



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**"ELEKTROEĞİRME YÖNTEMİ İLE
ÜRETİLEN Mo/Cu NANOPARÇACIK
KATKILI NANOFİBERLERİN
FOTOKATALİZ PERFORMANSI"**

Esmâ KALELİ
YÜKSEK LİSANS
Fizik Anabilim Dalını

Şubat-2024
KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Esma KALELİ tarafından hazırlanan “Elektroeğirme Yöntemi ile Üretilen Mo/Cu Nanoparçacık Katkılı Nanofiberleerin Fotokataliz Performansı” adlı tez çalışması 23/02/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Bedrettin MERCİMEK

Danışman

Prof.Dr.Hamdi Şükür KILIÇ

Üye

Serap YİĞİT GEZGİN

İmza

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ömer Faruk YÜKSEL
FBE Müdürü

Bu tez çalışması SÜ- BAP tarafından 23201009 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Esmâ KALELİ

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

"ELEKTROEĞİRME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN Mo/Cu NANOPARÇACIK KATKILI NANOFİBERLERİN FOTOKATALİZ PERFORMANSI"

Esmâ KALELİ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hamdi Şükür Kılıç

2024, 95 Sayfa

Jüri

Prof.Dr. Hamdi Şükür KILIÇ

Pro.Dr.Bedrettin MERCİMEK

Doç.Dr.Serap YİĞİT GEZGİN

Tüm dünyada çevre kirliliği hızla artmaktadır. Artan sanayileşme süreci suyu ve havayı kirletmekte, doğadaki her şeyin tabii akışını etkilemektedir. Tüm bu kirliliklere karşı uygulanması kolay, maliyeti düşük ve kolay elde edilebilir çözüm yolları geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Özellikle tekstil sektöründe suyun ve kimyasal boyaların çok fazla kullanılması atık su açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir. Tekstil sektöründe oluşan atık suyun arıtılmasında farklı yollar kullanılmaktadır. Kullanılan bu yöntemlerle atık sudaki toksik bileşenlerin temizlenmesi tam olarak gerçekleştirilememektedir. Atık sulardaki renk giderimi ışık geçirgenliğini azaltmasından dolayı ortamda yaşayan bitki ve canlı yaşamı olumsuz etkilenmektedir. Aynı zamanda toksik ve kanserojen etkisinden dolayı hem insanlar hem tüm diğer canlılar için büyük bir tehlike oluşturmaktadır.

Bu yüzden ileri oksidasyon prosedürleri toksik ve kendiliğinden yok olmayan özellikteki maddeleri zararsız ürünlere dönüştürdüğünden dolayı son zamanlarda tercih edilmektedir. Fotokatalitik ileri oksidasyon mekanizması ile boya moleküllerini, katalizör ve UV ışığı kullanılarak hidroksil radikallerine ve H₂O ve CO₂ gibi son ürünlere dönüşümü sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada ilk aşamada femtosaniye laser ablasyon tekniği kullanılarak Cu, Mo nanoparçacıkları ve Mo-Cu nano-alaşımları üretilmiştir. Sonrasında elde edilen nanoparçacıklar elektrospinning yöntemi kullanılarak nanoliflere dönüştürülmüştür. Elde edilen Mo, Cu ve Mo-Cu nanolifleri sularda organik kirletici olarak kullanılan metilen mavisi boyanın fotokatalitik yöntemle giderilmesinde fotokatalizör olarak kullanılmış ve pH değişimlerinin bozunma verimleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan pH değişimi ile büyük oranda metilen mavisinin fotokatalitik olarak giderildiği gözlemlenmiştir. Nanomateryalin morfolojik ve optik özellikleri SEM ve UV-Vis spektroskopik analizleri ile incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrospinnig, fotokataliz, laser ablasyon, metilen mavisi nanoparçacık

ABSTRACT

MS/Ph.D THESIS

"PHOTOCATALYSIS PERFORMANCE OF MO/CU NANOPARTICLE ADDED NANOFIBERS PRODUCED BY ELECTROSPINNING METHOD"

Öğrencinin Esma KALELİ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Prof.Dr. Hamdi Şükür KILIÇ

2024, 95 Pages

Jury

**Prof.Dr. Hamdi Şükür KILIÇ
Prof.Dr.Bedrettin MERCİMEK
Doç.Dr.Serap YİĞİT GEZGİN**

Environmental pollution is increasing rapidly all over the world. Increasing industrialization pollutes water and air and affects the natural flow of everything in nature. Efforts are being made to develop easy-to-implement, low-cost and easily obtainable solutions against all these pollutions.

Excessive use of water and chemical dyes, especially in the textile sector, poses a significant problem in terms of wastewater. Different methods are used to purify the wastewater generated in the textile sector. In these methods, toxic components and color removal in the wastewater cannot be completely achieved. Color removal in wastewater negatively affects plant and living life in the environment because it reduces light transmittance. At the same time, it poses a great danger to humans and all other living things due to its toxic and carcinogenic effects.

Therefore, advanced oxidation procedures have been preferred recently because they transform toxic and non-self-destructing substances into harmless end products. The photocatalytic advanced oxidation mechanism converts dye molecules into hydroxyl radicals and end products such as H₂O and CO₂ using catalyst and UV light.

In this study, in the first stage, Cu, Mo nanoparticles and Mo-Cu nanoalloys were produced using femtosecond laser ablation. Afterwards, the obtained nanoparticles were converted into nanofibers using the electrospinning method. The obtained Mo, Cu and Mo-Cu nanofibers were used as photocatalysts in the photocatalytic removal of methylene blue dye, which is used as an organic pollutant in water, and the effect of pH changes on degradation efficiencies was examined. It was observed that a large amount of methylene blue was removed photocatalytically with the pH change. The morphological and optical properties of the nanomaterial were examined by SEM and UV-vis analyses.

Key Words: Electrospinning, photocatalysis, laser ablation, methylene blue nanoparticle

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasını uzun bir aradan sonra bana yapma fırsatını veren, her türlü yardım ve fedakarlığı hiç düşünmeden sağlayan, saygı duyduğum, değeri tarifsiz, engin bilgi ve tecrübeye sahip, unutulmaz danışmanım Prof. Dr. Hamdi Şükür Kılıç hocama sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda yaşadığım her probleme pozitif yaklaşan, bana sabır ve hoşgörü gösteren, her zaman yanımda olduğunu hissettiğim sevgili Doç. Dr. Serap Yiğit Gezgin hocama, yaptığım tüm çalışmalarımı yılmadan kontrol ederek son şeklini veren, teknik tüm sorunlara çözüm bulan sevgili Doç.Dr. Yasemin Gündoğdu hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm eğitim öğretim hayatım boyunca hep yanımda olan ve desteğini esirgemeyen, tez sürecinde arka planda varlığını en güçlü bir şekilde hissettiren sevgili anne ve babama, istemeden de olsa tüm stresimi cömertçe paylaştığım eşim ve çocuklarıma sabırları ve destekleri için sonsuz teşekkür ederim.

Öğrencinin Adı SOYADI
Esmâ Kaleli
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1.GİRİŞ	1
1.1. Nanoparçacık	1
1.2 Nanoteknoloji Etkileşimde Olduğu Bilim Dalları.....	3
1.3 Nanoteknoloji Kullanım Alanları.....	4
1.4 Nanoteknoloji Tarihçesi	7
1.5 Nanopartikül Sentez Yaklaşımları	9
1.6 Mo ve Cu Elementlerinin Genel Özellikleri:	10
2.Laser Ablasyon Yöntemi ve Nanoparçacık Üretimi:.....	11
2.1.Mo ve Cu Nanoparçacık Literatür Araştırması	12
3.Elektrospinning Yöntemi:	13
3.1.Mo ve Cu Nanofiber Literatür Araştırması	15
4.Fotokataliz Yöntemi	15
4.1.Mo ve Cu Fotokataliz Literatür Araştırması	19
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	21
2.1.Laser Ablasyon Yöntemi	21
2.1.1Darbeli Laser Ablasyon Metodu:	25
2.1.2.Laser Ablasyon Yöntemi ile Mo ve Cu Nanoparçacık Üretimi Literatür Araştırması:.....	26
2.2.Elektrospinning Yöntemi	28
2.2.1.Nanofiber Oluşumuna Kadarki Süreç İşleyişi	30
2.2.2.Elektrospinning Sürecini Etkileyen Parametreler.....	33
2.2.2.1 Çözelti parametreleri.....	33
2.2.3.İşlem Parametreleri	36
2.2.4.Ortam Parametreleri.....	38
2.2.5.Mo ve Cu Nanofiber Literatür Araştırması	39
2.3.Fotokataliz Yöntemi	41
2.3.1. Fotokatalitik Aktiviteyi Etkileyen Faktörler.....	41
2.3.3.Mo ve Cu Fotokataliz	45
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	47
3.1. Laser Ablasyon Yöntemi	47
3.1.1 Laser Ablasyon Yöntemi Kullanılan Araç ve Malzemeler:	47

3.1.2.Laser Ablasyon Yöntemi ile Mo Cu ve Mo-Cu Nanoalaşım Üretim.....	48
3.2. Elektrospinning Yöntemi	50
3.2.1.Elektrospinning Yöntemi Kullanılan Araç ve Malzemeler.....	50
3.2.2.Elektrospinning Yöntemi ile Cu, Mo ve Cu-Mo Nanofiber Üretimi.....	51
3.3.Fotokataliz Yöntemi	53
3.3.1.Fotokataliz Yönteminde Kullanılan Araç ve Malzemeler.....	53
3.3.2.Fotokataliz yöntemi ile Mo, Cu ve Mo-Cu nanofiberlerin incelenmesi.....	54
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	57
4.1 Morfolojik özellik.....	57
4.1.1 Nanoparçacık Görüntüleri.....	57
4.1.2 Nanofiber Görüntüleri	58
4.2 Optik özellikler.....	60
4.2.1 Nanoparçacık Uv-Vis spektrometresi	60
4.2.2 Fotokataliz Uv-vis Spektrometresi	60
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	70
5.2 Öneriler.....	71
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	83

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ZnO:	Çinko oksit
Fe:	Demir
Co:	Kobalt
Ni:	Nikel
TiO ₂ :	Titanyum oksit
Ag:	Gümüş
Au:	Altın
Cu:	Bakır
Mo:	Molibden
MoO ₃ :	Molibden Trioksit
MoCl ₆ :	Molibden(VI) klorür
Mo (CO) ₆ :	Molibden karbonil
CuSO ₄ :	Bakır sülfat
H ₂ MoO ₄ :	Molibdik asit
(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ :	Amonyum persülfat
MoS ₂ :	Molibden disülfür
NaCl:	Sodyum klorür
Na ₂ H ₂ PO ₄ :	Disodyum fosfat
KH ₂ PO ₄ :	Mono potasyum Fosfat
IrMoO _x :	İridyum Molibden oksit
IrO _x :	İridyum oksit
NoBH ₄ :	Sodyumborhidrür
Mo@Cu:	Mo ve Cu nanoalaşım
He:	Helyum

Kısaltmalar

r ₀ :	Damlacığın yarıçapı
Y:	Yüzey gerilimi
ρ:	Sıvının yoğunluğu
g:	Yer çekim kuvveti
F _E :	Elektrik kuvveti
F _Y :	Yüzey gerilim kuvveti
R:	Kılcal borunun iç yarıçapı
F _g :	Yer çekim kuvveti
ρ:	Sıvının yoğunluğu
ε:	Dielektrik sabiti
L:	Mesafe
r:	Yarıçap
α:	Faz yapısı
Δm:	Kütle değişimi
ΔV:	Hacim değişimi
Δh:	Kalınlık değişimi
W _A :	Ablasyon oranı
E _f :	Foton enerjisi
H:	Planck sabiti
R:	İğne ucu yarıçapı
H:	Şırınga iğne boyu
V _c :	Kritik voltaj
c:	Işığın boşluktaki hızı
P _{pik} :	Pik gücü
T _p :	Puls süresi
P:	Güç
Freon®-12:	Soğutucu akışkan

TCH:	Tetrasiklin
PVA:	Polivinilalkol
GT:	Kitre sakızı
CA:	Asetat türevi
SPE:	Ekran Baskılı elektrotlar
OER:	Oksijen Evrim Reaksiyonu
H ₁ N ₁ :	Virüs
PU:	Poliüretan
IR:	Kızıl ötesi
UV:	Ultraviyole ışın
NM:	Nanomalzeme
pKa :	Maddelerin farklı pH değerlerindeki iyonlaşma derecesinin ölçüsü
MM:	Metilen mavisi
PAN:	Poliakrilonitril
DMF:	N-N Dimetilformamid
DMAc:	Dimetilasetamid
SEM :	Taramalı Elektron Mikroskopi
EDX :	Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1 Doğada bulunan nanoparçacık kıyaslamalı örneklendirilmesi.....	1
Şekil 1. 2. Nanoboyuttaki malzemenin Yüzey –Hacim oranının kıyaslanması	2
Şekil 1.3. Nanoteknolojinin disiplinler arası ilişkisi.....	4
Şekil 1. 4. Boyutlarına göre nanomalzemeler ve örnekleri	8
Şekil 1. 5. Aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı sentez yaklaşımı	10
Şekil 1. 6. Laser Ablasyon metodu şeması.....	12
Şekil 1. 7. Metilen mavisinin fotokataliz şeması.....	18
Şekil 2.1. Elektrospın yönteminin şematik gösterimi.....	29
Şekil 2. 2. Damlacık oluşumu.....	31
Şekil 2. 3. Taylor konisi oluşumu.....	31
Şekil 2. 4. Polimer damlacığının Taylor konisi formuna dönüşümü ve kararlı jet oluşumu.....	32
Şekil 2. 5. Taylor konisi kararlı jet bölgesi ve Whipping kararsızlık bölgeleri.....	33
Şekil 2. 6. Viskozite ile nanolif yapısının değişimi	34
Şekil 2.7. Çözelti derişimin de artışla boncuk şekli arasındaki ilişki	35
Şekil 2. 8. Metilen mavisinin kimyasal yapısı.....	44
Şekil 3.1. a) Hassas terazi b) Manyetik karıştırıcı.....	47
Şekil 3.2. Femtosaniye laser sistemi.....	48
Şekil 3.3. Cu nanoparçacık üretimi	49
Şekil 3. 4. Mo nanoparçacık üretimi.....	49
Şekil 3.5. Mo-Cu nanoparçacık üretimi.....	50
Şekil 3.6. a) Glassman yüksek voltaj güç kaynağı b) New Era marka şırıngalı pompa. 50	
Şekil 3.7. Dönen toplayıcı plaka.....	51
Şekil 3.8. Elektrospinning sistemi	52
Şekil 3. 9. Elektrospinning süreci a) Hassas terazi b) Manyetik karıştırıcı c) Dönen toplayıcı plaka d) Plaka üzerinden çıkarılmış nanolif	52
Şekil 3. 10. Quarts Tüplü Fırın	53
Şekil 3. 11. Manyetik karıştırıcı	53
Şekil 3. 12. Fotokataliz sistemi.....	54
Şekil 3. 13. Elektrospinning ile ürettiğimiz Cu+PAN nanolif.....	55
Şekil 3. 14. 300 °C de 5 dk tavllanmış Cu nanolif.....	55
Şekil 4. 1. SEM Analiz ünitesi	57
Şekil 4. 2. Mo nanoparçacığın 2µm de yaklaştırılmış, uzaktan (c-a) ve 1 µm ve 10 µm deki (d-f)) FE-SEM görüntüsü, element haritalanması ve EDX analizi (b-e)	58
Şekil 4. 3. Mo@Cu nanolifin FE-SEM görüntüleri a) 400 nm, b) 1 µm, c) 2 µm, d) 4 µm, e) 20 µm, f) 40µm ve g) boyut analizi grafiği	59
Şekil 4. 4. Üretilen Mo, Cu ve Mo@Cu Nanoparçacığın görünür ışık altında soğurma spektrumu.....	60
Şekil 4. 5 .a)Tavllanmış Mo nanolifin, bazik ortamda 20 dk ile 240 dk arası görünür ışık altında dalga boyuna bağlı soğurma sepkrumu ve alınan numunelerin renk değişimi (küçük kare) b) Tavlannmamış Mo nanolifin, bazik ortamda 240 dakika boyunca görünür ışık altında soğurmasının zamanla değişimi ve alınan numunelerin renk değişimi (Küçük kare)	61

TABLÖLAR DİZİNİ

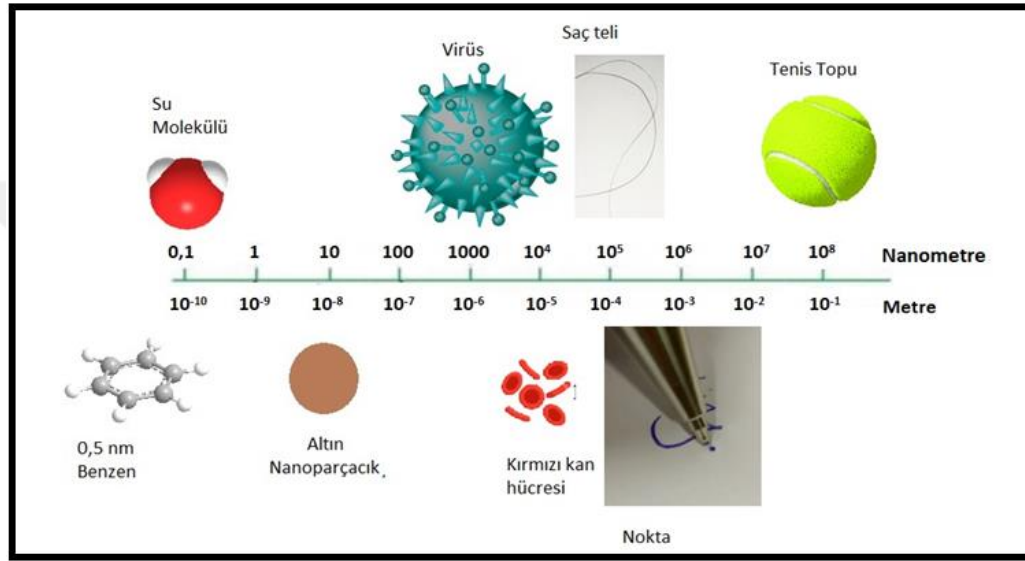
Tablo 1. 1.Nanoteknolojide önemli gelişmeler.....	7
Tablo 1. 2. Fotokatalizör Kullanım Alanları.....	16
Tablo 4 1.. Mo nanoparçacığın element oranları	58
Tablo 4 2. Mo,Cu ve Mo@Cu nanofiberler için hesaplanmış hız sabitleri	69



1. GİRİŞ

1.1. Nanoparçacık

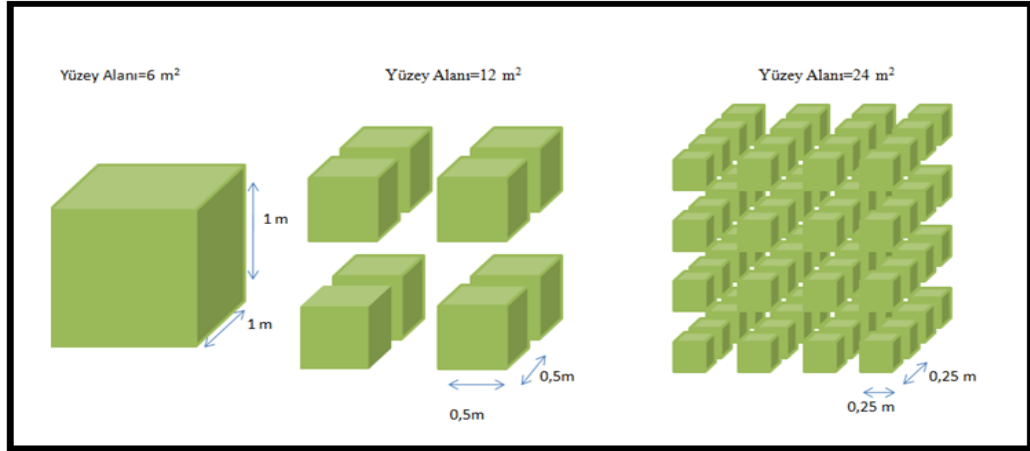
Nano terimi Yunanca kökenli cüce anlamına gelen ‘nanos’ kelimesinden gelmektedir. Bilim dünyasında ise metrenin milyarda bir ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$) büyüklüğüne karşılık gelen ölçü birimine nanometre adı verilir. Nanoparçacıklar en az bir boyutu 100 nm olan parçacıklardır. Şekil 1.1 ile çeşitli boyuttaki oluşumlara bakmak nanometreyi anlamamız bakımından kolaylaştırıcı olacaktır.



Şekil 1. 1 Doğada bulunan nanoparçacık kıyaslamalı örneklendirilmesi

Nanoteknolojinin doğuşuna yol açan 29 Aralık 1959 yılında Nobel ödüllü fizikçi Dr. Richard Feynman'ın Amerikan Fizik Derneği (APS) için düzenlenen senelik toplantıda yaptığı “Aşağıda Daha Çok Yer Var” isimli konuşmasıyla başlamıştır. Konuşmasında elektron mikroskoplarının daha güçlü hale getirilebileceği, bilgisayarların minyatürize edilebileceği, atomların yeniden düzenlenebileceği gibi farklı başlıklar altında önerilerde bulunmuştur. <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html> Dr. Feynman’a göre atomik düzeydeki yapılara hassas cihazlar ile müdahale edilebileceği ve bu kadar küçük ölçeklerde çalışılırken yer çekimi gibi fizik kanunları yok sayılabilecekken, nanoboyutta çok zayıf olarak bilinen bağların (Van der Waals bağları gibi) önem kazanacağı vurgulanmıştır (Arıç, 2010). Nanoteknoloji sayesinde maddelerin en temel yapıları istenildiği gibi değiştirilerek nanoboyutlara indirgenebilir ve yeni özellikler kazandırılabilir. Nanoboyuttaki malzemenin yeni özellikler kazanmasının en önemli sebebi maddenin yüzey/hacim oranının artmasıdır (Beykaya ve Çağlar, 2016).

Nanoboyuttaki malzemenin yüzey-hacim oranının artışı Şekil 1.2 ile gösterilmeye çalışılmaktadır.



Şekil 1. 2. Nanoboyuttaki malzemenin Yüzey –Hacim oranının kıyaslanması

Parçacıklar nanoboyuta indirgendiğinde optik, elektronik, manyetik, fiziksel (mekanik) ve kimyasal davranışları olağanüstü derecede değişmekte ve alışılmışın dışında, yani; klasik pencereden değil modern fizik (Kuantum Mekaniği) penceresinden tanımlanabilmektedir (Yalçın, 2010). Nanometre düzeyinde özellikler boyuta bağlıdır. Değişen bu özellikler aşağıda kısaca ifade edilmektedir:

Termal özellikler: Ergime sıcaklığının azalmasıyla nanomalzemedeki atomlar arası boşlukların azalmasına ve kafes sabitlerinin azalmasına neden olur. Bu nedenle nanomalzemelerin ergime sıcaklıkları ve faz geçiş sıcaklığı daha düşüktür.

Mekanik özellikler: Mekanik mukavemetteki küçük yapılarda daha az yüzey hatasına sahip olmalarından dolayı meydana gelmektedir.

Optik özellikler: Nanomalzemeler tane boyutuna ve dalga boyuna bağlı olarak, görünür bölge de saydam ve UV ışık için ise opak ve bloklayıcı şekildedir. Örneğin altının soğurduğu ışığın dalga boyu nanoboyutta farklıdır ve bu yüzden rengi bulk altın renginde değil bir renk aralığında bulunur. Yarı iletkenlerde ise nanoboyut beraberinde boyut azalmasına bağlı band aralığının genişlemesini getirir. Yarıiletken ZnO nanoboyutta UV ışınlarını bloke eder ve görünür ışık dalga boyuyla karşılaştığında onları dağıtmaz bu yüzden şeffaf görünür.

Elektrik özellikler: Kafesin elektrik potansiyelini dağıtan safsızlık atomları, boşluk ve tane sınırları gibi hatalar etkili olarak elektron saçılmasına neden olur. Yüzeyde oluşan saçılmanın artması nedeniyle elektriksel iletkenlik azalır.

Magnetik özellikler: Ferromanyetik malzemelerin nano boyuttaki manyetik özelliklerindeki değişimi, hacimlerinin küçük olmasının ve atom sayısının ara yüzdeki miktarının fazla olmasının neden olduğu söylenebilir. Fe, Co veya Ni gibi tek hücreli nano boyutlu ferromanyetik parçacıklar manyetik olmayan matris içine konulduğunda, süper paramanyetik malzeme elde edilir (<https://blog.aku.edu.tr/evcin/files/2020/11/5-Nanomalzemelerin-%C3%B6zellikleri.pdf>).

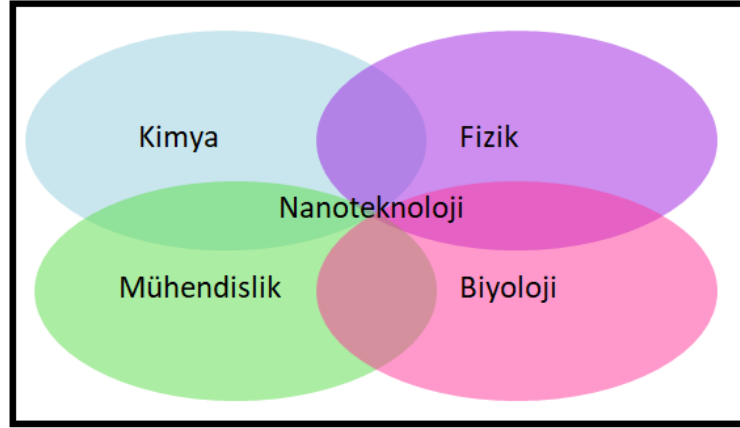
Tane boyutunun çok küçük olmasından dolayı nano kristal malzemeler, iri taneli polikristal malzemelere kıyasla daha farklı ve iyileştirilmiş özelliklere sahiptirler. Bu özellikler;

- Artan mukavemet/sertlik,
- Yüksek yayınım,
- Düşük yoğunluk,
- Daha yüksek elektrik direnci,
- Artan özgül ısı,
- Daha yüksek termal genleşme katsayısı,
- Daha düşük termal iletkenlik,
- Üstün nitelikli yumuşak manyetik özellikler

olarak belirtilebilir(<https://nanoteknoloji.org/tag/nanomalzemeler/>)

1.2 Nanoteknolojinin Etkileşimde Olduğu Bilim Dalları

Nanoteknoloji, oldukça anlamlı, önemli ve hızlı bir gelişim sağlamaktadır. Nanoteknoloji fizik, kimya, biyoloji ve mühendislik alanlarında kullanılan birçok malzemenin nano boyuta indirgenmiş yapısı, bu yapıyla gelişen ve değişen özellikleri, interdisipliner çalışmalar doğrultusunda çok önemli gelişmelere ön ayak olmaktadır. Bu interdisipliner çalışmalara ışık tutan iletişim Şekil 1.3 ile ifade edilmektedir.



Şekil 1.3. Nanoteknolojinin disiplinler arası ilişkisi

Tüm bu disiplinler teknolojiye yön veren nanometre boyutunun getireceği avantajlar üzerinde araştırmalar gerçekleştirmektedir. Nanoteknolojinin gelişiminin başlıca amaç ve katkıları aşağıda özetlenmiştir.

- Nano ölçekte minimal düzeyde malzeme ve enerji sarfiyatıyla malzeme üretimi
- Ekonomik üretim
- Uzun ömürlü, çevreye duyarlı ve dayanıklı malzeme üretimi
- Klasik özelliklerinden farklı ve özel malzeme üretimi
- Atomların yapı içerisinde istenilen yere bağlanarak yeni özellikte malzeme üretimi
- Nanometre boyutlu malzemelerin analizlerinin yapılması
- Bu malzemelerin analizini yapabilecek cihazların geliştirilmesi ve üretimi

1.3 Nanoteknoloji Kullanım Alanları

Nanoteknoloji malzemenin kazandığı olağanüstü yeni özellikleri fizik, kimya, biyoloji malzeme bilimi ve diğer mühendislik dalları bilimsel araştırma alanında kullanmakta iken, teknolojik alan olarak da tıp, çevre, elektronik, enerji, bilgisayar ve biyomühendislik gibi geniş bir alanda kullanılmaktadır. Nanoteknoloji hafif, sağlam ve uzun ömürlü minimum maliyet ve minimum çevre kirliliği ile yüksek verimi hedeflemektedir. Günümüz şartlarında nanoteknoloji kullanan ve yakın gelecekte nanoteknoloji kullanması öngörülen sektörler birkaç başlık altında aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Tarım ve Gıda: Çiftçilikte, nanoteknoloji kullanılarak çevresel etmenler ve uygulanan yöntemler takip edilerek, üretimde maksimum verim, minimum girdi (örneğin gübre, pestisit, herbisit) ayrıca zirai atıkların ve çevre kirliliğinin azaltılması istenilmektedir.

Nanoteknoloji, bitkilerin besinleri soğurma yeteneğinin artırılması, tarım endüstrisinin zararlı virüslerle ve diğer patojenlerle savaşması için kullanılacak akıllı biyosensörler ve kontrollü salım sistemleri ile tarım ve gıda endüstrisinde olağan üstü iyileşme sağlama potansiyeline sahiptir. Nanoteknoloji kullanımıyla yenilenebilir enerji ve filtre/katalizörlerin yardımıyla kirliliği azaltarak veya oluşmuş olan kirletici maddeleride temizleyerek dolaylı olarak çevreyi koruyacaktır (Maiman ve Chen, 2002). Nanoteknolojik uygulamalar arasında gıda endüstrisinde; nanopartikül salınım sistemleri (örneğin miseller, lipozomlar, nanoemülsiyonlar, biyopolimerik nanopartiküller), gıda güvenliği, biyogüvenlik (örneğin nanosensörler) ve nanotoksikoloji sayılabilir alanlardır (Chen ve ark., 2006). Nanoteknoloji ayrıca gıda ile paketlenen akıllı biyosensörlerin dizaynında önemli rol oynayabilir (Kumari ve Yadav, 2014).

Sağlık: Tıp alanında kullanılan cihazlarda (Cihazların boyutunun küçültülmesinde, yüzey hacim oranını artırarak yüzey etkisini büyütmede), ilaç sektöründe (İlacın geçirgenliğini, kontrollü salınımını ve ilacın hedefe yönelik olma özelliğini artırmaya yönelik), daha kalıcı ve bünye tarafından kabul gören yapay organ ve dokuların elde edilmesinde, erken tanı ile hastalığın önceden tespit eden biosensör sistemleri üzerinde çalışılmaktadır.

Enerji: Nanoteknoloji dünya nüfusundaki artış ve ekonomide büyümeyle birlikte artan enerji ihtiyacını karşılamak için alternatif ucuz, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesinde; enerji tüketiminin azaltılmasında ve enerji üretiminin çevreye zararlarının azaltılmasında kullanılmaktadır. Örneğin nanoteknoloji ile üretilen malzemelerin rüzgâr değirmenlerinin kollarında kullanıldığında daha uzun, daha güçlü ve daha hafif olması ile üretilen elektriğin artmasını sağlar. Nanoteknoloji kullanılarak üretilen verimli aydınlatmalar ise enerji tüketimini azaltmayı amaçlar (Kutluay, H.2017).

Enerji sektöründe nanoteknolojinin kullanımı dört farklı şekilde gruplandırılabilir:

- (1) *Enerji dönüşümü (güneş pilleri, termoelektrik cihazlar, yakıt hücreleri, karbondioksit ayırma ve depolama vb.)*
- (2) *Enerji depolama (süper kapasitörler, piller ve hidrojen depolama vb.)*
- (3) *Enerji iletimi (süper iletken kablolar vb.)*

(4) *Enerji kullanımı (yanma için katalizörler vb.)*(Tegart, 2009)

Tekstil: Klasik yöntemle üretilen kumaşlar bir süre sonra özelliklerini kaybeder. Tekstil alanında nanoteknoloji kullanımının gerekliliği tam burada ortaya çıkmaktadır. Nanoteknoloji kullanılarak tekstil kumaşların yüzey alanı-hacim oranı artırıldığı için kumaşın dayanıklılığı artmaktadır (Kathirvelu ve ark., 2008). Bunun yanında gümüş TiO_2 nanopartikül katkılanarak anti bakteriyel kumaşlar, metal oksit nanopartiküller katkılanarak UV ışınlarından koruyan kumaşların, $TiO_2(ATO)$ kullanılarak da kırışmayan kumaşların üretildiği bilinmektedir (Wong ve ark., 2006).

Elektrik-Elektronik: Elektronik bileşenlerde nanoteknoloji; elektronik cihazların küçülmesi, yüksek performans ve hızlı bilgi alışverişini sağlamaktadır. Bunun için moleküler ve yarı iletken elektronikler, tek boyutlu nanotüpler ve nanoteller alanın yeni üyeleridir. Yapılan çalışmalar sonucunda geliştirilen malzemelerin yanı sıra yeni keşfedilen cihazlar ve malzemelerde bulunmaktadır. Yarıiletken, sensör ve naosensörlerin, otomotiv elektroniklerin, transistörlerin, bellek aygıtlarının ve kuantum hesaplama aygıtlarının üretilmesinde ve geliştirilmesinde karbon nanotüpler, grafen, ferrosen, silisyum gibi bazı malzemeler kullanılmaktadır (Komatsu ve Ogasawara, 2005). Örneğin yüksek çözünürlüklü ekranlar birkaç nanometre boyutundaki kuantum noktalarını kullanarak daha canlı renkler vermekte aynı zamanda enerji tüketimini de azaltmaktadır.

