.(2017). Photocatalytic oxidation technology for indoor environment air purification: The state-of-the-art, Applied Catalysis B: Environmental 203 (2017) 247–269.

Hanmeng Yuan, Shiyao Tang, Qiuyan Luo, Teng Xiao, Wenlei Wang, Qiang Ma, Xin Guo & Yiqiang Wu.(2020). Micro-FTIR spectroscopy and partial least-squares regression for rapid determination of moisture content of nanogram-scaled heat-treated wood,2020

Henschel Bd, Fortann Rc, Roache Nf. (2001). Variations İn The Emission Of Volatile Organic Compounds From The Toner For A Specific Photocopier. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 51:708-717, 2001.

Herrera-Alonso JM, Marand E, Little J, Cox SS.(2019). Polymer/clay nanocomposites as VOC barrier materials and coatings. Polymer (Guildf). 2009;50(24):5744-5748. doi:10.1016/j.polymer.2009.09.054

Huang, X., Shi, L., Cao, J., He, F., Li, R., Zhang, Y., … Lin, X. (2014). The Sterile 20-Like Kinase Tao Controls Tissue Homeostasis by Regulating the Hippo Pathway in Drosophila Adult Midgut. *Journal of Genetics and Genomics*, 41(8), 429–438. doi:10.1016/j.jgg.2014.05.007

J. Alcañiz-Monge, A. Linares-Solano, B. Rand.(2001). Water adsorption on activated carbons: study of water adsorption in micro- and mesopores, J. Phys. Chem., B 105 (2001) 7998–8006.

J. Kim, S. Chan Hong, G. N. Bae, J. H. Jung.(2017). Electrospun Magnetic Nanoparticle-Decorated Nanofiber Filter and Its Applications to High-Efficiency Air Filtration. *Environ. Sci. Technol.* 51 (2017) 11967–11975.

J. Zhao, X. Yang. (2003) Photocatalytic oxidation for indoor air purification: a literature review. Building and Environment. 38 (2003) 645 – 654.

Jo, W. K. and Park, K. H. (2004). "Heterogeneous photocatalysis of aromatic and chlorinated volatile organic compounds (VOCs) for non-occupational indoor air application", *Chemosphere*, 57(7), 555-565.

Kalender M.(2009). Gaz Akımlarındaki Uçucu Organik Bileşiklerin Kuru Sorbent Enjeksiyon Tekniği İle Giderilmesi. 2009.

Karaman E. (2013). İç Ortam Hava Kalitesinin İyileştirilmesinde Gümüş İyonları İçeren PVC Malzemelerin Antibikrobiyal Etkisinin Belirlenmesi, 2013.

Kayhan, S. (2005), "İç Ortam Hava Kalitesi ve Havalandırma Kontrolü", *TTMD Dergisi*, 37, MayısHaziran, 2005.

Khajeh, M., & Ghaemi, A. (2019). Nanoclay montmorillonite as an adsorbent for CO 2 capture: Experimental and modeling. *Journal of the Chinese Chemical Society*. doi:10.1002/jccs.201900150

Lee Cw, Daı Yt, Chıen Ch, Hsu Dj.(2006) Characteristics And Health İmpacts Of Volatile Organic Compounds İn Photocopy Centers. *Environmental Research*. 100:139-149, 2006.

Lee, S. C., Li, W. M. and Ao, C. H. (2002). "Investigation of indoor air quality at residential homes in Hong Kong - Case study", *Atmospheric Environment*, 36(2), 225-237.