Savunma Sanayi: Savunma sanayinde malzeme odaklı nanoteknolojik ürünler kullanılmaktadır. Nanoteknoloji askeri alanda yüksek koruma, daha fazla öldürücü etki, daha uzun hayatta kalma, daha iyi kendini destekleme kabiliyeti kazandırabilme olanaklarına sahiptir (Yusuf, 2019).

Gıda: Gıda endüstrisinde;

- 1.Gıda hazırlanmasında gıdaların ve içeceklerin istenilen lezzette ve renk de uzun süre kalmalarını sağlamak için nanokapsüller eklenmesi (ETC Group. Action Group on Erosion, Technology and Concentration., 2005)
- 2.Paketlemede oksijen ve karbondioksitin geçişini engelleyip gıdanın taze kalmasını sağlayan ve koku yayılmasını engelleyen naylon nanokompozitlerin kullanılması (Rubinsztajn ve ark., 2005)
- 3.Besin kalitesinde nanopartiküller antioksidantlar gibi bazı fonksiyonel maddelerin su veya meyve suyunda dağılmasını sağlayarak gıda kalitesinin artmasının sağlanması (Chen ve ark., 2006)

4.Gıda güvenliğinde Proteinle kaplı nanopartiküllerin spesifik frekansta titreşim özelliğinden faydalanılarak yapılan sensörlerin gıda da bulunması istenmeyen mantarların ve bakterilerin saptanmasında kullanılması (ElAmin, 2006) nanoteknolojik uygulamalardan bazılarıdır.

1.4 Nanoteknoloji Tarihçesi

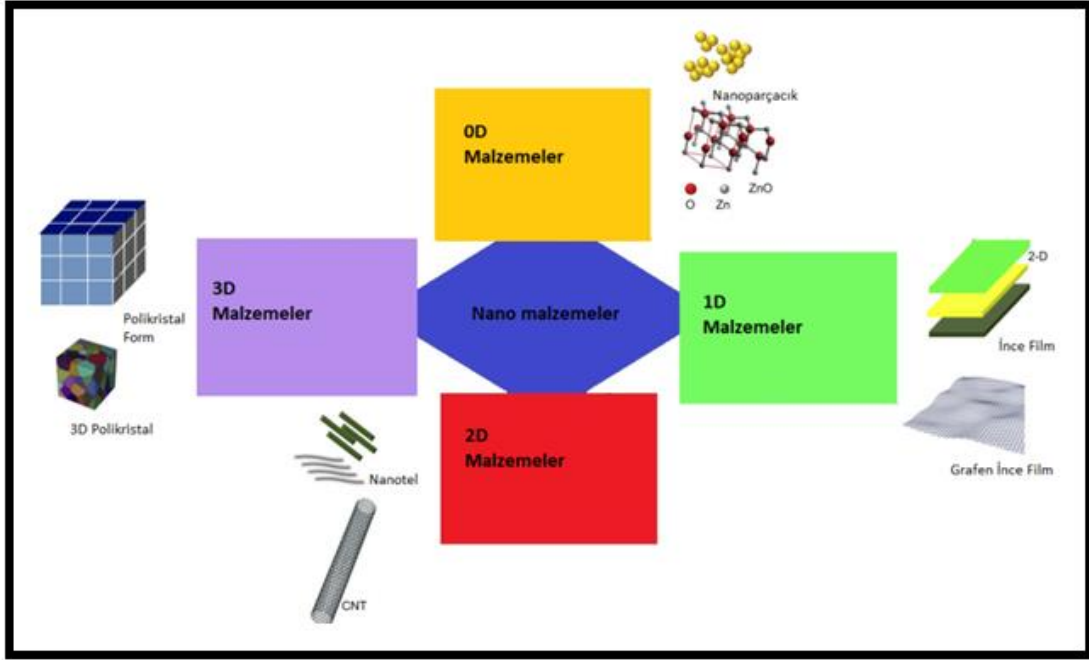
Nanoteknoloji tarihi sanıldığıının aksine çok daha eskilere dayanmaktadır. 4. yüzyılda Lycurgus kupası yapılmış imalat yöntemi ve optik özellikleri ile dikkat çekmiştir. 80 'lerin sonunda Barber ve Freestone (Freestone ve ark., 2007) tarafından Analitik transmisyon elektron mikroskopu ile incelendiğinde 50-100 nm çapında küçük metal nanoparçacıklar içerdiği görülmüştür. X ışını analizi yapıldığında 7/3 oranında Gümüş (Ag), Altın (Au) nanopartikül içerdiği aynı zamanda %10 Bakır (Cu) nanoparçacık içerdiği belirlenmiştir. İçerdiği bu nanoparçacıklar ışık aldığı açıya göre kupanın farklı renklerde görülmesine neden olmuştur. Nanoteknolojiye ait önemli gelişmelerden bazıları aşağıdaki tabloda özetlenmektedir.

Tablo 1. 1.Nanoteknolojide önemli gelişmeler

Tarih	Gelişme
1931	Max Knoll and Ernst Ruska transmisyon elektron mikroskobunun (TEM) icadı (Knoll ve Ruska, 1932)
1936	1936 Erwin Müller Alan elektron mikroskobunun icadı. (Müller, 1936)
1953	James Watson and Francis Crick DNA'nın Keşfi (Watson ve Crick, 1953)
1959	Richard Feynman Altta Çok Yer Var söylemi ve araştırmaların yoğunlaşarak devamı(Feynman, 1959)
1974	Norio Taniguchi "Nanoteknoloji" teriminin ilk kullanılması (Taniguchi, 1974)
2018	DNA ile yapılmış dünyanın en küçük tic-tac-toe oyun tahtası yapması(Petersen ve ark., 2018)

Nanomalzemeler boyutlarına göre gruplara ayırırken nanomalzemenin iç yapısının atomların son yörüngesinde bulunan elektronların serbestlik derecesinin ve bu elektronların hareket edebilme yeteneklerinin etkili olduğu görülmüştür. Örneğin atomların son yörüngesinde bulunan serbest elektron üç farklı yönde hareket edebiliyorsa üç boyutlu yapılar, iki boyutta hareket edebiliyorsa iki boyutlu yapılar, tek yönde hareket edebiliyorsa bir boyutlu yapıları oluşturur. Serbest elektron eksenel

olarak hareket edemiyorsa sıfır boyutlu yapılar elde edilir (Tüylek, 2016). Şekil 1.4 de boyutlarına göre malzemeler ve örnekleri ile birlikte verilmiştir.



Şekil 1. 4. Boyutlarına göre nanomalzemeler ve örnekleri

Sıfır-boyutlu nanomalzemeler (0D) arasında atomik kümeler, fullerene, nanodispersiyonlar yani nanopartiküllerin birbirlerinden izole edildiği malzemeler bulunur. Boyutları (en az bir boyutu) (x, y, z) 0.1nm ile 100 nm arasında olan nanometrik düzeyde olan malzemelerdir. Fulleren C60 ve C70 sıfır boyutlu malzemelere örnek olarak verilebilir.

Bir-boyutlu nanomalzemeler tel şeklindedir ve içeriğinde nanoteller ve fiberli nanotüpler (çubuk, tüp), filamentler, spiraller gibi malzemeler bulunur (uzunluğu 100 nm'den onlu mikronlara kadar).

İki-boyutlu nanomalzemelerin boyutlarından sadece biri nanometre boyutundadır. Bu nanomalzemeler tek katmanlı ve çok katmanlı, kristal yada amorf, ince film, nano plaka ve nano kaplamayı içerir (Saleh, 2020). Örnek olarak grafit (doğal grafiten), grafen ve tabakalı çift hidroksitler verilebilir.

Üç-boyutlu nanomalzemeler hazırlanırken özel metotlar kullanılır. Üç boyutlu malzemeler 0D, 1D ve 2D yapısal elementlerin birbirleriyle yakın temasta olduğu ve ara yüzler oluşturan tozlar, fiberler, multitabakalar, polikristal yapılar gibi malzemelerden oluşur.(Beşergil)

1.5 Nanopartikül Sentez Yaklaşımları

Günümüzde oldukça önem kazanan ve hızla gelişerek endüstriyel alanda geniş uygulama alanına sahip nanopartiküller farklı yöntemler ile üretilmektedir. Üretim yöntemi nanomalzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile uygulama alanını doğrudan etkilemektedir. Nanopartikül üretimi için iki temel yaklaşım vardır ve bunlar Şekil 1.5 de gösterilmiştir.

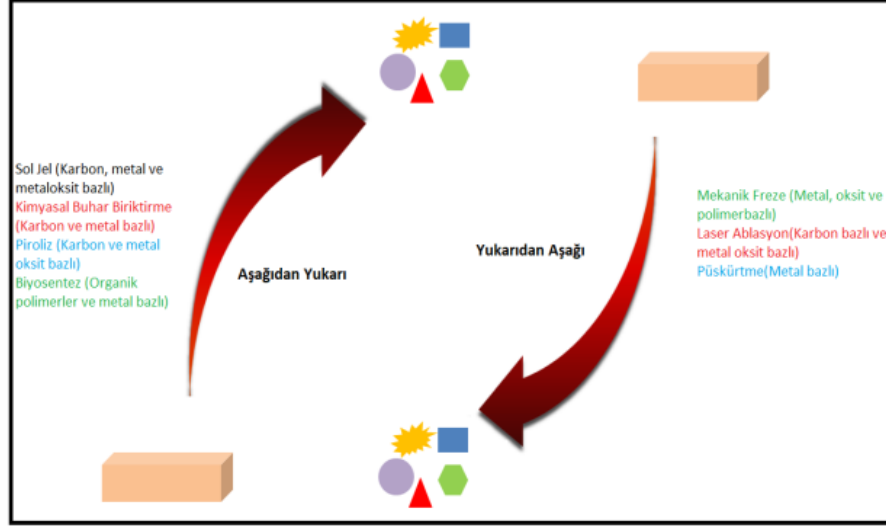
- Yukarıdan Aşağıya Yaklaşımı (Top-Down)
- Aşağıdan Yukarı Yaklaşımı (Bottom-Up)

Yukarıdan aşağıya yaklaşım (Top- Down Approach):

Bu yöntem büyük bir parçacığın kimyasal veya mekanik işlemler kullanılarak nanoparçacıklar elde edilmesi işlemidir. Yukarıdan aşağıya yaklaşımında kullanılan metotlar; dağlama, elektro patlama, püskürtme, sonikasyon, mekano kimyasal işlemler, laser ablasyonu, litografi (baskı), ısı ve doğal metotlarıdır.

Aşağıdan yukarıya yaklaşım (Bottom-Up Approach)

Bu yöntem birkaç küçük parçacığın birleştirilmesi ile daha karmaşık parçacığın üretimi için kullanılır. Kısmen basit malzemelerin kullanılması ile nanopartikül oluşturduğu için inşa yaklaşımı olarak da adlandırılır (Thakkar ve ark., 2010). Aşağıdan yukarı yöntemi ile çalışan yöntemlere sol-jel, biyosentez, kimyasal buhar biriktirme ve sprey piroliz gibi yöntemler örnek olarak verilebilir (Kellar, 2006; Gürmen ve ark., 2008).



Şekil 1. 5. Aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı sentez yaklaşımı

1.6 Mo ve Cu Elementlerinin Genel Özellikleri:

Molibden (Mo), simgesi Mo olan, atom numarası 42, atom ağırlığı 95,96 yoğunluğu 10,2 olan ve 2617 °C sıcaklıkta eriyen, sert, kırılğan gümüşümsü beyaz renkte metalik bir elementtir. Periyodik tabloda 6B grubunda (geçiş metalleri grubu) 5. periyot da bulunur.

Mo, mukavemetinin ve erime noktasının yüksek olması, mekanik mukavemetinin tatmin edici olması, düşük genleşme katsayısının ve yüksek erime noktasının olması, yüksek sürünme ve korozyon direnci, düşük termal genleşme katsayısı ve mükemmel termal ve elektronik iletkenlikler dâhil olmak üzere birçok mükemmel özelliğe sahiptir. Bu nedenle Mo ve alaşımları petrol, kimya, havacılık, askeri, elektronik, metalurji ve nükleer endüstriler gibi birçok kritik alanda büyük ilgi görmüştür (Sun ve ark., 2019; Hu ve ark., 2021).

Bakır ise Cu sembolü ile gösterilen, 29 atom numaralı bir elementtir. Yeni açığa çıktığında pembemsi-turuncu renklidir. Bakır atomu valans yörüngesinde 1 elektrona sahiptir. Bu onun iyi bir iletken olmasına neden olur ve bu yörünge $n=4$ kabuk sayısına sahip olduğu için, $2n^2$ formülüne göre 32 elektron alma kapasitesine sahiptir. Bakır ulaşım, endüstriyel, elektrik ve elektronik gibi pek çok alanda ayrıca kimya, kuyumculuk ve boya sanayi sektöründe de sıkça kullanılabilmektedir.

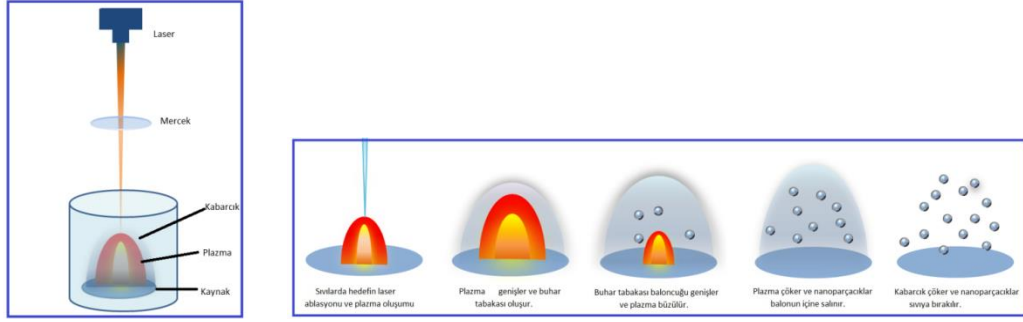
Bakır insanlarda, nöropeptit üretiminde, hücre sinyal yolunun düzenlenmesinde, antioksidan savunmada ve bağışıklık hücresi fonksiyonunda yer alan çok sayıda enzim için kofaktör olarak görev yapmak da dâhil olmak üzere çeşitli roller oynar (G.

Georgopoulos, 2001). Bakır, bitkiler tarafından çeşitli metabolik ve fizikokimyasal süreçler için gereklidir. Bitki büyümesi için en önemli eser elementlerden biridir (Kerkar ve Roberts, 2018). Hem insanlarda hem de bitkilerde çok az miktarda bulunur ve farklı enzimler için kofaktör görevi görerek farklı metabolik ve biyolojik aktivitelerin düzenlenmesine yardımcı olur. Çoklu enzimler için kofaktör olduğundan amino oksidaz, sitokrom c oksidaz ve plastosiyanin gibi farklı esansiyel proteinlerin/enzimlerin normal işleyişinden sorumludur (Sifri ve ark., 2016)

2. Laser Ablasyon Yöntemi ve Nanoparçacık Üretimi:

Yukarıdan aşağıya yöntemlerinden biri olan laser ablasyon ile nanoparçacık üretimi gaz veya sıvı ortamlarda gerçekleştirilerek sıvı içerisinde koloidal çözelti olarak veya gaz içerisinde nano tozlar olarak nanoparçacık elde etme olanağı sağlar. Laser ile nanoparçacık üretimi uzun reaksiyon sürelerine, yüksek sıcaklıklara ya da çok adımlı kimyasal süreçlere ihtiyaç duymayan oldukça basit, uygulaması kolay, temiz bir yöntemdir. Bu yöntem ile metaller, yarı iletkenler ve polimerler dâhil her türlü malzemeden nanoparçacık ve birden fazla malzemeden aynı ortam içinde koloidal alaşım üretimi yapılabilmektedir.

Bu durum bize parametrelerin değişimine bağlı olarak nanoparçacığın özelliklerini kontrol edilebilmemizi sağlar. Nanoparçacıkların şekil, boyut ve boyut dağılımı, dalga boyu, atım tekrarlama oranı, atım uzunluğu, atım enerjisi ve akı gibi laser parametrelerine ve üretimin yapıldığı ortama bağlılık göstermektedir. Odaklanmış bir laser ışını hedef malzeme tarafından soğurulan enerji, fotonlardan elektronlara ve elektronlardan da örgülere aktarılır, Laser etkisi ile ısınan yüzey kritik sıcaklığa ulaştığında yoğun bir ısı ve basınç oluşturarak ara yüzde katı hedeften bir plazma bulutu üretir. Plazma sıvının kontrolü altında genişler, sonrasında enerjisini çevreleyen sıvıya aktarır, buhar tabakası formu plazmanın yüzeyini çevreler. Buhar tabakası genişler, plazma soğuyarak malzemeden nanoparçacıklar kopar ve kabarcığın içine salınır. Son olarak kabarcık çöker ve nanoparçacıkların çözücü içerisinde yayılması ile koloidal bir çözelti elde edilir. Şekil 1.6 da şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1. 6. Laser Ablasyon metodu şeması

Laser ablasyon süreçleri atmosfer basıncı, sıvı içerisi ve vakum ortamında gerçekleştirilebilmektedir. Hava ve sıvı ortamında yapılan laser ablasyon nanoparçacık üretiminde temel fark sıvının hacmi ile sınırlandırılmış bir genişleyen plazma bulutunun olmasıdır. Bu durum sıvı içerisinde yapılan ablasyonda plazma bulutunun sınırlandırılmış olması plazma bulutunun sıcaklığının, basıncının ve yoğunluğunun aynı şartlarda hava/vakum ortamında yapılan üretime göre daha yüksek değerlere ulaşmasını sağlamaktadır. Sıvı ortamında yapılan üretimlerde ortaya çıkan diğer önemli bir fark ise plazma bulutunun sıvı hacmi içinde sınırlı kalması dolayısı ile oluşan plazmanın sönüm zamanının oldukça kısa oluşudur. Bu da oluşan nanoparçacıkların ortalama parçacık boyut dağılımlarının diğer ortamlara göre daha düşük olmasına neden olur.

2.1. Mo ve Cu Nanoparçacık Literatür Araştırması

Sun ve ark. gerçekleştirdikleri araştırmada Mo nanotozu üretimi MoO_3 'ün 600°C ve 1050°C 'de yapılan iki aşamalı karbotermik indirgeme ve hemen sonrasında 800°C 'de derin hidrojen indirgenmesiyle gerçekleştirmiştir (Sun ve ark., 2019).

Jamil ve ark. molibden nanopartikülleri hidrotermal teknikle hazırlamıştır (Jamil ve ark., 2023). Thomas ve ark. ise *Aspergillus tubingensis* TFR29 mantarını kullanarak molibden nanopartikülleri biyosentez yoluyla elde etmiştir (Thomas ve ark., 2017)

McEnaney ve ark. Co ve Mo nanopartikülleri $\text{Mo}(\text{CO})_6$ ve $\text{CO}_2(\text{CO})_8$ 'in skualen ve oleilamin karışımı içinde 320°C 'de termal ayrışma yoluyla elde etmiştir (McEnaney ve ark., 2016).

Mo nanoparçacık sentezi için daha birçok fiziksel ve kimyasal yöntem geliştirilmiş, bunlardan bazıları ise Lamprey ve ark. MoCl_6 (Lamprey ve Ripley, 1962), Wang ve ark. MoO_3 (Wang ve ark., 2016) ve Liu ve ark. $\text{Mo}(\text{CO})_6$ (Liu ve ark., 1999) gibi farklı öncül malzemeler kullanılarak kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemiyle, Heidarpur

ve arkadaşları bilyalı öğütme yöntemi ile (Heidarpour ve ark., 2009), Huang ve ark. erimiş tuz sentezi (MSS) ile (Huang ve ark., 2016), Saghafi ve ark. mekanik olarak aktive edilen MoO_3 'ün indirgenmesi ile (Saghafi ve ark., 2012), Nersisyan ve ark. kendi kendine ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi (SHS) (Nersisyan ve ark., 2005) ile üretim yaptıkları kaydedilmiştir.

Terminalia arjuna kabuğu ekstresi kullanarak mikrodalga ışınlaması yoluyla bakır nanopartikülleri sentezlenmiştir. CuNP'ler çok iyi antioksidan özellik göstermiştir. Sentezlenen nanopartiküllerin boyutu 23 nm'dir (Yallappa ve ark., 2013). Mohamed ve ark. çekirdeksiz hurma ekstraktını kullanarak kimyasal indirgeme yöntemiyle Cu/Cu₂O NP'lerini sentezlemiştir (Mohamed, 2020). Murthy ve ark. CuNP sentezinde *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* ve *Bacillus subtilis*'e karşı antibakteriyel aktivite gösteren *Hagenia Abyssinica* yaprak ekstraktını kullanmıştır (Ananda Murthy ve ark., 2018). Lee ve ark. *Manolya* yaprağı ekstresi, bakır nanopartiküllerinin sentezi için indirgeyici ve stabilize edici bir madde olarak kullanılmıştır (Lee ve ark., 2011). Sastry ve ark. ön madde olarak CuSO₄ ve alüminyum kaplı reaksiyon kabı kullanılarak, bakır nanoparçacıklarının, asidik çözeltide kapatma maddeleri olarak lor, süt, tereyağı, sabun cevizi, limon suyu ve demirhindi suyu varlığında hazırlandığı rapor edilmiştir (Sastry ve ark., 2013). Kathad ve ark. *Artabotrys odoratissimus* (Nag Champa) aynı zamanda 95°C'de CuSO₄'ten bakır nanoparçacıklarının sentezi için indirgeyici bir ajan olarak kullanılmış, bu da boyutları 109 ila 135 nm arasında olan parçacıklarla sonuçlanmıştır (Kathad ve Gajera, 2014). Literatürde Umaer ve ark. stabilize edici ve indirgeyici bir ajan olarak L -askorbik asit (C vitamini) rapor edilmiştir (Umer ve ark., 2014). Parikh ve ark. nanopartiküllerin hazırlanması için oda sıcaklığında *Datura* metel yaprağı ekstraktı kullanıldı (Parikh ve ark., 2014).

3.Elektrospinning Yöntemi:

Nanomalzemeler dünyası olağanüstü fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip çok çeşitli ilgi çekici malzemelerden oluşur. Bu malzemelerden uygulama alanının genişliği ile dikkat çeken olağanüstü yüksek yüzey alanı/hacim oranı ve yüksek gözenekliliğe sahip nanolifler diğer nanomalzemeler arasında öne çıkmaktadır. Sahip oldukları kendilerine özgü yüzey alan özelliği nanoliflerin filtrasyon çalışmalarında doku mühendisliği alanında, sensör üretiminde, koruyucu maske ve kıyafet yapımında, ilaç salınımı ile ilgili çalışmalarda, yara üzerine kapatıcı olarak kullanmak gibi daha birçok alanda

kullanılmaktadır (Kumar ve Sinha-Ray, 2018). Nanolifler neredeyse tüm özellikleri ayarlanabilir olması ve elyaf üretim prosesinde kullanılabilecek doğal ve sentetik polimerler, kompozitler, metaller, metal oksitler, karbon bazlı malzemeler gibi çok çeşitli malzemeler ile elde edilebilme, polimer çözeltisinin harmanlanmasıyla eğiirmeden önce, yüzey işlevselleştirme veya çekirdek-kabuk elektrosipinleme kullanılarak eğiirmeden sonra işlevselleştirilebilmesi (Yoo ve ark., 2009), düşük maliyetli olması, metal, cam, mikrofiber mat gibi düşük statik yüke sahip substratlar üzerine biriktirilebiliyor olması gibi avantajlarına sahiptir (Bhardwaj ve Kundu, 2010; Barhoum ve ark., 2019).

Tarihsel gelişimi çok eski olan elektrosipinning yöntemi 1934 yılında Anton Formhals tarafından ortaya atılan 1994 yılında "Electrostatikspinning" sözcüğünden türetilerek "Electrosipinning" terimi ile ifade edilmeye başlamıştır. Reneker ve arkadaşları nanolif üretmek için ilk kez elektrosipinleme yöntemini kullanmıştır.

Elektrosipinning işlemi 1600'lü yıllarda William Gilbert'in manyetizma üzerine çalışmalarını sürdürürken elektro manyetizmanın sıvılar üzerine etkisini gözlemlemesiyle ortaya çıkmıştır. Çalışmasında bir su damlasını elektriksel olarak kuru bir yüzeyden belli bir mesafede, koni biçiminde çekildiğini fark etmiştir. İşte bu elektrosipinning işleminin tarihinin başladığı noktadır (Tucker ve ark., 2012).

Daha sonra Lord Rayleigh (1882), elektrik yüküne sahip damlaların elektro eğiirme sırasında gösterdiği rastgele hareketler üzerinde çalışmıştır. Çalışma sonuçlarına göre bu damlalara iki kuvvet etki etmiştir. Bu kuvvetlerden biri elektrik kuvveti diğeri ise bu kuvvete tam ters yönde damlayı etkileyen yüzey gerilimi kuvvetidir. Elektrik kuvvetinin yüzey gerilim kuvvetini aştığı anda damla ince jetlere ayrılarak akmaya başlar (Kozanoğlu, 2006). Pawlowski ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalar sonucunda damlanın jete dönüşmesi için gereken yükü hesaplamıştır (Pawlowski ve ark., 2003).

1902 ve 1903 yıllarında elektriksel yük uygulanması ile sıvıların püskürtülmesi için kullanılan cihazların ilk patentleri Cooley ve Marton tarafından alınmıştır (Greiner ve Wendorff, 2007)

1934 yılında Anton Formhalas, çözeltiden mikro metre çaplarında selüloz asetat fiberler üretmiş ve patentini aldığı halde ticari olarak kullanmamıştır (Kozanoğlu, 2006)

1969 yılına gelindiğinde yöntemde jet oluşumu üzerinde çalışmalarına devam eden Taylor, iğne ucunda oluşturulan elektrik alan etkisiyle oluşan ve koni şekli ile dikkat çeken polimer damlasının üzerinde çalışmalar yapmıştır. Bu yıllardan sonra polimer damlacığının konik şekli araştırmacılar tarafından Taylor konisi olarak anılmaya başlanmıştır (Subbiah ve ark., 2005).

1971 yılında Baumgarten ve ekibi ilk defa bir mikrometre altında çaplara sahip fiberlerin üretimini gerçekleştirilmiş ve bu yıllardan başlayarak araştırmacılar nanofiberlerin morfolojisi ile ilgili çalışmalar yapmaya yoğunlaşmıştır (Lyons ve Ko, 2005).

2000 lerden sonra her yıl hakkında daha çok çalışma yapılmış ve elektroegirme nanoteknoloji alanında geniş bir uygulama alanı bulmuştur.

Günümüzde elektrosynnig medikal malzemelerin (ilaç salınımı yapan malzemeler, yara örtücü) ileri filtreleme araçlarını, enerji depolama sistem ünitelerinin üretimi gibi birçok alanda malzeme üretimi için kullanılmaktadır (Huang ve ark., 2003).

3.1.Mo ve Cu Nanofiber Literatür Araştırması

Suen ve arkadaşları CuPc (Bakır ftalosiyen) nı kendi kendine birleşmesi yoluyla nanolif elde edilmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Elde edilen CuPc nanoliflerin uzunluğunun 500 nm-çaplarının ise 15-20 nm aralığında olduğu ve α faz yapısına sahip olduğunu rapor etti (Suen ve ark., 2006). Zhang ve ark. metal-oksit çift bağlarına sahip karboksil (-COOH) yapısına benzeyen molibdik asit (H_2MoO_4 , MA) katkılı mikro/nanoyapılı polianilin (PANI) mikro/ nanoyapıları, oksidan olarak amonyum persülfatın ($(NH_4)_2S_2O_8$, APS) varlığında kendi kendine birleşme işlemiyle hazırlamıştır (Zhang ve ark., 2008). Luo ve ark. tarafından, elektrosynnleme ile üretilmiş TiO_2 nanofiberlerine kendi kendine birleştirmeye dayalı MoO_3 modifiye edilmiş ve modifiye edilmiş halinin çok daha iyi lityum depolama özelliği gösterdiği gözlenmiştir (Luo ve ark., 2012).

4.Fotokataliz Yöntemi

Gelişen teknoloji ile birlikte artan sanayileşme ana ürünün yanında atık ve yan ürünlerinde miktarının artmasına sebep olmaktadır. Dünya sağlık örgütünün (WHO) 2014'teki raporu bize 10 milyondan fazla insanın kirli sulardan kaynaklanan

hastalıklara yakalandığını belirtmiştir. Endüstride çalışan insanların büyük bir kısmı üretim sırasında su kullanmaktadır. Evsel atıklar, tarımsal ilaçlar da temiz su kaynaklarının azalmasına sebep olmaktadır. Azalan temiz su kaynakları atık suların temizlenmesi zorunluluğun getirmiştir. Su arıtma işlemlerinde çöktürme, adsorpsiyon, iyon değiştirme, gibi birçok yöntem uygulanabilmektedir. Uygulanan bu işlemlerin en büyük dezavantajı ikincil bir kirlilik oluşturmastır. Bilim dünyası kirliliği tamamen yok etmek için ileri oksidasyon proseslerini kullanmaya başlamıştır. İleri oksidasyon prosesi hidroksil radikallerinin aşırı agresif yapısını kullanarak seçim yapmaksızın tüm kirleticileri parçalamasıdır. İleri oksidasyon prosesinin fenton prosesleri, ozonlama ve fotokataliz gibi çeşitleri vardır. Fenton prosesi yüksek maliyetli oluşu ve çalışma ortamının asidik olma zorunluluğu kullanım alanını kısıtlar, ozonlamada yine yüksek maliyet ve ozon gazının zehirli olması nedeniyle dezavantajlıdır. Fotokataliz aşağıdaki özelliklerinden dolayı günümüzde çok kullanılan bir yöntem haline gelmiştir.

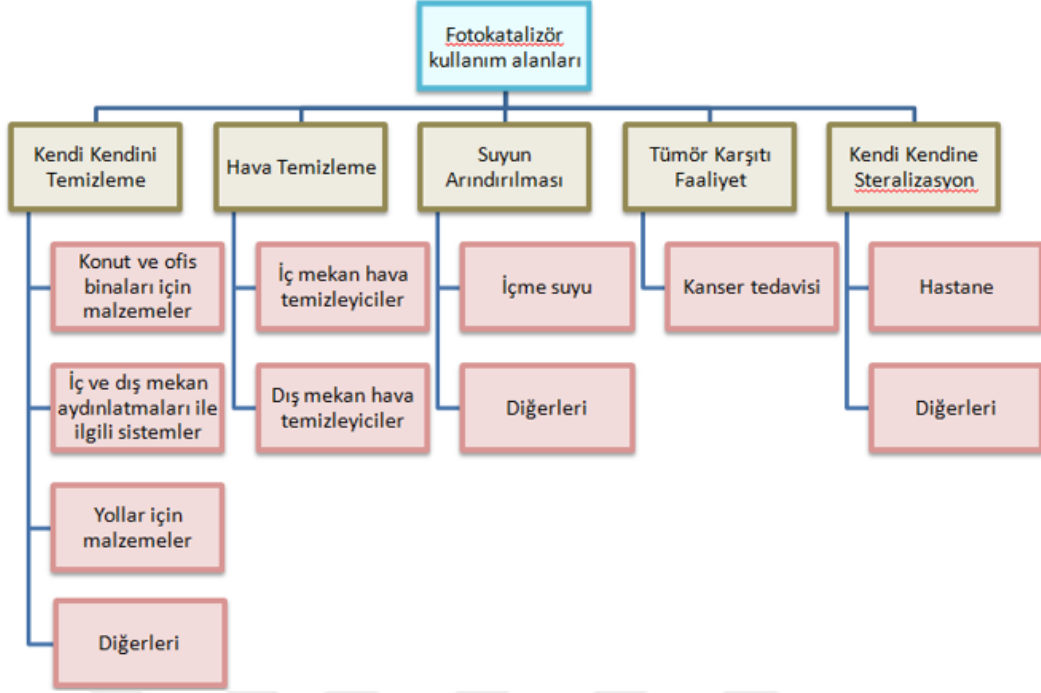
- Yöntemin uygulanmasının kolay olması,
- Maliyetinin az olması,
- Etkinliğinin üst düzeyde olması,
- Çok düşük seviyelerde organik kirletici oluşturmaması,
- Ortaya çıkan son ürünlerin çevreye zararsız olması (Duyar, 2015).

Fotokataliz olayı; foto reaksiyonun bir katalist varlığında hızlandırılmasıdır. Fotokatalitik reaksiyon ışık kaynağından gelen fotonların enerjisinin soğurulması ile gerçekleşir. İdeal bir fotokatalizörün aşağıdaki özellikleri taşıması gerekmektedir:

- Fiziksel ve kimyasal yapısı kararlı olmalı dış etki ve kimyasallardan etkilenmemeli,
- Farklı sentez metotları ile kolay sentezlenebilmeli, kolay elde edilebilir olmalı ve düşük maliyetli olmalı,
- Çevreye zarar verecek etkisi olmamalı,
- Yüzey alanının geniş ve fotokatalitik aktivitesi yüksek olmalı,
- Ekonomik olması bağlamında fotokatalizörün güneş ışınları ya da UV ışınları altında aktif olmalı,
- Uzun süre kullanımı açısından korozyona karşı dayanıklılığı yüksek olmalı

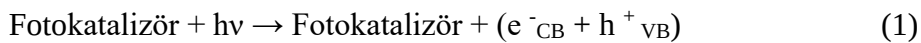
Bu özelliklere sahip farklı alanlarda kullanılan katalizörler ve uygulama alanları Tablo1.1 de verilmiştir (Fujishima ve ark., 2000).

Tablo 1. 2.Fotokatalizör Kullanım Alanları



Kendi kendini temizleyen konut ve ofislerde kullanılan dış cephe seramikleri ve kaplamaları, plastik yüzeyler, yapı malzemesi olarak kullanılan taşlar ve perdeler, kâğıt pencere güneşlikleri, floresan lambaların kaplamaları ve otoyol tüzel lambalarının cam kapakları, tünel duvarları, ses geçirmeyen duvarlar, trafik lambaları ve reflektörler, çadır malzemesi, hastane giysileri ve üniformalar için kumaş, nehir suyu, yer altı suyu, göller ve su deposu tankları, drenaj suyu ve endüstriyel atık sular, endoskopi gibi araçlar, kendi kendini sterilize eden ameliyat odalarını kaplayan seramikler, tıbbi sondalar için silikon kauçuklar, dışarıda herkese açık tuvaletler, banyolar, fotokatalizin kullanım alanlarından bazılarıdır. Bir fotokatalizörün fotokatalitik aktivitesi; yarı iletkenin yüzey alanına ve partikül boyutuna, kristal boyutuna ve türüne, eklenen metal iyonunun türüne, miktarına ve bunlardan oluşan oksitlere, uygulanan ışın şiddetine ve ışınlama süresine, ortamın sıcaklığına, çözeltideki boya derişimine, ortamda bulunan anyonlara, katyonlara ve pH'a bağlı olarak değişmektedir (Sayılkan, 2007).

Fotokatalist uygulamasının ilk aşamasında fotokatalizörün bant boşluğu enerjisine eşit veya daha yüksek enerjili foton fotokatalizör yüzeyine gönderilir. Foton enerjisi fotokatalizör tarafından absorblanır ve fotokatalizör uyarılarak bir elektron-boşluk çifti oluşur (Şekil 1.7) (Orhan, 2020). Bunu aşağıdaki şekilde formulize ederek gösterebiliriz.



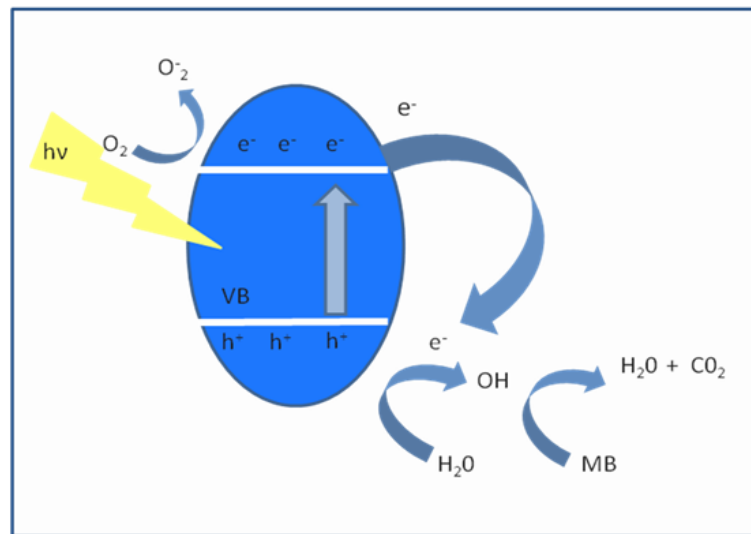
e^-_{CB} : İletkenlik bandındaki elektron
 h^+_{VB} : Değerlik bandındaki pozitif boşluk

Elektronun iletildiği enerji seviyesine iletkenlik bandı; elektronun ayrıldığı enerji seviyesine de değerlik bandı adı verilir. Oluşan iletkenlik bandı indirgeyici; değerlik bandı ise yükseltgeyici ortam oluşmasını sağlar. Bu ortamlar çözücü durumundaki su ile karşılaştığında reaksiyona girer ve hidroksil radikallerini oluşturur. Uyarılan ve elektron-boşluk çiftlerini oluşturan fotokatalizörler uygun alıcıların olmaması durumunda yeniden birleşirler. Bu olaya da rekombinasyon süreci denilmektedir. Oluşan bu boşluklar elektronlarda da olduğu gibi parçacık özelliği gösterir. Elektronlar mekanizmada indirgen reaktif, boşluklar ise yükseltgen reaktif olarak davranırlar. İyi bir fotokatalizör düşük enerjili bir fotonla uyarılabilmeli ve rekombinasyon hızı da küçük olmalıdır.

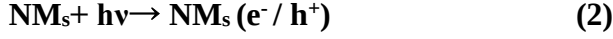
Bu açıklamaların ışığı altında fotokatalizör üzerindeki reaksiyonların sıralaması şu şekildedir (Mahmiani, 2016).

- 1) Fotokatalizörün ışık kaynağından gelen fotonu absorblaması (Enerjinin emilimi) sonucu uyarılması
- 2) Reaktantın katalizör yüzeyine transferi ve adsorpsiyonu (yüzeye tutunması).
- 3) İndirgenme ve yükseltgenme reaksiyonlarının gerçekleşmesi.
- 4) Fotokatalizör yüzeyinde fotokataliz reaksiyonları sonucu oluşan ürünlerin desorpsiyonu

Bu işlem sıralaması reaktanın adsorplanması ile başlayıp parçalanma işlemi tamamlanıncaya kadar devam eder. Fotokataliz mekanizmasının işleyişi şematik olarak Şekil 1.7.deki gibidir (Saribel, 2017).



Şekil 1. 7. Metilen mavisinin fotokataliz şeması



Üretilen bu çiftler denklemde belirtildiği gibi rekombinasyon reaksiyonlarına maruz kalabilir ve NM devre dışı kalması sonucunu verir. Bu ise fotokatalizin devamı için kaçınılması gereken bir durumdur.



Üretilen e^- atmosferik oksijenle reaksiyona girer ve süperoksit radikallerinin oluşturur (Denklem 4).



H_2O 'nun varlığı ayrıca hidroksil iyonlarının etkileşimi yoluyla fotokatalitik reaksiyonu kolaylaştırır. OH^- ile h^+ birlikte bulunur ve hidroksil serbest radikallerini oluşturur.



Bu süreç metilen mavisinin seçici olmayan reaktif radikalleri ile etkileşir ve N-CH_3 bağının kopmasına yol açan dimetilasyon sürecini başlatır. Devamında meydana gelen reaksiyonlar metilen mavisinin aromatik halkasının kırılması sonucunda parçalanır, H_2O , CO_2 , amonyum iyonları ve sülfat iyonlarına dönüştürülür (Din ve ark., 2021)

4.1. Mo ve Cu Fotokataliz Literatür Araştırması

Ibukun ve ark. çalışmalarında metilen mavisinin bozunmasını TiO_2 ye yapılan farklı oranlardaki MoS_2 katkısı yapılarak incelemiştir. Saf TiO_2 yapılan MoS_2 fotokatalitik bozunma verimini artırdığı gözlenmiştir. (Ibukun ve ark., 2019)

Yuying Liu ve ark. çalışmada, Au-Cu nanoalaşımını düşük maliyetli çevre dostu TiO_2 ile köprüleyerek TiO_2 ve $\text{TiO}_2/\text{MoS}_2$ 'nin tek tek muadillerinden çok daha gelişmiş fotokatalitik hidrojen üretim aktivitesi elde etmek için bir Au-Cu nanoalaşımı / $\text{TiO}_2/\text{MoS}_2$ üçlü hibrit sentezlemişlerdir. Oluşan üçlü hibritin güneş ışığından yararlanma verimliliğini artırdığını ve fotonun oluşturduğu elektron deşik çiftlerinin ayrılmasını kolaylaştırdığı gözlenmiştir (Liu ve ark., 2020).

Hojjati ve ark. manyetik olarak $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Cu@OPO(OH)}_2$ kompozitleri, Junglas regia L.yaprak ekstratı kullanılarak yeşil yolla sentezlenmiştir. Metilen mavisi renk gideriminde fotokatalitik performansı araştırmış ve dört saatlik bir süreçte önemli ölçüde rengin kaybolduğunu gözlemlemiştir (Hojjati ve Soleimani, 2023).

Bir diğerk çalışmada Jilani ve ark. bakır, bakır oksit ve grafenin ($\text{MoS}_2\text{-Cu/CuO@GN}$) karışım fazına sahip molibden disülfid kompozitleri hidrotermal yöntemle sentezlenmiş, metilen mavisinin $\text{MoS}_2\text{-Cu/CuO@GN}$ varlığında 30 dakika içinde yaklaşık %93,8 oranında bozunduğu görmüştür (Jilani ve Melaibari, 2022).

Iqbal ve ark. MoS_2 ye yapılan saf bakır katkısını hidrotermal yöntem kullanarak hazırlamış ve metilen mavisi boyasına karşı bozunma verimliliğini araştırmıştır. Bozunmanın oldukça yüksek olduğunu rapor etmiştir (Iqbal ve ark., 2024).



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1.Laser Ablasyon Yöntemi

Laser ışını ışık hüzmelerinin dar bir alanda tek bir noktaya odaklanması ile oluşur. Laser ışınının tek renkli (aynı frekansa, dalga boyuna ve tepe noktalarına sahip), doğal ışık kaynaklarının aksine yönlendirilebilir ve odaklanabilir olması, eş zamanlı yani koherent ve parlak olması gibi özellikleri vardır. Laserin icadı ve gelişmesi geniş bir kullanım alanı denetim ve atomik füzyonda (Steen ve Mazumder, 2010), hassas ölçümler için (uzunluk/hız/pürüzlülük ölçümü), eğlence (ışık şovları, laser projeksiyonla görüntü yansıtma), tıbbi teşhisler, ameliyatlar, tedavi ve iletişimde bir çok avantajlar getirecek şekilde kullanışlı olduğu görülmüştür (Dutta Majumdar ve Manna, 2003). Laserin parçacık ile etkileşimi 3 aşamada olur. İlki taban seviyedeki parçacığın uyarılmış seviyeye çıkması ve bir süre sonra foton yayarak kendiliğinden taban durumuna geri gelmesi, buna kendiliğinden yayılma denilir. İkincisi soğurma yani fotonun parçacık ile etkileşimi; fotonun parçacık tarafından soğurulmasıdır. Böylece parçacık foton soğurarak bir üst enerji seviyesine geçer. Üçüncüsü ise fotonla etkileşime girerek bir üst enerji seviyesine çıkan parçacık etkileştiği fotonla aynı enerji ve doğrultudaki ikinci bir foton yayarak taban enerji seviyesine geri dönmesidir (Gündoğdu, 2014). Benzer özellikte iki fotonun oluştuğu bu durum uyarmalı ışıma olarak adlandırılır.

Laser ablasyon işlemi ile yapılan çalışmalardan ilki hedef malzeme ve yapıların şekillendirilmesine dayalıdır. İkincisi ise koparılan türlerin kullanıldığı, plazma üretimi, nanoparçacık ve ince film üretimi gibi çalışmalardır. Nd: YAG laserleri laserle ablasyon ve iyonlaştırmada oldukça önemlidir. Nd: YAG kristali yüksek optiksel kaliteye ve iyi bir termal geçirgenliğe sahiptir. Bu da 100 Hz'in üstünde bir tekrarlama oranında atımlı laser çıkışı sağlanması imkanını verir (Ready, 2001). Laser ile nanoparçacık üretimi uzun reaksiyon süresine, çok adımlı kimyasal süreçlere veya yüksek sıcaklık, yüksek basınç gibi şartlara gereksinim duyulmadan basit ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilir.

Laser ablasyonu üç aşamada meydana gelir:

1- FS laser için plazma ateşlemesi ($10^{12} - 10^{17} \text{ W/cm}^2$)

- Elektronik uyarılma ve iyonlaşmanın olması ($10^{-15} - 10^{-13} \text{ s}$)
- Coulomb patlamasının olması (10^{-13} s)
- Elektron-kafes ısıtma (10^{-12} s)

2-Plazma soğuması- genişmesi

- Şok dalgası yayılmasıyla plazmanın genişlemesi ($10^{-11} - 10^{-6} s$)
- Plazmanın radyasyonla soğuması ($10^{-6} - 10^{-4} s$)

3- Parçacık fırlatma ve yoğunlaşma

- Nanopartiküllerin oluşması ($10^{-4} - 10^{-3} s$)
- Sıvı damlacık olarak fırlatılması ($10^{-8} - 10^{-6} s$)
- Katı pul pul şekilde dökülme ($10^{-6} - 10^{-5} s$) (Bayram)

Laser ile nanoparçacık üretimi vakum, atmosfer ve sıvı ortamlarında olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Sıvı içerisinde üretim yapılırken genişleyen plazma bulutu sıvının hacmi ile sınırlıdır. Bu da plazmanın yayılma, soğuma ve yoğunlaşma basamaklarını önemli bir şekilde değiştirmektedir. Sıvı içindeki plazma bulutunun sıcaklığı, basıncı ve yoğunluğu eşit şartlarda hava/vakum ortamında yapılabildiği göre daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Ayrıca plazmanın sıvı ortamda sınırlı olması plazmanın sönüm zamanını kısaltmakta ve oluşan nanoparçacıkların ortalama parçacık boyut dağılımlarının diğer (hava/vakum/gaz) ortamlara göre daha düşük olmasına sebep olur.

Laser ablasyon işlemi, kullanılan laser sisteminin parametreleri ve hedef malzemenin özellikleri ablasyonun gerçekleşme mekanizmalarında ve hızında etkilidir. Genel olarak laser ile üretimi yapılan nanoparçacıkların boyutunu ve yapısını etkileyen parametreleri üç sınıfta incelenebilir.

Yüzeyden kopartılan atom ve parçacıkların yoğunluğunu, sıcaklığını, açısal dağılımlarını laser ışımasının şiddeti, atım uzunluğu ve dalgaboyu gibi parametreler şekillendirir

Kullanılan dalga boyundaki soğurma, erime, buharlaşma ve kristalleşme sıcaklığı hedefe ait özelliklere bağlı olarak değişir:

Üretimin yapıldığı ortamın hava, gaz veya sıvı olmasının etkisi ile soğuma, yoğunlaşma veya nanoparçacıkların topaklanma ile büyümesini değiştirmektedir (Barcikowski ve ark., 2007a). Laserle ablasyon işlemi kullanılan laser sisteminin parametrelerinin etkisinin bilinmesi elde edilmek istenen sonuca ulaşmaya yardımcı olacaktır.

Ablasyon oranı: Ablasyon işleminin verimi ablasyon oranı ile W_A ile tanımlanır ve laser pulsunun hedef yüzeyden kopardığı kütleye ($W_A = \Delta m/N$ [$\mu\text{g/puls}$]), hacme ($W_A = \Delta V/N$ [$\mu\text{m}^3/\text{puls}$]) ve kalınlığa ($W_A = \Delta h/N$ [$\mu\text{m/puls}$]) bağlı olarak belirlenir (BAYIR).

Laser puls süresi: Laser pulslar halinde Q-Anahtarlama (Q-switched) ve Mode Kilitli (Mode-locked) gibi yöntemleri kullanarak üretilmektedir. Puls süresine bağlı olarak malzemenin optik, termal ve fiziksel tepkileri değişmektedir. Bunun nedeni katılarda elektron fonon bağlanma süresinin yaklaşık onlarca pikosaniye mertebesinde olmasıdır. Bu süreden daha kısa süreye sahip olan femto saniye laser malzemeye gönderildiğinde atım enerjisi elektron alt sistemlerinde depolanır ve örgüler düşük sıcaklıkta kalırlar. Bu durum, kısa atım uzunluğuna sahip laserler ile yüksek hassasiyette ve malzemenin diğer kısımlarına zarar vermeden işlem yapma imkânı verir (Erdoğan ve ark., 2011). Barcikowski ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada *atım süresinin* verim üzerindeki etkisini belirlemek için femtosaniye ve pikosaniye atım uzunluğuna sahip laserler kullanılmıştır (Barcikowski ve ark., 2007b). Femtosaniye laser pulsları ile verimin pikosaniye lasere pulslarına göre %20 daha fazla olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada manyetik karıştırıcının verime etkisinde araştırılmış ve hareketli sıvıda daha fazla verim elde edildiği görülmüştür.

Laser puls enerjisi ve gücü: Bir fotonun enerjisi (E_f), $E_f = h\nu = hc/\lambda$ eşitliği ile ifade edilir. Buradaki h Planck sabiti, c ışığın boşluktaki hızı ve λ dalga boyudur. Bu ifadeye göre h ve c sabit bir değeri gösterdiği için dalga boyu ile fotonun enerjisi ters orantılıdır. Laser pulsunu çok sayıda fotonun eşzamanlı olarak yayınlanması ve kavitenin q-anahtarlama veya Mode-Kilitleme sürecine göre çalıştırılmasıyla oluşturulmaktadır. Bu durumda laser pulsunun enerjisini içinde barındırdığı foton sayısı ile doğru orantılı bir şekilde değişiklik gösterir. Laser ablasyonda yapılan şey malzemeye bir enerji aktarılmasıdır. Enerji aktarımı güç ile bağlantılıdır. Laser için güç (P), birim zamanda aktarılan puls enerjisi (E) miktarıdır. Enerji joule [J], zaman saniye [s] birimlerinde seçildiğinde güç, watt [W] birimindedir. Pik güç, tek bir pulsun taşıdığı enerjinin puls süresine (t_p) oranı olarak

$P_{pik} = E/t_{pik}$ şeklinde ifade edilebilir. Buradaki E , laser pulsunun pik enerjisini ve t_{pik} ise laser pulsunun yarı yükseklikteki tam genişliği (FWHM) ile ölçülmektedir.

Yazdığımız denklem sistemlerine göre aynı dalga boyunda aynı enerjiye sahip pulslar üreten fs ve ns laser sistemleri karşılaştırıldığında fs laser sisteminin 10^6 kat daha kısa puls süresine sahiptir ve dolayısıyla daha büyük pik puls gücüne sahip olmaktadır. Pik güçleri arasındaki fark soğurma mekanizmasını etkilemekte bunun sonucunda ise malzemenin soğurduğu enerjinin içindeki yayılma basamaklarında değişikliğe sebep olmaktadır. Dolayısı ile fs ve ns laser pulsları ablasyon süreci farklı şekilde çalışıp farklı sonuçlar vermektedir (BAYIR).

Laser spot alanı, enerji yoğunluğu ve güç yoğunluğu: Laser demetinin lens aracılığı ile odaklandığında merceğin odak noktasına yakın minimum spot alanı oluşmaktadır. Laser puls enerjisi spot alanın içinde kalan malzeme kadarına aktarılabilir. Laserin oluşturduğu pulsların aktardığı enerji miktarının aynı olduğundan spot alanı küçüldükçe daha küçük alandaki malzemeye aktarılan enerjinin daha büyük olacağı söylenebilmektedir.

Laser ile ablasyonun olabilmesi için puls enerjisinin büyüklüğü, malzemeye aktarıldığında atom veya molekülün örgüden kopmasını sağlayacak ve bir kinetik enerji kazanarak yüzeyden uzaklaşmasına yetecek kadar olması gerekmektedir.

Enerji yoğunluğu birim alana aktarılan laser enerjisi şeklinde tanımlandığından odaklanmış laserin odak noktasında en küçük alana ve en yüksek laser enerjisi geleceğinden; enerji yoğunluğunun bu noktada en büyük olduğu gerçeğine ulaşılmaktadır. Bu noktada laser pulsunun etkisi çok güçlü bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Enerji yoğunluğu sabit spot alanında puls enerjisini artırarak da artırılabilir. Güç yoğunluğu içinde enerji yoğunluğuna benzer bir yaklaşım geçerlidir. Çünkü birim alana aktarılan laser gücü güç yoğunluğu olarak tanımlanmaktadır.

Laser *dalga boyunun* parçacık boyutuna etkisini araştıran Tsuji ve arkadaşları laser dalga boyunun azalması ile parçacıkların çaplarının küçüldüğünü kaydetmiştir (Tsuji ve ark., 2002).

Laser *dalgaboyunun nanoparçacık üretim verimliliği* üzerindeki etkisi yine Nd: YAG laserin 1064, 532 ve 355 nm dalga boyları kullanılarak Šmejka ve diğerleri tarafından gümüş nanoparçacıklar üzerinde belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, 1064 nm dalgaboyu ile yapılan çalışmada elde edilen üretim verimi 532 ve 355 nm

dalgaboyu ile yapılan çalışmalara göre daha fazladır (Smejkal ve ark., 2007). Dolayısı ile artan dalga boyu verimi artırdığı kaydedilmiştir.

2.1.1 Darbeli Laser Ablasyon Metodu

Darbali laser ablasyon (PLA) 60 ‘lı yıllarda T. H. Maiman (Maiman, 1960) tarafından darbali yakut laserinin icadından sonra geliştirilmeye başlanmıştır. Brech ve Cross (Brech, 1962) ışığın metal yüzeyden saçıldığını gözlemlemesi ile Lazer Kaynaklı Kırılma Spektroskopisi (LIBS) (Element analizi) spektroskopisi için kullanılmış, katı-sıvı ara yüzeyindeki çalışmalar yapılarak demir oksit formunun sentezi (Patil ve ark., 1987) daha sonraları ince film, katı hedeften nanotoz elde etme gibi uygulamalar ile gelişimi halen sürmektedir.

Sıvı ortamda gerçekleştirilen laser ablasyon “Pulsed Laser ablation in Liquid” (PLAL) yöntemi diğer (hava ve vakum) ortamlarda üretim tekniklerine kıyasla telaffuz edilmesi anlamlı olacak avantajlar ortaya koymaktadır ve daha özgün bir Nanoparçacık (NP) üretim tekniği olarak dikkat çekmektedir. PLAL tekniği, neredeyse sınırsız çeşitlilikte potansiyel malzeme ve solvent içeren oldukça kolay ve yaygın kullanım alanı bulan bir tekniktir. PLAL ’ın diğer NP sentez yöntemlerine göre bazı avantajları vardır. Bunlar;

- 1) Kimyasal olarak basit ve temizdir, basit başlangıç malzemeleri ile katalizöre ihtiyaç duymadan genellikle yüksek yüzey aktivitesine sahip üretim yapılabilmektedir.
- 2) PLAL aşırı sıcak veya basınç gerektirmeden ortam koşullarında gerçekleştirilebilir.
- 3) PLAL tarafından Metaller (Liang ve ark., 2005), soy metaller (Deniz ve ark., 2011), yarı iletkenler (Švrček ve ark., 2006) nanoalyajlar (Messina ve ark., 2011), manyetik (Nishi ve ark., 2010) ve çekirdek-kabuk nano yapıları(Zeng ve ark., 2006) gibi çeşitli NP türleri kolayca sentezlenebilir.

Kullanılan çözücüler (solventler), darbe süresi ve laser gücü, PLAL tekniğinin öne çıkan parametreleridir. Bunlardan herhangi birinde yapılan değişiklik NP özelliklerini değiştireceğinden kontrollü bir şekilde istenilen özellikte NP üretimine olanak sağlamaktadır.

Örneğin suda sentezlenen NP’ ler Au NP dalga boyu 1064 nm, darbe süresi 9 nanosaniye ve $10\text{-}20 \text{ Joule/cm}^2$ gücünün kullanılması durumunda 8 nm çapta (Wang ve Yang, 2005) oluşurken dalga boyu 800 nm, darbe süresi 120 femtosaniye ve 60-1000

Joule/cm² güç kullanıldığında 4-130 nm çapta oluşmuştur (Amendola ve Meneghetti, 2009).

NP imalatındaki PLAL uygulamaları temelinde üç tür laser-malzeme etkileşimi süreci kullanılır. Sıvı içinde mikrosaniye laser ablasyonu (ms-LAL), sıvı içinde nanosaniye laser ablasyonu (ns-LAL) ve sıvı içinde femtosaniye laser ablasyonu (fs-LAL). Kullanılan bu üç farklı laser malzeme ile etkileşimleri farklı fiziksel süreçler göstermektedir.

ms laserler düşük güç yoğunluğuna sahiptir (106 –107 W cm²)(Niu ve ark., 2010; Sun ve ark., 2012) ve genellikle nanopartikülleri sentezlemek için değil metalleri kaynaklamak ve kesmek için kullanılır (Oztoprak ve ark., 2013).

ns-PLAL ise ana süreçleri, plazma bulutlarının oluşumunu, dönüşümünü ve yoğunlaşmasını içerir (Yang, 2007). ps laserler ns laser ile süreç benzerliği gösterebilir, ps laserlerin yüksek tekrarlama oranı ile NP üretimi açısından avantajlı hale gelmektedir.

Malzemeler laser atım süresine bağlı olarak termal fiziksel tepkileri önemli değişiklikler gösterir. Katı malzemede elektron fonon bağlanma süresi yaklaşık onlarca pikosaniye mertebelerinde olduğu bilinmektedir. Bu süreden daha kısa atım uzunluğuna sahip laserler (femtosaniye) malzeme üzerine gönderildiğinde atım enerjisi elektron alt sistemlerinde depolanır ve örgüler düşük sıcaklıkta kalır. Bunun sonucunda elde edilen avantaj ise yüksek hassasiyette ve malzemelerin diğer kısımlarına zarar vermede işlem imkânı verir (Erdoğan ve ark., 2011). Aynı zamanda sıvı içerisinde de işlem yapma imkanı sağlarlar (Palmaz, 1993).

2.1.2.Laser Ablasyon Yöntemi ile Mo ve Cu Nanoparçacık Üretimi Literatür Araştırması:

Zamora-Romero ve arkadaşları sıvılarda laser ablasyonu (LALS) yoluyla MoO₃ üretimi yapmış, üretilen NP'lerin sentezi yüzey aktif maddeler/katkı maddeleri içermediği 840 nm civarında absorpsiyon gösterdiği ve bu özellikler doğrultusunda da NP'lerin, fototermal tedavi (PTT) ajanları olarak kullanıma uygun olduğu görülmüştür (Zamora-Romero ve ark., 2020).

Spadaro ve ark. deiyonize suda molibden hedefe harici bir elektrik alanda uygulanarak pikosaniye darbeleri laser ışını ile birkaç nanometre boyutunda nanoparçacıklar elde edilmiş ve elde edilen bu parçacıkların anti kanser kompleksi gibi yenilikçi biyolojik uygulamalar için yeni olasılıklar açacağı öngörülmüştür (Spadaro ve ark., 2018).

Camacho ve ark. deiyonize su içerisinde yüksek saflıkta molibden hedefi femtosaniye laser atımı ile molibden oksit nanoparçacık ve nanotabakalar oluşturulmuştur. Oluşan bu kolloid karışımın zamanla optik absorpsiyonun değiştiği ve renginde maviye doğru kaydığı, sentezlenen nanoyapıların bant aralığının 2,55 eV değerden 2,9 eV değerine kadar yükseldiği gözlemlenmiştir (Camacho-Lopez ve ark., 2023).

De Bonis ve ark. molibdenin farklı kimyasal yapıya sahip organik çözücülerde ve suda ultra kısa laser ablasyonu ile elde edilen NP'lar incelenmiştir. Suda elde edilen nanoparçacıklar 50 nm 'den büyük ve 10 nm 'den küçük birçok parçacık elde edilmiş ve karmaşık bir yüzey kimyası gözlenmiştir. Aseton ve Toluende ultra kısa laser ablasyonda ise sırasıyla 16 ve 12 nm boyutlarında nanoparçacıklar ve %40 ve %60 lık bir molibden karbür yüzdesi elde edilmiştir (De Bonis ve ark., 2020).

Lopez ve ark. tarafından hidrojen sülfidın tespiti için PLAL kullanılarak Cu nanoparçacıkların sentezi ve karakterizasyonu incelenmiş ve suda sentezlenmiş CuO nanoparçacıklar ile optik fiberleri kaplayarak hidrojen sülfid saptanmasında kullanılan sensörler üretilmiştir (Lopez ve ark., 2021).

Cuenca ve ark. Cu, Ni ve Co nanopartikülleri deiyonize suda, asetonda ve etanolda laser ablasyon ile elde edilerek optik özellikleri deneysel olarak incelenmiş ve Mie teorisinin kuramsal hesaplamaları ile aynı doğrultuda sonuçlar verdiği görülmüştür. UV-Vis spektrometresine göre deiyonize suda yaklaşık 240 nm, 280 nm ve 350 nm olarak üç bant, asetonda 330 nm ile belirgin bir şekilde genişleme ve etanolda 590 nm civarında bir optik absorbans tepe noktası gözlenmiştir (Cuenca ve ark., 2022).

Guilizzoni ve ark. suya batırılmış Au, Ag ve Cu metal hedefler kullanarak darbeleri laser ablasyon metodu ile nanoparçacık üretmiştir. Au ve Ag nanopartiküllerin herhangi değişime uğramadan bir ay bile durabildiği görülürken bu durum bakırın suda hızlı oksidasyona uğradığı ve CuO yapısına dönüşmesi sebebiyle kararlılığı zayıf nanopartikül olduğu görülmüştür (Guilizzoni ve ark.).

Baruah ve ark. damıtılmış suda daldırılan bakır hedef LALS yöntemi ile nanoparçacık üretilmiş furanoflavonoid, karanjin için Cu nanoparçacıkların yüzeyini etkileyen Raman saçılmasını etkileyen koşullar araştırılmıştır (Baruah ve ark., 2018).

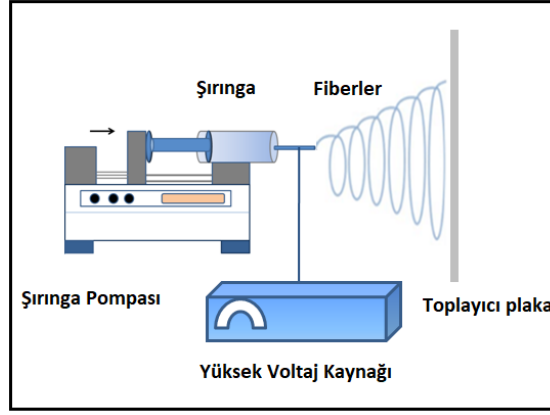
Kumar ve ark. deiyonize suda ve hava ortamında sentezlenen Cu nanoparçacıkların deiyonize suda üretilen nanopartiküllerin agrelar oluşturduğu ve yaklaşık 590 nm dalgaboyunda bir yüzey plazmon rezonansı sergilediği görülmüş, havadaki nanoparçacıkların ise düzensiz şekillerde birleşmeler olduğu görülmüştür (Kumar ve Thareja, 2013).

M. Fernández ve ark. tarafından iki farklı laser kaynağı kullanılarak yapılan ve su ve metil alkol içerisinde laser ablasyon ile Cu nanoparçacık elde edilmiştir. Suda elde edilen CuO nanoparçacıklar zincir benzeri yapı gösterirken metil alkol içinde elde edilen nanoparçacıklar daha küresel ve daha düşük oksit varlığına sahip bir yapı göstermiştir. Elde edilen nanoparçacıkların kristal yapıda olduğu ve belirgin bir şekilde karalılık gösterdiği gözlenmiştir. Cu nanoparçacıkların bakterisidal aktivitesinin iyon salınımına bağlı olmadığı, oksidasyon durumunun ve boyutunun süreç üzerinde etkisinin daha büyük olduğu gözlenmiştir (Fernández-Arias ve ark., 2020).

Marzun ve ark. oksijen ile doyurulmuş su, oksijensiz su ve asetonda bakır ve bakır platin hedeflerde yapılan laser ablasyonun sentezlenen nanoparçacık üzerindeki rolü araştırılmıştır. Oksidasyonu sıvıdaki O₂ miktarının değil su moleküllerinin ayrışması ile ortaya çıkan reaktif oksijenden kaynaklandığı gözlenmiştir. Asetondaki gerçekleştirilen LAL sürecindeki nanoparçacıkların oksidasyonunu önleyen bir karbon kabuğu ile çevrili Cu nanoparçacıklarının oluşumuyla sonuçlandığını göstermektedir (Marzun ve ark., 2017).

2.2. Elektrospinning Yöntemi

Elektrospinning cihazı yüksek voltaj güç kaynağı, besleme ünitesi (şırınga, düze, metal iğne vb.), metal toplayıcı (plaka, silindir, tambur vb.), eriyik veya çözelti bileşenlerinden oluşur. Şekil 2.1 'de görüldüğü gibi elektrospinning sisteminde temel olarak 4 eleman bulunmaktadır. Bunlar; şırınga ve şırınga pompası, toplayıcı tabaka, yüksek voltaj kaynağıdır.