Lemus, J., Martin-Martinez, M., Palomar, J., Gomez-Sainero, L., Gilarranz, M. A., & Rodriguez, J. J. (2012). Removal of chlorinated organic volatile compounds by gas phase adsorption with activated carbon. *Chemical Engineering Journal*, 211-212, 246–254. doi:10.1016/j.cej.2012.09.021

Li, L., Bellan, L. M., Craighead, H. G., & Frey, M. W. (2006). Formation and properties of nylon-6 and nylon-6/montmorillonite composite nanofibers. *Polymer*, 47(17), 6208–6217. doi:10.1016/j.polymer.2006.06.049

Li, W. M., Lee, S. C. and Chan, L. Y. (2001). "Indoor air quality at nine shopping malls in Hong Kong", *Science of the Total Environment*, 273(1-3), 27-40.

Li, W. M., Lee, S. C. and Chan, L. Y. (2001). "Indoor air quality at nine shopping malls in Hong Kong", *Science of the Total Environment*, 273(1-3), 27-40.

Lin SY, Wang SL. (2011). Advances in simultaneous DSC–FTIR microspectroscopy for rapid solid-state chemical stability studies: Some dipeptide drugs as examples. *Adv Drug Delivery Rev*, 64 (2012) 461-478.

Liu, M., Jia, Z., Jia, D., & Zhou, C. (2014). Recent advance in research on halloysite nanotubes-polymer nanocomposite. *Progress in Polymer Science*, 39(8), 1498–1525. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2014.04.004

M. Hussain, N. Russo, G. Saracco.(2011). Photocatalytic abatement of VOCs by novel optimized TiO2 nanoparticles, *Chem. Eng. J. 166* (1) (2011) 138–149.

M. Khalid, G. Joly, A. Renaud, P. Magnoux (2004). Removal of phenol from water by adsorption using zeolites, *Ind. Eng. Chem. Res. 43* (2004) 5275–5280

M.A. Lillo-Ródenas, D. Cazorla-Amorós, A. Linares-Solano (2005). Behaviour of activated carbons with different pore size distributions and surface oxygen groups for benzene and toluene adsorption at low concentrations, *Carbon 43* (2005) 1758–1767.

M.R. Hoffmann, S.T. Martin, W. Choi, D.W. Bahnemannt (1995). Advanced Nanoarchitectures for Solar Photocatalytic Applications. (1995) 69–96.

Macewan DMC. (1947). The nomenclature ofthe halloysite minerals. Miner Mag 1947;28:36–44.

Mak YW, Chuah LO, Ahmad R, Bhat R. (2013). Antioxidant and antibacterial activities of Hibiscus (Hibiscus rosa-sinensis L.) and Cassia (Senna bicapsularis L.) flower extracts. J King Saud Univ Sci.

Maronı M, Seıfert B, Lındvall T. (1995). *Indoor Air Quality* –A Comprehensive Reference Book. Elsevier, Amsterdam, 1995.

Marras, S. I., Kladi, K. P., Tsivintzelis, I., Zuburtikudis, I., & Panayiotou, C. (2008). Biodegradable polymer nanocomposites: The role of nanoclays on the thermomechanical characteristics and the electrospun fibrous structure. *Acta Biomaterialia*, 4(3), 756–765. doi:10.1016/j.actbio.2007.12.005

Medhat Bojnourd, F., & Pakizeh, M. (2018). Preparation and characterization of a nanoclay/PVA/PSf nanocomposite membrane for removal of pharmaceuticals from water. *Applied Clay Science*, 162, 326–338. doi:10.1016/j.clay.2018.06.029

Mo, J., Zhang, Y., Xu, Q., Lamson, J. J. and Zhao, R. (2009). "Photocatalytic purification of volatile organic compounds in indoor air: A literature review", *Atmospheric Environment*, 43(14), 2229-2246.