Şekil 2.1. Elektrosprin yönteminin şematik gösterimi

Elektrospinning yöntemi kullanılarak nanofiber üretim sürecinin akış diyagramında; gerekli ve yeterli araştırmalar sonrasında elde edilen bilgi birikimine uygun olarak gerekli çözelti hazırlanır, elektrospinning işlemi için hazırlanan çözelti şırınga içine konulur, metalik iğne şırınga ucunda yer alır. Çözelti içeren şırınga pompa mekanizmasına yerleştirilir. Şırınga pompası kullanılarak çözeltinin iğneye doğru sabit ve kontrol edilebilir bir hızla besleme yapılması sağlanır. Hazırlanan mekanizmada elektrospinning işleminin başlaması için şırınga ucundaki iğneye 5-30 kV gerilim uygulanır. Gerilimin uygulanması sonucunda, iğne ucunda asılı duran polimer damlacığı elektriklenir ve indüklenmiş olan damlacık yüzeyine yük eşit olarak dağılır (Li ve Xia, 2004). Çözelti damlası bu sırada yüzey geriliminden kaynaklanan kuvvet sebebiyle küresel bir form alır ve öyle kalır. Çözelti damlasına uygulanan yüksek gerilim belirli bir sınır değerine ulaştığı anda elektriksel kuvvetler yüzey gerilim kuvvetlerine eşitlenerek sistem dengeye gelir. Bu durumda çözelti damlacığı form değiştirerek küresel durumdan koni şekline geçer. Bu koni şekline *Taylor konisi* denir. Metal iğneye uygulanan yüksek voltaj biraz daha artırılarak koni şeklindeki damlacığın yüzey gerilimleri ile ona etki eden elektrostatik kuvvetler arasındaki denge elektriksel kuvvetler lehine değişim gösterdiğinde şırınga iğnesi ucundaki *Taylor konisi* formundaki damlacık tekrar şekil değiştirerek 'jet' diye tabir edilen bir forma dönüşür ve bu jet toplayıcı plakaya doğru hareket etmeye başlar. Şırınga iğnesi ucundan jet şeklinde çıkan nanolifler elektrostatik itme kuvvetleri, çözücü buharlaşması gibi sebeplerden dolayı kararsız bir şekilde kıvrılmalar sergileyerek toplayıcı plaka yüzeyine geliş güzel bir şekilde birikmeye başlar. Daha sonra oluşan nanofiberler yüzeyde bulunan özel bir folyodan alınırlar.

2.2.1. Nanofiber Oluşumuna Kadarki Süreç İşleyişi

Elektrospinning işleminin başlamasından toplayıcı plaka üzerinde rastgele nanolifler oluşmasına kadar olan aşamaları altı madde halinde özetleyebiliriz:

- _ Damlacık oluşumu
- _ Taylor konisinin oluşumu
- _ Çözelti damlacık jetinin oluşumu
- _ Kararlı bölgede jetin uzaması
- _ Kararsız bölgede jet oluşumu (Whipping kararsızlığı)
- _ Lif formunda katılma (He, 2017)

a) Damlacık oluşumu

Elektrospinning yönteminde hazırlanan akışkanlığı uygun polimer çözeltisi pompa yardımıyla iğne ucuna itilir. İğne ucuna elektriksel kuvvet uygulanmadan önce polimer damlası oluşur. $V=0$ durumunda iğne ucundaki damlacığa yerçekimi kuvveti (F_g) ve sıvının yüzey gerilim kuvveti (γ) etki etmektedir (Andrady, 2008). Şekil 2.2 de damlacık durumu gösterilmiştir.

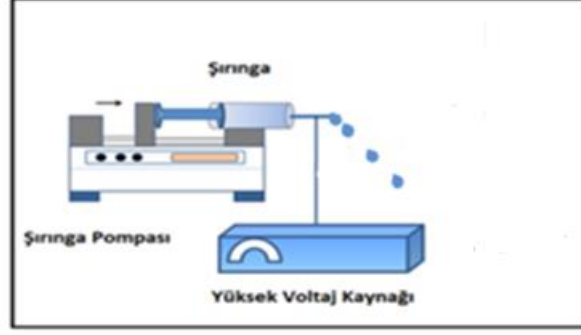
Damlacığın yarıçapı r_0 ve kılcal borunun iç yarıçapı R ise

$$r_0 = \left(\frac{3R\gamma}{2\rho g} \right)^{1/3} \quad (6)$$

İfadesi ile ilişkilendirilir. Burada ρ sıvının yoğunluğu ve g yer çekimi sabitidir (Andrady, 2008). Polimer çözeltisi, voltaj yeteri kadar artırıldığında elektrik kuvveti F_E , yer çekimi kuvveti F_g ile birlikte yüzey gerilim kuvvetine karşı etkiler. Damlacık yüzeyinde etkin olan kuvvetler $F_v = F_E + F_g$ durumuna geldiğinde kılcal boru ucundaki damlacık yarıçapı r_0 değerinden daha küçük r değerlerine düşer ($r < r_0$)

Uygulanan voltaj V , kılcal boru ile topraklanmış plaka arası mesafe L ve ortamın elektriksel geçirgenliği ϵ (dielektrik sabiti) olduğu bir düzende, elektriksel kuvvet F_E aşağıdaki eşitlik ile belirlenmektedir (Andrady, 2008).

$$F_E = \left(\frac{4\pi\epsilon v^2}{\ln(4L/R)} \right) \quad (7)$$

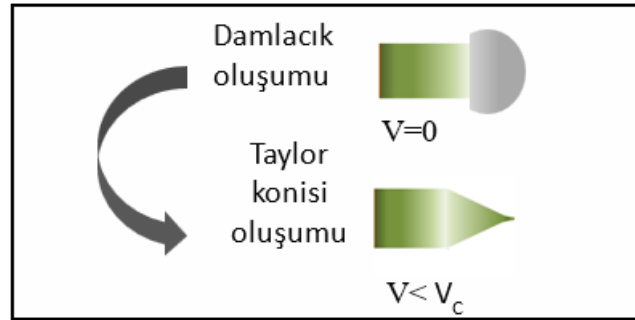


Şekil 2. 2. Damlacık oluşumu

b) Taylor konisi oluşumu: Polimer damlacığı uygulanan voltaj değerinin artmasıyla elektrostatik kuvvetlerin yüzey gerilimini aştığı ve çözeltinin elektrik alan tarafından çekilmeye başladığı andan itibaren çeşitli evrelerden geçmektedir. Elektrik alan içerisindeki damlacığa etki eden yüzey gerilim kuvveti ile elektriksel kuvvetlerin eşit olduğu durumda koni oluşumu gözlenir (Şekil 2.3) ve bu koninin tepe açısının $49,3^\circ$ olduğu Taylor tarafından gerçekleştirilen araştırmalar sonucunda belirlenmiştir. Dolayısıyla bu konik damlacık yapısı *Taylor konisi* olarak adlandırılmıştır. Taylor bazı işlem parametrelerini dâhil ederek Taylor konisi oluşumu ile ilgili gerilim değeri (V_c) denklemini oluşturmuştur.

$$V_c^2 = \left(\frac{2L}{h}\right)^2 \left[\ln(2h/R) - \frac{3}{2}(0.117\pi\gamma R) \right] \quad (\text{Denklem 8})$$

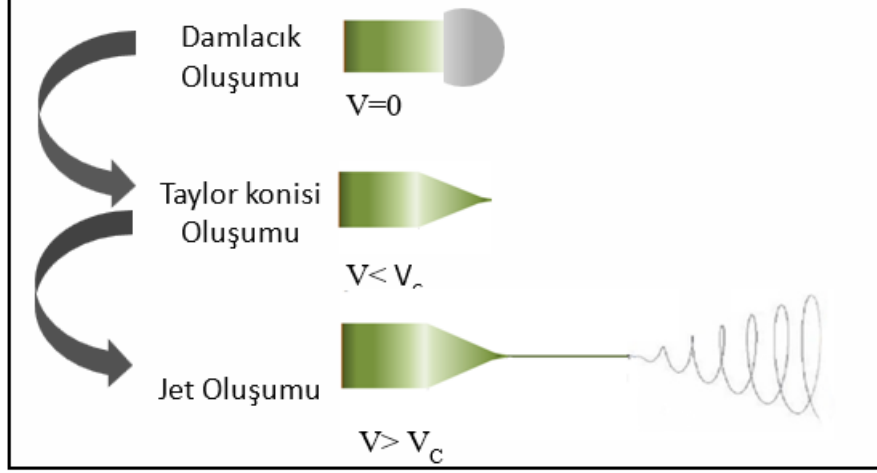
L: Enjektör ucunun toplayıcı plakaya olan uzaklığı, h: şırınga iğne boyu, R: iğne ucu yarıçapı; γ : iğne ucundaki yüzey gerilim kuvvetidir. Bu formülde belirtildiği üzere uygulanan V_c kritik voltaj değeri uygulandığında Taylor konisi oluşumu formülize edilmiştir (Andrady, 2008).



Şekil 2. 3. Taylor konisi oluşumu

c) Çözelti damlacık jetinin oluşumu: Metal şırınga iğnesinden çözeltiye uygulanan yüksek voltaj biraz daha arttırılarak elektriksel kuvvetler yüzey gerilim kuvvetinden büyük olduğu zaman şırınga ucundaki konik damlacık tekrar şekil değiştirerek jet adı

verilen duruma geçer ve toplayıcı plakaya doğru hareket etmeye başlar. Bu hareket esnasında çözücü buharlaşmakta ve eriyik katılaşarak lif formuna dönüşmektedir. (Şekil 2.4)



Şekil 2. 4. Polimer damlacığının Taylor konisi formuna dönüşümü ve kararlı jet oluşumu

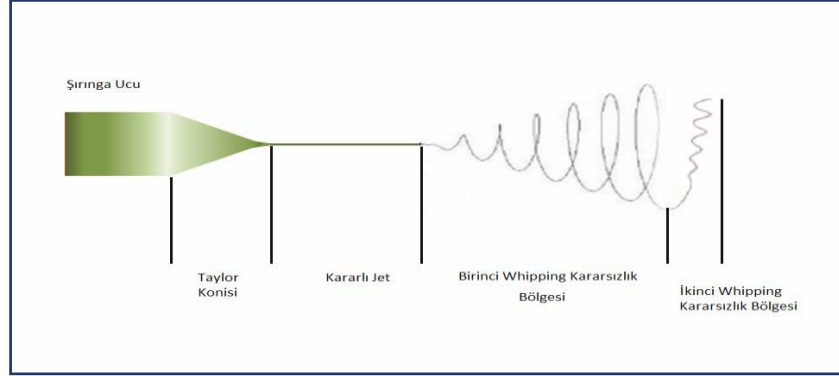
d) Kararlı bölgede jetin uzaması: Polimer jetin Taylor konisinden toplayıcıya doğru hareketi esnasında hızı da ivmesi de artış gösterir ve doğrusal bir şekilde uzayarak hareket eder. Bu hareket sırasında jetteki uzamaya ve çözücünün buharlaşmasına bağlı olarak jet çapı azalır. Jetin incelmesi ile jetin birim alana düşen yük miktarı azalır, birim kütledeki yüzey alanı da artar (Üstündağ, 2009).

e) Kararsız bölgede jet oluşumu (Whipping kararsızlığı):

Polimer jeti metal uç ile toplayıcı arasında yol alırken farklı hareketlerde bulunur. Polimer jeti Taylor konisi formundan ayrıldıktan sonra bir süre doğrusal yol alır. Daha sonra, yüklü jet toplayıcı plakaya yaklaştıkça aynı yüke sahip moleküller birbirini iterek plaka üzerine genişleyerek yayılırlar. Bu bölgede jet spiraller çizerek kararsız ve karmaşık bir yol izleyerek dallanmaya başlar. Bu kararsızlık hali "Whipping kararsızlığı" olarak tanımlanmaktadır.

Polimer jeti elektriksel kuvvet etkisi ile hızlanarak yeterince incelendiğinde, viskoelastik kuvvetler artmakta ve elektrostatik kuvvetlerden çok az büyük olduğu durumda polimer jeti dengeli olmayan hatta hafif bir hava türbülansında bile salınım hareketi yapar bir hale gelmektedir. Böylece 2. Whipping kararsızlığı oluşmuş olur. Kılcal uçtan çıkan

jet birinci ve ikinci Whipping kararsızlık bölgesinden sonra plaka üzerine gelişi güzel lifler halinde toplanırlar (Kozanoğlu, 2006).



Şekil 2. 5. Taylor konisi kararlı jet bölgesi ve Whipping kararsızlık bölgeleri

f) Lif formunda katılaşma: Kararsızlık bölgesinde polimer jetin aşırı hızlanması sonucu yüzey alanındaki artma da üst düzeyde olur. Bunun sonucunda ise jet içerisindeki çözücü buharlaşır. Jet içerisindeki çözücünün buharlaşma hızı yüksek ise jetin viskozitesi artacak, jet whipping kararsızlığı bölgesinden kısa sürede hareket edecek ve plaka üzerinde daha kalın nanofiberler oluştuğu görülecektir.

2.2.2. Elektrosinning Sürecini Etkileyen Parametreler

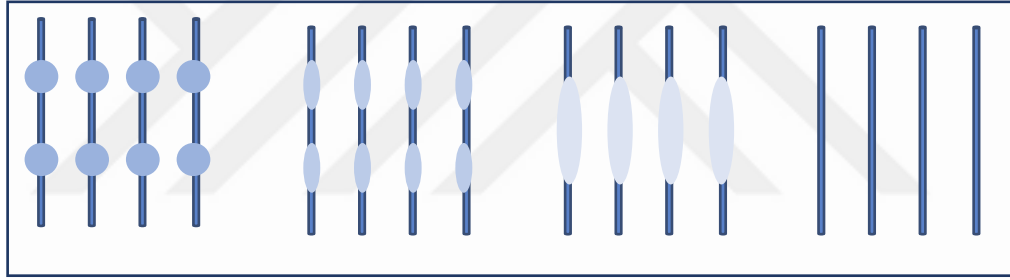
Elektrosinning yönteminin teknik olarak süreçte çeşitli işlem parametrelere dayanması, bu parametrelerin değiştirilerek farklı morfolojide farklı yapıda düzgün ultra ince nanofiber oluşumuna olanak sağlamaktadır. Elektrosinning yönteminin değişkenleri nanofiber çapı ve yüzey morfolojisine etkileri en çok ilgi çeken yönü olmuştur. Bu parametreleri genel olarak sıralayacak olursak ilk sırayı çözelti özellikleri alabilir. İkinci olarak işlem parametreleri ve üçüncü olarak da ortam parametrelerinin elektrosinning işleminde nanofiber oluşumunu nasıl etkilediğini ayrıntılı bir şekilde ele alacağız.

2.2.2.1 Çözelti parametreleri

Elektrosinning sürecini ve nanofiber yüzey morfolojisini etkileyen en önemli faktörlerin başında polimer çözeltinin özellikleri gelir. Nanofiber yüzeyinde boncuk oluşumu, lif formunu ve çapın kontrol edilmesinde polimer çözeltinin özelliklerinden örneğin yüzey gerilimi, elektriksel özellikler rolü çok büyüktür.

1) **Polimer yapısı** Farklı polimer ve çözeltiler kullanılarak farklı tip ve morfolojiye sahip nanolifler elde edebiliriz. Bunlar dallanmış nanolifler, düz şeritler, eğik şeritler, gözenekli veya buruşuk nanolifler şeklinde olabilmektedir.

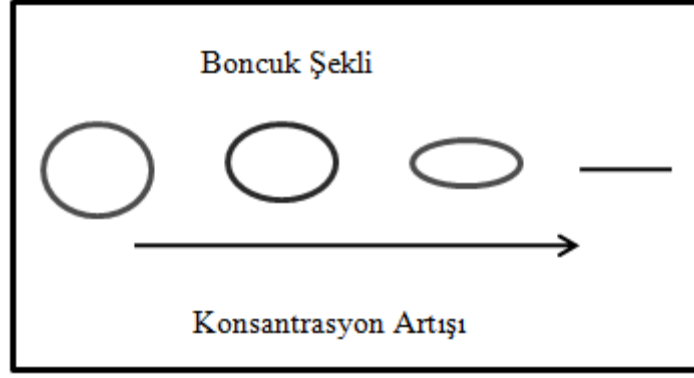
2) **Viskozite:** Viskoziteyi polimer çözeltinin akışkanlığa karşı gösterdiği direnç olarak tanımlayabiliriz. Elektrospinning işleminin gerçekleşebilmesi için çözeltinin viskozitesinin belli değerler arasında olması gerekmektedir. Viskozitenin çok yüksek olması durumunda, polimerin şırıngadan pompalanması zorlaşır ve şırınga ucundaki damla oluşabildiğinde ise çözücü kısa sürede buharlaşarak şırınga ucunda tıkanıklığa sebep olabilmektedir. Diğer bir deyişle viskozite yüksek olursa elektriksel kuvvetler, çözeltinin yüzey gerilim kuvvetini yenemeyeceğinden jet oluşumu gerçekleşmez. Viskozitenin düşük olduğu durumda ise elektriksel kuvvetler polimer üzerindeki yüzey gerilim kuvvetini aşamaz ve bu nedenle jet oluşumu gerçekleşmez veya sık boncuk oluşumu gözlenir.



Şekil 2. 6. Viskozite ile nanolif yapısının değişimi

Aynı zamanda viskozite yeterince yüksek olduğunda ikincil lifler oluşmaz, jetin whipping kararsızlığı önlenir. Böylece jetin alacağı yol azalarak çözelti daha az uzar ve oluşan liflerin çapı artar (Ramakrishna, 2005).

3) **Konsantrasyon:** Polimer konsantrasyonu elektrospinning işleminin gerçekleşmesi ve nano boyutlarda lif üretimi için oldukça önemlidir. Eğer çözeltinin konsantrasyonu çok düşük ise çözelti damlacıklar halinde düşer. Konsantrasyonu arttıkça çözelti küresel formdan uzaklaşarak lif formuna dönüşür. Konsantrasyon artışı yüksek viskoziteye de neden olacağından lif çapında artmalarda görülür.



Şekil 2.7. Çözelti derişimin de artışla boncuk şekli arasındaki ilişki

4) Molekül ağırlığı: Moleküler ağırlık çözeltinin viskozitesini oluşturan parametrelerden biridir. Aynı polimerin farklı molekül ağırlığına sahip numuneleri aynı çözücüde çözüldüğünde molekül ağırlığı büyük olan numunenin viskozitesi de büyük olmaktadır.

Polimer zincirinin uzunluğunu polimerin molekül ağırlığı belirler. Molekül ağırlığı artarsa zincir uzunluğu da artar bunun yanında zincirlerin etkileşimi de artar. Sonuç olarak viskozitesinin artmasına sebep olur. Tam olarak da bu sebepten dolayı molekül ağırlığının artması veya azalması viskoziteyi değiştireceğinden, nanolif yapısının kalın olmasına ya da boncuklu yapıda olmasına neden olur.

5) Yüzey gerilimi: Elektrosinning işleminin gerçekleşebilmesi için çözelti damlacığına etki eden elektriksel kuvvetlerin yüzey gerilimini yenmesi gerekir. Yüzey gerilimi sıvının yüzey alanı/kütle değerinin azaltma etkisine sahiptir ve elektro çekimi zorlaştıran bir faktördür.

6) Dielektrik etki: Çözeltinin dielektrik sabiti etkisi elektrosinning işlemi için çok önemlidir. Dielektrik özelliği yüksek polimer çözeltilerden elde edilen liflerin boncuklu yapısının az ve çaplarının da küçük olduğu gözlenmiştir. Çözeltinin dielektrik özelliğini artırmak ve lif morfolojisini değiştirmek için N, N dimetil formamid (DMF) gibi çözücüler eklenebilir. Çözeltiye eklenen çözücünün iyonların büyüklüğü de elektrosinning işlemini etkileyerek meydana gelen liflerin morfolojisinin değişmesine sebep olmaktadır. Örneğin NaCl ilavesi ile çapları küçük nanolif, NaH_2PO_4 ilavesi ile orta çapta nanolif, KH_2PO_4 ilavesinde ise daha büyük çapta nanolif elde edilmiştir.

Buna bağılı olarak jetteki uzama miktarını küçük ve hareketli iyonların artırdığı lif çaplarındaki azalmaya da sebep olduğu bulunmuştur (Ramakrishna, 2005).

7) Çözelti iletkenliğı: Polimer çözeltide olması zorunlu bir özelliktir. Elektrosinning işlemin de jetin oluşabilmesi için yüklerin yüzeyde akması bunun sonucunda ise çözeltinin uzaması gerçekleşmelidir. Çözeltiye tuz veya iyon ilavesi ile iletkenlik artırıldığında yük miktarı da artacağından, çözelti daha fazla uzayacaktır. Bu şekilde boncuklu yapılar oluşmaz ve daha küçük çapta daha düzgün lifler elde edilir (Ramakrishna, 2005).

8) pH değeri: Polimer çözeltinin pH değeri iletkenliğı değıştirmesinden dolayı elektrosinning sürecinde oldukça önemlidir. pH değeri artırıldığında çözelti bazik duruma geçer ve oluşan liflerin daha ince ve düzgün oldukları, pH değerinin azaltılmasıyla çözeltinin asidik duruma geçmesi ile boncuklu yapıların ortaya çıktığı üzerine bazı araştırmalar yapılmıştır (Üstün, 2011).

2.2.3.İşlem Parametreleri

1) Voltaj: Elektrosinning işleminin başlamasını sağlayan en önemli parametre, şırınga iğnesinin ucuna uygulanan yüksek gerilimdir. Şırınga iğnesinin ucuna uygulanan yüksek gerilim çözelti üzerinde biriken elektriksel yük miktarını artırarak çözeltinin ince bir jet halinde şırınga iğnesi ucu ile topraklanmış toplayıcı arasında oluşturulan potansiyel farkının ürettiğı elektrik alan yardımı ile toplayıcı $\vec{F}_E = q\vec{E}$ elektrostatik kuvvetmeydana gelir. Elektrostatik kuvvetin yüzey gerilim kuvvetini yenmesi sonucunda elektro çekim süreci başlar (Üstündağ, 2009).

Elektrosinning işleminde uygulanan gerilim 6 kV'luk kritik bir değer üzerinden değerlendirilir. 6 kV'luk değerin altında voltaj uygulaması durumunda Taylor konisi ve nano fiber oluşumu gözlenmez. Uygulanan voltaj ile jet hızı da değışeceğinden meydana gelen lifin morfolojiside değışir. Bu konuda yapılan çeşitli araştırmalara göre artan voltaj jet içerisindeki coulomb kuvvetinin fazla olmasına ve daha güçlü elektrik alan oluşturmaya, bunun sonucunda ise çözeltinin fazla uzamasına sebep olur. Aynı zamanda da çözücünün buharlaşma hızı da artacağından daha kuru liflerin oluştuğı görülür (Ramakrishna, 2005). Uygulanan voltaj kritik değerin çok üstünde olursa polimer moleküllerin düzenli bir şekilde dizilmeleri için gereken süre azalacağı için boncuklu yapılar gözlenmeye başlayacaktır.

2) Akış hızı: Akış hızı elektrospinning işlemi için kullanılabilecek polimer çözeltisinin miktarı olarak tanımlanır. Çözelti akış hızı arttırıldığında lif çapında ve boncuklu yapıda lif oluşumunda artış görülür. Bu iğne ucundan transfer edilen çözelti miktarının artmasının sonucudur (Ramakrishna, 2005). Elektrospinning de Taylor konisinin kararlı olduğu akış hızı kritik akış hızıdır. Akış hızı aynı zamanda çözeltinin iğne ucundan toplayıcıya ulaşana kadar geçirmesi gereken çözücü buharlaşma süresini sağlayabilecek düzeyde olması gerekir. Aksi halde, yeterince buharlaşma olmaz ve tam olarak kurumayan lifler birbirlerine dokundukları yerlerde yapışmaya başlar.

3) Toplayıcı plaka: Bildiğimiz gibi elektrospinning işlemi için iğne ucu ile plaka arasında bir potansiyel fark oluşturmak gerekir. Bu farkla amaçlanan iğne ucundan çıkan çözeltinin plakaya doğru itilmesi ve plaka üzerinde toplanmasının sağlanmasıdır. Tabi ki bu işlemin gerçekleşebilmesi için toplayıcı plakanın topraklanması şarttır. Farklı toplayıcı sistemler; paralel dizilişli, uyumlu lifleri elde etme, kristalinite ve dayanıklılıkta artış sağlamak, hızlı üretim ve geniş alanda lifleri toplamak, farklı nanolif yapılarının eş zamanlı üretmek gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedir.

4) Toplayıcı plaka ile iğne arası mesafe: Toplayıcı plaka ile iğne arası mesafe çok önemlidir. Bu mesafe elektriksel alan oluşumu ve jetin uçuş süresini doğrudan etkiler. Bağımsız lifler oluşturabilmek için çözücünün buharlaşması için belli bir süreye ihtiyaç vardır. İğne ucu ile plaka arası mesafe azaldıkça artacak olan elektriksel alan kuvveti ile birlikte jetin toplayıcı plakaya ivmelenmesi sağlanacak fakat çözücünün buharlaşması için yeterli zamanı bulamayacaktır. Bunun sonucunda toplayıcı plaka üzerinde birbiri ile kaynaşmış lifler veya boncuklu lif morfolojisi gözlemlenecektir. Sonuç olarak voltajın artırılması ile mesafeyi azaltmak benzer nanolif oluşumuna sebep olduğu görülür (Okyay, 2016).

Mesafeyi artırdığımızda ise lif çapında azalma meydana gelir. Mesafeyi artırdığımız bazı durumlarda ise elektrik alan kuvvetinin azalmasından dolayı lifin daha az uzaması bunun sonucunda da lif çapında artma gözlemlenir. Mesafe daha da arttırıldığında ise toplayıcı plaka üzerinde lif oluşumu gerçekleşmez (Kozanoğlu, 2006).

5) İğne Çapı: Nanofiber oluşum sürecinde iğne veya kılcal borunun çapı oldukça önemlidir. İğne iç çapının küçülmesiyle orantılı bir şekilde üretilen nanofiber çapının azalmaktadır. İğne ucundaki damlacığın boyutu küçüldükçe yüzey gerilimi artar.

Voltaj miktarı değiştirilmez ise jetin hızlanması azalır ve nanofiberlerin toplayıcı plaka üzerinde birikmesinden önce gerilmesi ve uzaması için daha fazla zamana sahip olur. İğne veya kılcal borunun iç çapı daha fazla küçültülürse polimer çözeltinin püskürtülmesi zorlaşır ve iğne ucunda tıkanmalar, boncuk oluşumu gözlemlenir (Ramakrishna, 2005).

6) Çözelti sıcaklığı: Çözelti sıcaklığı yükseldiğinde viskozite düşer ve elektrospinning işlemi sırasında buharlaşma hızı da artar. Çözelti sıcaklığının artması polimer moleküllerinin hareketliliğinin artmasına sebep olur. Böylece oluşan coulomb kuvveti çözeltinin geriliminin artmasına ve sonuç olarak da daha düzgün ve ince liflerin oluşmasını sağlar. Ayrıca yüksek çözelti sıcaklıklarında elektrospinning süreci daha hızlı gerçekleştiği ve bu durumun endüstriyel uygulamalarda daha avantajlı olacağı belirtilmiştir (Demir ve ark., 2002).

2.2.4.Ortam Parametreleri

1) Atmosfer tipi: Atmosfer bileşimindeki değişiklikler elektrospinning işlemini etkiler. Bunun nedeni elektrik alanda gazların birbirinden farklı davranışlar sergilemesidir. Örneğin He yüksek elektrik alan içinde bozularak işlemin gerçekleşmesini engeller. Bununla birlikte Freon®-12 gibi yüksek parçalanma voltajına sahip gaz ortamında üretilen fiberler aynı koşullarda hava ortamında üretilen fiberlerin iki katı büyüklüğünde çapa sahip olduğu gözlenmiştir (Ramakrishna, 2005; Robb ve Lennox, 2011).

2) Nem: Elektrospinning işleminde nemin fiber oluşumunda etkili parametrelerden biridir. Bağlı nemin yüksek oluşu sisteme uygulanan elektriksel yüklerin nem yüzünden olması gereken yerlere odaklanamayışı bunun sonucu olarak çözelti yüzeyinde yeterli elektrostatik yükleme oluşmaz ve lif yapısını etkileyen gerilimin azalmasına nanolif çapının büyümesine sebep olur (Ziğal, 2012). Nem artışı fiber çapını artırdığı gibi gözenek sayısını ve oranını da artırır.

Tablo 2. 1. PS Fiberlerinin gözenekleri üzerine nemin etkisi (Casper ve ark., 2003)

Nem aralığı(%)	Gözenek çap aralığı(nm)	En çok bulunan gözenek çapı(nm)
31-38	60-190	85
40-45	90-230	115
50-59	50-270	115
66-72	50-280	135

PS/THF ile yapılan çalışmalarda %25 'den düşük nemli ortamda düzgün fiberler elde edilirken, %31 – 38 arasındaki nem koşullarında dairesel gözenekler, %40 – 45 oranına yükseldiğinde ise gözenek şekli değişmez iken sayısı artar. Daha da yüksek nem seviyesinde ise dairesel gözenek şeklide bozulur ve sayısı da artış gösterir.

3) Basınç: Ortam basıncının azalması şırınga ucundan çıkan çözeltinin daha kolay akmasına sebep olur. Bu da istikrarlı olmayan jet çıkışı demektir. Basınç düşürülürken önce polimer jetin kabarcık oluşturduğu kritik bir değer altına indiğinde ise jet toplatıcı üzerine döküleceğinden elektrospinning işlemi gerçekleşemez.

4) Ortam sıcaklığı: Ortam sıcaklığının artışı çözücünün buharlaşmasını hızlandırır, viskoziteyi düşürür ve çözünürlüğü arttırır. Böylece polimer jetinin uzaması kolaylaşarak eş dağılımlı elyaflar elde edilir (Zeng ve ark., 2003).

2.2.5. Mo ve Cu Nanofiber Literatür Araştırması

Elektrospınleme yöntemi düşük maliyeti kullanım kolaylığı hızlı olması ve birçok malzeme türünü desteklemesinin yanında oluşan fiberlerin mikro yapısının ve çapının kontrol edilebilmesi gibi avantajları ile tercih edilen bir yöntemdir.

Khaledian ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada tetrasiklin (TCH) salınımı için polivinil alkol (PVA)/kitre sakızı (GT)/molibden disülfid (MoS_2) içeren polimerik kompozit nanofiber elektrospınleme işlemi yoluyla elde edilmiştir. Deneysel analiz sonuçlarına göre nanofiberin çapının 100 nm altında pürüzsüz olduğu, kompozit nanoliflerde MoS_2 varlığının nanolifin çekme mukavemetini artırdığını, PVA/GT/TCH/ MoS_2 nano elyaflarından TCH salınımı, PVA/GT/TCH nano elyaflarına kıyasla daha yavaş olduğu gözlenmiştir (Khaledian ve ark., 2021).

Gobalu ve ark. MoS_2 /CA nanofiber 0,2 gr MoS_2 nanotabaka tozu ile selüloz asetat türevi (CA) karıştırılarak elektrospınleme yoluyla yüzeyi pürüzsüz fiberler elde edilmiştir. Elde edilen fiberler ile Trponin I tespiti Ekran Baskılı Elektrotlar (SPE) ve EIS kullanan özel bir biyosensör geliştirilmiştir. Troponin I tespiti için yüksek hassasiyeti kullanılan MoS_2 /CA nanofiberlerden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır (Gobalu ve ark., 2021)

Jamaluddin ve ark. farklı bir çalışmada selüloz asetat mebranalar elektrospinning tekniği kullanılarak elektropun MoS_2 /PAN nanofiber ile kaplanarak saf su akışı

performansı değerlendirmişlerdir. CA mebranların saf su geçişi kaplamadan sonra %28 oranında arttığı ve kaplamanın mebranın mukavemetini iki kat artırdığı gözlemlendi. Buna nanofiber kaplamanın gözenekli yapısının saf su akışını artıran faktör olarak değerlendirildi (Jamaluddin ve ark., 2022).

Chen ve ark. diğer bir çalışmada elektrosinning ve ardından kalsinasyon stratejisi ile üretilen (IrMoO_x) nanofiberleri, katkısız IrO_x ile karşılaştırıldığında düşük pH değerlerinde üstün bir oksijen evrim reaksiyonunu (OER) aktivitesi gösterdiği gözlemlenmiştir (Chen ve ark., 2022).

Alshafei ve ark. elektrosinning metodu ile 823 K sıcaklıkta ortalama elyaf çapı 160 ± 41 nm ve kristalit boyutu 55,4 nm olan pürüssüz, makro gözenekli CuO nanopartiküllü nanofiberler üretilmiştir. Çözelti özelliklerinin işleme koşullarının etkisi üzerine bir araştırma yapılmıştır. Çözelti özellikleri değiştirildiğinde 536 nm kalınlığından ve 70 nm kalınlığı kadar ince lifler üretilmiştir. İşleme koşullarındaki değişimin elyaf homojenliğini ve elyaf çapını orta seviyede etkilediği ortaya konulmuştur (Alshafei ve Simonetti, 2020).

Dünya çapında salgınların yayılmasını önlemek amacıyla gümüş bakır gibi antiviral yüzeyler üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Cui ve ark. CuO nanoparçacık içeren nanofiberi elektrosinning yöntemini kullanarak polivinilpirolidonla üretmiştir. CuO nanopartikül içeren nanofiberin antiviral etkinliği ile CuO nanopartiküllerin etkinliğini kıyaslamışlardır. Elde edilen CuO nanoparçacık içeren nanofiberlerin H_1N_1 virüsüne karşı antiviral etkisinin yüksek olduğu salgının yayılmasını önleyebilecek potansiyelde olduğu kaydedilmiştir (Cui ve ark., 2021).

Khalil ve ark. CuO nanofiberleri elektrosinning tekniği ile sentezleyerek kızıl ötesi (IR) dedektörü olarak değerlendirilmesini yapmıştır. $10\text{-}40 \text{ mW/cm}^2$ güç yoğunluğuna sahip IR(808nm) laser diyotla aydınlatıldığında önemli bir fotoakım gözlenmiştir. Bu denli fotodeteksiyon davranışı, CuO nanofiberlerin çok yüksek yüzey-hacim oranı ve verimli elektron aktarımı sağlayan doğrusal 1D tarzda birbirine bağlı küçük kristalli alanlar tarafından tanımlanan eşsiz morfolojisi ile açıklanmıştır (Khalil ve ark., 2015).

Ungur ve ark. farklı miktarlarda CuO'nun poliüretan (PU) çözeltisinin reolojik özellikleri ve hazırlanan modifiye nano katmanların yapısı ve boyutsal özellikleri üzerindeki etkisi incelemiştir. Yüksek bakıroksit konsantrasyonlarında (%7-15) polimer

çözeltilisinin viskoziteyi artırdığı buna rağmen pürüssüz ve çapları 100-600 nm aralığında naolifler olduğu gözlemlenmiştir. Materyal Gram negatif bakteri türü E. coli ve Gram pozitif bakteri türü Saureus'a karşı yüksek antibakteriyel etki göstermiştir (Ungur ve Hrûza, 2015).

2.3. Fotokataliz Yöntemi

Fotokataliz yöntemi son zamanlarda hızla gelişen endüstrinin ortaya çıkardığı zararlı atık maddelerin etkilerini azaltmak için kullanılmaktadır. Bu yöntem UV ışığı kullanarak aktif hale getirilmiş fotokatalitik malzemenin atık sularındaki zararlı maddeleri parçalayarak zararsız ürünlere dönüşmesi işlemidir. Birçok alanda kullanılan renklendirici boyalar sularımızı kirletmekte ve deniz yaşamının oksijenlenmesini azaltarak, sucul floraya zarar vermektedir. İnsanlar da sudaki besinleri tüketmesinden dolayı dolaylı olarak etkilemektedir (Din ve ark., 2021).

Bu tür zararlı maddeleri ortamdan etkili bir şekilde giderebilmek için adsorpsiyon, kimyasal indirgeme, membran filtrasyonu, fotokatalitik bozunma gibi birçok yol kullanılmaktadır (Din ve ark., 2021). Kirleticinin boyalar olduğu durumlarda fotokatalitik indirgenme çeşitli avantajlara sahiptir. Fotokatalitik indirgenme yenilenebilir kaynak kullanımı (Güneş ışığı), basit çalışma sistemi ve boyanın tam mineralizasyonu yönleri ile üstün ve kullanışlıdır. Nanoteknolojinin nano aralıktaki malzemelerin atomik ve moleküler ölçekte kullanımı, tanımından yola çıkıldığında birçok alanda olduğu gibi zararlı kirleticilerin ışık aracılı bozunmasını gerçekleştiren nanomalzeme bazlı fotokatalitik düzeneklerde de kullanımının olması oldukça doğaldır (NM'ler-PCA'lar). Bu düzenekler, nanoparçacığın son derece yüksek kullanılabilir yüzey alanları nedeniyle, alışlagelmiş toplu katalizörlerden üstündür. Aynı zamanda elektromanyetik radyasyon (Güneş ışığı) ve fotokataliz arasındaki etkileşim, naomalzemelere has üstün yüzey plazmonik rezonansına ve kuantum sınırlama özelliklerine yol açan karşılaştırılabilir boyut ve dalga boyu nedeniyle kuantum mekaniksel olarak daha elverişlidir (Rahman ve ark., 2019).

2.3.1. Fotokatalitik Aktiviteyi Etkileyen Faktörler

Fotokataliz işlemini nitelik ve nicelik bakımından etkileyen birçok parametre vardır. Bu parametrelerin değişimi işlemin performansını etkiler. Katalizör yüzeyine gönderilen ışığın absorblanma miktarı, elektron ve boşlukların değişimi ve katalizör

yüzeyinin aktiflik miktarı; yarı iletkenin yüzey alanı aynı zamanda parçacığın kristal boyutu ve türüne, ilave edilen metal veya ametalin türüne, miktarına ve oluşan oksitlerine, uygulanan ışığın şiddetine ve ışınlama süresi, sıcaklığı, çözeltideki boya derişimi ve pH gibi birçok faktöre bağlıdır.

Yüzey alanının ve partikül boyutunun etkisi: Herhangi bir kirliliğin parçalanarak uzaklaştırılması katalizör yüzeyinde gerçekleştiği için, toplam yüzey alanının ve buna bağlı olarak tanecik boyutunun da önemli olduğu düşünülmüş ve üzerinde çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Fakat yapılan bazı çalışmalarda yarı iletkenin yüzey alanı arttıkça fotokatalitik aktivitenin arttığı görülürken, bazı çalışmalarda bu durumun tam tersi bir olay gerçekleştiği görülmektedir. Bu yüzden henüz netlik kazanmamış bir etki vardır.

Metal iyonu ilave edilmesi: Yarı iletken başka bir yapı ile temas ettiğinde, içerisinde yeni bir yük dağılımı oluşturmaktadır. Yarı iletken temas ettiği yapı ile hareketli yük taşıyıcılarının transferi sonucu, yük yüzeye yakın bölgelerde birikip birikmemesine bağlı olarak yarıiletkenin bant potansiyeli değişiklik göstermektedir. Bunun sonucunda, e_{CB}^- ile h_{VB}^+ 'nın bir araya gelerek çiftleşmesini engelleyerek, oldukça etkin bir katalitik aktivitenin gerçekleşmesine neden olurlar. Bantlar iletkenlik bandına veya valans banda yaklaşabilmektedir (Çelik, 2015).

Fotokatalizörün konsantrasyonu: Genellikle fotokatalitik aktivite ile fotokatalizörün konsantrasyonun belirli bir seviyeye kadar artırılması arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Katalizörün konsantrasyonunun daha da artırılması durumunda çözeltiyi bulanık hale getirecek ve reaksiyonun ilerlemesi için gerekli olan UV ışığın engellenmesi ve bunun sonucunda reaksiyon hızının yavaşlamasından dolayı fotokatalitik aktivitenin olumsuz etkilenmesine sebep olacaktır (Kumar ve Pandey, 2017).

Boyanın konsantrasyonu: Katalizör sabit tutulurken boya konsantrasyonunun artırılması bozunma oranını azaltırken, bozunma için gereken ışınlama süresini de uzatmaktadır (Romão ve ark., 2015; Reza ve ark., 2017).

pH: Fotokataliz başlangıç pH koşulları hedef kirletici kimyasal ve fotokatalizörün iyonlaşma seviyelerini etkilediğinden, yüzey yükleri ve elektrostatik yüzey etkileşimleri durumları için oldukça önemlidir. İzoelektrik noktası pH=6,4 olan TiO₂'nin antibiyotik giderimi çalışmalarında farklı pH koşullarında gözlenen değişken giderim verimlilikleri

pH'a bağılı olarak değişen yüzey yükü özellikleri ile açıklanmıştır (Klauson ve ark., 2010). AMX antibiyotiklerinin 2,7-7,5-9,6 pKa (maddelerin farklı pH değerlerindeki iyonlaşma derecesinin bir ölçüsüdür) değerlerinde aynı pH koşulunda farklı yüzey yükü özellikleri gösterebildiğini ve değişen yüzey yükü özelliklerinin de fotokatalizör yüzeyinde tutma seviyesini etkiledi Dimitrakopoulou ve ark. tarafından ortaya konulmuştur. Diğer bir deyişle, yüzey yükünün değişiminin proses sonucunda oluşan dönüşüm yan ürünleri değiştirdiği gerçeği ortaya konmuştur (Dimitrakopoulou ve ark., 2012). Bu değişim fotobozunumu artıran en faydalı parametrelerden biri olarak görülmektedir.

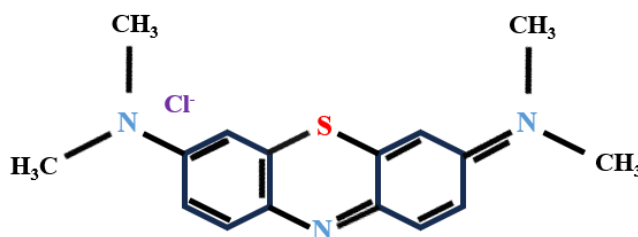
Sıcaklık: Fotokatakitik aktivite için ideal reaksiyon sıcaklığı 20-80°C arasında olarak kabul edilmektedir. Bu sıcaklık değerleri arasında fotoelektronu fotokatalizörün iletken bandına iletirmek için gereken minimum enerji miktarı (görünür aktivasyon enerjisi) küçük değerlere sahiptir. Bu durum reaksiyon hızını olumlu yönde etkilemektedir (Mashkour ve ark., 2011) .

Işık şiddetinin – yoğunluğunun etkisi: Ollis ve çalışma arkadaşları tarafından ışık yoğunluğunun fotoreaksiyon üzerindeki etkisi rapor edilmiştir (Ollis ve ark., 1991). Fotokataliz tepkimesinde kullanılacak yarı iletkenin türüne göre düşük ışık şiddetinde (0-20 mW.cm⁻²) tepkime hızı ışının yoğunluğu ile doğrusal olarak artış göstermektedir. Orta ışık yoğunluklarında (25-40 mW.cm⁻²) tepkime hızı ışık yoğunluğunun karesi ile orantılı olarak artmaktadır (Xiao ve ark., 2007). Işın şiddeti daha da artırıldığında belirli bir noktaya kadar düşük ışın şiddeti ile aynı etki gözlemlenirken eşik seviye aşıldığında elektron ve boşluk çiftinin yeniden bir araya gelmesi ile reaksiyon hızı düşmeye başlar.

Metilen Mavisi (MM): Tekstil sanayi kullandığı su miktarının fazlalığı ve biyolojik olarak çözünemeyen yüksek toksik atıklar ile çevre kirliliği ve atık sularındaki kirliliklerde ön plana çıkmaktadır. Özellikle metilen mavisi bu alanda çok fazla kullanılmaktadır (Eskizeybek ve ark., 2012). Gıda, kâğıt, tekstil, ilaç ve boya endüstrisinde renklendirici olarak kullanılan azo boyalar sulu ortamlara salındığında eko sistem yapısının bozulmasına sebep olur.

Metilen mavisi (Bazik mavi) heterosiklik aromatik kimyasal bir bileşiktir ve formülü C₁₆H₁₈N₃SCl biçimindedir ve açık hali Şekil 2.8 'de ve detay parametre bilgileri de

Tablo 2.9’da verilmiştir. Metilen mavisi organik bir boyadır ve görünür ışık altında kararlıdır. Metilen mavisinin katalizör olmadan neredeyse görünür ışık altında hiçbir ayrışmaya uğramadığı gerçeği gözlemlenmiştir. Benzer şekilde katalizör kullanılmadan karanlık ortamda, asidik ve nötr ortamda herhangi bir bozulma gözlenmemiştir. Ancak bazik ortamda oluşan hidroksil iyonlarının oluşması nedeniyle fotoliz hızla gerçekleşmektedir. (Khan ve ark., 2022)



Şekil 2. 8. Metilen mavisinin kimyasal yapısı

Çizelgede metilen mavisinin fiziksel ve kimyasal özellikleri özetlenmiş

Tablo 2. 2 . Metilen mavisinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Molekül formülü	C ₁₆ H ₁₈ ClN ₃ S
CAS numarası	61-73-4
Molekül kütlesi	319,851 g/mol
Suda çözünürlüğü	35,5 g/L
Erime noktası	100-110 °C
Renk	Koyu yeşil -mavi kristaller
Koku	Hafif kokulu
Çözünürlük	Etanol, kloroform, pridin
Buhar basıncı	25°C de 1.30×10^{-7} mm Hg (est)
UV-VIS daki max dalga boyu	660 nm

Çevre kirliliğine sebep olan MM sudan uzaklaştırılması ve çevreye zararının asgari düzeye indirilmesi için fotokataliz işleminden yararlanılmaya başlanmıştır.

Nanoparçacıkların fotokatalitik bozunmasında model reaksiyon olarak metilen mavisi kullanılmasının bazı nedenleri vardır. Bunlardan **ilki**; metilen mavisi yaygın kullanılan oldukça kanserojen etkisi olan ve sulu ortamlardan uzaklaştırmasının oldukça önemli olduğu bir maddedir. **İkincisi**; metilen mavisi UV-Vis spektrumunda karakterisik fark edilir özellikler gösterir. UV-Vis ile basit bir şekilde sulu ortamda analizi gerçekleştirilebilir. Üçüncü olarak metilen mavisinin rengi reaksiyon sırasında aktifleştirilmiş NM ‘lerin varlığında metilen mavisi daha küçük moleküllere parçalanır.

Bu nedenle de kolayca kaybolur (Chala ve ark., 2019) ve metilen mavisi fotokataliz reaksiyonlarından sonra H_2O 'ya CO_2 'ye veya daha az toksik yan ürünlere dönüşür (Mengting ve ark., 2019).

2.3.3. Mo ve Cu Fotokataliz

Nanoteknolojinin gelişmesi ile birlikte nanomalzemelerin fotokataliz, optik, elektrik gibi alanlar da kullanımları oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Fotokataliz sanayileşme sonucu kirlenen suyun temizlenmesi ve halk sağlığı koşullarının sağlanması için suyun iyileştirilmesi amacıyla kullanılan oldukça önemli bir uygulamadır. Atık suda bulunan kimyasal olarak stabil ve biyolojik olarak doğada çözünemeyen, dayanıklı, toksik ve potansiyel olarak kanserojen, organik ve inorganik bileşikler içerir. Bu kirleticilerin sudaki tahribatı ışığın suya nüfuzunu azaltırken aynı zamanda ekosistemin besin zincirinin bozulmasına da sebep olur (Ghuge ve Saroha, 2018; Kushwah ve ark., 2019).

Mo alaşımlarının fotokatalizde tercih edilmesinin bazı avantajları vardır. Fotokatalizde yardımcı katalizör olarak kullanılan asal metaller verimi artırırken, beraberinde maliyeti de artırmaktadır. Bu yüzden asal metallerin yerini tutabilecek toprakta bol ve ucuz yardımcı katalizörler gereklidir (Ma ve ark., 2018).

Ag ve Cu nanopartiküllerini yaprak, meyve kabuğu gibi doğal bitki materyalleri kullanılarak biyosentez yoluyla elde etmiştir. Ag ve Cu nanoalaşımın bakteriyel enfeksiyona ve suya karışan endüstriyel atıkların arıtılmasına karşı potansiyeli yüksektir (Valodkar ve ark., 2011). Ag ve Cu nanoalaşımının $NaBH_4$ tarafından katalizör olarak kullanılan Ag ve Cu nanoalaşımının varlığında yüksek katalitik indirgenmesi gerçekleştiği görülmüştür.

TiO_2 çok iyi bir katalizör olsada metal nanopartiküller katkılanarak yük ayırımı ve ışık Emiliminde artış sağladığı (Sarina ve ark., 2013; Moretti ve ark., 2018), bunun sonucunda ise fotokatalitik etkiyi artırdıkları Sarina ve ark. tarafından yapılan bir çalışmayla ortaya konmuştur. TiO_2 katılmış SBA-15 mezo gözenekli silika ve katkısız SBA-15Au ve AuCu NP'ler eklenerek malzeme hazırlanmış ve metilen mavisi bozunması incelenmiştir. Titanyum katkılı ve katkısız SBA -15 'e Au ve AuCu NP katkısını fotokatalitik aktiviteyi artırdığı sonucuna ulaşılmıştır (Barroso-Martín ve ark., 2018).

Fotokatalizde aşılması gereken iki kısıtlayıcı unsur vardır. Bunlardan *ilki* sınırlı ve daha kısa maruz kalma süresi, *ikincisi* ise ışıqla indüklenen yük taşıyıcıların kısıtlı kullanımıdır. Nanofiberler, etkin yük ayrımını sağlar ve elektron-deşik çiftlerinin taşınmasını kolaylaştırır, rekombinasyon olasılığını azaltır ve istenen kimyasal reaksiyonların uzun süre devam etme olasılığını artırır. Nanofiberlerin sahip olduğu plazmonik özellikleri, fotokataliz mekanizması, heteroeklemler ve asil metal fonksiyonu gibi birçok açıdan nanoparçacığa göre tercih sebebi olmuştur. Nanofiberler çok çeşitli polimer kullanılabildiği için geniş bir fiziko kimyasal özellik ve potansiyel uygulama alanı sağlar. Ayrıca, yüksek modifikasyondaki esneklikleri, gözenekliliğinin fazla olması, gelişmiş mekanik özellikleri, geniş yüzey- hacim oranları ile oldukça önemlidir.

Elektrospinning fotokatalitik reaksiyonlar için benzersiz özellik ve uygulamaya sahip yüksek yüzey alanlı nanofiber üretiminin yapılmasına olanak sağlar. Artan yüzey alanı ışık emilimini artırır, dolayısı ile foto indüklenen yük taşıyıcıların oluşumunu artırır. Elektron-deşik rekombinasyonunu engeller, enerji israfını azaltır ve çoklu yük transfer yollarını destekler. Böylece istenilen gelişmiş fotokatalitik aktivite elde edilmiş olur (Pathak ve ark., 2023).

Li, X., ve arkadaşları yaptığı çalışmada Z-düzeni heteroeklemlı $\text{TiO}_2@\text{Ag}@\text{Cu}_2\text{O}$ nanofiber fotokatalizörü elektrospinning yoluyla hazırlanmış ve görünür ışık altında metilen mavisinin de 2 saat içerisinde %99 oranlarına varan yüksek verimlilikte bir bozunma gözlemlemiştir (Li ve ark., 2021).

Hu, Z., ve arkadaşları esnek SiO_2 nanofiberlerini sol jel, elektrospinning tekniklerini kullanarak hazırlamış ve CuO nanokristalleri ile katkılammıştır. Rodamin B kullanılarak yapılan fotokatalitik su arıtma yeteneği araştırılmış ve SiO_2 CuO nanofiberlerinin esnek, termal olarak dirençli ve fotokatalitik reaktif olduğu kaydedilmiştir (Hu ve ark., 2015).

Bir diğer çalışmada Lu ve ark. p - MoO_3 nanoyapıları/ n - TiO_2 nanofiber heteroeklemleri (p - MoO_3 / n - TiO_2 –NF-HJ'ler) iki aşamalı bir üretim yöntemiyle elde edilmiştir. İlk olarak MoO_2 TiO_2 nanofiberleri üzerinde hidrotermal olarak büyütüldü, ikinci olarak ısıtıl işlem ile MoO_2 ' nin MoO_3 'e faz geçişine bağlı olarak p - MoO_3 / n - TiO_2 –NF-HJ'ler elde edildi. Hidrotermal proseste molibden öncülünün konsantrasyonunun artmasıyla p-n nanoheterobağlantılar, fotoluminesans yoğunluğunu azalttı, fotojenlenmiş elektronları ve deşik rekombinasyonlarını bastırarak yük ayrımını ve

fotokatalitik verimliliği (TiO_2 nanoliflere göre) arttırdığı gözlemlenmiştir (Lu ve ark., 2014).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Laser Ablasyon Yöntemi

3.1.1 Laser Ablasyon Yöntemi Kullanılan Aygıt ve Malzemeler:

Hassas terazi: Laser ablasyon için kullanılacak ham maddenin ablasyon öncesi ve sonrası ölçme işleminde, elektrospinning prosesinde kullanılacak polimer çözeltilerinin belirlenen konsantrasyonlarda hazırlanabilmesi için AND HR-250AZ model hassas terazi kullanılmıştır (Şekil 3.1 a)



a) Hassas terazi



b) Manyetik karıştırıcı

Şekil 3.1. a) Hassas terazi b) Manyetik karıştırıcı

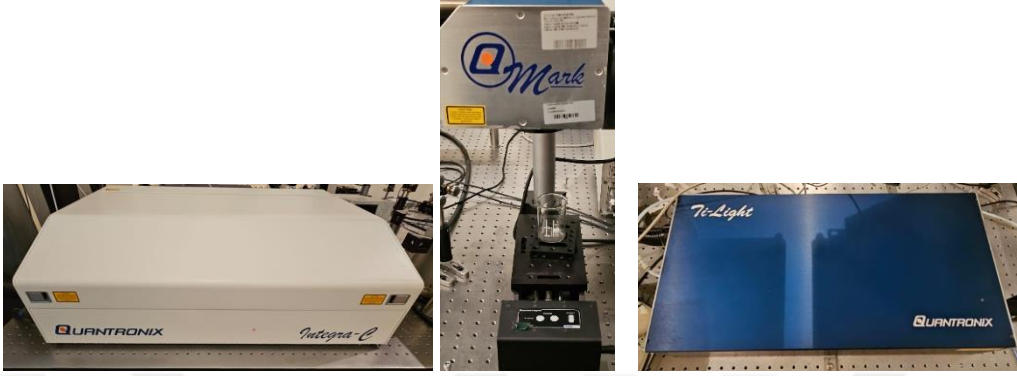
Manyetik karıştırıcı: Elektrospinnig ve laser ablasyon prosesinde kullanılmak üzere hazırlanan polimer çözeltilerinin homojen olarak karışabilmesi için, IKA RCT classic marka ısıtmalı manyetik karıştırıcı kullanılmıştır (Şekil3.1.b).

Femtosaniye Laser:

Çalışmamızda nanoparçacık üretimi Quantronix Ti-Light lazer sistemi ile pompalanan Quantronix Integra-C-3.5 lazer yükselticiden elde edilen pulsar ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan pulsarın genel parametreleri 90 fs puls süresi ve 1 kHz tekrarlama oranı ile 800 nm temel dalga boyunda lazer demetleri kullanılmıştır.

DMF (*N, N-dimetilformamid*, C_3H_7NO): Nanoparçacık üretiminden sonra Poliakrilonitril (PAN) polimerine katkılanarak elektrosponning işlemi yapılacağı için en uygun çözücü olan Chemsolute marka DMF kullanılmıştır.

Ayrıca nanoparçacık üretmek için Cu ve Mo tablet kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Femtosaniye laser sistemi

3.1.2.Laser Ablasyon Yöntemi ile Mo Cu ve Mo-Cu Nanoalaşım Üretim

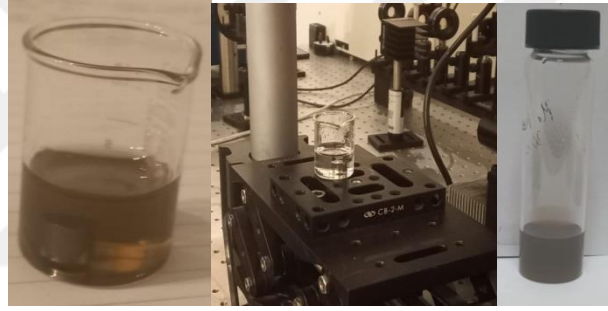
Laser ablasyon işleminin başlatılabilmesi için öncelikle gerekli malzemeler elde edildi. DMF, Mo ve Cu tablet ana malzemeyken femtosaniye laser, manyetik karıştırıcı, hassas terazi, miknatis, pipet, cam deney kapları kullanılan araç ve gereçler temin edildi.

Cu Nanoparçacık: İşlem için öncelikle cam petri kabına pipet yardımı ile önce 6 ml DMF sonra da bakır tablet tartılarak içine konuldu. İlk kütle hassas terazide $m_{Cu}=0,1985$ gr olarak ölçüldü. Femtosaniye laser sistemi odak uzaklığı 11 cm olacak şekilde ayarlandı. 550 mW laser gücünde 0,8 cm çapında laser üretilip mekanizma içerisindeki aynalar ve mercek yardımıyla 0,7 mikrona kadar odaklandı ve 30 dk boyunca sıvı içerisine konan Cu tablet üzerinden nanoparçacıklar PLAL yöntemi ile ablate edilerek koparıldı (Şekil 3.3). Yine son kütle hassas terazide $m_{Cu}=0,1981$ gr olarak ölçüldü. Sonrasın da ağzı kapalı cam tüp içerisine alındı.



Şekil 3.3. Cu nanoparçacık üretimi

Mo nanoparçacık: Cu nanoparçacıkların üretimine benzer işlemler yapılarak DMF çözelti içerisinde konulan Mo, Cu ile aynı şartlardaki lasere sürecine maruz bırakılarak Mo nanoparçacık üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4). Laser ablasyon yoluyla üretilen Mo nanoparçacık miktarı, ablasyon öncesi $m_{Mo}=2,0667$ gr iken ablasyon sonrası $m_{Mo}=2,0670$ gr olarak ölçülmüştür.



Şekil 3. 4. Mo nanoparçacık üretimi

Cu/Mo nanoparçacık: Cu/Mo nanoparçacık üretimi için önce Cu nanoparçacık PLAL yöntemi ile üretildi. Daha sonra sıvı içerisinde manyetik karıştırıcı konularak ve sıvı içerisindeki hedef noktaya Mo tablet yerleştirilerek, sıvı sistemi bir manyetik karıştırıcı ile sürekli karıştırılırken, eş zamanlı olarak laser odaklanmak sureti ile Mo nanoparçacık üretimi gerçekleştirildi (Şekil 3.5). Bu süreçte, laser ablasyon uygulaması öncesinde 6 ml DMF içerisinde konulan Cu hedef numune ilk kütlesi $m_{Cu}=0,1971$ gr olarak ölçüldü ve laser ablasyon uygulaması sonrasında son kütlesi $m_{Cu}=0,1960$ gr olarak ölçülerek 0.0011gr Cu nanoparçacık üretildiği belirlenmiş, aynı sürecin ikinci aşamasında laser ablasyon uygulaması öncesinde Mo hedef numune ilk kütlesi $m_{Mo}=2,0667$ gr ve laser ablasyon uygulaması sonrasında Mo hedef numunenin son kütlesi $m_{Mo}=2,0657$ gr olarak ölçülmüştür. Diğer bir deyişle, 0.0010 gr Mo nano parçacık üretilmiştir.



Şekil 3.5. Mo-Cu nanoparçacık üretimi

3.2. Elektrosinning Yöntemi

3.2.1. Elektrosinning Yöntemi Kullanılan Araç ve Malzemeler

Yüksek voltaj güç kaynağı: Bu çalışmada, nanolif üretimi için kullanılan elektrosinning işleminde polimer çözeltisinden nanolif üretmek için gerekli olan elektrik alan Glassman High Voltage Series El güç kaynağı kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 3.6a). Kullanılan güç kaynağı maksimum 50 kV'a kadar DC güç güç beslemesi gerçekleştirebilmektedir.



a)



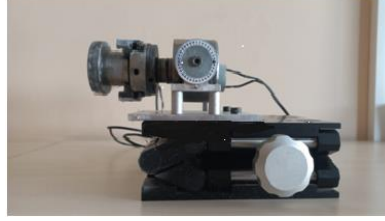
b)

Şekil 3.6. a) Glassman yüksek voltaj güç kaynağı b) New Era marka şırıngalı pompa

Şırınga pompası: Elektro çekim işlemi esnasında polimer solüsyonunun çekim bölgesine yeterince yavaş ve kontrollü beslenmesini sağlamak için besleme ünitesi olarak NEW ERA şırıngalı pompa kullanılmıştır (Şekil 3.6b).

Toplayıcı plaka: Elektrosinning ile elde edilecek nanolifli yüzeylerin son kullanım alanı göz önünde bulundurularak, liflerin döner bir toplayıcı üzerinde dağınık bir şekilde rastgele konumlanması uygun görülmüştür. Toplayıcı plakanın ölçülerine uygun olarak kesilen alüminyum folyo, döner plaka üzerine yerleştirilerek nanoliflerin bu yüzeye toplanması sağlanmıştır. Gereken elektrik alanını sağlayabilmek için alüminyum plaka topraklanmıştır. Toplayıcı (alt tabaka) olarak 5 cm çapında dönen bir

alüminyum levha kullanılmıştır. Alüminyum levha kullanılmasının önemi, şırınga pompasının iğnesi ile kollektör plakası arasına belirli bir mesafede yüksek gerilim uygulandığında, oldukça büyük bir elektrik alanının (yaklaşık 75000 V/m) oluşması ve bunu iletmek için bir iletken ihtiyacı duyulmasıdır.



Şekil 3.7. Dönen toplayıcı plaka

Hassas terazi: Laser ablasyon için kullanılacak ham maddenin ablasyon öncesi ve sonrası ölçme işleminde, elektrospinning prosesinde kullanılacak polimer çözeltilerinin belirlenen konsantrasyonlarda hazırlanabilmesi için de AND HR-250AZ model hassas terazi kullanılmıştır.

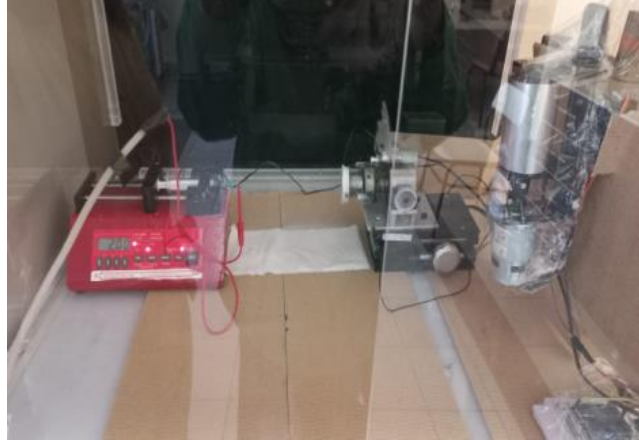
PAN (Poliakrilonitril, $C_2H_3NO_5$): Düşük maliyeti, yüksek korozyon direnci, hafifliği, yüksek mukavemeti gibi üstün özellikleri ve çok yönlü uygulamalara açık olması ile PAN polimeri, birçok sektörde kullanılmaktadır. Poliakrilonitril (PAN) polimerleri uygun çözücüler içerisinde çözülerek elektrospinning için yeterli akışkanlıkta polimer çözeltisi haline getirilebilmektedir. PAN polimeri için çözücü olarak en çok dimetilformamid (DMF) ve dimetilasetamid (DMAc) çözücülerini kullanılmaktadır (TİYEK ve ark., 2016). Bizim çalışmamızda Aldrich firması tarafından sağlanan PAN (Poliakrilonitril) polimeri kullanılmıştır.

3.2.2. Elektrospinning Yöntemi ile Cu, Mo ve Cu-Mo Nanofiber Üretimi

Elektrospinning işlemi için gerekli olan malzemeler DMF içerisinde elde ettiğimiz Cu, Mo, Cu/Mo nanoparçacık, PAN; araç-gereçlerde ise elektrospinning düzeneği (şırınganın konulduğu besleme hızı ayarlanabilir pompa, manyetik karıştırıcı ve hassas tartı kullanıldı. Nanolif üretimi için kullanılacak olan elektrospinning sistemi gerilim kaynağı, besleme hızı ayarlanabilir şırınga ve toplayıcıdan oluşur (Şekil 3.8).

Üretmiş olduğumuz Cu, Mo, Cu/Mo DMF’li nanoparçacıklardan nanofiber üretmek için elektrospinning yöntemi kullanıldı. Bu süreçte DMF içerisinde üretmiş olduğumuz

nanoparçacıklara uygun ve düşük maliyetli PAN ilave edilerek elektrospinning için yeterli akışkanlıkta çözelti elde edilmiştir.



Şekil 3.8. Elektrospinning sistemi

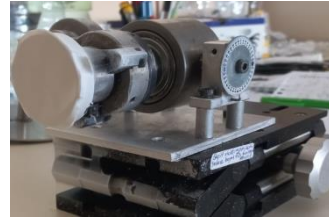
%3 oranında PAN çözeltisi hazırlamak için 4,16 DMF+Cu içine 0,15 PAN konularak 60 °C derecede ve dakikada 300 devirde yaklaşık bir saat manyetik karıştırıcıda karıştırıldı ve bir gün bekletildi. Hazırladığımız homojen solüsyon şırınga içine konularak, şırınga 2 ml/h besleme hızıyla sürüldü. İğne ucu ile toplayıcı plaka arası 15 cm mesafe olacak şekilde ayarlandı ve iğne ucuna 18 kV gerilim ve toplayıcı alttabaka üzerine de topraklama uygulanarak 30 dk boyunca nanolif üretimi gerçekleştirildi. Plaka üzerine yapıştırılmış alüminyum folyo da birikmiş nanolifler dikkatli bir şekilde petri kabına konuldu.