Monticelli, O., Bottino, A., Scandale, I., Capannelli, G., & Russo, S. (2006). Preparation and properties of polysulfone–clay composite membranes. *Journal of Applied Polymer Science*, 103(6), 3637–3644. doi:10.1002/app.25511

N. Patkar , J. Laznow (1992) Hazardous air pollutant control technologies. *Hazmat World. 2* (1992) 78.

N. Saba, M. Jawaid, M. Asim (2019) Nanocomposites with nanofibers and fillers from renewable resources. 2019, 145-170. DOI: 10.1016/B978-0-08-102177-4.00007-0

Pang, Z., Fu, J., Luo, L., Huang, F., & Wei, Q. (2014). Fabrication of PA6/TiO_2/PANI composite nanofibers by electrospinning–electrospraying for ammonia sensor. *Colloids and Surfaces A:* Physicochemical and Engineering Aspects, 461, 113–118. doi:10.1016/j.colsurfa.2014.07.038

Polat Y., Atakan R, Demir A.(2014) , Design of polyamide nanofiber air filter media with glass particles,2014

Prof. Dr. Gençağa Pürçek , Metalik Malzemelere Uygulanan Mekanik Deneyler (Ders Notları)

R.R. Bansode, J.N. Losso, W.E. Marshall, R.M. Rao, R.J. Portier (2003). Adsorption of volatile organic compounds by pecan shell- and almond shell-based granular activated carbons, *Bioresour. Technol. 90* (2003) 175–184.

Ryšánek, P., Čapková, P., Štojdl, J., Trögl, J., Benada, O., Kormunda, M., … Munzarová, M. (2018). Stability of antibacterial modification of nanofibrous PA6/DTAB membrane during air filtration. *Materials Science and Engineering:* C. doi:10.1016/j.msec.2018.11.065

S. Kitagawa, R. Kitaura, S.-I. Noro. (2004). Functional porous coordination polymers, *Angew. Chem. Int. Ed.* 43 (2004) 2334–2375.

S. Ma, X.-S. Wang, D. Yuan, H.-C. Zhou. (2018). A coordinatively linked Yb metal-organic framework demonstrates high thermal stability and uncommon gas-adsorption selectivity, *Angew. Chem.* 120 (2008) 4198–4201.

S. Sedaghat, (2013), Synthesis of clay-CNTs nanocomposite Journal of Nanostructure in Chemistry, 3 (1), pp. 1-4.

S. Zhan, Y. Yang, X. Gao, H. Yu, S. Yang, D. Zhu, Y. Li (2014). Rapid degradation of toxic toluene using novel mesoporous SiO2 doped TiO2 nanofibers, *Catal. Today 225* (2014) 10–17.

Saadat, S., Pandey, G., Tharmavaram, M., Braganza, V., & Rawtani, D. (2020). Nano-interfacial decoration of Halloysite Nanotubes for the development of antimicrobial nanocomposites. *Advances in Colloid and Interface Science,* 275. https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.102063]

Tharmavaram M, Pandey G, Rawtani D. (2018) Surface modified halloysite nanotubes: a flexible interface for biological, environmental and catalytic applications. *Adv. İn Colloid and Interface Sci.* 2018;261:82–101.

Tian MJ, Liao F, Ke QF, Guo YJ, Guo YP.(2017) Synergetic effect of titanium dioxide ultralong nanofibers and activated carbon fibers on adsorption and

photodegradation of toluene. *Chem Eng J.* 2017;328:962-976. doi:10.1016/j.cej.2017.07.109

Tijing, L. D., Choi, J. S., Lee, S., Kim, S. H., & Shon, H. K. (2014). Recent progress of membrane distillation using electrospun nanofibrous membrane. *Journal of Membrane Science,* 453, 435-462

US EPA. (2015) Office Equipment:Design, İndoor Air Emissions, And Pollution Prevention Opportunities. Epa600/R-95-045, Us Epa/Air And Energy *Engineering Research Laboratory*, 1995.

V. Jabbari, J.M. Veleta, M. Zarei-Chaleshtori, J. Gardea-Torresdey, D. Villagrán (2016) Green synthesis of magnetic MOF@GO and MOF@CNT hybrid nanocomposites with high adsorption capacity towards organic pollutants, *Chem. Eng.* J. 304 (2016) 774–783.