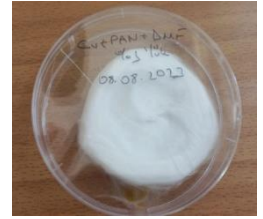
a)



b)



c)



d)

Şekil 3. 9. Elektrospinning süreci a) Hassas terazi b) Manyetik karıştırıcı c) Dönen toplayıcı plaka d) Plaka üzerinden çıkarılmış nanolif

%3 'lük PAN çözeltisi hazırlamak için 4,16 DMF+Mo içine 0,15 PAN konularak 60°C derecede dakikada 300 devirde yaklaşık bir saat manyetik karıştırıcıda karıştırıldı ve

bekletildi. Aynı şartlar altında (2ml/h besleme hızı, 15 cm mesafe, 18kV gerilim) Mo nanolif üretildi.

%3 'lük PAN çözeltisi hazırlamak için 4,16 DMF+Mo+Cu içine 0,15 PAN konularak 60C⁰ derecede dakikada 300 devirde yaklaşık bir saat manyetik karıştırıcıda karıştırıldı ve bekletildi. Elektrosinning şartları değiştirilmeden (2ml/h besleme hızı, 15 cm mesafe, 18kV gerilim) Mo+Cu nanolif üretildi.

3.3.Fotokataliz Yöntemi

3.3.1.Fotokataliz Yönteminde Kullanılan Araç ve Malzemeler

Metilen Mavisi: Fotokataliz işleminde Kimyalab marka sıvı halde bulunan metilen mavisi kullanılmıştır.

Fırın:



Şekil 3. 10. Quarts Tüplü Fırın

Laboratuvarımızda mevcut olan nanolifleri tavlama için kullanılan önce vakumlayıp sonra oda sıcaklığı ile 1100°C arasındaki sıcaklıklarda çalışan quarts tüplü YKY markalı fırın kullanılmıştır. Tube fırın, maksimum 1100°C sıcaklığa kadar ısınmakta ve maksimum ısınma oranı dakikada 10°C dir. Quarts tüplü tüp fırın, vakum altında ve düşük basınçlarda çalışabilirken, sıcaklık doğruluğu bir derece fark gösterebilmektedir.

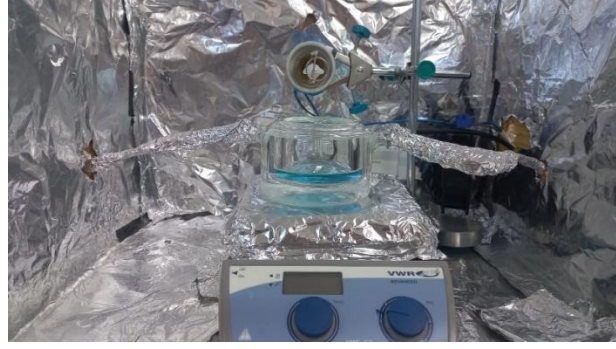
Manyetik Karıştırıcı:



Şekil 3. 11.Manyetik karıştırıcı

Manyetik karıştırıcı fotokataliz sistemi içerisinde malzemenin homojenliğini sağlamak ve katalizörün karışımın her yerine ulaşması için kullanılmaktadır.

Fotokataliz sistemi:



Şekil 3. 12.Fotokataliz sistemi

Fotokataliz sistemimizin etrafı alüminyum folyo ile kaplıdır. Çift katlı cam kap (içinde su akışı olması için) homjen bir karışım oluşturabilmek için manyetik karıştırıcı ve soğutmanın gerçekleşmesi için su giriş çıkışı sağlayan bir boru sitemi ve güçlü bir gün ışığını simüle eden 250 W metal halojenür lambadan (GE ARC250/T/H/960E40) oluşmaktadır (Gündoğdu ve ark., 2024)

3.3.2. Fotokataliz yöntemi ile Mo, Cu ve Mo-Cu nanofiberlerin incelenmesi

Fotokataliz işlemi için PLAL yöntemi ile ürettiğimiz nanoparçacıklardan elektrospinning yöntemi ile elde ettiğimiz nanofiberlerin metilen mavisi için fotokataliz sürecini araştırdık ve elde edilen sonuçları değerlendirdik. Sonucu etkileyecek parametrelerden pH'ın artırılması, malzemenin tavlama faktörleri kullanılarak fotokataliz sonucunun nasıl etkilendiği sorusuna cevap bulunmaya çalışılmıştır. Bunun için Mo ve Cu nano parçacıkları ve Mo-Cu nanoalaşımının katkılanmasıyla elde ettiğimiz nanofiberler sonucun etkilenmemesi için eşit boyutta parçalara ayrıldı. İki eş parçaya ayrılan nanofiberlerden biri 300⁰C sıcaklıkta 5 dk önce vakumlanıp daha sonra 300 ⁰C sıcaklıkta 5 dk tavlandı.



Şekil 3. 13. Elektrosinning ile ürettiğimiz Cu+PAN nanolif

Fotokataliz sistemine 100 ml saf su içerisine 100 μ l metilen mavisi ve balık konularak 5 dk manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırıldı ve ikiye ayırdığımız nanolifin bir parçası konuldu. Daha sonra ilk numune alınarak 0 numaralı numune olarak kaydedildi. Sistemin üzeri ışık görmeyecek şekilde kapatılarak 30 dakika karıştırıldı. Yarım saat sonrasında alınan numune dark (yani karanlık) olarak kaydedildi. Fotokataliz sisteminin ışığı yakılarak her 20 dk da bir olmak üzere 240 dk boyunca örnekler alınarak sırasıyla 20, 40,.....200, 220 ve 240 dk 'da alınan örnekler olarak kaydedildi.

Fotokataliz sisteminin içerisine yine 100 ml saf su içerisine 100 μ l metilen mavisi balık konularak 5dk karıştırdık daha sonra eş parçalardan diğerini koyarak karanlıkta 30 dk karıştırdık 0 ve dark numunelerini alındıktan sonra 100 ml baz eklenip ışık açıldı. 20 dakikada bir olmak üzere numuneler alınarak numaralandırıldı.



Şekil 3. 14. 300 $^{\circ}$ C de 5 dk tavllanmış Cu nanolif

100 ml saf su içerisine 100 μ l metilen mavisi ve ikiye ayırdığımız nanolifin bu sefer fırında 300 $^{\circ}$ C sıcaklıkta 5 dakika tavllanmış nanolif konularak ilk önce baz eklemeyen ve daha sonra baz eklenerek 20 dakikada bir numune alındı. Bu işlem Mo, Cu ve Mo-Cu nanoalaşımdan elde edilen nanolifler için pH= 10, pH =7 için tavllanmış ve

tavlanmamış numuneler için tekrar edildi. Yapılan fotokataliz süreci ile alınan numuneler Uv-vis spektrometresi ile metilen mavisi bozunma derecesi hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır.



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1 Morfolojik özellik



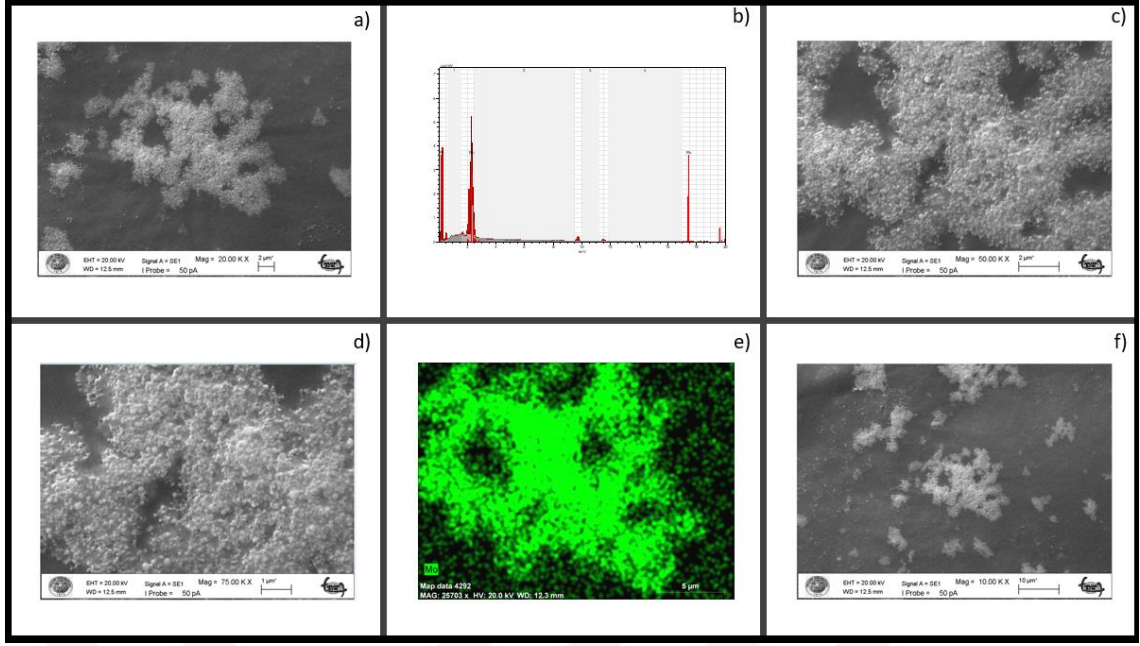
Şekil 4. 1.SEM Analiz ünitesi

Elektrooptik prensipler çerçevesinde tasarlanmış taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope-SEM), yüksek enerjili elektronların çok küçük bir alana odaklanması ile yüzeyin taranması prensibiyle çalışmaktadır. Uygun numunelerde 3 nanometre çözünürlüğe kadar inilerek görüntü alınlabilmelidir. İhtiyaç duyulan analize göre yüzey görüntüsü ya da belli noktaların elementsl analizi elde edilebilmektedir.

EDX: X ışınları difraksiyon sistemine göre, incelenen numunenin 200 nm yüzeyinden soğurma yapar ve hangi elementleri içerdiğini % olarak verir. Aynı zamanda bu elementlerin dağılımı hakkında bilgi edinilmesini sağlar.

4.1.1 Nanoparçacık Görüntüleri

Mo ve Mo-Cu nanoparçacıkları femtosaniye laser ablasyon ile üretilmiştir ve SEM görüntüleri alınmıştır. Ultrasonic Cleaner makinesinde 5 dakika karıştırılmış yeterli homojenlikte nanoparçacık çözeltisi sağlanmıştır. Daha sonra her iki numuneden birer damla alınarak cihaz numune üzerine konularak kuruması beklenmiştir. Tamamen kuruduktan sonra vakum sisteminde argon gazı ile plazma oluşturularak altın nanoparçacıklarını koparıp Mo@Cu ve Mo numunenin üzerinin kaplanması sağlanmıştır. Hazırlanan Mo ve Mo@Cu nanoalaşımı ayrı ayrı SEM cihazı içerisine yerleştirilerek görüntü alınmıştır.



Şekil 4. 2. Mo nanoparçacığın 2µm de yaklaştırılmış, uzaktan (c-a) ve 1 µm ve 10 µm deki (d-f)) FE-SEM görüntüsü, element haritalanması ve EDX analizi (b-e)

Tablo 4 1..Mo nanoparçacığın element oranları

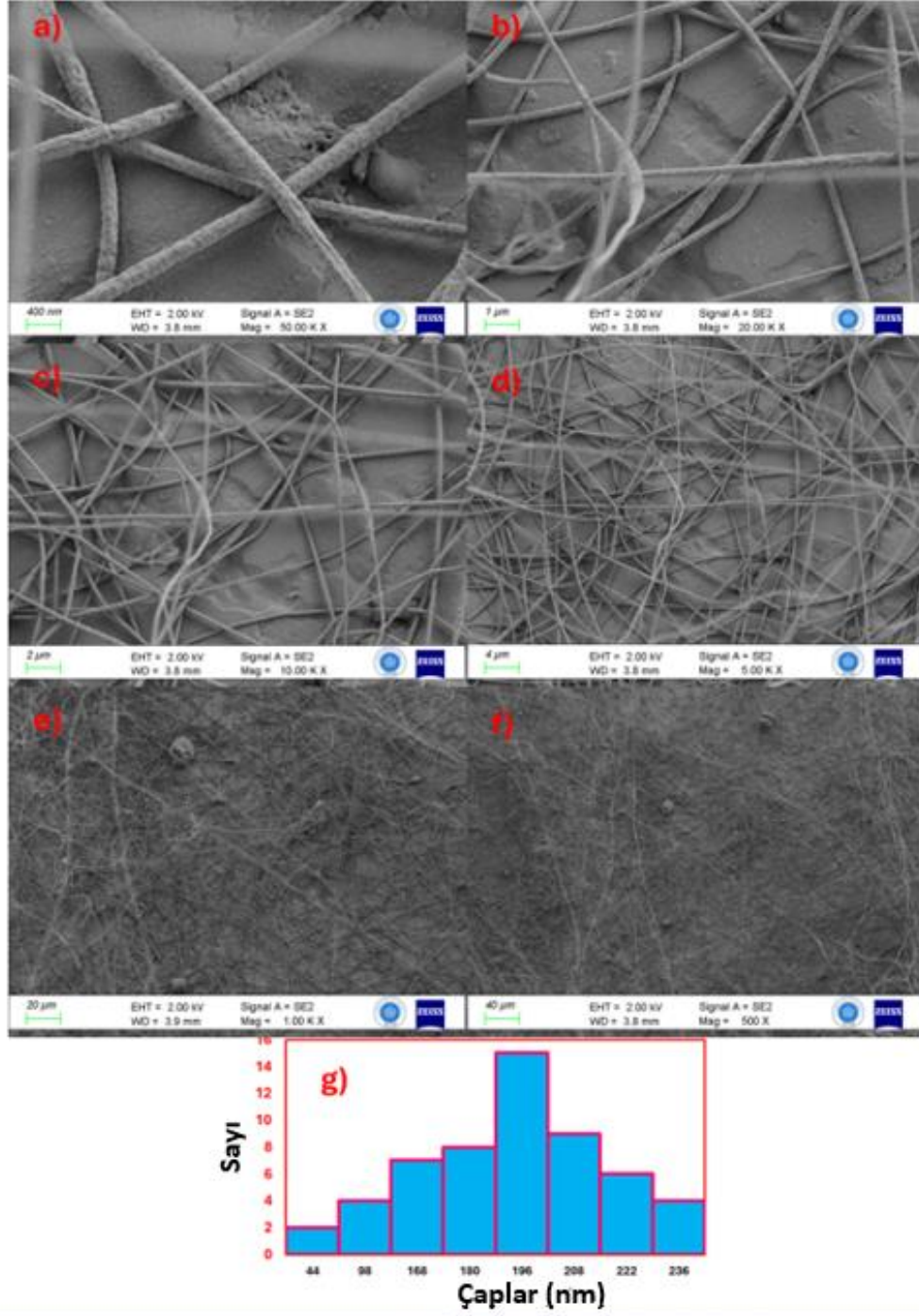
Spectrum: Map					
Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Molybdenum	L-series	40.61	100.00	100.00	1.5
Total:		40.61	100.00	100.00	

Üretilen Mo nanoparçacığın yüzey morfolojisini incelemek ve araştırmak için SEM görüntüleri alınmıştır. Alınan Mo görüntülerinde Şekil 4.2 d) de parçacık yapısının düzgün olmadığı, Şekil 4.2 f) de kümelenmelerin meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca elektron demetiyle bombardıman edilen katı numuneden yayılan X-ışını spektrumu kullanılarak kimyasal analiz ve dağılım haritası elde edilmiştir. Şekil 4.2 b) de 5µm'lik bir noktaya odaklanılarak EDX analizi yapılmıştır. Tablo 4.1 de çözeltinin etanol içerisinde üretilen Mo nanoparçacık element analizi sonucunda Mo nanoparçacıkların ortamda var olduğu ve laser ablasyon ile nanoparçacıkların temiz bir şekilde üretildiği görülmektedir.

4.1.2 Nanofiber Görüntüleri

Hazırlanmış olduğumuz 4,16 DMF + Mo@Cu çözeltisi içerisine 0,15 PAN koularak hazırlanan çözeltimiz şırıngaya konuldu ve şırıngamız 2 ml/h numune sürme hızına

ayarlanmıştır. İğne ucu ile toplayıcı plaka arası 15 cm olarak ayarlandı ve iğne ucuna 18 kV gerilim uygulanarak 30 dk boyunca nanolif üretimi gerçekleştirildi.



Şekil 4. 3. Mo@Cu nanolifin FE-SEM görüntüleri a) 400 nm, b) 1 μ m, c) 2 μ m, d) 4 μ m, e) 20 μ m, f) 40 μ m ve g) boyut analizi grafiği

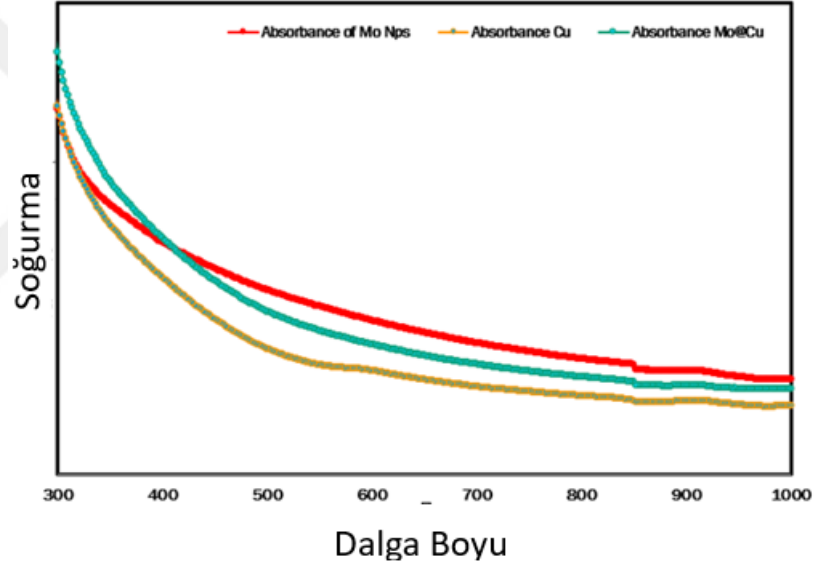
Ürettiğimiz nanoliflerin FE-SEM görüntüleri alındı Şekil 4.3'teki FE-SEM görüntüleri farklı aralıklar için nanolif görüntülerini vermektedir. 400 nm aralıkda alınan görüntüde nanolifin düzgün ve boncuksuz nanofiberler oluştuğu gözlemlenmiştir. Üretilen

nanoliflerin çaplarının yaklaşık 50 nm ile 250 nm aralığında değiştiği şekil 4.3 g) de boyut analizi grafiğinde görülmektedir.

4.2 Optik zellikler

Malzemelerin optik zellikleri UV-Vis (Ultraviyole-Görünür) spektrometresi ile analiz edilebilir. UV-Vis analizi 1 nm ile 1100 nm'ye kadar genişliğindeki bir yarık kullanarak spektra toplayan UV-Vis tek ışınılı diyot dizisi spektrometresi ile yapılmaktadır. UV, görünür ve infrarede yakın elektromanyetik spektrumu aydınlatmak için deuterium ve tungsten lambalar kullanılmaktadır. UV-Vis absorpsiyon spektroskopisi bir ışın demetinin bir örnekten geçtikten veya bir örnek yüzeyinden yansıtıldıktan sonraki azalmasının ölçülmesidir. Işığ şiddetinin azalması soğurulmanın arttığını göstermektedir.

4.2.1 Nanoparçacık UV-Vis spektrometresi



şekil 4. 4. Üretilen Mo, Cu ve Mo@Cu Nanoparacıkın görünür ışık altında soğurma spektrumu

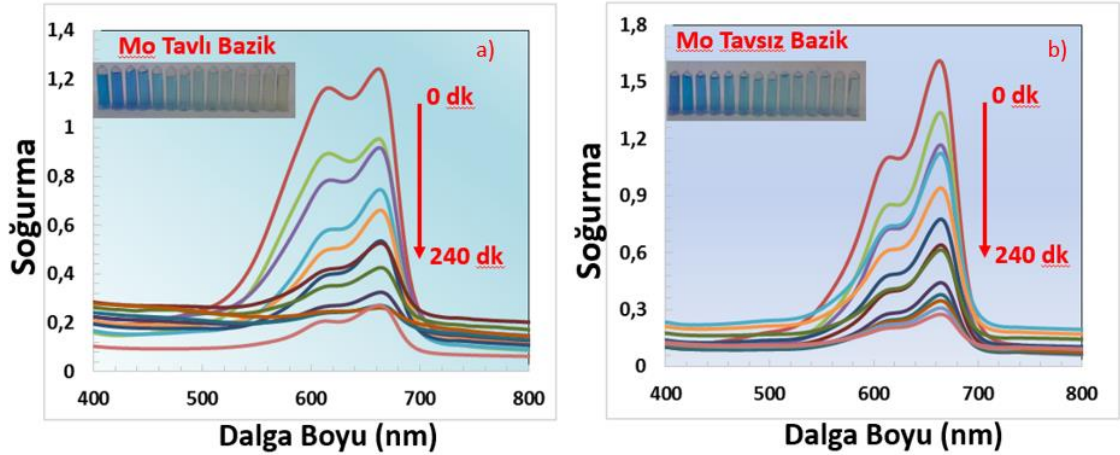
Femtosaniye laser ablasyon ile Mo, Cu ve Mo@Cu nanoparçacıkları DMF içerisinde üretilmiştir. Üretmiş olduğumuz nanoparçacıkların UV-Vis spektroskopisi ile elde edilen soğurma spektrumları her üç numune için de karşılaştırmalı olarak şekil 4.4 ile verilmektedir. Bunun sonucunda görünür ve yakın kızılötesi bölgesinde soğurganlığın Mo için yüksek olduğu, UV bölgede ise Mo@Cu nano- alaşımının soğurganlığının yüksek olduğu grlmştir.

4.2.2 Fotokataliz UV-Vis Spektroskopisi

Elde ettiğimiz nanoparçacık, nanolif ile farklı şartlarda yapılan fotokataliz süreci UV-Vis spektrometresi ile metilen mavisi bozunma derecesi hakkında bilgi edinilmeye

çalışılmıştır. Fotokataliz işlemi sırasında pH değişimi, nanolifin tavlama faktörleri değiştirilmiş ve tüm numuneler için görünür ışık ve yakın kızıl ötesi ışık altında soğurma spektrumları elde edilmiş ve yorumlanarak sürecin takibi gerçekleştirilmiştir.

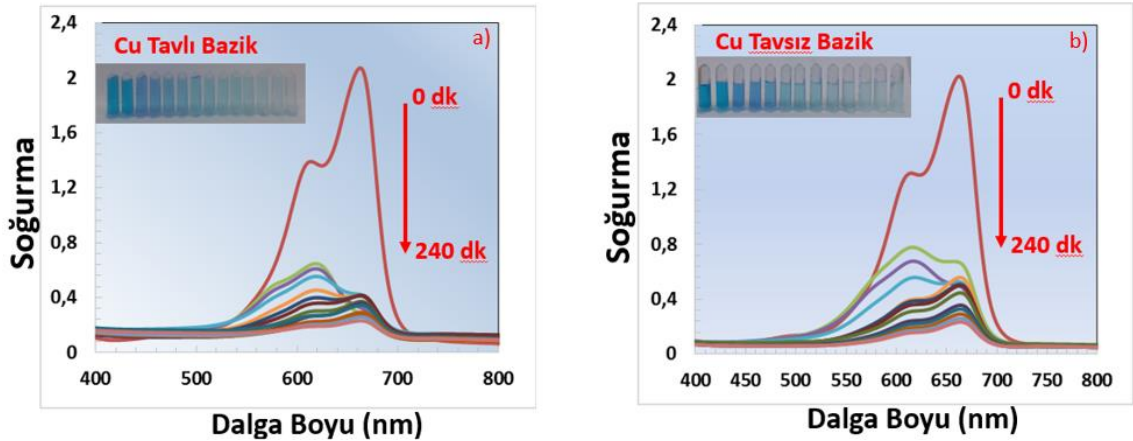
Çalışmanın başında cihazdan kaynaklanan hataları en aza indirgeyebilmek için UV-Vis spektrofotometre cihazı sıfırlama işlemi yapılmıştır. Önce hücrelerden birine boş bir tüp konularak havaya karşı okuma sağlanmıştır. Daha sonra birinci gözde boş kap ikincisine ise ilk ve her yirmi dakikada aldığımız numuneler sırasıyla konularak absorbans okumaları yapılmıştır. Fotokataliz işlemi Mo, Cu ve Mo@Cu nanofiberler kullanılarak yapılmıştır. Aynı zamanda metilen mavisi çözeltisi içerisine baz eklenmesinin ve fiberlerin tavlama foto bozunuma etkisi gözlemlenmeye çalışılmıştır. Her bir nanofiber üzerinde yapılan dört farklı fotokataliz işlemi için (Örneğin tavlama pH=10 da Mo, tavlama pH=10 da Mo, tavlama baz eklenmeden Mo ve son olarak tavlama baz eklenmeden Mo) UV-Vis analizi yapılmış ve çizilen grafikler yorumlanmıştır.



Şekil 4. 5 a)Tavllanmış Mo nanolifin, bazik ortamda 20 dk ile 240 dk arası görünür ışık altında dalga boyuna bağlı soğurma spektrumu ve alınan numunelerin renk değişimi (küçük kare) b) Tavlansız Mo nanolifin, bazik ortamda 240 dakika boyunca görünür ışık altında soğurmasının zamanla değişimi ve alınan numunelerin renk değişimi (Küçük kare)

Üretmiş olduğumuz Mo nanofiberin yarısı önce 300°C sıcaklıkta 5 dakika tavlansızdır. 100ml saf su içerisine metilen mavisi ve balık konularak 5 dk karıştırılmış ve homojen bir metilen mavisi çözeltisi hazırlanmıştır. Daha sonra katalizör olarak tavlama numune ardından pH' ı artıran baz eklenmiştir. Metilen mavisinin zamana bağlı fotokatalitik bozunması oda sıcaklığında görünür bölgedeki ışık ve yakın kızıl ötesi ışık altında incelenmiştir. Ölçümler için 240 dakika boyunca her 20 dakikada bir numune

alınmış 400 nm-800 nm aralıkta UV-Vis spektrometresi ile soğurganlığı taranmıştır. Şekil 4.5'a) tavlanan Mo nanofiber 600 nm ve 660 nm civarında iki pikle başlayan soğurma 240 dakika boyunca azalma göstermiştir. Zaman ilerledikçe küçük olan pik neredeyse kaybolacak kadar azalmıştır. Şekil 4.5.b) de Mo nanofiber tavlansadan aynı koşullar altında yine 240 dakika boyunca her 20 dakikada bir numune alınmış 400 nm-800 nm aralıkta UV-Vis spektrometresi ile gerekli ölçüm yapılmıştır. 660 nm dalga boyunda görülen güçlü pik varlığını sürdürürken küçük pik neredeyse kaybolma eğilimi göstermiştir. Her iki Mo numunesi arasında değişken olan malzemenin tavlansının soğurma derecelerinde ilk andan itibaren oluşan piklerde soğurma durumlarının önemli ölçüde farklılık gösterdiği, tavlamanın soğurganlığı artırdığı görülmüştür. Tavlansmış ve baz katkılı Mo ışığa karşı en büyük tepkiyi ilk 20 dakikada vermiştir. 240 dakika sonunda da soğurulmadaki düşüşün en fazla bu numunede olduğu görülmüştür.

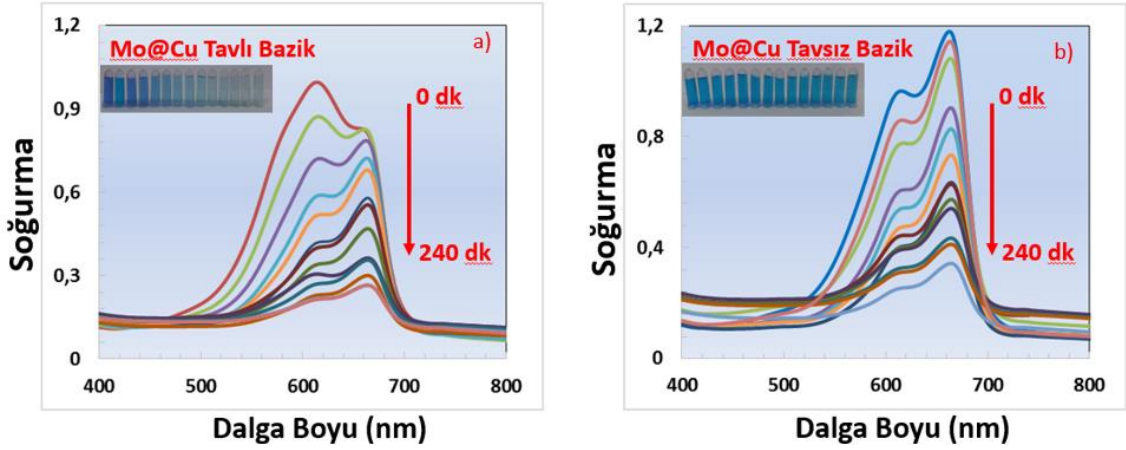


Şekil 4. 6 a) Tavlansmış Cu nanolifin, bazık ortamda 240 dakika boyunca görünür ışık altında soğurmasının zamanla değişimi ve alınan numunelerin renk değişimi (Küçük kare) b) Tavlansmamış Cu nanolifin, bazık ortamda 240 dakika boyunca görünür ışık altında soğurmasının zamanla değişimi ve alınan numunelerin renk değişimi (Küçük kare)

Şekil 4.6 a) da Cu nanofiber tavlama işlemine tabi tutulmadan baz eklenmiş metilen mavisi çözeltisi içerisine konularak 240 dk süre boyunca her 20 dakikada bir numune alınarak süreç kaydedilmiştir. 620 nm ve 660 nm civarı oluşan iki pik ilk 20 dk da bozunmaya uğramış ve soğurma durumları ters bir durum almıştır. 60 dk sonra pikler neredeyse eşitlenmiş, 80'ninci dakikadan itibaren ilk durumdaki karakteristik piklenme yeniden oluşmuştur ve 80'ninci dakikadan sonra eş zamanlı olarak azalma devam etmiştir.

Cu nanofiber Mo nanofiberlerle gerçekleştirilen çalışmada olduğu gibi 300°C derece sıcaklıkta 5 dk tavlansmıştır. Daha sonra 100ml saf su içerisine metilen mavisi ve balık konularak 5 dk karıştırılmıştır. Daha sonra katalizör olarak tavlansan numune ardından

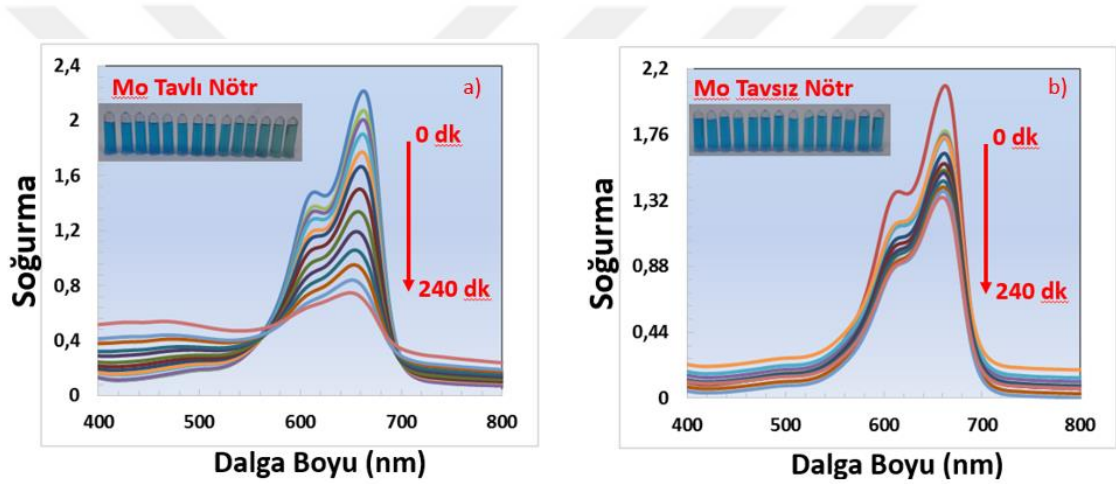
baz eklenmiştir. 240 dk boyunca her 20 dk da bir numuneler alınmıştır. Şekil 4.6.b) de 620 nm ve 660 nm civarında oluşan iki pik ilk 20 dk sonunda soğurmaları tam tersi bir durum almış, 80 dakika sonra neredeyse eşitlenmiş ve daha sonra karakteristik tepe noktaları eski halini almıştır. İlk başta görülen küçük pikimiz süreç sonunda neredeyse kaybolma eğilimi göstermiştir. Işınlanma süresi artmasına rağmen ilk aşamalarda reaksiyonun sonraki aşamalara kıyasla daha hızlı bozunma oranının olduğu gözlemlenmiştir. Reaksiyonun başında, çok sayıda katalizörün varlığı, boya moleküllerinin fotodegradasyonunu kolaylaştırmasından kaynaklanır. Daha sonra ise boya molekülleri ile reaksiyonun ara ürünleri arası rekabetin oluşması, rekombinasyona sebep olan yük taşıyıcıların sayısının artması ve katalizör yüzeyinin bozunma ürünü ile kaplanması; dolayısı ile bozunma için yeterli alanın kalmamasıyla reaksiyon hızı yavaşlamıştır (Jamil ve ark., 2024).



Şekil 4. 7.a) Tavlanmış Mo@Cu nanolifin, bazik ortamda 240 dakika boyunca görünür ışık altında soğurmasının zamanla değişimi ve alınan numunelerin renk değişimi (Küçük kare) b) Tavlanmamış Mo@Cu nanolifin, bazik ortamda 240 dakika boyunca görünür ışık altında soğurmasının zamanla değişimi ve alınan numunelerin renk değişimi (Küçük kare)

Üretmiş olduğumuz Mo@Cu nanofiberin yarısı önce 300°C sıcaklıkta 5 dakika tavlannmıştır. Daha sonra 100ml saf su içerisine metilen mavisi ve balık konularak 5 dk karıştırılmıştır. Metilen mavisi çözeltisi içerisine tavlanan nanofiber konulmuş ve ardından da baz eklenmiştir. Metilen mavisinin zamana bağlı fotokatalitik bozunması oda sıcaklığında UV ve görünür bölgedeki ışık altında incelenmiştir. Ölçümler için 240 dakika boyunca her 20 dakikada bir numune alınmış 400 nm-800 nm aralıkta UV-Vis soğurma spektrumu ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Aynı zamanda metilen mavisinin 240 dakika boyunca renginde meydana gelen değişim de fotoğraflanmış ve grafiğimizin üzerinde verilmiştir. Şekil 4.7 a) da ilk etapta 620 nm civarında görülen güçlü pik 40

dk sonra yerini ilk başta daha zayıf olan pike bırakmıştır. Metilen mavisinin soğurma pik şiddetinin görünür ışığa maruz kalma süresi ile azaldığı görülmektedir. Şekil 4.7 b de ise 100ml saf su içerisine metilen mavisi ve balık konularak 5 dk karıştırılmış, çözeltiye üretmiş olduğumuz Mo@Cu nanofiber ve baz eklenmiştir. Metilen mavisinin zamana bağlı fotokatalitik bozunması oda sıcaklığında UV ve görünür bölgedeki ışık altında incelenmiştir. Her 20 dakikada bir yapılan ölçümlere göre 660 nm ve 600 nm dalgaboyu bölgelerinde iki pik meydana gelmiştir. 240 dakikanın sonunda 600 nm civarındaki soğurma pikinin neredeyse kaybolduğu 660 nm dalgaboyu bölgesindeki soğurma pikinin ise azaldığı görülmüştür. Her iki durumda da katalizör olarak eklediğimiz Mo@Cu nano-alaşımın metilen mavisi üzerinde yakın bozunmaya sebep olduğu gözlemlenmiştir.

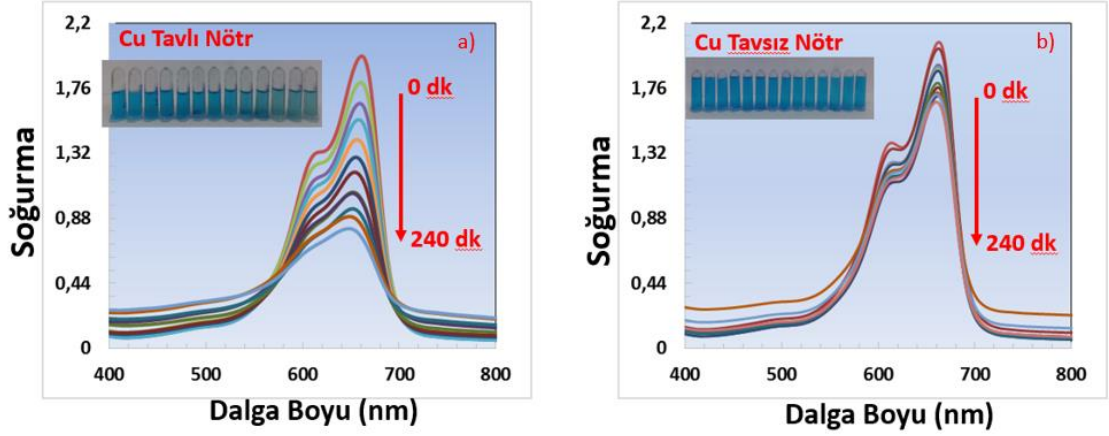


Şekil 4.8. a) Tavllanmış Mo nanolifin, nötr ortamda 240 dakika boyunca görünür ışık altında soğurmasının zamanla değişimi ve alınan numunelerin renk değişimi (Küçük kare) b) Tavlınmamış Mo nanolifin, nötr ortamda 240 dakika boyunca görünür ışık altında soğurmasının zamanla değişimi ve alınan numunelerin renk değişimi

100ml saf su içerisine metilen mavisi ve balık konularak 5 dk karıştırılmıştır. Metilen mavisi çözeltisi içerisine Mo nanofiber 300°C derecede 5 dakika tavlandıktan sonra konulmuştur ve baz eklenmeden fotokataliz işlemi yapılmıştır. Şekil 4.8 a) da 660 nm ve 620 nm civarında oluşan iki soğurma pikimiz ilk 20 dakikadan itibaren azalmaya başlamış ve 240 dk sonunuda 620 nm civarında oluşan soğurma piki neredeyse kaybolmuştur.

Mo nanofiber ortam şartları değiştirilmeden tavlama işlemi yapılmadan ve baz eklenmeden fotokataliz işlemi tekrarlanmıştır. Şekil 4.8 b) de 620 nm ve 660 nm dalga boyuna yakın oluşan iki pik fotokataliz süreci boyunca (0 dk-240 dk) soğurma miktarını azaltarak varlığını sürdürmüştür. pH etkisinin olmadığı ve sadece tavlamanın etkili

olduğu bu iki durumda Mo nanolifin tavlamanın etkisi ile metilen mavisi bozunumunu arttırdığı görülmüştür.(Doh ve ark., 2008)

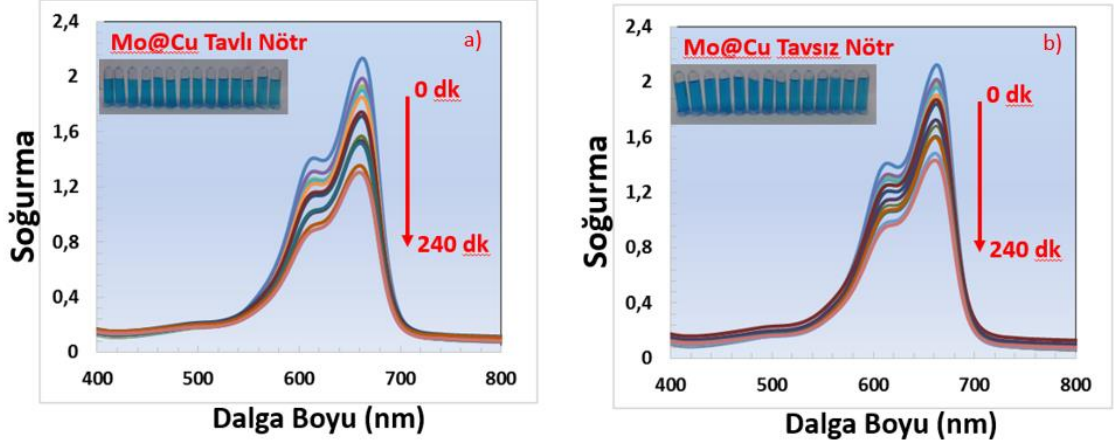


Şekil 4.9. a) Tavllanmış Cu nanolifin, nötr ortamda 240 dakika boyunca görünür ışık altında soğurmasının zamanla değişimi ve alınan numunelerin renk değişimi b) Tavlınmamış Cu nanolifin, nötr ortamda 240 dakika boyunca görünür ışık altında soğurmasının zamanla değişimi ve alınan numunelerin renk değişimi

100ml saf su içerisine metilen mavisi ve balık konularak 5 dk karıştırılmıştır. Cu nanofiber tavlama işlemi yapılmadan ve baz eklenmeden fotokataliz işlemi yapılmıştır. Şekil 4.9 a) de metilen mavisine özgü 660 nm ve 620 nm civarında iki pik gözlenmiştir. 240 dk boyunca gözlenen bu iki pik eş zamanlı olarak düşük bir azalma eğilimi göstermiştir.

Metilen mavisi çözeltisi içerisine Cu nanofiber tavlansın (300 °C de 5 dakika) metilen mavisi çözeltisi içerisine konulmuş ve fotokataliz süreci 240 dk boyunca takip edilmiştir. Şekil 4.9 b) da metilen mavisinin soğurma değeri iki noktada pik vermiştir. 200 dakika boyunca eş zamanlı azalma gösteren piklerden küçük olanı son 60 dakikada kaybolmuş ve süreç sonunda 660 nm dalga boyunda tek pik kalmıştır.

Cu nanofiber içinde tavlamanın etkisi ile nanofiberin çapındaki azalmaya bağlı olarak yüzey alanı artmış olmasından dolayı fotokatalizin etkinliğini artırdığı görülmüştür.(Doh ve ark., 2008)



Şekil 4.10.a) Tavllanmış Mo@Cu nanolifin, nötr ortamda 240 dakika boyunca görünür ışık altında soğurmasının zamanla değişimi ve alınan numunelerin renk değişimi (Küçük kare) **b)** Tavlınmamış Mo@Cu nanolifin, nötr ortamda 240 dakika boyunca görünür ışık altında soğurmasının zamanla değişimi ve alınan numunelerin renk değişimi (Küçük kare)

Üretmiş olduğumuz Mo@Cu nanofiberlerinin 300°C sıcaklıkta 5 dakika tavlınmıştır. Metilen mavisinin zamana bağlı fotokatalitik bozunması oda sıcaklığında UV ve görünür bölgedeki ışık altında incelenmiştir. Ölçümler için 240 dakika boyunca her 20 dakikada bir numune alınmış 400 nm-800 nm aralıkta UV-Vis spektrumu ölçülmüş ve elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Şekil 4.10 a) ya göre 660 nm de ve 600 nm civarında iki pikimiz oluşmuştur. Numune örneklerinde gözle görülebilen bir fark oluşmamışken UV-Vis soğurma spektrumlarında 240 dakika sonunda iki pikinde zayıfladığı ve metilen mavisinin soğurma piklerinde ciddi bir azalma gözlenmiştir.

Mo@Cu nanofiberler tavlama işlemine tabi tutulmadan aynı şartlar altında 20 dk da bir alınan numuneler ile UV-Vis ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 4.10b) de iki farklı pik oluştuğu ve farkedilebilir bir renk ayrımı görülmeyişi halde malzemeye bağlı olarak 660 nm ve 620 nm civarında eş zamanlı olarak soğurmada azalma meydana geldiği görülmektedir. İki numuneden tavlı olanın metilen mavisi bozunumu daha yüksek olmuştur. Pan nanofiberler tavlандıklarında çözücünün buharlaşması ile meydana gelen çap azalması.(Doh ve ark., 2008), sıcaklığa bağlı olarak polimer zincirinin bozulmasıyla birlikte boşluklar oluşması ve bu boşlukların rastgele doldurulması, polimer zincirinin büzülmesi ile nanolifin yüzeyinin pürüzlü hale gelmesi sebebiyle yüzey alanı artmış dolayısı ile fotokatalitik özellikte artmıştır(Riaz ve ark., 2016).

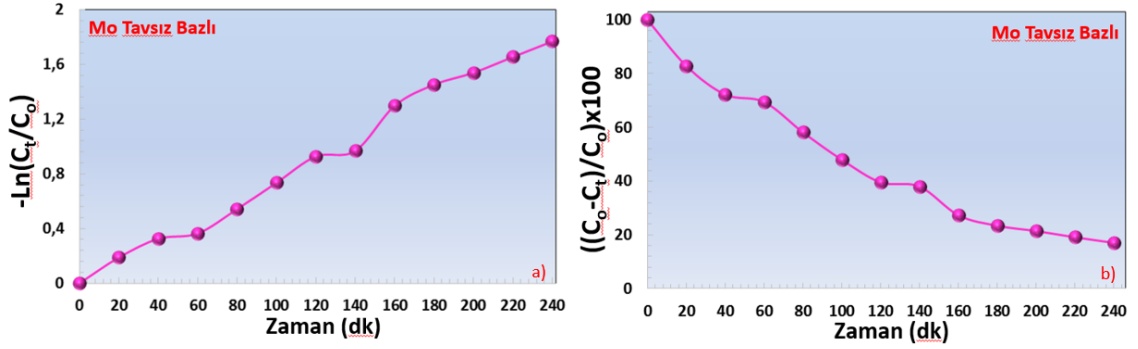
En iyi piklenmenin görüldüğü Mo için görünür ışık altında fotokatalizörleri içeren metilen mavisi çözeltisinin fotokatalitik aktivite performansları aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Baz katkılı ve katkısız olarak Mo her iki durumda (Tavlınmış ve

tavlanmamış) metilen mavisinde bozunmaya sebep olmuştur. Fotobozunma konsantrasyonu, C_0 boyanın ilk konsantrasyonu, t görünür ışığa maruz kalınan süre, C_t ise boyanın t anındaki konsantrasyonu olmak üzere ;

Bozunma

$$(\%) = (C_0 - C_t / C_0) \times 100 \quad (9)$$

eşitliği ile ifade edilebilmektedir (YALÇIN, 2022).



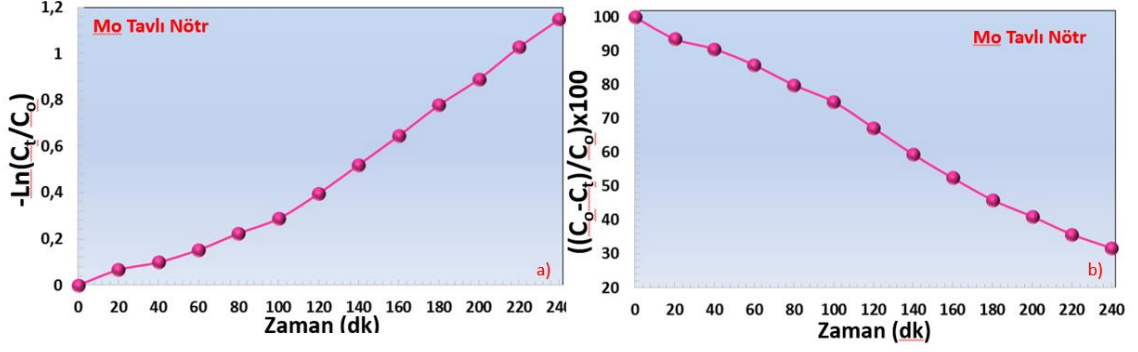
Şekil 4.11. a) Tavlanmamış Mo nanolif varlığında bazik ortamda yalancı birinci dereceden kinetiği grafiği b) Tavlanmamış Mo nanolif varlığında bazik ortamda metilen mavis bozunma yüzdesi grafiği

Elektrospinning ile ürettiğimiz Mo nanofiberin baz ilavesi ile yapılan metilen mavisinin renk giderimindeki katalitik aktivitesi Şekil 4.11 b) de ilk dakikalardan itibaren azalmaya başladığı ve 240 dakikanın sonunda metilen mavisinin konsantrasyonunun yaklaşık %80 oranında azaldığı görülmüştür.

Metilen mavis boyar maddesinin fotobozunma kinetiğini tanımlamak için yalancı-birinci dereceden reaksiyon kinetik modeli kullanılmıştır. Bu modele göre k_{app} yalancı birinci dereceden reaksiyon oranı sabitidir. k_{app} değerleri t 'ye karşı grafiğinin eğiminden elde edilir ve bu değer 1. dereceden hız sabitini verir.

$$-\ln C_t/C_0 = k_{app} t \quad (10)$$

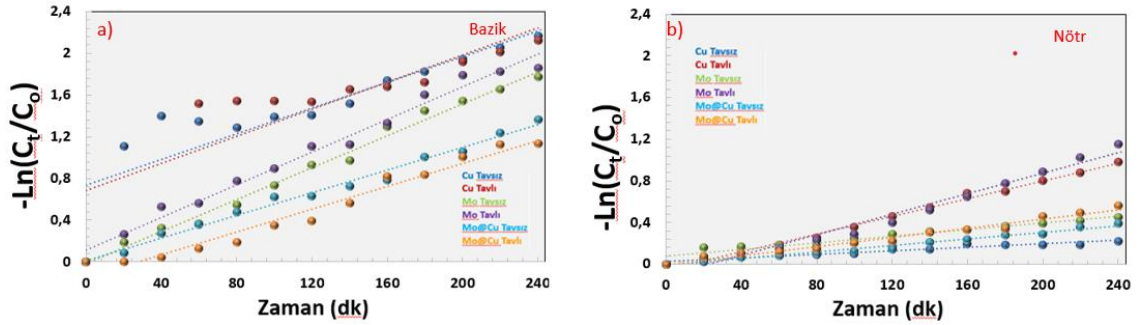
k_{app} değeri reaksiyon hız sabitidir ve büyük olması fotokatalitik performansında büyük olduğunu gösterir (Sagadevan ve ark., 2021). Yukarıda verilen Şekil 4.11a) göre metilen mavisinin Mo nanolif fotokatalizörü varlığında fotokatalitik bozundurma kinetiği birinci derecedendir. Metilen mavis bozunmasının zaman kontrollü olduğu anlamına gelir.



Şekil 4. 12. a) Tavlanmış Mo nanolif varlığında nötr ortamda yalancı birinci dereceden kinetiği grafiği
b) Tavlanmış Mo nanolif varlığında nötr ortamda metil mavisi bozunma yüzdesi grafiği

Şekil 4. 12 a) da ile verilen grafikte tavlanmış Mo baz konulmadan ve görölür ışık altında yapılan fotokataliz sürecinde metilen mavisi bozunma yüzdeleri ile uyumlu reaksiyon hız sabitlerine sahip oldukları görülmektedir.

Üretilen Mo nanofiberin metilen mavisi maddesinin renk giderimindeki katalitik aktivitesi değerlendirilmiştir ve değerlendirme sonuçları relatif olarak Şekil 4.12 b) ile verilmektedir. Katalitik reaksiyonun grafiği tüm deneylerde metilen mavisinin başlangıç konsantrasyonu C_0 , mg/L, t süre sonraki konsantrasyonu C_t mg/L olmak üzere zamana karşı grafiğin çizilmesi ile belirlenmiştir. Metilen mavisinin başlangıç konsantrasyonu ile 240 dk sonra ölçülen konsantrasyonunun yaklaşık %70 oranında azaldığı görülmektedir.



Şekil 4. 13.a) Bazık ortamda $-\ln(C_t/C_0)$ Mo, Cu, Mo@Cu tavlanmış ve tavlanmamış hali için katalitik indirgenmenin kinetik çalışması b) Nötr ortamda $-\ln(C_t/C_0)$ Mo, Cu, Mo@Cu tavlanmış ve tavlanmamış hali için katalitik indirgenmenin kinetik çalışması

Baz eklenerek ve nötr durumda yapılan fotokataliz sonuçları Cu tavlanmış, Cu tavlanmamış, Mo tavlanmış, Mo tavlanmamış, Mo@Cu tavlanmış ve Mo@Cu tavlanmamış numunelerde gerçekleştirilen ölçümler için yalancı birinci dereceden kinetik grafiği Şekil 4.13 a-b de verilmiştir. Çizilen logaritmik grafiğin eğiminden hız

sabiti elde edilmektedir ve analiz edilmektedir. Hız sabitleri tüm malzemeler için bir Tablo haline getirilmiştir ve Tablo 4.2 ile verilmiştir.

Tablo 4 2.Mo,Cu ve Mo@Cu nanofiberler için hesaplanmış hız sabitleri

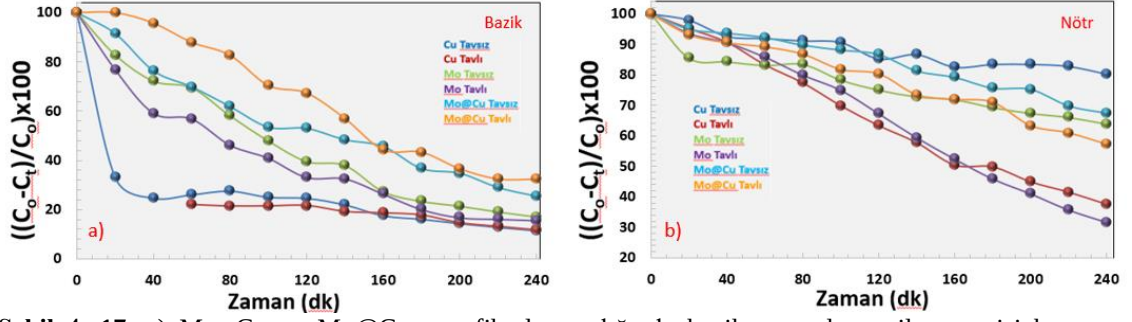
Malzeme		Bazık k sabiti	Nötr k sabiti
Cu	Tavlanmış	0,0065	0,0042
	Tavlanmamış	0,0061	0,0009
Mo	Tavlanmış	0,0078	0,0049
	Tavlanmamış	0,0076	0,0016
Cu @ Mo	Tavlanmış	0,0055	0,0022
	Tavlanmamış	0,0054	0,0016

Tablo 4.2 de elde edilen k sabitlerine göre baz eklenmiş malzemelerin kendi aralarındaki tavllanmış ve tavlalanmamış değerleri birbirlerine oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Bazık ortamda tavlamanın büyük bir değişikliğe sebep olmadığı söylenebilir.

Nötr ortamda malzemelerin kendi aralarındaki k değerleri kıyaslandığında tavlanan numuneler için elde edilen değerler ile tavlalanmamış numuneler için elde edilen k değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin tavlama sonucu nanofiberlerden organik maddelerin tamamına yakınının uzaklaştırılmasıyla çaplarının küçülmesi (Doh ve ark., 2008) ve yüzey alanının büyümesi olduğu görülmüştür.

Sulu bir boya çözeltisinin pH'nın değişmesi araştırılan kirletici maddenin iyonik formlarını ve fotokatalistin yüzey yükünü etkiler. Metilen mavisi kirleticisinin ortalama pKa değeri 8,33dür. pH arttırıldığında bozunma veriminin de arttığı görülmüştür. Çözeltide $pH > pKa$ olduğu anda metilen mavisi moleküllerinin merkezi döngüsündeki nitrojen atomu tamamen protondan arınacak ve negatif yüklü boya molekülleri oluşacaktır. Bu nedenle boya negatif yüklü iken katalizörün yüzeyi pozitif yüklüdür. Bu da artan pH ın fotokatalitik bozunmayı artırdığı sonucunu vermiştir. (Jamil ve ark., 2024)

Metilen mavisi görünür ışık altında stabildir. Herhangi bir katalizör olmadan ihmal edilebilecek kadar küçük ayrışmanın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Benzer bir durum katalizör kullanılmadan karanlıkta, güneş ışığı altında ayrıca asidik ve nötr ortamdada herhangi bir bozunma gözlenmemiştir. Bazık ortamda ise metilen mavisi boyasının parçalanması için hidroksil iyonlarının oluşturulması nedeniyle fotoliz hızlı gerçekleşmiştir (Khan ve ark., 2022).



Şekil 4. 17. a) Mo, Cu ve Mo@Cu nanofiberler varlığında bazik ortamda metilen mavisi bozunma yüzdesi grafiği b) Mo, Cu ve Mo@Cu nanofiberler varlığında metilen mavisi bozunma yüzdesi grafiği

Şekil 4.17 a) ve Şekil 4.17 b) de metilen mavisinin baz eklenmiş ve nötr ortamda ilk andan itibaren bozunma gösterdiği görülmektedir. Bazik ortamda 240 dakika sonunda Mo ve Cu nanolifin metilen mavisi boyar madde üzerinde bozunmaları yaklaşık %90 civarında olduğu görülmektedir. Nötr ortamda 240 dakika sonunda tavlanmış Mo ve Cu nanolifin metilen mavisi boyar madde üzerinde bozunmaları yaklaşık %70 civarında olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada nanoparçacığın tanımından başlayarak sırasıyla nanoparçacık üretimi, nanolif üretimi ve fotokataliz olayı gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yöntemler hakkında bilgi verilmiş, elde edilecek malzemeyi etkileyen faktörler ortaya konulmuştur. Malzeme olarak Mo ve Cu tablet kullanılmıştır.

Nanoparçacık üretimi için femtosaniye laser ablasyon yöntemi kullanılmıştır. Mo ve Cu tabletler ayrı ayrı 6 ml'lik DMF çözeltisine konularak 800 nm dalga boyunda Cu nanoparçacıklı ve Mo nanoparçacıklı iki çözelti elde edilmiştir. Mo nanoparçacıklı çözelti içerisine Cu tablet konularak laser ablasyon işlemi tekrarlanmış ve Mo@Cu nanoparçacıklı yeni bir çözelti elde edilmiştir. Elde edilen üç çözelti için UV-Vis spektroskopisi ile soğurma spektrumları elde edilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre görünür ve yakın kızıl ötesi bölgesinde soğurganlığın Mo için yüksek olduğu, UV bölgede ise Mo@Cu nano-alaşımının soğurganlığının yüksek olduğu görülmüştür. Mo ve Mo@Cu nanoparçacıkların SEM analizleri yapılmış Mo nanoparçacıkların parçacık yapılarının düzgün olmadığı, kümelemeye çalıştığı ve %100 Mo atomundan oluştuğu kaydedilmiştir.

Nanofiber üretimi için elektrosinning yöntemi kullanılmıştır. Elde ettiğimiz Mo, Cu ve Mo@Cu nanoparçacıklı DMF çözeltisi içerisinde %3 oranında PAN katılarak nanolif elde etmek için yeni bir çözelti hazırlanmıştır. Çözelti sistem içerisinde yerleştirilerek Mo, Cu ve Mo@Cu nano-alaşım nanoliflerin boncuksuz olduğu ve toplayıcı plaka üzerine homojen dağıldığı gözlenmiştir. Elde edilen Mo@Cu nano-alaşım nanoliflerin FE-SEM analizleri yapılmıştır. FE-SEM görüntüleri elde edilen Mo@Cu nano-alaşım nanoliflerin çaplarının yaklaşık 50 nm ile 250 nm arasında değiştiği kaydedilmiştir.

Fotokataliz sürecine gelindiğinde, bu çalışma için orijinal malzeme olarak üretilen Cu, Mo, Cu@Mo nano-alaşım nanolif tabakaları için metilen mavisi bozunumuna verdikleri tepkiler araştırıldı.

Bu yapılırken fotokataliz için oldukça önemli olan çözeltinin pH'ı değiştirildi. İkinci değişken olarak da elde ettiğimiz nanolif tabakaları iki eş parçaya ayrılarak parçalardan biri 300°C sıcaklıkta 5 dakika tavlama işlemine tabi tutuldu. Her bir numune için tavllanmış baz katkılı, tavllanmış nötr, tavlamanmış baz katkılı ve tavlamanmış nötr olmak üzere dört farklı durum için fotokataliz işlemi yapıldı. 240 dakika boyunca alınan numuneler ile yapılan UV-Vis analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile foto degradasyon süreci ve yalancı birinci derece kinetik modeli kullanılarak değerlendirildi. Tüm numunelerin farklı durumları için metilen mavisi bozunumunun gerçekleştiği görüldü. Baz konularak yapılan fotokataliz sürecinin çok daha iyi sonuç verdiği tavlamanın etkisinin ise baz katkılı durumda çok az etkili olduğu görülmüştür. En iyi performansı gösteren malzeme baz katkılı ve tavlamadan bağımsız Mo nanolif olmuştur. Bunun sebebi yapılan araştırmalara dayandırılarak Mo 'nin pH değişiminde çözülme eğilimi göstermesi ve artan pH ile birlikte fotokataliz özelliğinin de artması olarak söylenebilir(Peña-Bahamonde ve ark., 2020). Baz konularak yapılan fotokataliz işleminin metilen mavisinin yapısındaki OH⁻ iyonlarını açığa çıkartmasının etkili olduğu öngörülmüştür. Baz konulmadan yapılan fotokataliz işleminde yapılan tavlamanın etkili olduğu fotokatalitik performansı arttırdığı görülmüştür. Bunun sebebinin ise tavlanan lifin tüm organik katkıların kaybolmasına bağlı olarak nanolif çapının azalması, bunun sonucunda ise yüzey alanının artması olduğu düşünülmektedir.

5.2 Öneriler

Fotokatalitik performansı en düşük olan Mo@Cu nano-alaşımına Ag veya Au gibi plazmolik metaller katılarak malzemenin fotokatalitik performansı artırılabilir.

Fotokataliz de kullanılan metilen mavisi yerine farklı bir kirletici boya kullanılarak aynı malzemelerin performansları değerlendirilebilir.

Hazırlanan çözeltide PAN miktarının yüzdesi artırılarak oluşan nanofiberlerin nasıl oluştuğu ve fotokataliz sonuçlarına etkisi araştırılabilir.

Fotokataliz işlemleri aynı malzemeler ile farklı ph değerlerinde yapılarak sonuçlar değerlendirilebilir.

Fotokatalizde kullanılan fiber boyu değiştirilebilir.



KAYNAKLAR

- Alshafei, F. H. ve Simonetti, D. A., 2020, Targeted morphology of copper oxide based electrospun nanofibers, *Chemical Engineering Science*, 219, 115547.
- Amendola, V. ve Meneghetti, M., 2009, Laser ablation synthesis in solution and size manipulation of noble metal nanoparticles, *Physical chemistry chemical physics*, 11 (20), 3805-3821.
- Ananda Murthy, H., Abebe, B., CH, P. ve Shantaveerayya, K., 2018, A review on green synthesis and applications of Cu and CuO nanoparticles, *Material Science Research India*, 15 (3), 279-295.
- Andrady, A. L., 2008, Science and technology of polymer nanofibers, John Wiley & Sons, p.
- Arıĝ, E., 2010, Nanoyapıda çinko oksit partiküllerinin üretimi ve karakterizasyonu, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Barcikowski, S., Hahn, A., Kabashin, A. ve Chichkov, B., 2007a, Properties of nanoparticles generated during femtosecond laser machining in air and water, *Applied physics A*, 87, 47-55.

- Barcikowski, S., Menéndez-Manjón, A., Chichkov, B., Brikas, M. ve Račiukaitis, G., 2007b, Generation of nanoparticle colloids by picosecond and femtosecond laser ablations in liquid flow, *Applied Physics Letters*, 91 (8).
- Barhoum, A., Pal, K., Rahier, H., Uludag, H., Kim, I. S. ve Bechelany, M., 2019, Nanofibers as new-generation materials: From spinning and nano-spinning fabrication techniques to emerging applications, *Applied Materials Today*, 17, 1-35.
- Barroso-Martín, I., Moretti, E., Talon, A., Storaro, L., Rodríguez-Castellón, E. ve Infantes-Molina, A., 2018, Au and AuCu nanoparticles supported on SBA-15 ordered mesoporous titania-silica as catalysts for methylene blue photodegradation, *Materials*, 11 (6), 890.
- Baruah, P. K., Singh, A., Rangan, L., Sharma, A. K. ve Khare, A., 2018, Optimization of copper nanoparticles synthesized by pulsed laser ablation in distilled water as a viable SERS substrate for karanjin, *Materials chemistry and physics*, 220, 111-117.
- BAYIR, S., BULK MALZEMELERİN VE İNCE FİLMLEİN LAZER ABLASYON EŞİK ENERJİ YOĞUNLUKLARININ D-SCAN YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ.
- Bayram, B., Lazer ablasyon tekniği ile üretilen au nanoparçacıklarının sentezi ve karakterizasyonu, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Beşergil, B., Nanoteknoloji, p.
- Beykaya, M. ve Çağlar, A., 2016, An Investigation on Synthesis of Silver-Nanoparticles (AgNP) and their Antimicrobial effectiveness by using Herbal Extracts, *Afyon Kocatepe Univ. J. Sci. Eng*, 16 (3), 631-641.
- Bhardwaj, N. ve Kundu, S. C., 2010, Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique, *Biotechnology advances*, 28 (3), 325-347.
- Brech, F., 1962, Optical microemission stimulated by a ruby laser, *Appl. Spectrosc.*, 16 (2), 59.
- Camacho-Lopez, S., Flores-Castañeda, M., Camacho-Segura, M., Devia-Cruz, L. F., Zamora-Romero, N., Aguilar, G., Camacho-Lopez, M. A. ve Camacho-Lopez, M., 2023, Hydrated MoO₃ nanoparticles and α -MoO₃ nanosheets synthesis by fs laser irradiation, *Materials chemistry and physics*, 297, 127376.
- Casper, C. L., Stephens, J. S., Tassi, N. G., Chase, D. B. ve Rabolt, J. F., 2003, Controlling surface morphology of electrospun polystyrene fibers: effect of humidity and molecular weight in the electrospinning process, *Macromolecules*, 37 (2), 573-578.
- Chala, T. F., Wu, C.-M. ve Motora, K. G., 2019, Rb_xWO₃/Ag₃VO₄ nanocomposites as efficient full-spectrum (UV, visible, and near-infrared) photocatalysis, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 102, 465-474.
- Chen, H., Weiss, J. ve Shahidi, F., 2006, Nanotechnology in nutraceuticals and functional foods, *Food technology (Chicago)*, 60 (3), 30-36.
- Chen, X., Li, W., Song, N., Zhong, M., Yan, S., Xu, J., Zhu, W., Wang, C. ve Lu, X., 2022, Electronic modulation of iridium-molybdenum oxides with a low crystallinity for high-efficiency acidic oxygen evolution reaction, *Chemical Engineering Journal*, 440, 135851.
- Cuenca, J. P., López, J. D., Werneck, M. M., Camargo Jr, S. S., Duque, J. S. ve Riascos, H., 2022, Optical Properties of Cu, Ni, and Co Nanoparticles Synthesized by Pulsed Laser in Liquid Ambient, *Brazilian Journal of Physics*, 52 (3), 96.