Vandenbroucke, A. M., Morent, R., De Geyter, N., & Leys, C. (2011). Non-thermal plasmas for non-catalytic and catalytic VOC abatement. *Journal of Hazardous Materials,* 195, 30–54. doi:10.1016/j.jhazmat.2011.08.060

Vandenbroucke, A. R. E., Sligte, I. G., & Lamme, V. A. F. (2011). Manipulations of attention dissociate fragile visual short-term memory from visual working memory. *Neuropsychologia,* 49(6), 1559–1568. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.044

Wang L, Chen J, Ge L, Zhu Z, Rudolph V.(2011). Halloysite-nanotube-supported Ru nanoparticles for ammonia catalytic decomposition to produce COx-free hydrogen. *Energy Fuel* 2011;25:3408–16

Wang, N., Zhu, Z., Sheng, J., Al-Deyab, S. S., Yu, J., & Ding, B. (2014). Superamphiphobic nanofibrous membranes for effective filtration of fine particles. *Journal of Colloid And Interface Science*, 428, 41–48. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.04.026

Wang, S., Ang, H. M. and Tade, M. O. (2007). "Volatile organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation: State of the art", *Environment International,* 33(5), 694-705.

Wolkoff P, Wılkıns Ck, Clausen Pa, Larse K. (1993). Comparision Of Volatile Organic Compounds From Processed Paper And Toners From Office Copiers And Printers: Methods, Emission Rates, And Modeled Concentrations. *Indoor Air*.3:113-123, 1993.

X. Zhang, B. Gao, A.E. Creamer, C. Cao, Y. Li. (2017). Adsorption of VOCs onto engineered carbon materials: a review, *J. Hazard. Mater.* 338 (2017) 102–123.

Y. Zhang, A. Tang, H. Yang, J. Ouyang, (2016), Applications and interfaces of halloysite nanocomposites. *Applied Clay Science*, 119 , pp. 8-17

Yang, C., Miao, G., Pi, Y., Xia, Q., Wu, J., Li, Z., & Xiao, J. (2019). Abatement of various types of VOCs by adsorption/catalytic oxidation: A review. *Chemical Engineering Journal,* 370, 1128–1153. doi: 10.1016/j.cej.2019.03.232

Yılmaz E. Çözücü Kullanan İşyerlerinin İç Ortam Havasında Uçucu Organik Bileşiklerin Pasif Örnekleme İle Tayini ve İzlenmesi.

Yu, L., & Cebe, P. (2009). Crystal polymorphism in electrospun composite nanofibers of poly(vinylidene fluoride) with nanoclay. *Polymer,* 50(9), 2133–2141. doi:10.1016/j.polymer.2009.03.003

Zhang Q, Liu C, Sun Z, Hu X, Shen Q, Wu J. (2012). Authentication of edible vegetable oils adulterated with used frying oil by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Food Chem,* 132 (2012) 1607-1613.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Dila AYDIN
Doğum Tarihi ve Yeri : Fatsa/ORDU -1994
E-posta : dilaaydin13@gmail.com /aydind16@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lise** : 2012, Fatsa Anadolu Lisesi
- **Lisans** : 2016, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM ve YAYINLAR

- Veolia Water Solutions & Technologies , Stajyer Mühendis (2014-2015)
- "İç Ortam Havasında Bulunan Uçucu Organik Bileşiklerin (UOB) Giderimi İçin Yenilikçi Yaklaşımlar ile Polimerik Nanolif ve Ağ Yapılı Seramik Fotokatalizör Filtre Sistemlerinin Geliştirilmesi" TÜBİTAK projesi proje asistanlığı (15 ay)
- Gezmiş E., **Aydın D.,** İmer D., Cansoy E., 2019. İç Ortam Havasında Bulunan Uçucu Organik Bileşiklerin Giderimi için PA-6 Nanolif Filtre Malzemelerinin Geliştirilmesi, 31.Ulusal Kimya Kongresi ,İstanbul.