- Cui, W. Y., Yoo, H. J., Li, Y. G., Baek, C. ve Min, J., 2021, Electrospun nanofibers embedded with copper oxide nanoparticles to improve antiviral function, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 21 (8), 4174-4178.
- Çelik, M., 2015, Titanyum-Silika fotokatalizörün hazırlanması, karakterizasyonu ve sanayi atık sularına uygulanması, *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi*.
- De Bonis, A., Curcio, M., Santagata, A., Galasso, A. ve Teghil, R., 2020, Transition metal carbide core/shell nanoparticles by ultra-short laser ablation in liquid, *Nanomaterials*, 10 (1), 145.
- Demir, M. M., Yilgor, I., Yilgor, E. ve Erman, B., 2002, Electrospinning of polyurethane fibers, *Polymer*, 43 (11), 3303-3309.
- Deniz, A. E., Vural, H. A., Ortaç, B. ve Uyar, T., 2011, Gold nanoparticle/polymer nanofibrous composites by laser ablation and electrospinning, *Materials Letters*, 65 (19-20), 2941-2943.
- Dimitrakopoulou, D., Rethemiotaki, I., Frontistis, Z., Xekoukoulotakis, N. P., Venieri, D. ve Mantzavinos, D., 2012, Degradation, mineralization and antibiotic inactivation of amoxicillin by UV-A/TiO₂ photocatalysis, *Journal of environmental management*, 98, 168-174.
- Din, M. I., Khalid, R., Najeeb, J. ve Hussain, Z., 2021, Fundamentals and photocatalysis of methylene blue dye using various nanocatalytic assemblies-a critical review, *Journal of Cleaner Production*, 298, 126567.
- Doh, S. J., Kim, C., Lee, S. G., Lee, S. J. ve Kim, H., 2008, Development of photocatalytic TiO₂ nanofibers by electrospinning and its application to degradation of dye pollutants, *Journal of hazardous materials*, 154 (1-3), 118-127.
- Dutta Majumdar, J. ve Manna, I., 2003, Laser processing of materials, *Sadhana*, 28, 495-562.
- Duyar, N., 2015, Hidrotermal yöntemle ZnO üretimi ve fotokatalitik aktivitesinin incelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- ElAmin, A., 2006, Nanocantilevers studied for quick pathogen detection, *Available from the website: <http://www.foodproductsondaily-usa.com/news/ng.asp>*.
- Erdoğan, M., Öktem, B., Kalaycıoğlu, H., Yavaş, S., Mukhopadhyay, P. K., Eken, K., Özgören, K., Aykaç, Y., Tazebay, U. H. ve Ilday, F. Ö., 2011, Texturing of titanium (Ti6Al4V) medical implant surfaces with MHz-repetition-rate femtosecond and picosecond Yb-doped fiber lasers, *Optics express*, 19 (11), 10986-10996.
- Eskizeybek, V., Sarı, F., Gülce, H., Gülce, A. ve Avcı, A., 2012, Preparation of the new polyaniline/ZnO nanocomposite and its photocatalytic activity for degradation of methylene blue and malachite green dyes under UV and natural sun lights irradiations, *Applied Catalysis B: Environmental*, 119, 197-206.
- Fernández-Arias, M., Boutinguiza, M., Del Val, J., Covarrubias, C., Bastias, F., Gómez, L., Maureira, M., Arias-González, F., Riveiro, A. ve Pou, J., 2020, Copper nanoparticles obtained by laser ablation in liquids as bactericidal agent for dental applications, *Applied surface science*, 507, 145032.
- Feynman, R. P., 1959, Plenty of Room at the Bottom, *APS annual meeting*, 1-7.
- Freestone, I., Meeks, N., Sax, M. ve Higgitt, C., 2007, The Lycurgus cup—a roman nanotechnology, *Gold bulletin*, 40, 270-277.
- Fujishima, A., Rao, T. N. ve Tryk, D. A., 2000, Titanium dioxide photocatalysis, *Journal of photochemistry and photobiology C: Photochemistry reviews*, 1 (1), 1-21.

- G. Georgopoulos, A. R., MJ Yonone-Lioy, RE Opiekun, PJ Lioy, P, 2001, Environmental copper: its dynamics and human exposure issues, *Journal of Toxicology and Environmental Health Part B: Critical Reviews*, 4 (4), 341-394.
- Ghughe, S. P. ve Saroha, A. K., 2018, Catalytic ozonation for the treatment of synthetic and industrial effluents-Application of mesoporous materials: A review, *Journal of environmental management*, 211, 83-102.
- Gobalu, K., Vasudevan, M., Gopinath, S. C., Perumal, V. ve Ovinis, M., 2021, Molybdenum disulphide/cellulose acetate nanofiber composite on screen printed electrodes for detecting cardiac troponin by electrical impedance spectroscopy, *Cellulose*, 28 (9), 5761-5774.
- Greiner, A. ve Wendorff, J. H., 2007, Electrospinning: a fascinating method for the preparation of ultrathin fibers, *Angewandte Chemie International Edition*, 46 (30), 5670-5703.
- Guilizzoni, M., Sotgia, G. ve Baccini, B., 3rd International Symposium on Frontier of Applied Physics (ISFAP 2017).
- Gündoğdu, Y., 2014, Femtosaniye laser uçuş zamanlı kütle spektrometresi (FL-TOF) kullanılarak fulleren C60 molekülünün incelenmesi.
- Gündoğdu, Y., Dursun, S., Gezgin, S. Y. ve Kiliç, H. Ş., 2024, Femtosecond laser-induced production of ZnO@ Ag nanocomposites for an improvement in photocatalytic efficiency in the degradation of organic pollutants, *Optics & Laser Technology*, 170, 110291.
- Gürmen, S., Ebin, B. ve İtü, M., 2008, Nanopartiküller ve üretim yöntemleri-1, *Metallurji Dergisi*, 150, 31-38.
- He, L., 2017, Control and Predictability of Near-Field Electrospinning, University of California, Irvine, p.
- Heidarpour, A., Karimzadeh, F. ve Enayati, M., 2009, In situ synthesis mechanism of Al₂O₃-Mo nanocomposite by ball milling process, *Journal of Alloys and Compounds*, 477 (1-2), 692-695.
- Hojjati, M. ve Soleimani, E., 2023, Synthesis of recoverable Fe₃O₄-Cu@ OPO (OH) 2 nanocomposite as photocatalyst for methylene blue decolorization, *Applied Nanoscience*, 1-11.
- Hu, W., Wang, L., Ma, Z., Yu, L. ve Liu, Y., 2021, Nano Mo-La-O particles strengthened Mo alloys fabricated via freeze-drying technology and low temperature sintering, *Materials Science and Engineering: A*, 818, 141448.
- Hu, Z., Ma, Z., He, X., Liao, C., Li, Y. ve Qiu, J., 2015, Preparation and characterization of flexible and thermally stable CuO nanocrystal-decorated SiO₂ nanofibers, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 76, 492-500.
- Huang, Z.-M., Zhang, Y.-Z., Kotaki, M. ve Ramakrishna, S., 2003, A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites, *Composites science and technology*, 63 (15), 2223-2253.
- Huang, Z., Liu, J., Deng, X., Zhang, H., Lu, L., Hou, Z. ve Zhang, S., 2016, Low temperature molten salt preparation of molybdenum nanoparticles, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 54, 315-321.
- Ibukun, O., Evans, P. E., Dowben, P. A. ve Jeong, H. K., 2019, Titanium dioxide-molybdenum disulfide for photocatalytic degradation of methylene blue, *Chemical Physics*, 525, 110419.
- Iqbal, T., Jameel, M. A., Farooq, M., Mansha, M. S., Afsheen, S., Al-Zaqri, N., El-marghany, A., Warad, I. ve Khan, H., 2024, Facile hydrothermal synthesis of Cu-doped MoS₂ nanomaterial: a potential photocatalyst for degradation of MB dye, *Optical and Quantum Electronics*, 56 (2), 156.

- Jamaluddin, N. S., Alias, N. H., Jaafar, J., Othman, N. H., Sadaki, S., Marpani, F., Lau, W. J. ve Abd Aziz, M. H., 2022, Exploring Potential of Adsorptive-Photocatalytic Molybdenum Disulfide/Polyacrylonitrile (MoS₂/PAN) Nanofiber Coated Cellulose Acetate (CA) Membranes for Treatment of Wastewater, *Journal of Polymers and the Environment*, 30 (12), 5290-5300.
- Jamil, M., Akhtar, M. N., Imran, M., Javaid, A., Zafar, H. K., Sohail, M., AlDamen, M. A., Fitta, M., Khanfar, M. A. ve Al-Qawasmeh, R. A., 2024, Photocatalytic degradation of methylene blue dye and electrocatalytic water oxidation over copper (II) complex with mixed ligands, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 446, 115095.
- Jamil, S., Zahra, G. ve Janjua, M. R. S. A., 2023, Morphologically controlled synthesis, characterization, and applications of molybdenum oxide (MoO₃) nanoparticles, *Journal of Physical Organic Chemistry*, 36 (4), e4477.
- Jilani, A. ve Melaibari, A. A., 2022, MoS₂-Cu/CuO@ graphene heterogeneous photocatalysis for enhanced photocatalytic degradation of MB from water, *Polymers*, 14 (16), 3259.
- Kathad, U. ve Gajera, H., 2014, Synthesis of copper nanoparticles by two different methods and size comparison, *Int J Pharm Bio Sci*, 5 (3), 533-540.
- Kathirvelu, S., D'Souza, L. ve Dhurai, B., 2008, Nanotechnology applications in textiles, *Indian Journal of Science and technology*, 1 (5), 1-10.
- Kellar, J. J., 2006, Functional fillers and nanoscale minerals: new markets/new horizons, SME, p.
- Kerkar, N. ve Roberts, E. A., 2018, Clinical and translational perspectives on WILSON DISEASE, Academic Press, p.
- Khaledian, S., Kahrizi, D., Balaky, S. T. J., Arkan, E., Abdoli, M. ve Martinez, F., 2021, Electrospun nanofiber patch based on gum tragacanth/polyvinyl alcohol/molybdenum disulfide composite for tetracycline delivery and their inhibitory effect on Gram+ and Gram- bacteria, *Journal of Molecular Liquids*, 334, 115989.
- Khalil, A., Dimas, C. ve Hashaikh, R., 2015, Electrospun copper oxide nanofibers as infrared photodetectors, *Applied Physics A*, 118, 217-224.
- Khan, I., Saeed, K., Zekker, I., Zhang, B., Hendi, A. H., Ahmad, A., Ahmad, S., Zada, N., Ahmad, H. ve Shah, L. A., 2022, Review on methylene blue: Its properties, uses, toxicity and photodegradation, *Water*, 14 (2), 242.
- Klauson, D., Babkina, J., Stepanova, K., Krichevskaya, M. ve Preis, S., 2010, Aqueous photocatalytic oxidation of amoxicillin, *Catalysis Today*, 151 (1-2), 39-45.
- Knoll, M. ve Ruska, E., 1932, Beitrag zur geometrischen Elektronenoptik. I, *Annalen der Physik*, 404 (5), 607-640.
- Komatsu, H. ve Ogasawara, A., 2005, Applying Nanotechnology to Electronics-Recent Progress in Si-LSIs to Extend Nano-Scale.
- Kozanoğlu, G. S., 2006, Elektrospinning yöntemiyle nanolif üretim teknolojisi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Kumar, A. ve Pandey, G., 2017, A review on the factors affecting the photocatalytic degradation of hazardous materials, *Mater. Sci. Eng. Int. J*, 1 (3), 1-10.
- Kumar, A. ve Sinha-Ray, S., 2018, A review on biopolymer-based fibers via electrospinning and solution blowing and their applications, *Fibers*, 6 (3), 45.
- Kumar, B. ve Thareja, R. K., 2013, Laser ablated copper plasmas in liquid and gas ambient, *Physics of Plasmas*, 20 (5).
- Kumari, A. ve Yadav, S. K., 2014, Nanotechnology in agri-food sector, *Critical reviews in food science and nutrition*, 54 (8), 975-984.

- Kushwah, M., Gaur, M., Berlina, A. N. ve Arora, K., 2019, Biosynthesis of novel Ag@Cu alloy NPs for enhancement of methylene blue photocatalytic activity and antibacterial activity, *Materials Research Express*, 6 (11), 116561.
- Lamprey, H. ve Ripley, R., 1962, Ultrafine tungsten and molybdenum powders, *Journal of the Electrochemical Society*, 109 (8), 713.
- Lee, H.-J., Lee, G., Jang, N. R., Yun, J. H., Song, J. Y. ve Kim, B. S., 2011, Biological synthesis of copper nanoparticles using plant extract, *Nanotechnology*, 1 (1), 371-374.
- Li, D. ve Xia, Y., 2004, Electrospinning of nanofibers: reinventing the wheel?, *Advanced materials*, 16 (14), 1151-1170.
- Li, X., Raza, S. ve Liu, C., 2021, Directly electrospinning synthesized Z-scheme heterojunction TiO₂@ Ag@ Cu₂O nanofibers with enhanced photocatalytic degradation activity under solar light irradiation, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9 (5), 106133.
- Liang, C., Shimizu, Y., Sasaki, T. ve Koshizaki, N., 2005, Preparation of ultrafine TiO₂ nanocrystals via pulsed-laser ablation of titanium metal in surfactant solution, *Applied Physics A*, 80, 819-822.
- Liu, B., Gu, H. ve Chen, Q., 1999, Preparation of nanosized Mo powder by microwave plasma chemical vapor deposition method, *Materials Chemistry and Physics*, 59 (3), 204-209.
- Liu, Y., Xu, C., Xie, Y., Yang, L., Ling, Y. ve Chen, L., 2020, Au–Cu nanoalloy/TiO₂/MoS₂ ternary hybrid with enhanced photocatalytic hydrogen production, *Journal of Alloys and Compounds*, 820, 153440.
- Lopez, J. D., Keley, M., Dante, A. ve Werneck, M. M., 2021, Optical fiber sensor coated with copper and iron oxide nanoparticles for hydrogen sulfide sensing, *Optical Fiber Technology*, 67, 102731.
- Lu, M., Shao, C., Wang, K., Lu, N., Zhang, X., Zhang, P., Zhang, M., Li, X. ve Liu, Y., 2014, p-MoO₃ nanostructures/n-TiO₂ nanofiber heterojunctions: controlled fabrication and enhanced photocatalytic properties, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 6 (12), 9004-9012.
- Luo, W., Hu, X., Sun, Y. ve Huang, Y., 2012, Surface modification of electrospun TiO₂ nanofibers via layer-by-layer self-assembly for high-performance lithium-ion batteries, *Journal of Materials Chemistry*, 22 (11), 4910-4915.
- Lyons, J. ve Ko, F., 2005, Melt electrospinning of polymers: a review, *Polymer News*, 30 (6), 170-178.
- Ma, B., Li, D., Wang, X. ve Lin, K., 2018, Molybdenum-Based Co-catalysts in Photocatalytic Hydrogen Production: Categories, Structures, and Roles, *ChemSusChem*, 11 (22), 3871-3881.
- Mahmiani, Y., 2016, Ftalosiyeninle Kaplanmış Titanyumdioksidin Fotokatalitik Uygulamaları, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Maiman, T. H., 1960, Stimulated optical radiation in ruby.
- Marzun, G., Bönnemann, H., Lehmann, C., Spliethoff, B., Weidenthaler, C. ve Barcikowski, S., 2017, Role of dissolved and molecular oxygen on Cu and PtCu alloy particle structure during laser ablation synthesis in liquids, *ChemPhysChem*, 18 (9), 1175-1184.
- Mashkour, M., Al-Kaim, A., Ahmed, L. ve Hussein, F., 2011, Zinc oxide assisted photocatalytic decolorization of Reactive Red 2 dye, *International Journal of Chemical Sciences*, 9 (3), 969-979.
- McEnaney, J. M., Soucy, T. L., Hodges, J. M., Callejas, J. F., Mondschein, J. S. ve Schaak, R. E., 2016, Colloidally-synthesized cobalt molybdenum nanoparticles

- as active and stable electrocatalysts for the hydrogen evolution reaction under alkaline conditions, *Journal of Materials Chemistry A*, 4 (8), 3077-3081.
- Mengting, Z., Kurniawan, T. A., Fei, S., Ouyang, T., Othman, M. H. D., Rezakazemi, M. ve Shirazian, S., 2019, Applicability of BaTiO₃/graphene oxide (GO) composite for enhanced photodegradation of methylene blue (MB) in synthetic wastewater under UV-vis irradiation, *Environmental Pollution*, 255, 113182.
- Messina, E., D'Urso, L., Satriano, C., Fazio, E., Donato, M., Fazio, B., D'Andrea, C., Maragò, O., Gucciardi, P. ve Compagnini, G., 2011, Tuning the structural and optical properties of gold/silver nanoalloys prepared by laser ablation in liquids for ultra-sensitive spectroscopy and optical trapping, *Atti della Accademia Peloritana dei Pericolanti-Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali*, 89 (S1).
- Mohamed, E. A., 2020, Green synthesis of copper & copper oxide nanoparticles using the extract of seedless dates, *Heliyon*, 6 (1).
- Moretti, E., Rodríguez-Aguado, E., Infantes-Molina, A., Rodríguez-Castellón, E., Talon, A. ve Storaro, L., 2018, Sustainable photo-assisted CO oxidation in H₂-rich stream by simulated solar light response of Au nanoparticles supported on TiO₂, *Catalysis Today*, 304, 135-142.
- Müller, E., 1936, Experimente zur Theorie der Elektronenemission unter dem Einfluß starker Felder, *Phys. Z*, 37, 838-841.
- Nersisyan, H., Lee, J. ve Won, C., 2005, The synthesis of nanostructured molybdenum under self-propagating high-temperature synthesis mode, *Materials Chemistry and Physics*, 89 (2-3), 283-288.
- Nishi, T., Takeichi, A., Azuma, H., Suzuki, N., Hioki, T. ve Motohiro, T., 2010, Fabrication of Palladium Nanoparticles by Laser Ablation in Liquid, *Journal of Laser Micro/Nanoengineering*, 5 (3).
- Niu, K., Yang, J., Kulinich, S., Sun, J. ve Du, X., 2010, Hollow nanoparticles of metal oxides and sulfides: Fast preparation via laser ablation in liquid, *Langmuir*, 26 (22), 16652-16657.
- Okyay, B., 2016, Elektroeğirme yöntemi ile poli (4-vinilpiridin) nanoliflerinin hazırlanması ve karakterizasyonu, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Ollis, D. F., Pelizzetti, E. ve Serpone, N., 1991, Photocatalyzed destruction of water contaminants, *Environmental science & technology*, 25 (9), 1522-1529.
- Orhan, M. H., 2020, SnO₂ nanopartiküllerinin sentezi, karakterizasyonu ve metilen mavisi boyası ile zehirli krom (VI) ağır metali gideriminde fotokatalitik aktivitesinin incelenmesi, *Konya Teknik Üniversitesi*.
- Oztoprak, B. G., Akman, E., Hanon, M., Günes, M., Gümüş, S., Kacar, E., Gundogdu, O., Zeren, M. ve Demir, A., 2013, Laser welding of copper with stellite 6 powder and investigation using LIBS technique, *Optics & Laser Technology*, 45, 748-755.
- Palmaz, J. C., 1993, Intravascular stents: tissue-stent interactions and design considerations, *AJR. American journal of roentgenology*, 160 (3), 613-618.
- Parikh, P., Zala, D. ve Makwana, B., 2014, Biosynthesis of copper nanoparticles and their antimicrobial activity, *Inst Post Studies Res KSV Uni. India*, 1-15.
- Pathak, D., Sharma, A., Sharma, D. P. ve Kumar, V., 2023, A review on electrospun nanofibers for photocatalysis: Upcoming technology for energy and environmental remediation applications, *Applied Surface Science Advances*, 18, 100471.

- Patil, P., Phase, D., Kulkarni, S., Ghaisas, S., Kulkarni, S., Kanetkar, S., Ogale, S. ve Bhide, V., 1987, Pulsed-laser-induced reactive quenching at liquid-solid interface: Aqueous oxidation of iron, *Physical review letters*, 58 (3), 238.
- Pawłowski, K., Belvin, H., Raney, D., Su, J., Harrison, J. ve Siochi, E., 2003, Electrospinning of a micro-air vehicle wing skin, *Polymer*, 44 (4), 1309-1314.
- Peña-Bahamonde, J., Wu, C., Fanourakis, S. K., Louie, S. M., Bao, J. ve Rodrigues, D. F., 2020, Oxidation state of Mo affects dissolution and visible-light photocatalytic activity of MoO₃ nanostructures, *Journal of Catalysis*, 381, 508-519.
- Petersen, P., Tikhomirov, G. ve Qian, L., 2018, Information-based autonomous reconfiguration in systems of interacting DNA nanostructures, *Nature communications*, 9 (1), 5362.
- Rahman, N. R. A., Muniandy, L., Adam, F., Iqbal, A., Ng, E. P. ve Lee, H. L., 2019, Detailed photocatalytic study of alkaline titanates and its application for the degradation of methylene blue (MB) under solar irradiation, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 375, 219-230.
- Ramakrishna, S., 2005, An introduction to electrospinning and nanofibers, World scientific, p.
- Ready, J. F., 2001, LIA handbook of laser materials processing, (No Title).
- Reza, K. M., Kurny, A. ve Gulshan, F., 2017, Parameters affecting the photocatalytic degradation of dyes using TiO₂: a review, *Applied Water Science*, 7, 1569-1578.
- Riaz, A., Qi, H., Fang, Y., Xu, J., Zhou, C., Jin, Z., Hong, Z., Zhi, M. ve Liu, Y., 2016, Enhanced intrinsic photocatalytic activity of TiO₂ electrospun nanofibers based on temperature assisted manipulation of crystal phase ratios, *Journal of Materials Research*, 31 (19), 3036-3043.
- Robb, B. ve Lennox, B., 2011, The electrospinning process, conditions and control, In: *Electrospinning for tissue regeneration*, Eds: Elsevier, p. 51-66.
- Romão, J. S., Hamdy, M. S., Mul, G. ve Baltrusaitis, J., 2015, Photocatalytic decomposition of cortisone acetate in aqueous solution, *Journal of hazardous materials*, 282, 208-215.
- Rubinsztajn, S., Buckley, D., Campbell, J., Esler, D., Fiveland, E., Prabhakumar, A., Sherman, D. ve Tonapi, S., 2005, Development of novel filler technology for no-flow and wafer level underfill materials, *J. Electron. Packag.*, 127 (2), 77-85.
- Sagadevan, S., Lett, J. A., Weldegebriale, G. K., Garg, S., Oh, W.-C., Hamizi, N. A. ve Johan, M. R., 2021, Enhanced photocatalytic activity of rGO-CuO nanocomposites for the degradation of organic pollutants, *Catalysts*, 11 (8), 1008.
- Saghafi, M., Heshmati-Manesh, S., Ataie, A. ve Khodadadi, A., 2012, Synthesis of nanocrystalline molybdenum by hydrogen reduction of mechanically activated MoO₃, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 30 (1), 128-132.
- Saleh, T. A., 2020, Nanomaterials: Classification, properties, and environmental toxicities, *Environmental Technology & Innovation*, 20, 101067.
- Sarıbel, M., 2017, SnO Nanopartiküllerinin Sentezi, Karakterizasyonu ve Fotokatalitik Aktivitesinin İncelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Sarina, S., Waclawik, E. R. ve Zhu, H., 2013, Photocatalysis on supported gold and silver nanoparticles under ultraviolet and visible light irradiation, *Green chemistry*, 15 (7), 1814-1833.

- Sastry, A., Karthik Aamanchi, R., Sree Rama Linga Prasad, C. ve Murty, B., 2013, Large-scale green synthesis of Cu nanoparticles, *Environmental chemistry letters*, 11, 183-187.
- Sayılkan, F., 2007, Nano-TiO₂ fotokatalizör sentezi ve fotokatalitik aktivitesinin belirlenmesi.
- Sifri, C. D., Burke, G. H. ve Enfield, K. B., 2016, Reduced health care-associated infections in an acute care community hospital using a combination of self-disinfecting copper-impregnated composite hard surfaces and linens, *American Journal of Infection Control*, 44 (12), 1565-1571.
- Smejkal, P., Pflieger, J., Vlcková, B. ve Dammer, O., 2007, Laser ablation of silver in aqueous ambient: Effect of laser pulse wavelength and energy on efficiency of the process, *Journal of Physics: Conference Series*, 185.
- Spadaro, S., Bonsignore, M., Fazio, E., Cimino, F., Speciale, A., Trombetta, D., Barreca, F., Saija, A. ve Neri, F., 2018, Molybdenum oxide nanocolloids prepared by an external field-assisted laser ablation in water, *EPJ Web of Conferences*, 04009.
- Steen, W. M. ve Mazumder, J., 2010, Laser material processing, springer science & business media, p.
- Subbiah, T., Bhat, G. S., Tock, R. W., Parameswaran, S. ve Ramkumar, S. S., 2005, Electrospinning of nanofibers, *Journal of Applied Polymer Science*, 96 (2), 557-569.
- Suen, S.-C., Whang, W.-T., Hou, F.-J. ve Dai, B.-T., 2006, Low-temperature self-assembly of copper phthalocyanine nanofibers, *Organic electronics*, 7 (5), 428-434.
- Sun, G.-D., Zhang, G.-H. ve Chou, K.-C., 2019, An industrially feasible pathway for preparation of Mo nanopowder and its sintering behavior, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 84, 105039.
- Sun, M.-Y., Yang, J., Lin, T. ve Du, X.-W., 2012, Facile synthesis of SnS hollow nanoparticles via laser ablation followed by chemical etching, *RSC advances*, 2 (20), 7824-7828.
- Švrček, V., Sasaki, T., Shimizu, Y. ve Koshizaki, N., 2006, Blue luminescent silicon nanocrystals prepared by ns pulsed laser ablation in water, *Applied Physics Letters*, 89 (21).
- Taniguchi, N., 1974, On the basic concept of 'nano-technology', *Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II*, 1974.
- Tegart, G., 2009, Energy and nanotechnologies: Priority areas for Australia's future, *Technological Forecasting and Social Change*, 76 (9), 1240-1246.
- Thakkar, K. N., Mhatre, S. S. ve Parikh, R. Y., 2010, Biological synthesis of metallic nanoparticles, *Nanomedicine: nanotechnology, biology and medicine*, 6 (2), 257-262.
- Thomas, E., Rathore, I. ve Tarafdar, J., 2017, Bioinspired production of molybdenum nanoparticles and its effect on chickpea (*Cicer arietinum* L.), *Journal of Bionanoscience*, 11 (2), 153-159.
- TİYEK, İ., YAZICI, M., ALMA, M. H., DÖNMEZ, U., YILDIRIM, B., SALAN, T., Serhan, U., KARATAŞ, Ş. ve KARTERİ, İ., 2016, Nanolif yapılı poli (akrilonitril-vinil asetat)/grafen oksit yapıların karakterizasyonu, *Tekstil ve Mühendis*, 23 (102), 81-92.
- Tsuji, T., Iryo, K., Watanabe, N. ve Tsuji, M., 2002, Preparation of silver nanoparticles by laser ablation in solution: influence of laser wavelength on particle size, *Applied surface science*, 202 (1-2), 80-85.

- Tucker, N., Stanger, J. J., Staiger, M. P., Razzaq, H. ve Hofman, K., 2012, The history of the science and technology of electrospinning from 1600 to 1995, *Journal of engineered fibers and fabrics*, 7 (2_suppl), 155892501200702S155892501200710.
- Tüylek, Z., 2016, Küçük şeylerin hikâyesi: Nanomalzeme, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5 (2), 130-141.
- Umer, A., Naveed, S., Ramzan, N., Rafique, M. S. ve Imran, M., 2014, A green method for the synthesis of copper nanoparticles using L-ascorbic acid, *Matéria (Rio de janeiro)*, 19, 197-203.
- Ungur, G. ve Hrůza, J., 2015, Influence of copper oxide on the formation of polyurethane nanofibers via electrospinning, *Fibers and Polymers*, 16, 621-628.
- Üstün, A., 2011, hava filtrasyonu için nanolif üretimi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Üstündağ, G. Ç., 2009, Elektrosinning yöntemi ile biyomedikal kullanıma yönelik nanolif yüzey üretimi ve uygulaması, *Bursa Uludag University (Turkey)*.
- Valodkar, M., Modi, S., Pal, A. ve Thakore, S., 2011, Synthesis and anti-bacterial activity of Cu, Ag and Cu–Ag alloy nanoparticles: A green approach, *Materials Research Bulletin*, 46 (3), 384-389.
- Wang, C. ve Yang, G., 2005, Thermodynamics of metastable phase nucleation at the nanoscale, *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 49 (6), 157-202.
- Wang, L., Zhang, G.-H. ve Chou, K.-C., 2016, Synthesis of nanocrystalline molybdenum powder by hydrogen reduction of industrial grade MoO₃, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 59, 100-104.
- Watson, J. D. ve Crick, F. H., 1953, Molecular structure of nucleic acids: a structure for deoxyribose nucleic acid, *Nature*, 171 (4356), 737-738.
- Wong, Y., Yuen, C., Leung, M., Ku, S. ve Lam, H., 2006, Selected applications of nanotechnology in textiles, *AUTEX research Journal*, 6 (1), 1-8.
- Xiao, Q., Si, Z., Yu, Z. ve Qiu, G., 2007, Sol–gel auto-combustion synthesis of samarium-doped TiO₂ nanoparticles and their photocatalytic activity under visible light irradiation, *Materials Science and Engineering: B*, 137 (1-3), 189-194.
- YALÇIN, B., 2022, ZnMnCuO Nanoparçacıkların Karakterizasyonu: Fotokatalitik ve Hemolitik Özellikler, *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 8 (3), 429-442.
- Yalçın, K., 2010, Nanoteknoloji ve Gıda Sanayiinde Uygulama Alanları. Yüksek Lisans, Namık Kemal Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ*.
- Yallappa, S., Manjanna, J., Sindhe, M., Satyanarayan, N., Pramod, S. ve Nagaraja, K., 2013, Microwave assisted rapid synthesis and biological evaluation of stable copper nanoparticles using T. arjuna bark extract, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 110, 108-115.
- Yang, G., 2007, Laser ablation in liquids: Applications in the synthesis of nanocrystals, *Progress in Materials Science*, 52 (4), 648-698.
- Yoo, H. S., Kim, T. G. ve Park, T. G., 2009, Surface-functionalized electrospun nanofibers for tissue engineering and drug delivery, *Advanced drug delivery reviews*, 61 (12), 1033-1042.
- Yusuf, Ö., 2019, Nanoteknoloji'nin Askerî Uygulamaları Üzerine Bir Değerlendirme, *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, 33-52.
- Zamora-Romero, N., Camacho-Lopez, M. A., Vilchis-Nestor, A. R., Castrejon-Sanchez, V. H., Aguilar, G., Camacho-Lopez, S. ve Camacho-Lopez, M., 2020, Synthesis

- of molybdenum oxide nanoparticles by nanosecond laser ablation, *Materials chemistry and physics*, 240, 122163.
- Zeng, H., Cai, W., Hu, J., Duan, G., Liu, P. ve Li, Y., 2006, Violet photoluminescence from shell layer of Zn/ZnO core-shell nanoparticles induced by laser ablation, *Applied Physics Letters*, 88 (17).
- Zeng, J., Chen, X., Xu, X., Liang, Q., Bian, X., Yang, L. ve Jing, X., 2003, Ultrafine fibers electrospun from biodegradable polymers, *Journal of applied polymer science*, 89 (4), 1085-1092.
- Zhang, L., Zhang, L. ve Wan, M., 2008, Molybdic acid doped polyaniline micro/nanostructures via a self-assembly process, *European polymer journal*, 44 (7), 2040-2045.
- Ziğal, N., 2012, Nanolif kaplı kuvars kristal mikroterazi yüzeyler ile kütle hassas biyosensörlerin performansının geliştirilmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Esmâ Kaleli
Uyruğu : TC

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: İmam Hatip Lisesi Konya	1997
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi Konya	2004
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi Konya	-
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR