



KİLİS 7 ARALIK
ÜNİVERSİTESİ

T.C.
KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TiO₂ NANOFİBER/MXENE
NANOKOMPOZİT TABANLI KUANTUM
NOKTA DUYARLI GÜNEŞ PİLLERİNİN
ÜRETİLMESİ VE İNCELENMESİ

ABUZER FİKRET DEMİREL

T.C.
KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANA BİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TiO₂ NANOFİBER/MXENE NANOKOMPOZİT
TABANLI KUANTUM NOKTA DUYARLI
GÜNEŞ PİLLERİNİN ÜRETİLMESİ VE
İNCELENMESİ**

ABUZER FİKRET DEMİREL

DANIŞMAN: DOÇ. DR. MESUT YALÇIN

KİLİS

2024

DOÇ. DR. Mesut YALÇIN danışmanlığında, Abuzer Fikret DEMİREL tarafından hazırlanan “**TiO₂ Nanofiber/MXene Nanokompozit Tabanlı Kuantum Nokta Duyarlı Güneş Pillerinin Üretilmesi Ve İncelenmesi**” adlı tez çalışması 23.07.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Kilis 7 Aralık Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Fizik Ana Bilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Bu tezin kabulü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../202... tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman Doç. Dr. Mesut YALÇIN (Kilis 7 Aralık
Üniversitesi, Muallim Rıfat Eğitim Fakültesi,
Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü/Fen
Bilgisi Eğitimi Ana Bilim Dalı)

Üye Prof.Dr. Ahmet Necmeddin YAZICI (Gaziantep
Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fizik
Mühendisliği)

Üye Dr. Öğr. Üyesi Deniz Kadir TAKCI (Kilis 7
Aralık Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek
Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler /
Optisyonluk Programı)

Dr. Öğr. Üyesi Erdoğru GÜLCÜ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖZET

TiO₂ Nanofiber/MXene Nanokompozit Tabanlı Kuantum Nokta Duyarlı Güneş Pillerinin Üretilmesi Ve İncelenmesi

Abuzer Fikret DEMİREL

Fizik

Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Danışman: Doç. Dr. Mesut YALÇIN

Sayfa: 126 Yıl: 2024

Bu çalışmada, TiO₂/MXene tabanlı CdS kuantum nokta duyarlı güneş pillerinin üretimi yapılmıştır. TiO₂/MXene nanokompozit yapılar elektroegirme yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Üretilen nano kompozitlerin yapısal analizleri; X-ışını kırınımı (XRD), Fourier dönüşüm kızıl ötesi (FT-IR) spektrumu ve alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu ile (FESEM) yapılmıştır. Üretilen TiO₂/MXene yapılar kuantum nokta duyarlı güneş pillerinin fotoanotunda kullanılarak, pillerin akım-gerilim (I-V) karakteristiği çıkarılmıştır. Yapılan I-V analizleri ile güneş pillerinin detaylı analizi yapılmıştır. TiO₂/MXene nanokompozit tabanlı kuantum nokta duyarlı güneş pilinin verimi % 5,45, TiO₂ tabanlı güneş pilinin verimi ise % 0,33 olarak ölçülmüştür. Üretilen TiO₂/MXene nanokompozit malzemelerin kuantum nokta duyarlı güneş pillerinde kullanılabilecek önemli bir potansiyele sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: MXene, Nanokompozit, Fiber, Kuantum nokta duyarlı güneş pilleri

ABSTRACT

Fabrication and Investigation of TiO₂ Nanofiber/MXene
Nanocomposite Based Quantum Dot Sensitized Solar Cells

Abuzer Fikret DEMİREL

Department of Physics

Kilis 7 Aralık University, Graduate Education Institute

Supervisor: Doç. Dr. Mesut YALÇIN

Page: 126 Year: 2024

In this study, CdS quantum dots sensitized solar cells (QDSSCs) based TiO₂ nanofiber-MXene nanocomposite were fabricated. TiO₂-MXene nanocomposites were prepared using electrospinning process. The structural, surface morphology, chemical composition of composites were analyzed using X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infra-red spectra (FT-IR) and field emission scanning electron microscopy (FESEM) techniques. The electrical characteristics QDSSCs were performed using current-voltage characteristics of the solar cells were analyzed in detail. QDSSC based on TiO₂ nanofiber-MXene nanocomposite photoanode (TiO₂-MXene based) exhibits a high energy conversion efficiency of 5.45 %, compared with a QDSSC based on TiO₂ nanoparticle photoanode (1.03 %). The obtained new TiO₂ nanofiber-MXene nanocomposite photoanode are promising for quantum dots sensitized solar cells (QDSSCs).

Keywords: MXene, Nanocomposite, Fiber, Quantum dot sensitized solar cells

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu seminer çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, seminerin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu seminerdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, kullanmış olduğum tüm bilgiler ve yorumlar için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi, hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili bu beyanıma aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Abuzer Fikret DEMİREL

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında elektroeğirme yöntemiyle farklı oranlarda (% 0,2- 0,4- 0,6- 0,8 ve 1) MXene katkılı TiO_2 -MXene nano kompozit fiberler üretilmiş ve üretilen kompozit malzemeler güneş pillerinin fotoanotlarında kullanılarak kuantum nokta duyarlı güneş pilleri üretilmiştir. Üretilen güneş pillerinin fotovoltaiik parametreleri incelenmiştir. Bu tez çalışmasının hazırlanmasında, değerli bilgilerini benden esirgemeyen ve bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam Doç. Dr. Mesut YALÇIN' a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca yapısal analizler ve hesaplamalar konusunda yardımını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Deniz Kadir TAKCI' hocama teşekkür ederim. Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 120F090 Numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

Abuzer Fikret DEMİREL

TEMMUZ- 2024

İÇİNDEKİLER

	sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
TABLolar DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. 2D Nanoyapılı Malzemenin Sınıflandırılması	3
2.2. M ve X Elementine Bağlı Farklı Yapıda MXeneler.....	3
2.3. MXenelerin Özellikleri.....	5
2.3.1. Mekanik özellikler	5
2.3.2. Yapısal özellikler	6
2.3.3. Optik özellikler	8
2.3.4. Elektronik özellikler	9
2.3.5. Manyetik özellikler	11
2.3.6. MXene'lerin kararlılığı.....	12
2.4. Titanyumdioksit (TiO ₂)	13
2.5. Mxenelerin Üretim Yöntemleri	15
2.5.1. Yukarıdan aşağıya yöntemi	14
2.5.1.1. Aşındırma yöntemi	14
2.5.1.2. Döktürme yöntemi.....	15
2.5.2. Aşağıdan yukarıya yöntemi.....	16
2.5.2.1. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi	17
2.5.2.2. Kalıp yöntemi	19
2.5.2.3. Plazma ile güçlendirilmiş darbeli lazer biriktirme yöntemi	19
2.5.3. Elektro eğirme yöntemi	21
2.5.3.1. Elektro eğirme işlemi	22

2.5.3.2.	<i>Elektro eğirme süreci</i>	23
2.5.3.2.1.	<i>Yüklenmiş jetlerin düz bir hat boyunca uzamasının başlaması</i>	24
2.5.3.2.2.	<i>Elektrik alan sayesinde jetlerin boylarının uzaması</i>	24
2.5.3.2.3.	<i>Jetlerin toplayıcı üzerinde katılarak nano fiberlerin oluşması</i>	24
2.6.	Güneş Pilleri	25
2.6.1.	Güneş pili çeşitleri.....	26
2.6.1.1.	<i>Birinci nesil güneş pilleri</i>	27
2.6.1.2.	<i>İkinci nesil güneş pilleri</i>	28
2.6.1.3.	<i>Üçüncü nesil güneş pilleri</i>	29
2.6.2.	Güneş pilleri parametreleri	30
2.6.2.1.	Fotovoltaik parametreler	31
2.6.2.1.1.	<i>Kısa devre akımı</i>	31
2.6.2.1.2.	<i>Açık devre gerilimi</i>	32
2.6.2.1.3.	<i>Maksimum güç noktası</i>	32
2.6.2.1.4.	<i>Dolum faktörü</i>	32
2.6.2.1.5.	<i>Güç dönüşüm verimi</i>	33
2.6.2.1.6.	<i>Gelen fotonun elektrik akımına dönüşme verimi (IPCE)</i>	33
2.6.2.1.7.	<i>Standart şartlar</i>	33
3.	MATARYEL VE YÖNTEM	35
3.1.	Kullanılan Malzemeler	35
3.2.	Ti ₃ C ₂ MXene Üretimi.....	36
3.3.	Saf TiO ₂ Nanofiber Üretimi	36
3.4.	TiO ₂ -Ti ₃ C ₂ MXene Nanokompozit Fiber Üretimi	37
3.5.	CdS Kuantum Noktaların FTO Yüzeye Bağlanması	38
3.6.	Platin (Pt) Karşı elektrot Üretimi	39
3.7.	Elektrolit Hazırlama	39
3.8.	Kuantum Nokta Duyarlı Güneş Pillerinin Üretimi.....	40
4.	DENEYSEL BULGULAR	41
4.1.	X-Işını Kırınımı (XRD) Analizleri.....	41
4.2.	Fourier Dönüşüm Kızıl Ötesi (FTIR) Spektrumu Analizleri	50
4.3.	Raman Analizleri.....	55
4.4.	FESEM Görüntüleri ve EDX Analizleri	61

4.5. Üretilen Güneş Pillerinin Fotovoltaik Özelliklerin İncelenmesi	70
4.5.1. TiO_2 -Cds/Pt güneş pillerinin J_{sc} - V_{oc} , J_{sc} -P, P-V Ve I-T Analizleri	71
4.5.2. TiO_2 -% 0,2 Ti_3C_2 Mxene-CdS/Pt güneş pillerinin J_{sc} - V_{oc} , J_{sc} -P, P-V Ve I-T analizleri.....	75
4.5.3. TiO_2 -% 0,4 Ti_3C_2 Mxene-Cds/Pt güneş pillerinin J_{sc} - V_{oc} , J_{sc} -P, P-V Ve I-T analizleri.....	78
4.5.4. TiO_2 -% 0,6 Ti_3C_2 Mxene-Cds/Pt güneş pillerinin J_{sc} - V_{oc} , J_{sc} -P, P-V Ve I-T analizleri.....	82
4.5.5. TiO_2 -% 0,8 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pillerinin J_{sc} - V_{oc} , J_{sc} -P, P-V ve I-t analizleri.....	86
4.5.6. TiO_2 -% 1 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pillerinin J_{sc} - V_{oc} , J_{sc} -P, P-V ve I-t analizleri.....	91
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	96
6. KAYNAKLAR.....	98

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Organik (BIS/PAM) hidrojellerin ve MXene tabanlı hidrojellerin mekanik özellikleri.....	6
Tablo 2.2. TiO ₂ Fazlarının özellikleri.....	14
Tablo 2.3. MXenenin boyut, şekil ve yapısının farklı yöntemlerle belirlenmesi	21
Tablo 2.4. Güneş pili çeşitleri.....	27
Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan kimyasal maddeler ve özellikleri.....	35
Tablo 4.1. TiO ₂ nano fibere ait kristal yapı parametreleri.....	42
Tablo 4.2. Ti ₃ AlC ₂ ' ye ait kristal yapı parametreleri.....	44
Tablo 4.3. Ti ₃ C ₂ MXene ait kristal yapı parametreleri.....	45
Tablo 4.4. TiO ₂ - % 0,2 Ti ₃ C' ye ait kristal yapı parametreleri.....	46
Tablo 4.5. TiO ₂ - % 0,4 Ti ₃ C MXene ait kristal yapı parametreleri.....	47
Tablo 4.6. TiO ₂ - % 0,6 Ti ₃ C MXene ait kristal yapı parametreleri.....	48
Tablo 4.7. TiO ₂ - % 0,8 Ti ₃ C MXene ait kristal yapı parametreleri.....	58
Tablo 4.8. TiO ₂ - % 1 Ti ₃ C MXene ait kristal yapı parametreleri.....	50
Tablo 4.9. TiO ₂ -CdS/Pt güneş pilinin farklı aydınlatma şiddetleri altında elde edilen fotovoltaj parametreleri.....	73
Tablo 4.10. TiO ₂ -%0,2 Ti ₃ C ₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı aydınlatma şiddetleri altında elde edilen fotovoltaj parametreleri.....	77
Tablo 4.11. TiO ₂ -%0,4 Ti ₃ C ₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı aydınlatma şiddetleri altında elde edilen fotovoltaj parametreleri.....	81
Tablo 4.12. TiO ₂ -%0,6 Ti ₃ C ₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı aydınlatma şiddetleri altında elde edilen fotovoltaj parametreleri.....	85
Tablo 4.13. TiO ₂ -%0,8 Ti ₃ C ₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı aydınlatma şiddetleri altında elde edilen fotovoltaj parametreleri.....	89
Tablo 4.14. TiO ₂ -%1 Ti ₃ C ₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı aydınlatma şiddetleri altında elde edilen fotovoltaj parametreleri.....	93
Tablo 4.15. Üretilen tüm güneş pillerinin 100 mW/cm ² fotovoltaj parametreleri.....	95

RESİMLER DİZİNİ

Resim 2.1. MXenelerin üretimi için kullanılan elementler ve periyodik tablo.....	4
Resim 2.2. MAX fazlarının pul pul dökülmesi ve MXen oluşumu.....	8
Resim 2.3. Kristal birim hücresinin atom modeli.....	17
Resim 2.4. Elektro eğirme sistemi şematik görüntüsü.....	22
Resim 2.5. Sistematik elektrospinnig süreç diyagramı.....	25
Resim 2.6. Işık spektrumu.....	26
Resim 2.7. Basit güneş hücresi yapısı	31
Resim 2.8. PV akım-gerilim karakteristiği	32
Resim 2.9. Hava kütlesi ölçümü.....	34
Resim 3.1. Saf TiO ₂ elektrotlar.....	37
Resim 3.2. Nano fiber üretiminde kullandığımız elektroegirme cihazının görüntüsü.....	38
Resim 3.3. CdS kuantum nokta kaplı elektrotlar.....	38
Resim 3.4. Pt karşı elektrotlar.....	39
Resim 3.5. Üretilen sülfid/polisülfid tabanlı elektrolitin görüntüsü.....	39
Resim 3.6. Üretilen kuantum nokta duyarlı güneş pillerinin görüntüsü.....	40
Resim 4.1. Güneş pillerinin fotovoltaiik ölçümlerinde kullandığımız FYTRONIX marka solar simülatör.....	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. Saf TiO ₂ nano fiberlerin XRD analizi.....	41
Şekil 4.2. Ti ₃ AlC ₂ ' nin XRD analizleri.....	43
Şekil 4.3. Ti ₃ C ₂ MXene' nin XRD analizleri.....	44
Şekil 4.4. TiO ₂ - % 0,2 Ti ₃ C ₂ MXene' nin XRD analizleri.....	45
Şekil 4.5. TiO ₂ - % 0,4 Ti ₃ C ₂ MXene' nin XRD analizleri.....	46
Şekil 4.6. TiO ₂ - % 0,6 Ti ₃ C ₂ MXene XRD analizleri.....	47
Şekil 4.7. TiO ₂ - % 0.8 Ti ₃ C ₂ MXene XRD analizleri.....	48
Şekil 4.8. TiO ₂ -% 1 Ti ₃ C ₂ MXene XRD analizleri.....	49
Şekil 4.9. Saf TiO ₂ , Ti ₃ AlC ₂ , Ti ₃ C ₂ MXene ve TiO ₂ - Ti ₃ C ₂ MXene yapıların XRD analizleri.....	50
Şekil 4.10. Saf TiO ₂ nano fiberlerin FTIR analizi.....	51
Şekil 4.11. a) Ti ₃ Al C ₂ yapının FTIR analizi.....	51
Şekil 4.11. b) Saf Ti ₃ C ₂ yapının FTIR analizi.....	51
Şekil 4.12. TiO ₂ -% 0,2 Ti ₃ C ₂ MXene yapının FTIR analizi.....	52
Şekil 4.13. TiO ₂ - % 0,4 Ti ₃ C ₂ MXene yapının FTIR analizi.....	53
Şekil 4.14. TiO ₂ - % 0,6 Ti ₃ C ₂ MXene yapının FTIR analizi.....	53
Şekil 4.15. TiO ₂ -% 0,8 Ti ₃ C ₂ MXene yapının FTIR analizi.....	54
Şekil 4.16. TiO ₂ - % 1 Ti ₃ C ₂ MXene yapının FTIR analizi.....	54
Şekil 4.17. TiO ₂ , Ti ₃ AlC ₂ , Ti ₃ C ₂ ve TiO ₂ - Ti ₃ C ₂ MXene yapıların Raman analizleri....	55
Şekil 4.18. Saf TiO ₂ , nano fiberlerin Raman analizleri.....	56
Şekil 4.19. Ti ₃ AlC ₂ nin Raman analizi.....	56
Şekil 4.20. Ti ₃ C ₂ MXene yapının Raman analizi.....	57
Şekil 4.21. TiO ₂ - % 0,2 Ti ₃ C ₂ MXene Raman analizleri.....	57
Şekil 4.22. TiO ₂ - % 0,4 Ti ₃ C ₂ MXene Raman analizleri.....	58
Şekil 4.23. TiO ₂ - % 0,6 Ti ₃ C ₂ MXene XRD analizleri.....	59

Şekil 4.24. TiO_2 - % 0,8 Ti_3C_2 MXene XRD analizleri.....	59
Şekil 4.25. TiO_2 - % 1 Ti_3C_2 MXene XRD analizleri.....	60
Şekil 4.26. Ti_3AlC_2 , Ti_3C_2 MXene ve TiO_2 - Ti_3C_2 MXene yapıların Raman analizleri.....	60
Şekil 4.27. Saf TiO_2 nano fiberlerin EDX analizi.....	62
Şekil 4.28. Ti_3AlC_2 ’ nin FESEM görüntüsü ve EDX analizi.....	63
Şekil 4.29. Ti_3C_2 MXene yapının FESEM görüntüsü ve EDX analizi.....	64
Şekil 4.30. TiO_2 - % 0,2 Ti_3C_2 MXene yapının FESEM görüntüsü ve EDX analizi.....	65
Şekil 4.31. TiO_2 - % 0,4 Ti_3C_2 MXene yapının FESEM görüntüsü ve EDX analizi.....	66
Şekil 4.32. TiO_2 - % 0,6 Ti_3C_2 MXene yapının FESEM görüntüsü ve EDX analizi.....	67
Şekil 4.33. TiO_2 - % 0,8 Ti_3C_2 MXene yapının FESEM görüntüsü ve EDX analizi.....	68
Şekil 4.34. TiO_2 - % 1 Ti_3C_2 MXene yapının FESEM görüntüsü ve EDX analizi.....	69
Şekil 4.35. TiO_2 -CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki J_{sc} - V_{oc} grafiği.....	71
Şekil 4.36. TiO_2 -CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki P-V grafiği.....	72
Şekil 4.37. TiO_2 -CdS/Pt güneş pilinin 100 mW/cm^2 yoğunluğundaki I, P-V grafiği	72
Şekil 4.38. TiO_2 -CdS/Pt güneş pilinin J-P ve Log J-Log P grafiği.....	73
Şekil 4.39. TiO_2 -CdS/Pt güneş pilinin I-t grafiği.....	74
Şekil 4.40. TiO_2 -%0,2 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki J_{sc} - V_{oc} grafiği.....	75
Şekil 4.41. TiO_2 -%0,2 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki P-V grafiği.....	76
Şekil 4.42. TiO_2 -%0,2 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin 100 mW/cm^2 ışık yoğunluğundaki I, P-V grafiği.....	76
Şekil 4.43. TiO_2 -%0,2 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin J-P ve Log J-Log P grafiği.....	77
Şekil 4.44. TiO_2 -%0,2 Ti_3C_2 MXene tabanlı güneş pilinin I-t grafiği.....	78
Şekil 4.45. TiO_2 -%0,4 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki J_{sc} - V_{oc} grafiği.....	79
Şekil 4.46. TiO_2 -%0,4 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki P-V grafiği.....	79

Şekil 4.47. TiO_2 -%0,4 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin 100 mW/cm^2 ışık yoğunluğundaki I, P-V grafiği.....	80
Şekil 4.48. TiO_2 -%0,4 Ti_3C_2 MXene güneş pilinin J-P ve Log J-Log P grafiği.....	81
Şekil 4.49. TiO_2 -%0,4 Ti_3C_2 MXene tabanlı güneş pilinin I-t grafiği.....	82
Şekil 4.50. TiO_2 -%0,6 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki J_{sc} - V_{oc} grafiği.....	82
Şekil 4.51. TiO_2 -%0,6 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki P-V grafiği.....	84
Şekil 4.52. TiO_2 -%0,6 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin 100 mW/cm^2 ışık yoğunluğundaki I, P-V grafiği.....	84
Şekil 4.54. TiO_2 -%0,6 Ti_3C_2 MXene tabanlı güneş pilinin I-t grafiği.....	86
Şekil 4.55. TiO_2 -%0,8 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki J_{sc} - V_{oc} grafiği.....	87
Şekil 4.56. TiO_2 -%0,8 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki P-V grafiği.....	88
Şekil 4.57. TiO_2 -%0,8 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin 100 mW/cm^2 ışık yoğunluğundaki I, P-V grafiği.....	88
Şekil 4.58. TiO_2 -%0,8 Ti_3C_2 MXene güneş pilinin J-P ve Log J-Log P grafiği.....	90
Şekil 4.59. TiO_2 -%0,8 Ti_3C_2 MXene tabanlı güneş pilinin I-t grafiği.....	90
Şekil 4.60. TiO_2 -%1 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki J_{sc} - V_{oc} grafiği.....	91
Şekil 4.61. TiO_2 -%1 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki P-V grafiği.....	92
Şekil 4.62. TiO_2 -%1 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin 100 mW/cm^2 ışık yoğunluğundaki I, P-V grafiği.....	92
Şekil 4.63. TiO_2 -%1 Ti_3C_2 MXene güneş pilinin J-P ve Log J-Log P grafiği.....	94
Şekil 4.64. TiO_2 -%1 Ti_3C_2 MXene tabanlı güneş pilinin I-t grafiği.....	94
Şekil 4.65. Üretilen güneş pillerinin 100 mW/cm^2 de ki J_{sc} - V_{oc} grafiği.....	95

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

eV	: Elektron volt
σ_f	: Kırılma direnci
λ_{ts}	: Kopma anındaki uzama
K	: Kelvin
σ_c	: Basınç direnci
m	: Kütle
π	: Radyan cinsinden açı değeri
E	: Elektrik alan
e	: Elektron yükü
E_g	: Bant aralığı
eV	: Elektron volt
f	: Frekans
G	: İletkenlik
h	: Planck sabit
$h\nu$	: Işık (foton) enerjisi
I^- / I_3^-	: İyodür / Triiyodür elektrolit çifti
I_{max}	: Maksimum güç noktasındaki akım
I_{sc}	: Kısa devre akımı
J	: Akım yoğunluğu
K	: Kelvin
kB	: Boltzman sabiti
I_{sc}	: Kısa devre akımı
J	: Akım yoğunluğu
K	: Kelvin
kB	: Boltzman sabiti
η	: Verim
FF	: Dolum faktörü

2. Kısaltmalar

DFT	: Yoğunluk fonksiyonel teorisi
CVD	: Kimyasal buhar biriktirme
2D	: İki boyutlu
TMC	: Geçiş metali karbürleri
TMN	: Geçiş metali nitrürleri
TMD	: Geçiş metali dikalkojenitleri
A	: Kontak alanı
AM	: Hava kütlesi
CB	: İletkenlik bandı
FF	: Dolum faktörü
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
FTO	: Flor katkılı kalay oksit
KN	: Kuantum nokta
KNDGP	: Kuantum nokta duyarlı güneş pili
MIS	: Metal yalıtkan yarı iletken
MPP	: Maksimum güç noktası
Mtep	: Milyon ton petrol
n	: n tipi yarı iletken
p	: p tipi yarı iletken
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SILAR	: İyonik tabakaların sıralı bir şekilde kaplanması ve reaksiyonu
UV	: Ultraviyole
VB	: Valans bandı
XRD	: X-ışını kırınımı analizi

1. GİRİŞ

MXenler, yanal boyutları 100 nm civarında veya birkaç μm olan ultra ince ve iki boyutlu (2D) tabaka benzeri yapıya sahip tek veya birkaç molekül kalınlığında (normalde 5 nm'nin altında) sıra dışı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip nano yapıları malzemelerdir (Yang vd., 2019). İki boyutlu malzemeler arasında teorik olarak bilinen grafen ilk olarak 2004 yılında Geim ve Novoselov tarafından deneysel olarak sentezlenmiştir. Grafenin ilk sentezinde bilinen en basit yol olan yapıştır-çek yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, grafit kaleme günlük hayatta kullanılan bir bant yapıştırılıp çekilerek grafen izole edilmiş elektronik ve yapısal özellikleri incelenmiştir (Deshmukh vd., 2020). İki boyutlu malzemelerde görülen elektron tuzaklama özelliği bu malzemelerin olağanüstü kimyasal, fiziksel ve optoelektronik özellikler sergilemesini sağlar. MXenler sahip oldukları tabakalı yapı sayesinde iki boyutlu malzemeler arasında günümüzde yaygın olarak kullanılan grafen ve hegzagonal bor nitride (h-BN) benzemektedir. Bu nedenle, MXenler yapısal özellikleri ve göstermiş oldukları fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle iki boyutlu nano malzemeler sınıfına dahil edilmiştir (Khazaei vd., 2013; Persson vd., 2018; Gogotsi ve Anasori, 2019; Shuck vd., 2019; Verger vd., 2019; Khaledialidusti vd., 2020; Sarkar vd., 2020 ; Wu vd., 2020). MXenler (geçiş metali nitridleri, karbürler ve karbonitridler) göstermiş oldukları optik, mekanik ve elektriksel özellikleri sayesinde günümüzde çok sayıda araştırmacı tarafından ilgi çekici bir araştırma konusu haline gelmiştir (Tao vd., 2017; Halim vd., 2018; Persson vd., 2018). Günümüzde, MXenler çok sayıda bilim insanı tarafından oldukça farklı yapılarda sentezlenmiş ve başta lityum iyon piller olmak üzere çok sayıda uygulamada kullanılmıştır. MXenler, günümüzde optoelektronik ve sağlık sektöründe kullanılan çeşitli cihazların geliştirilmesinde öncü rol oynamaya başlamıştır (Verger vd., 2019; Khaledialidusti vd., 2020; Sarkar vd., 2020). Farklı optoelektronik cihazlarda kullanılan MXenlerin verimi, MXene yapıyı oluşturan atomların yapısına, kristal düzenine ve yapıyı oluşturan atomların oranına bağlıdır (Tao vd., 2017; Persson vd., 2018). Ayrıca, MXenler optoelektronik bir cihaz üretiminde kullanıldığında sıra dışı optik, elektronik, fotokatalitik ve elektrokimyasal özellikler sergileyerek özellikle lityum iyon piller, sensörler ve güneş pilleri gibi pek çok uygulamada kullanılabilecek potansiyele sahip bir malzeme konumundadır (Wu vd., 2020). Ayrıca, MXenler sahip oldukları büyük yüzey

alanı nedeniyle kimyasal moleküller, gazlar ve çeşitli iyonik türler için verimli bir soğurma yüzeyi sağlayarak farklı algılama uygulamalarında kullanılabilirler. Günümüzde, yapısal özellikleri değiştirilerek farklı yüzey kimyasına sahip MXen yapılar üretilmiştir. Farklı nano yapıda sentezlenmiş MXene türleri kullanılarak üretilen cihazlarda, MXenelerin nasıl bir etki yarattığı sentez sürecine ve sentez yöntemine bağlıdır. Bu nedenle MXenlerin sentez süreci ve üretilen malzemenin karakterizasyonu son derece önemlidir. MXene yapılar lityum iyon pillerde kullanılsa da kuantum nokta duyarlı güneş pillerinde kullanımı literatürde yok denecek azdır. Ancak, 2D yapısıyla MXeneler güneş pillerinin verimlerini önemli ölçüde artırabilir. Bu nedenle bu tez çalışmasında elektrodeğirme yöntemiyle farklı oranlarda (% 0,2- 0,4- 0,6- 0,8 ve 1) MXene katkılı TiO_2 -MXene nano kompozit fiberler üretilmiş ve yapısal analizleri yapılmıştır. Üretilen fiberler doğrudan FTO yüzeye kaplanarak fotoanaotlar oluşturulmuştur. Fotoanotların yüzeyleri SILAR (successive ionic layer adsorption and reaction) yöntemi kullanılarak CdS kuantum noktalarla kaplanmıştır. Karşı elektrotta ise Pt elektrot kullanılarak kuantum nokta duyarlı güneş pilleri üretilmiş ve üretilen pillerin verimleri karşılaştırılmıştır. Üretilen güneş pillerinin kısa devre akımları (I_{sc}) ve açık devre voltajları (V_{oc}) ölçülmüş ve fotovoltaiik parametreleri hesaplanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2011 yılında Drexel Üniversitesi'nde keşfedilen geçiş metali karbürleri (TMC'ler) ve geçiş metali nitrürleri (TMN'ler) MXenler olarak adlandırılmaktadır (Verger vd., 2019). MXenler ile ilgili yapılan bu ilk çalışma, dünya çapında çok sayıda bilim adamının ilgisini çekmiştir. 2011 yılından günümüze kadar MXenler ile ilgili çok sayıda deneysel ve teorik çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar, farklı türde 2D karbür ve nitrürün ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu 2D karbürler ve nitrürler birlikte gruplandırılarak MXenler olarak adlandırılmıştır (Verger vd., 2019). MXenelerin genel formülü $M_{n+1}X_nT_z$ ($n = 1, 2$ veya 3) veya $M_{1,33}XT_z$ şeklindedir. Formülde, M geçiş metalini, X ise "C" veya "N" elementlerini temsil eder. T_z , farklı bileşimleri (hidroksil, florin ve oksijen molekülleri) belirtir. MXenelerin yapısı tabakalar arasına karbon ve azot elementlerinin girdiği katmalı 2D yapı şeklindedir (Pang vd., 2019; Chandran vd., 2020; Han vd., 2020; Mei vd., 2020).

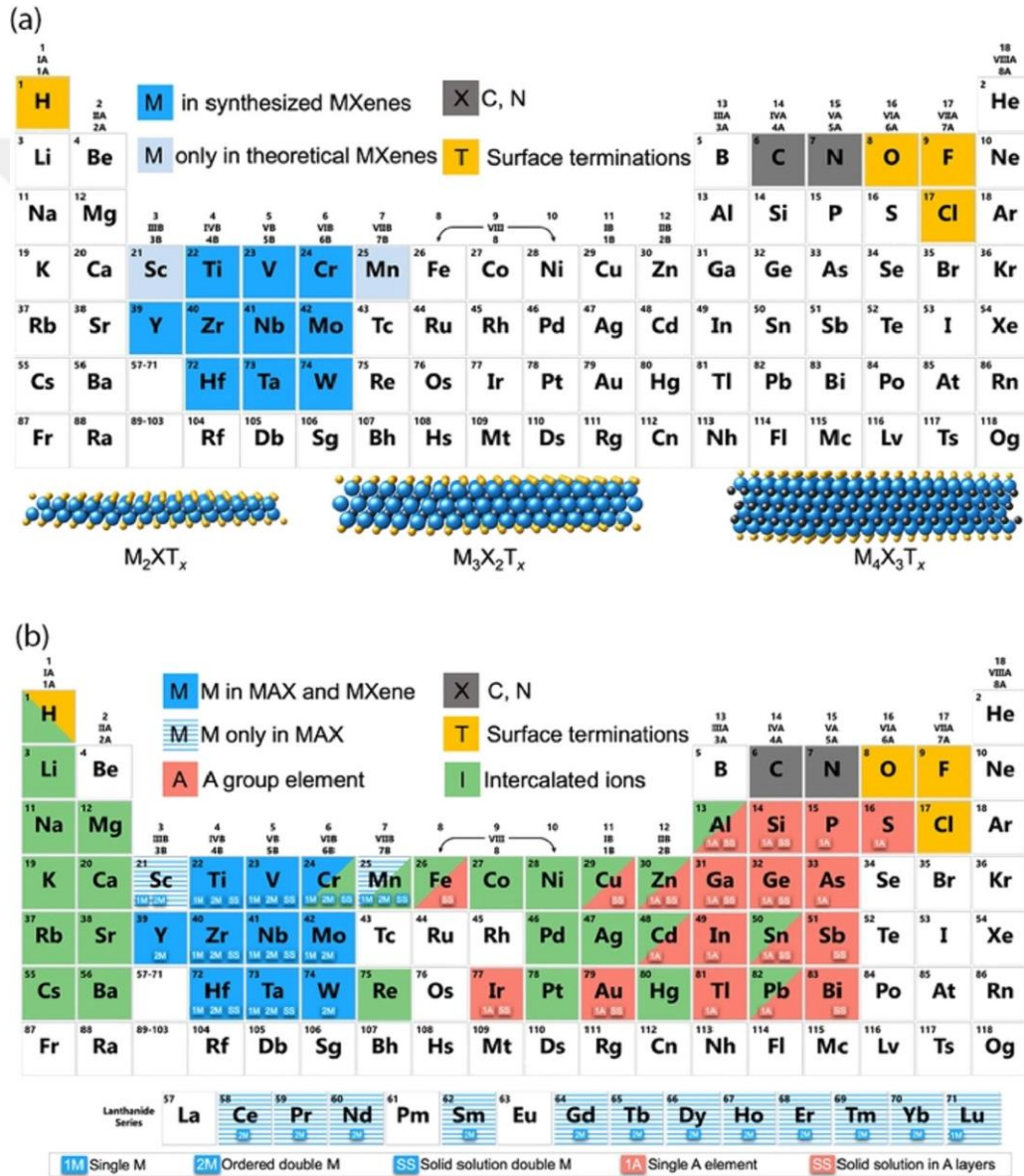
2.1. 2D Nanoyapılı Malzemenin Sınıflandırılması

Grafenden ilham alınarak çeşitli iki boyutlu tabaka şeklinde nano malzemeler üretilmiştir. Grafen, grafitten izole edilirken hegzagonal bor nitrür (h-BN) ise genellikle borik asit kullanılarak kimyasal süreçler sonunda elde edilir. Ayrıca, geçiş metali dikalkojenitlerin (TMD) genel formülü MX_2 şeklindedir. Formülde M bir geçiş metalini temsil ederken, X bir kalkojeni ($X = \text{Se, Te veya S}$) temsil eder. Geçiş metali dikalkojenitlerin sahip olduğu benzersiz özellikler onları grafenden ve hegzagonal bor nitrür (h-BN)' den önemli ölçüde ayırır.

2.2. M ve X Elementine Bağlı Farklı Yapıda MXeneler

MXenelerde birleştirici kimyasal çeşitlilik için düşünülen MAX fazları kimyasal olarak çok yönlülük sağlar. M ve X elementlerine bağlı olarak değişen 30 farklı yapıya sahip MXene üretilmiştir. Resim 2.1' de MXene üretimi için kullanılabilecek elementler özetle verilmiştir. Resim 2.1 'de yeşil (M), turuncu (A) ve sarı (X) ile gösterilmiştir. Farklı yapıda üretilen MXeneler dört farklı kimyasal formül ile ifade edilir. Kullanılan bu MXene formülleri sırasıyla $M_{1,33}XT_z$, M_2XT_z , $M_3X_2T_z$ ve $M_4X_3T_z$ şeklindedir (Gogotsi ve Anasori, 2019). Günümüzde 30'dan fazla MXene tabanlı nano malzeme rapor edilmiştir. Geçiş metallerinin ve geçiş metali düzlemlerinin ($n \geq 2$) yani $\text{Mo}_2\text{TiC}_2\text{T}_x$ veya düzlem içi ($n = 1$) $(\text{Mo}_{2/3} - \text{Y}_{1/3})_2\text{CT}_x$ sıralı yapılar olarak atomik katmanların oluşumu yoluyla tek bir 2D düzenli MXene yapılar oluşturabileceği fark edilmiştir. Tabakalı

karbürler ve nitrürler kullanılarak olağanüstü özelliklere sahip MXene tabanlı nanokompozitler üretilmiştir (Gogotsi ve Anasori, 2019). Sonuç olarak, farklı geçiş metalleri veya karbonitridler kullanılarak MXene tabanlı nanokompozitler sentezlenmiş ve özellikleri ayarlanmıştır. MXenelerin dört farklı kimyasal formülü (sonlandırmalar dikkate alınmadan) $M_{1,33}XT_z$, M_2X , M_3X_2 ve M_4X_3 şeklinde verilir. Burada M, geçiş metalini X, ise nitrojen ve karbon elementlerini temsil eder.



Resim 2.1. MXenelerin üretimi için kullanılan elementler (Gogotsi ve Anasori, 2019).

2.3. MXenelerin Özellikleri

2D malzeme içinde yer alan bağlar ve kristal yapının türü; tabakalar arası açıklığı, elektronik, iyonik iletkenliği ve malzemenin mekanik kararlılığını belirleyen en önemli faktördür. Malzeme içindeki bu bağlar aynı zamanda malzemenin kemo-mekanik deformasyona karşı direncini de belirleyen temel parametredir. Ancak, MXenelerin çeşitli uygulamalarda kullanımını uygun hale getirebilmek için, bazı özelliklerinin ayarlanması gerekir. Ayarlanması gereken bu özellikler (i) malzemenin bileşimi (geçiş metalleri ("M") ve diğer elementel ("X") bileşenler), (ii) termal işlemler veya kimyasal yollarla yüzey modifikasyonu ve (iii) yapı veya morfoloji modifikasyonları olarak sıralanabilir (Khaledialidusti vd., 2020). Çoğu 2D nanoyapılı malzemenin aksine, MXenler ve grafen yüksek metalik iletkenliğe sahip hidrofilik yüzeylere sahiptir. MXenelerin çeşitli alanlarındaki potansiyel uygulamalarını bilmek için, MXenelerin aşağıda verilen özelliklerini anlamak gerekir.

2.3.1. Mekanik özellikler

MXenler, geçiş metali ve diğer elementler (karbon ve nitrojen) arasındaki güçlü kovalent bağları nedeniyle önemli mekanik özellikler sergiler. MAX fazına kıyasla MXenlerin dayanıklılığını açıklayan birkaç çalışma tanımlanmıştır (Deshmukh vd., 2020). MAX fazındaki Al atomlarının çıkarılmasıyla MXene'deki M–X bağlarının gücündeki artış, fonksiyonelleştirilmemiş ve fonksiyonelleştirilmiş MXen için yüksek elastik sabiti değeri göstermesine neden olur. Ancak eğer MXenler OH, F ve O atomları ile fonksiyonelleştirilirse deformasyon nedeniyle elastik sabiti değeri azalır (Deshmukh vd., 2020). Dikkat çekici bir şekilde, Ti_2CO_2 tek eksenli ve çift eksenli zorlanma altında büyük bir zorlanma direnci sergiler. Ayrıca, MXene'lerin kırılma dayanımı ve Young modülü sırasıyla 17.3 ± 1.6 ve 333 ± 30 GPa dır. Bu değer MXenenin diğer 2D nanomalzemelere (grafen oksit ve MoS_2) oranla daha yüksek Young modülüne sahip olduğunu gösterir. Ancak, karbür tabanlı MXeneler, nitrür tabanlı MXenlerden daha düşük Young modülü değerine sahiptir.

MXenler kullanılarak hidrojel ve/veya fiber tabanlı malzemeler üretilir. Hidrojellerin mekanik özellikleri, çekme ve basınç testleri yapılarak değerlendirilir. Ti_3C_2/PAM NC (poliakrilamit nanokompozit) hidrojelleri, bükülme, uzama, sıkıştırma ve düğümleme dahil olmak üzere yüksek derecede bozulmalar sergiler. MXene tabanlı hidrojeller (Ti_3C_2/PAM NC) ise kolayca uzatılabilir ve 180° gibi yüksek bir bükülme gösterir.

MXene tabanlı hidrojenlerin yüzeyinde, bozulmalar bir düğüme dönüştüğünde ve ardından uzadığında bile hiçbir kırılma fark edilmez. Bu nedenle, MXene tabanlı hidrojenler (Ti_3C_2/PAM NC) yüksek basınçta kırılma olmaksızın önemli bir dayanım sergiler. Ayrıca, MXene tabanlı hidrojenler, sıkıştırma kuvvetinin kaldırılmasından sonra hızla eski durumuna geri döner. Tablo 2.1. de MXene tabanlı hidrojenlerin çekme ve basınç özelliklerini tanımlayan kırılma direnci (σ_f), kopma anındaki uzama (λ_{ts}) ve basınç direncine (σ_c) bağlı olarak bazı mekanik özellikleri verilmiştir. MXene tabanlı hidrojenler, organik çapraz bağlı BIS/PAM hidrojenlerine oranla daha yüksek kopma anındaki uzama ve kırılma direnci değerlerine sahiptir. MXenler, hidrojenlerin gerilme özelliklerini büyük ölçüde iyileştirir. Ayrıca, MXene (Ti_3C_2/PAM NC) tabanlı hidrojenler, sıkıştırma testleri altında önemli ölçüde basınç değerleri gösterir (Persson vd., 2018).

Tablo 2.1. Organik (BIS/PAM) hidrojenlerin ve MXenes bazlı hidrojenlerin mekanik özellikleri (Persson vd., 2018).

Numune	Ti_3C_2 (%)	Kopma anındaki uzama (%)	Kırılma direnci (kPa)	Basınç direnci (kPa)
BIS/PAM	0.0	109.6	32.0	—
$(Ti_3C_2)_2$ PAM	0.0145	2158.6	66.5	400.6
$(Ti_3C_2)_4$ PAM	0.0291	2555.0	88.4	670.0
$(Ti_3C_2)_6$ PAM	0.0463	3047.5	102.7	819.4

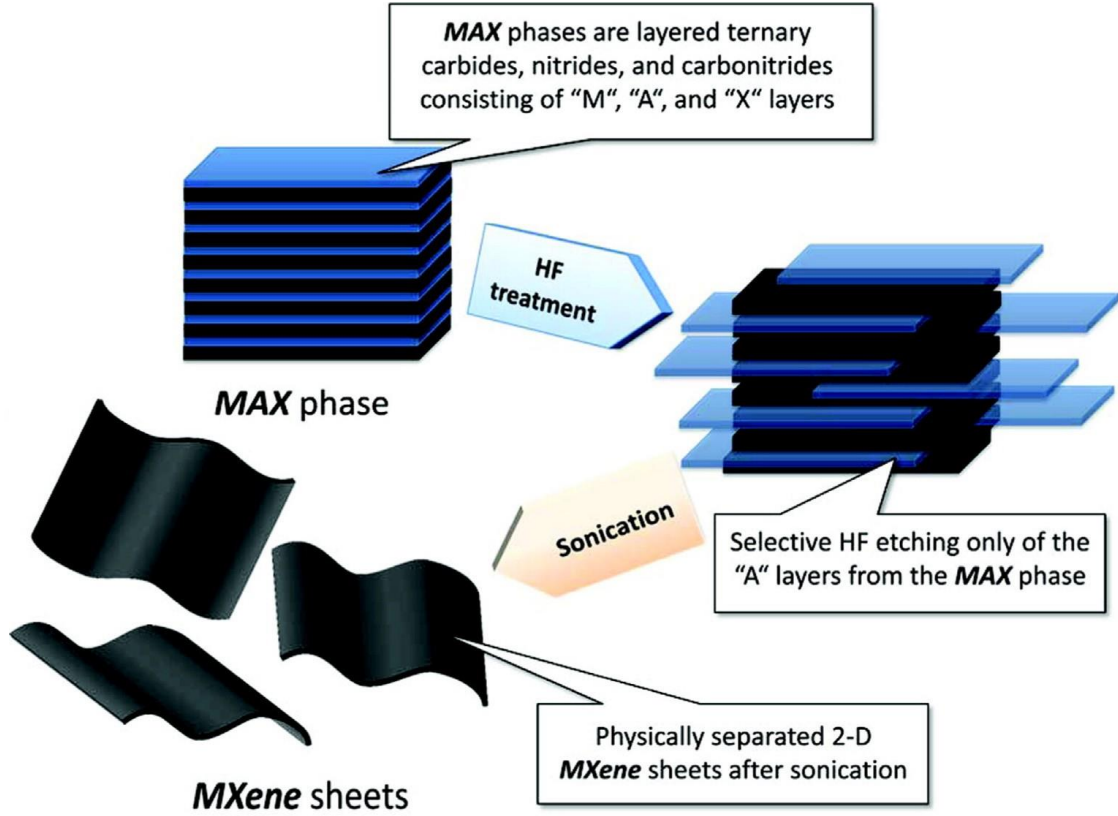
(PAM = Poliakrilamid, T = Ti_3C_2 , BIS = N, N-metilen bisakrilamid)

2.3.2. Yapısal özellikler

Yeni üretilen kararlı MXenlerin yapılarını belirlemek için hesaplamalı simülasyon çalışmalarının yapılması gerekir (Tan vd., 2019; Kobayashi vd., 2020). MXenelerde altı tip yapı gözlenmiştir. Bunlar (1) Mono-M bileşenleri (Nb_4C_3 ve Ti_2C). (2) Katı çözeltiler ($(Cr, V)_3C_2$ ve $(Ti, V)_3C_2$). (3) Bir geçiş metalinin dış katmanları içerdiği (normalde Cr ve Mo ve odak katmanlarının başka bir metal (Ta ve Nb) tarafından doldurulduğu, düzlem dışı iki katlı M bileşenleri (Caffrey, 2018; Sarycheva vd., 2020). (4) Sıralı düzlem içi iki katlı M bileşenleri, bu yapıda ayırt edici M bileşenleri bazal düzlemde sıralanır. Örneğin,

($\text{Mo}_{2/3}\text{Y}_{1/3}$) $_2\text{AlC}$) şeklindeki yapılardır (Persson vd., 2018). (5) Boşlukların düzenli olduğu yapılar (örneğin, $\text{Mo}_{1.33}\text{CT}_x$) (Tao vd., 2017) (6) Boşlukların rastgele dağıldığı yapılar ($\text{Nb}_{1.33}\text{CT}_x$) şeklinde sıralanabilir (Halim vd., 2018). Yapı içinde, “M” atomları daha küçük altıgen yapıda bulunurken, MAX fazlarının oktahedral bölgeleri ise “X” molekülleri ile doldurulur (Chandran vd., 2020). Bununla birlikte, molekül desenleri stokiyometrik sınır olan “n” ile ayarlanabilir. Örneğin, MX_2 AB istifleme (altıgen) sergilerken, M_3X_2 ve M_4X_3 ABC istifleme (yüzey merkezli kübik) sergiler. Yüksek “n” indeksli MXenelerin kararsızlıkları, bu istiflenme modeli ile açıklanmaya çalışılır. Mo_2C 'nin kararlı olduğu belirlenmiştir (Mei vd., 2020). Ancak, Mo_3C_2 ve Mo_4C_3 ise yapı içindeki Mo ve C parçacıklarının (Zhang vd., 2019) altıgen düzeninden dolayı kararsızdır (Han vd., 2020). MXenlerin özelliklerini açıklayabilmek için, farklı kimyasal gruplar ile sonlandırılmış MXenlerin, kimyasal gruplarının yapısı ve etkisinin incelenmesi gerekir. Hesaplamalı tahminler geçiş metalinin düzenli altılı koordinasyon sergilediğini göstermiştir. Bu durum, M ve X arasında kimyasal bağların oluşabileceği ihtimalini düşündürür. Oluşacak bu bağlar, M_2XT_2 bileşiklerinin belirlenmesine yardımcı olur (Wong vd., 2019). Sonlandırma atomları (terminations (T)) kullanılarak üretilen yapıların, farklı “M” ve “X” atomları kullanılarak üretilenlere göre daha kararlı olduğu tespit edilmiştir (Tan vd., 2019). Ayrıca, belirli bileşiklerde (örneğin, sıralı iki katlı M bileşenleri), elektronik etkileşimleri geliştirmek için “T” molekülleri “X” moleküllerinin üzerine yerleştirilir (Kobayashi vd., 2020). DFT yöntemi kullanılarak $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ ve V_2CT_x bileşiklerindeki uç demetlerinin geliştiği güzel taşınması gösterilmiştir (Nicolosi vd., 2013; Sarycheva vd., 2020). Bununla birlikte, MXene yapıların tam olarak doğrulanmasını sağlamak için daha fazla deneysel çalışmaların yapılması gerekir (Ronchi vd., 2019). MXene yapısı, yüksek çözünürlüklü geçirmeli elektron mikroskobu (HRTEM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve elektron enerji kaybı spektroskopisi (EELS) gibi çeşitli mikroskobik teknikler kullanılarak analiz edilebilir (Sarycheva vd., 2020). Bu analitik veriler, MXenlerdeki atomların yapısal kusurlarını, yüzey sonlandırmalarını, morfolojisini ve yapısal düzenini başarıyla gösterir (Pang vd., 2019). Ayrıca; XPS analizi, yapılarak MXenelerde element bileşimi, elementlerin oksidasyon durumları ve elemental stokiyometrik oranı belirlenebilir (Pang vd., 2019). Ayrıca, bazı araştırmacılar (Ronchi vd., 2019) sentezlenen MXenlerde bulunan elementel izotopları belirlemek için nükleer

manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi de kullanmışlardır. Temel bir MXene yapısı ve dökütürölme aşamaları Resim 2.2’ de verilmiştir.



Resim 2.2. MAX fazlarının pul pul dökölmesi ve MXen oluşumu için şematik süreç (Zhang vd., 2019).

2.3.3. Optik özellikler

Son yıllarda yapılan çalışmalar, MXene'lerin iletim, soğurma, kırılma indisi ve yansıtma gibi çeşitli optik özellikler sergilediğini ortaya koymuştur (Deshmukh vd., 2020). Örneğin, 550 nm'de $Ti_3C_2T_x$ MXene %77 geçirgenlik sergilemiştir (Deshmukh vd., 2020). Benzer şekilde $Ti_3C_2T_x$ MXene filmi 300–500 nm aralığında ışığın %91,2'sini geçirme yeteneğine sahiptir. MXene'ler; fotokatalitik, fotoiletken elektrotlar ve optoelektronik cihazlarda umut verici adaylar olarak kullanılabilir. MXene katmanının kalınlığı, farklı gruplarla işlevselleştirilerek yansıtıcılığı büyük oranda değiştirilebilir. MXene'lerin optik özellikleri MXen'lerin yüzey kimyası kontrol edilerek de ayarlanabilir. MXene'ler, damlatarak döndürme yöntemiyle ince filmler hazırlamak için kullanılır ve görünür bölgede şeffaf bir yapı sergiler. Örneğin, damlatarak döndürme yöntemiyle üretilen MXene ince filmlerde ($Ti_3C_2T_z$) geçirme oranı %97 olarak belirlenmiştir (Dillon

vd., 2016). Hazırlanan ince filmler ($Ti_3C_2T_z$), 550 nm'de $Ti_3C_2T_z$ filme benzer şekilde maksimum soğurma göstermiştir (Ying vd., 2017). Ancak V_2CT_z film iki kat daha şeffaftır (Ying vd., 2018). Ayrıca, MXen tabanlı filmin soğurma oranı, MXen katmanları arasındaki katyonların ve organik moleküllerin araya girmesi nedeniyle değiştirilebilir (Hantanasirisakul vd., 2016). MXene bazlı ince filmin absorpsiyonu, hidrazin kullanılarak azaltılabilir (Hantanasirisakul vd., 2016). MXene tabanlı ince filmlerinin hazırlanması için dağlama/aşındırma yöntemi kullanılmaktadır (Halim vd., 2014). Aşındırma işlemi farklı kimyasallar kullanılarak yapılabilir. Ancak, NH_4HF_2 ile aşındırılan filmler hidroflorik asitle aşındırılan MXene filmlerden daha yüksek şeffaflığa sahiptir. 15 nm'lik MXene kalın filmler kullanılarak, ışığın %90'ının görünür ve kızılötesi aralığında etkin bir şekilde ilettiği gözlenmiştir. Aşındırma yöntemiyle hazırlanan MXene tabanlı filmler iyi bir iletkenlik ve elektrokimyasal özellik sergiler. Böylece MXene tabanlı filmlerin yüksek şeffaflığa sahip iletken elektrot olarak kullanılabileceği ispatlanmıştır (Dillon vd., 2016; Urbankowski vd., 2016; Sun vd., 2017).

2.3.4. Elektronik özellikler

Yüzey sonlandırmaları olmadan MXeneler, tıpkı MAX fazları gibi metalik elektrik iletkenleri gibi davranır (Khazaei vd., 2017). MXenelerin elektronik özelliklerini ayarlamak için, yüzey sonlandırmaları ve M bileşenleri değiştirilir. Bu bileşenler değiştirilerek malzeme metalik yapıdan yalıtkana ve ya yarı iletkene dönüştürülebilir. Ti ve Mo elementleri (Ti_2CT_z , $Ti_3C_2T_z$, $Mo_{1,33}CT_z$, Mo_2CT_z , $Mo_2TiC_2T_z$ ve $Mo_2Ti_2C_3T_z$) içeren MXenlerin elektronik özellikleri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Naguib vd., 2015; Liu vd., 2016; Zhang vd., 2017; Gao vd., 2020; Tian vd., 2020). MXeneler, büyük MXene tabakaları ve düşük kusur konsantrasyonları içerdiğinde daha yüksek iletkenliğe sahip olur (Halim vd. 2018). Damlatarak döndürme yöntemiyle üretilen $Ti_3C_2T_z$ MXene filmler $9880 S cm^{-1}$ gibi yüksek bir iletkenlik değerine sahiptir (Zhang vd., 2017). Ancak, filtrelenmiş MXene filmlerde araya giren türlerin varlığı nedeniyle iletkenlik azalır. Örneğin, hidroflorik asitle kazınmış Mo_2CT_z 'yi pul pul dökmek için aracı olarak tetrabutylamonyum hidroksit (TBAOH) kullanılır (Halim vd., 2016). Tavlama işlemi nedeniyle, 2D tabakalar arasında yer alan TBA^+ yapılar, araya giren türlerin tahliyesine yol açar. Bu durum ara katmandaki boşluğu azaltabilir. Böylece iletkenlikteki azalma giderilebilir (Gao vd., 2020; Tian vd., 2020). Özellikle hem $Ti_3C_2T_z$ tek katmanlı yapılarda hem de karışık yüzey sonlandırmalı MXen filmlerde metalik iletkenlikler ve

zayıf ara katman aralığı kapasitesi tespit edilmiştir (Naguib vd., 2015; Gao vd., 2020). Mo içeren MXenlerin direnci, ara tabaka mesafesinin doğrudan bir etkisi olarak, sıcaklığın azalmasıyla birlikte artmıştır (Halim vd., 2016). Dirençteki bu artış “yarı iletken benzeri” iletkenlik olarak açıklanmıştır (Khazaei vd., 2017). Başka bir çalışmada (Miranda vd., 2016) $\text{Mo}_{1.33}\text{CT}_z$ için tüm durumlarda tabakalar arasındaki en olası taşıma mekanizmasının değişken aralık atlama (VRH) mekanizması olduğu gösterilmiştir. Ayrıca aynı çalışmada, büyük boşluk ve kusur konsantrasyonu nedeniyle VRH' nin tabakaların içinde olduğu rapor edilmiştir (Gao vd., 2020; Tian vd., 2020). Mo_2CT_z ve $\text{Mo}_2\text{TiC}_2\text{T}_z$ 'nin filtrelenmiş filmleri 800 K' ye kadar ısıtıldığında, Mo_2CT_z filminin iletkenliği VRH' den metalik iletkenliğe dönüşür. Ancak, $\text{Mo}_2\text{TiC}_2\text{T}_z$ 'nin ise 800 K'ye ısıtılması iletkenlik mekanizmasını değiştirmez. Bu durum muhtemelen yetersiz tavlama sıcaklığından kaynaklanmaktadır (Anasori vd., 2016). Dış geçiş metal katmanlarının MXenlerin elektronik özelliklerinde önemli bir rol oynadığı kanıtlanmıştır. Saf MXenlerin metalik doğası, yüzeyleri işlevsel hale getirilerek yarı iletkene dönüştürülebilir. Ti_3C_2 MXene metalik iletken özellikleri sergilerken, F veya OH ile sonlandırılan Ti_3C_2 MXene, 0,05 ve 0,1 eV bant aralığı değerleri gösteren yarı iletken özellik sergiler (Shuck vd., 2019). Ayrıca, MXenlerdeki geçiş metali katmanlarının elementel bileşiminin değişmesi, MXenlerin bant aralığı değerlerini büyük ölçüde değiştirir. Sc_2CX_2 MXenlerin (X=O,OH ve F), Zr_2CO_2 , Ti_2CO_2 ve Hf_2CO_2 ile fonksiyonelleştirilmesi durumunda enerji bandı aralığı sırasıyla 1,03, 1,8 ve 0,45 eV iken Sc_2CX_2 (X=F,OH ve O) MXenlerin, Zr_2CO_2 , Ti_2CO_2 ve Hf_2CO_2 ile fonksiyonelleştirilmesi durumunda ise band aralığı sırasıyla sırasıyla 0,88, 0,24 ve 1 eV' dir (Khazaei vd., 2013). Zr, Ti ve Hf elementleri dış kabuklarında aynı sayıda elektron bulundurdıklarından dolayı benzer elektronik özellik gösterirler. Ayrıca, MXenlerin yüzeyinde pozitif yüklü H_2 'nin varlığından dolayı, Fermi seviyesine yakın birkaç hidroksil grubu (OH) ile fonksiyonelleştirilmiş MXen'de yakın serbest elektron (NFE) durumları tespit edilmiştir (Khazaei vd., 2013). Sonuç olarak, MXenlerin yarı iletken malzemeler gibi davranmalarına izin veren olgu, verimli elektron transferini destekleyen dipol momentlerinin üretilmesidir. MXene nanoyapılı malzemelerde katman sayısı arttıkça farklı MXen türlerinin bant aralığı değerlerinin azaldığı belirlenmiştir (Deshmukh vd., 2020). MXene filmlerin elektronik davranışı, katmanlar arasındaki iletkenliğe dayanmaktadır. Numune hazırlama işlemi MXenlerin iletkenlik özelliklerini

büyük ölçüde etkiler. MXenlerin yapısal (örneğin, farklı katyonlara ve parçacık türlerine sahip olma kapasiteleri), optik ve elektriksel özelliklerinin kombinasyonu onları farklı uygulamalar için potansiyel adaylar haline getirir.

2.3.5. Manyetik özellikler

MXeneler; geçiş metali, yüzey fonksiyonelleştirme ve tek tabaka kusurlarının varlığı nedeniyle manyetik davranış sergiler. Yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) hesaplamalarına göre, saf ve yüzeyi modifiye edilmiş MXenler, fonksiyonel gruplar ile geçiş metali elementi arasındaki kovalent bağ nedeniyle manyetik değildir. Bununla birlikte, MXenlerin kovalent bağları kimyasal yüzey modifikasyonu ile ayarlanabilir. Bu ayarlama harici gerilim (Deshmukh vd., 2020) yoluyla d-elektronlarının serbest kalmasına yol açar. d-elektronlarının serbest kalması manyetik olmayan yapıyı manyetik hale dönüştürür. Yüzey aktif fonksiyonel grupları ($-F$, $-O$ ve $-OH$) değiştirilerek çok katmanlı bir $Ti_3C_2T_x$ MXenenin manyetik özelliklerinin değiştirilip değiştirilemeyeceği incelenmiştir. Bu amaçla, klorosülfonik (CS) reaksiyonu yoluyla hidroflorik asitle aşındırılmış MXenlerin Ti-terminaline kükürt tabanlı fonksiyonelleştirme yapılmıştır. CS, Ti-OH ile etkileşime girmek için yüksek reaktivite sergileyerek, Ti- SO_3H (Geng vd., 2016; Chaitoglou vd., 2018) oluşmasına neden olur. Hem $-SO_3H$ hem de $-S_2$, manyetik durumları etkileyen MXene yapısının bir parçasıdır. Elde edilen sonuçlar, HF ile işlenmiş malzeme ile karşılaştırmak için CS'nin Ti_3AlC_2 üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. CS asit kullanılarak MAX fazından Al atomları uzaklaştırılmış ve tamamen aşındırılarak MXen katmanları üretilmiştir. Elektron paramanyetik rezonans spektral sonuçları MXen'lerin hem CS hem de HF asitleri ile aşındırılarak hem paramanyetik hem de antiferromanyetik özellikler sergilediğini göstermiştir. Bu durum asit seçiminin manyetik doğaya sahip MXenlerin üretilmesinde önemli bir rol oynadığı sonucunu düşündürmektedir. İlginç bir şekilde, V_2C ve V_2N MXenler antiferromanyetik ve manyetik olmayan doğalar sergiler. C ve N kombinasyonunun MXenlerin manyetik yapısını oluşturmada kilit bir rol oynadığı düşünülür (Deshmukh vd., 2020). Ayrıca, saf Ti_2N ve Ti_2C 'nin manyetik momentleri birim başına 1,00 ve 1,91 mB'dir (Deshmukh vd., 2020). Zr_2C ve Ti_2C MXenelerin manyetik momentleri büyük ölçüde iyileştirilmiş ve çekme gerilimi artırılarak manyetik olmayan doğadan ferromanyetik yapıya dönüştürülmüştür. Ayrıca, V_2C MXene ve saf MXen'ler OH ve F grupları ile fonksiyonelleştirilerek antiferromanyetik doğaya dönüştürülebilir. Benzer bir eğilim, MXenlerde O, H, Cl, F ve OH gruplarının varlığı

nedeniyle ferromanyetikten antiferromanyetik geçişin olduğu Cr_2N ve Cr_2C MXenlerde de fark edilmiştir (Deshmukh vd., 2020). Dikkat çekici bir şekilde, Mn ve Cr geçiş metal iyonlarının katkılanması manyetik olmayan Sc_2CT_2 'de (O, F ve OH) manyetizmayı verimli bir şekilde indükleyerek, manyetik moment değerini birim hücre başına $2,1 \mu\text{B}$ 'ye yükseltmiştir. Benzer şekilde, $\text{Hf}_2\text{VC}_2\text{O}_2$, $\text{Hf}_2\text{MnC}_2\text{O}_2$ ve $\text{Ti}_2\text{MnC}_2\text{T}_2$ (T = F, O, OH) MXenelerin manyetik moment değerleri, önemli bir ferromanyetik davranışı temsil eden birim hücre başına $3-4 \mu\text{B}$ aralığındadır. Tipik olarak, manyetik olmayan ($\text{Cr}_2\text{TiC}_2\text{O}_2$), antiferromanyetik ($\text{Cr}_2\text{TiC}_2(-\text{OH})$ ve $\text{Cr}_2\text{TiC}_2\text{F}_2$) ve ferromanyetik özellikler ($\text{Cr}_2\text{VC}_2\text{F}_2$, $\text{Cr}_2\text{VC}_2(\text{OH})_2$ ve $\text{Cr}_2\text{VC}_2\text{O}_2$), farklı yüzey fonksiyonelleştirmeleri ve geçiş metali varlığı nedeniyle gözlenmiştir. Farklı yapıdaki bazı MXene türlerinin (Mn_2NF_2 , $\text{Mn}_2\text{N}(\text{OH})_2$, Mn_2NO_2 , Cr_2NO_2 ve $\text{Ti}_2\text{-NO}_2$) ferromanyetik yapıda olduğu bulunmuştur.

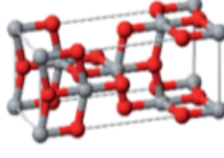
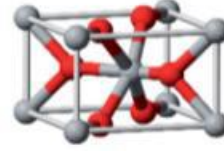
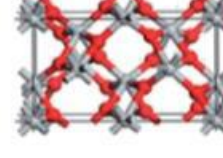
2.3.6. MXene'lerin kararlılığı

MXene'lerin kararlı yapısı onları çeşitli uygulamalarda kullanılabilecek önemli bir potansiyel haline getirmiştir. Yüksek HF/ H_2O konsantrasyonunun kullanılması nedeniyle üretilen MXenelerin yapısı bozulabilir. Bu bozulma MXenenin özelliklerini etkiler. MXenler hidrofilik yapıları nedeniyle suda ve diğer organik çözücülerde (etanol, dimetil formamid, dimetil sülfoksit ve propilen karbonat) çözülebilir. Bununla birlikte, MXenelerin zamanla oksitlenebileceği ve bozulabileceği, bu nedenle multidisipliner bilimdeki daha geniş uygulamalarını kısıtlayacağı düşünülür. Örneğin $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$, susuz izopropanol ve çözünmüş oksijen içinde 30 günden fazla kararlı bir şekilde kalmıştır. Ancak suda günler içinde oksitlenmiş ve bozulmuştur. Su ve oksijenin varlığı, faz geçişine yol açarak MXene nano yapı ağlarında ciddi değişikliklere neden olmuştur. Ayrıca, karbür tabanlı MXenler, nitrür tabanlı MXenlerden daha kararlıdır. MXeneler, ortam sıcaklığında sulu ortamdaki MXenelere göre 4°C ' de kapalı şişelerde muhafaza edildiğinde daha yüksek kararlılık sergilemiştir. Benzer şekilde, katmanlı V_2CT_x MXeneler azot ortamında MXene ve su arasındaki kimyasal reaksiyon nedeniyle hafif oksidasyona uğrasa da 600°C 'ye kadar kararlılığını korumuştur. Ti_3C_2 MXenenin 1200°C 'ye kadar kararlı olduğu, ancak Ar atmosferi altında 800°C 'ye kadar kararlı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, $\text{Ti}_2\text{C}_2\text{T}_x$ ve $\text{Zr}_3\text{C}_2\text{T}_x$ MXeneler farklı termal kararlılık sergiler. $\text{Zr}_3\text{C}_2\text{T}_x$ MXene $500-1200^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında bile ağırlık kaybı göstermezken, $\text{Ti}_2\text{C}_2\text{T}_x$ MXene için $200-800^\circ\text{C}$ aralığında %6 ağırlık kaybı gözlenmiştir (Deshmukh vd., 2020).

2.4. Titanyumdioksit (TiO₂)

TiO₂, katalitik ve fotokatalitik uygulamalarda en yaygın kullanılan malzemelerden biridir. Bu uygulamalar arasında CO oksidasyonu, deoksijenasyon, hidrojenasyon, kendi kendini temizleme ve antimikrobiyal gaz sensörleri bulunmaktadır. Bu geniş kullanımın nedeni, toksisitesinin olmaması, maliyet etkinliği, uzun süreli kararlılık, uygun iletim ve değerlik bandı pozisyonları gibi özellikleri taşımasıdır (Hashimoto vd., 2005; Oi vd., 2016; Zhang vd., 2014). Ayrıca, TiO₂, boya, kâğıt dolgusu, tekstil, elektronik, fotovoltaiik, kozmetik gibi alanlarda da kullanılmaktadır. Kanser tedavileri, ortopedik cerrahi, protein ayırma gibi biyomedikal uygulamalarda da önemli bir rol oynar (Oi vd., 2016; Periyat vd., 2016). TiO₂'nin anataz, rutil ve brookit olmak üzere üç farklı kararlı fazı bulunmaktadır. Anataz, "oktahedrit" olarak bilinir ve 1801 yılında R. J. Haüy tarafından yeniden adlandırılmıştır (Periyat vd., 2016). Adı, Yunanca "anastasis" kelimesinden gelir ve dikey eksen uzun olduğu için "uzama" anlamına gelir. Rutil fazı 1803 yılında Werner tarafından keşfedilmiş olup adı, "kırmızı" anlamına gelen Latince "Rutilus" kelimesinden gelir (Periyat vd., 2016). Diğer bir faz olan brookite ise 1825 yılında A. Levy tarafından keşfedilmiş olup adı, İngiliz mineralog H. J. Brooke'den gelmektedir (Periyat vd., 2016). Anataz ve rutil, fotokatalizle ilgili çalışmaların yapıldığı en yaygın polimorfik yapılar arasındadır. Bu polimorfik yapılar farklı fiziksel özelliklere sahiptir. Rutil, en kararlı faz iken anataz ve brookite, uygun ışık koşullarında metastabil fazlardır. Anataz birim hücre başına dört, rutil iki, brookite ise sekiz atom içerir (Oi vd., 2016). Anataz, kristalin TiO₂ fazının başlıca fazıdır, rutil faz ısıyla elde edilir ve anataz, bağların kırılması ve dönüşmesi yoluyla rutil fazına dönüşen, geri dönüşü olmayan bir yapısal değişime uğrar. Rutil fazının ışık emilim yeteneği, band aralığı enerjileri arasındaki farklar nedeniyle anataz fazından daha iyidir. Rutil ve anataz fazlarının band aralığı enerjileri sırasıyla 3.0 eV ve 3.2 eV'dir. Daha düşük ışık emilim kapasitesine sahip olmasına rağmen, anataz fazı, hidroksil grubunun daha yüksek yüzey adsorpsiyon kapasitesi, daha düşük yük taşıyıcı rekombinasyon hızı, fotogenerasyonlu elektronların daha uzun ömrü ve rutil fazının daha büyük tane boyutu, daha düşük özgül yüzey alanı ve daha düşük yüzey adsorpsiyon kapasitesi nedeniyle fotokatalitik olarak rutil fazından daha etkilidir (Zhang vd., 2014). TiO₂ fazlarının özellikleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. TiO₂Fazlarının özellikleri (Oi vd., 2016)

Özellik	Anataz	Rutil	Brookit
Kristal yapısı	Tetragonal 	Tetragonal 	Ortorombik 
Birim hücre başına atom sayısı	4	2	8
Kristal boyutu (nm)	<11	>35	11-35
Kafes ölçüsü (nm)	a=b= 0.3785 c= 0.9514	a=b= 0.4594 c= 0.2959	a=c= 0.5436 b= 0.9166
Birim hücre hacmi (nm ³)	0.1363	0.0624	NA
Yoğunluk (g/cm ³)	3.83	4.24	4.17
Bant aralığı (eV)	3.26	3.05	NA

2.5. MXenelerin Üretim Yöntemleri

MXeneler iki farklı yaklaşım kullanılarak sentezlenebilir: (1) Yukarıdan aşağıya (aşındırma ve pul pul dökülme) ve (2) aşağıdan yukarıya (kalıp yöntemi, CVD ve plazma ile güçlendirilmiş darbeli lazer biriktirme (PEPLD)).

2.5.1. Yukarıdan aşağıya yöntemi

2D nanoyapılı malzemeler, katmanların karışımından tek veya birkaç atomik katman ayrılarak üretilir (Nicolosi vd., 2013). Böylece, katmanlı yapılara sahip MXenler, grafen, MoS₂ ve h-BN gibi 2D nanomalzemeler sentezlenir.

2.5.1.1. Aşındırma yöntemi

Aşındırma yöntemi, MXenlerin sentezi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde tek ve ya çok tabakalı yapılar katı malzemedan izole edilmektedir. MXenler çoğunlukla MAX fazının aşındırılması sonucu elde edilir. MAX fazı, katmanlı üçlü nitrürler ve

karbürlerden oluşur. MAX fazından A fazı, HCl ve LiF karışımı yardımıyla kazınarak MXene elde edilir. Bu yöntemde aşındırma işleminin verimini artırmak için eser miktarda HF kullanılabilir. HF kullanımından kaçınmak için MXenelerin hazırlanması için üç yöntem önerilmiştir. Bunlardan biri, NaOH çözeltisi (Li vd., 2018) kullanılarak MXenleri hidrotermal yöntem ile sentezlemektir. Bununla birlikte, güçlü alkali (27,5 M) koşullarıyla katı malzemelerin aşındırılması otoklav reaktöründe çok ani gerçekleştiğinden bu durum malzemenin büyütülmesini zorlaştırır. İkinci olarak, 2D nitrürleri hazırlamak için reaktif olarak erimiş tuzların kullanılmasıdır (Pang vd., 2019). Erimiş tuz yönteminin temel amacı, Ti_4N_3 'e 550 °C'de sodyum, lityum ve potasyumun florür tuzlarını vermektir. Üçüncü yöntem ise, elektrolit olarak amonyum klorür/tetrametilamonyum hidroksit (TMAOH) kullanılarak elektrokimyasal yöntemle MXenlerin hazırlanmasıdır (Urbankowski vd., 2016). Elektrokimyasal yöntem, %90 verimle büyük ölçekli MXen sentezlenmesi açısından en cesaret verici yöntemlerden biridir (Yang vd., 2018). Son zamanlarda florür içermeyen aşındırma yöntemiyle Ti_3C_2 ve Ti_2C MXen'leri üretmiştir (Li vd., 2019; Sun vd., 2017). Bu yöntemde, Ti_3C_2 ve Ti_2C MXenlerin hazırlanması için ikili bir sulu elektrolit kullanılmıştır. Karbür tabakaların ($Ti_3C_2T_x$, $T = O, OH$), NH_4^+ içinde çözünmesi ve ardından MXenlerin NH_4-OH 'nin yerinde araya girmesi yoluyla %90 verimle verimli bir şekilde üretilmiştir. Tablo 2.3, MXene üretimi için geliştirilmiş farklı aşındırma yöntemlerini özetlemektedir. Yukarıda belirtilen stratejiler, erimiş tuzlarla hazırlanan $Ti_4N_3T_z$ 'nin yanı sıra sadece karbürler içinde kullanılabilir. Cl-sonlu MXenleri ve bir dizi Zn-tabanlı MAX fazını sentezlemek için sulu kimyasal aşındırma yaklaşımı kullanılmıştır (Li vd., 2019). Bu yaklaşımda, $ZnCl_2$ kullanılarak Cl-sonlu MXenler (Ti_2CCl_2 ve $Ti_3C_2Cl_2$) üretilmiştir. Çok katmanlı Ti_2NT_x MXene, Ti_2AlN (MAX)' dan hazırlanmıştır (Soundiraraju ve George, 2017).

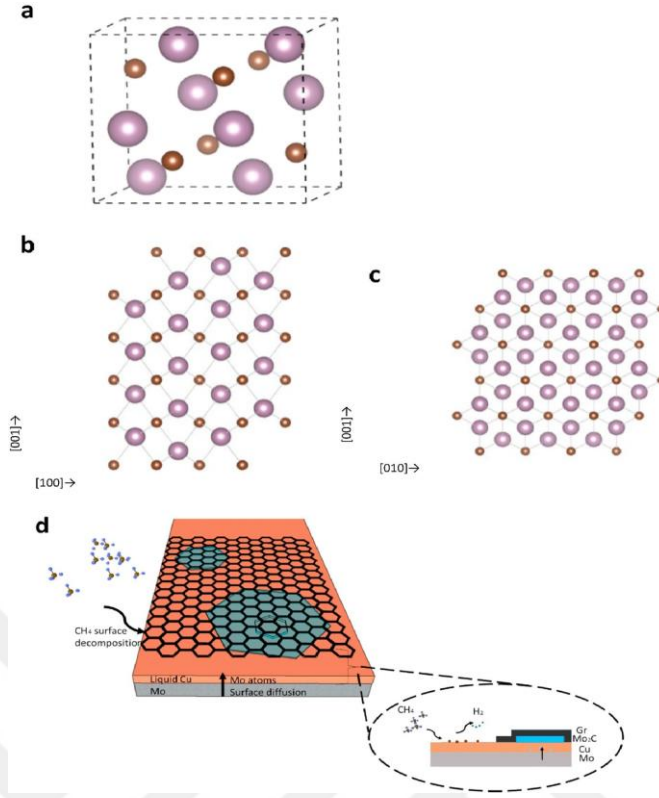
2.5.1.2. Döktürme yöntemi

Aşındırmanın yanı sıra, spesifik olarak parçalanmış atomik katmanlar kovalent olmayan etkileşimlerle (van der Waals ve H-bağlama), farklı elementler veya bileşenler tarafından yer değiştirerek çok katmanlı $M_{n+1}X_nT_z$ 'nin oluşmasını sağlar. Bu işlemde, tek tabakaların pul pul dökülmesi veya tabakalanması ile kolloidal süspansiyonlar oluşturulur. Benzer şekilde, diğer 2D nanomalzemeler karıştırma, katyonlar ile interkalasyon veya sonikasyon dahil olmak üzere çeşitli işlemlerle hazırlanır (Nicolosi

vd., 2013). Döktürme yönteminin verimi aşındırma koşullarına bağlı olarak değişir. Döktürme işleminde, MXene tabakaları arasına La^+ iyonlarını sokmak için HCl/LiF karışımı kullanılır. Sonikasyon veya karıştırma yoluyla pul pul dökülmeleri sağlanır (Ghidu vd., 2014). Döktürme işlemi, aşındırıcı olarak eser miktarda HF kullanılarak katmanlar arasındaki iyonların ve/veya organik moleküllerin interkalasyonu yoluyla verimli bir şekilde gerçekleştirilir. HF , katmanlar arasındaki mesafeyi genişletir ve katmanlar arası etkileşimleri engeller. Döktürme yöntemi, MXene'lerin kimyasal bileşimine dayanır. Her bir MXeni döktürmek için farklı kimyasallar kullanır. Örneğin, dimetil sülfoksit, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_z$ 'yi döktürmek için kullanılır (Scheibe vd., 2019; Rafique vd., 2020). Ancak diğer MXen'ler için verimli bir döktürme ajanı değildir (Naguib vd., 2015). Ayrıca TBAOH, diğer MXene tabanlı nanomalzemeler için kullanılan döktürme ajanlarından biridir (Modi vd., 2014; Gao vd., 2020).

2.5.2. Aşağıdan yukarıya yöntemi

MXene tabanlı nanoyapılı malzemeler, seçici aşındırma yaklaşımı kullanılarak sentezlenebilir. Son zamanlarda, CVD (Gao vd., 2020), kalıp yöntemi (Tian vd., 2020) ve PEPLD (Zhang vd., 2017) gibi farklı aşağıdan yukarıya sentez yöntemleri rapor edilmiştir. CVD yöntemi kullanılarak iyi bir kristal kalitesine sahip MXenler üretilmiştir. Ayrıca, bu stratejiler, seçici aşındırma yaklaşımıyla üretilemeyen WC (Gao vd., 2020), TaC (Gao vd., 2020), MoN (Tian vd., 2020) gibi istenen stokiometrilere sahip 2D TMC'lerin ve TMN'lerin hazırlanmasını kolaylaştırır. Bu yöntemlerle birkaç katmanlı ultra ince filmler sentezlenmiş olmasına rağmen ne TMC'lerin ne de TMN'lerin tekli katmanları sentezlenememiştir (Tian vd., 2020). Mo_2C taban üzerine büyütülen MXene yapıların kafes parametreleri ve yönelimleri Resim 2.3' de verilmiştir.



Resim 2.3. (a) Kafes parametreleriyle ortorombik bir düzenlemeye sahip a-Mo₂C kristalinin birim hücresinin atom modeli: $a = 0.473$ nm, $b = 0.603$ nm, $c = 0.521$ nm (Mo atomları mor renkte gösterilmiştir, C atomları kahverengi ile gösterilmiştir), (b) üstten ve (c) yandan görünüşten a-Mo₂C'nin 2x2x2 birim hücreleri, (d) Erimiş Cu üzerinde Mo₂C kristalleri/Gr büyüme modelini gösteren şema (Chaitoglou vd., 2018)

2.5.2.1. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi

2015 yılında iki katmanlı bir metal folyo alt taban kullanılarak CVD yöntemi ile ultra ince TMC kristalleri sentezlenmiştir (Gao vd., 2020). Biyo-tabaka metal folyo yığını (Cu/Mo) önce H₂ varlığında 1085 °C'de (Cu erime noktası) ısıtılır ve daha sonra yüzeyinde Mo₂C kristallerin büyümesini hızlandırmak için düşük bir akış hızında metan eklenir. Cu tabakasının büyüme süreci sırasında aşağıdaki kilit roller oldukça önem taşır. Bu roller; (1) CH₄'ü karbon atomlarına dönüştürmek için katalitik etki, (2) Mo atomlarının Mo folyodan dönüştürülmesi sırasında difüzyon hızının kontrol edilmesi, (3) Mo₂C büyütülmesinden sonra Cu ve Mo₂C arasındaki reaktivitedeki büyük farklılıklar nedeniyle aşındırma yoluyla Mo₂C'nin herhangi bir alt taban değişimini kolaylaştırması olarak sıralanır. Sonuç olarak, Mo ve C atomları arasındaki kimyasal reaksiyon yoluyla Cu yüzeyinde Mo₂C tabanlı ultra ince kristaller üretilir.

Ultra ince Mo₂C kristalleri, Cu/Mo alt tabanı üzerinde büyütülür. Kristaller farklı standart şekillerde (örneğin üçgenler, altıgenler, kare şekiller, dokuzgenler, sekizgenler ve onikigenler) üretilebilir. Özellikle, Cu'yu aşındırmak için reaktif olarak 0,2 M (NH₄)₂S₂O₈ kullanılır. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntüleri, pürüzsüz yüzeylere sahip ultra ince Mo₂C kristallerinin oluşumunu doğrular. Üretilen yapının α -Mo₂C, seçici alan elektron kırınımı (SAED) ve yüksek açılı halka şeklindeki karanlık alan (HAADF)-STEM teknikleri kullanılarak ortorombik kristal yapıda olduğu belirlenmiştir (Halim vd., 2016; Enríquez vd., 2013; Kateshiya vd., 2020).

Yapılan detaylı çalışmalar (Liu vd., 2016), her bir tek kristalin tek tip altıgen, sıkı paket yapıda düzen sergilediğini göstermiştir. Ayrıca, C atomlarının karşılaştırılabilir üç oktahedron zikzak konfigürasyonunun yakınlığına dayalı olarak belirlenen çizgi biçimli uzay sınırları ile karakterize edilir. Bu alan sınırları 2D süperiletkenliği etkiler. Ayrıca, 2D α -Mo₂C bir TEM'de elektron aydınlatması altında β -Mo₂C kristaline dönüştürülebilir (Liu vd., 2017). CVD tekniği oldukça kapsamlıdır ve diğer 2D TMC kristallerini geliştirmek için kullanılabilir. Örneğin, Mo yerine W ve Ta kullanılarak geliştirilen ultra ince altıgen WC ve kübik TaC' ler mevcuttur. Farklı miktarlarda CH₄ kullanarak Mo₂C kristalinin büyütülmesindeki değişiklikleri rapor edilmiştir (Gao vd., 2020; Geng vd., 2016). 0.1 sccm akış hızında CH₄ kullanıldığında, fraktal Mo₂C kristali elde edilir. Artan CH₄ konsantrasyonları ile Mo₂C kristalinin durumu üçgenden farklı çokgenlere dönüşür. Bu durum C'nin yüksek derecede aşırı doygunluğu nedeniyle ortaya çıkar. 0,3, 0,4 ve 0,6 sccm'lik akış oranlarında CH₄ kullanıldığında sırasıyla kareler, altıgenler ve beşgenler gibi şekillerin oluştuğu görülmüştür. Ayrıca Mo₂C kristalinin yapısının ortorombik yapıdan farklı olarak altıgen şeklinde olduğu fark edilmiştir (Gao vd., 2020). Mo₂C kristalinin kalınlığı, Cu folyo kalınlığı değiştirilerek sınırlandırılmıştır (Chaitoglou vd., 2018). 2 nm kalınlığında bir Mo₂C kristal yığınlarının büyümesi gösterilmiştir (Qiao vd., 2017). Mo tabanlı MXenlerde hafif çarpık bir altıgen sıkı paket (hcp) düzenlemesinin gözlenmiştir. Ortorombik kristal yapı Mo kafesinin oktahedral boşluklarına C atomlarının yerleşmesi sonucu oluşmuştur. CVD tekniğinin farklı 2D Ta-nano yapıları malzemeler üretmek için kullanılabileceği gösterilmiştir. TaC dışında, 2D TaN-MXeneler öncül olarak NH₃ kullanılarak birleştirilebilir (Wang vd., 2017). HR-TEM görüntüleri, tek kristal yapıya sahip yüksek kaliteli TaN oluşumunu doğrular. Ultra ince TaB kristali ayrıca boran için bir kaynak olarak bor tozu eklenerek entegre edilir (Qi vd., 2014).

2.5.2.2. *Kalıp yöntemi*

2D TMC'lerin ve TMN'lerin hazırlanması için önerilen diğer bir yöntem kalıp yöntemidir (Kateshiya vd., 2020). CVD yaklaşımının aksine, kalıp yöntemi önemli ölçüde yüksek verim sağlar. Kalıp yaklaşımında, kalıp olarak 2D geçiş metal oksitleri (TMO) ve nano tabakalar kullanılır. 2D TMC'ler veya TMN'ler, TMO nano tabakalarının karbonize veya nitrürlenmiş öncüllerle işlenmesiyle üretilir. Ancak; 2D TMO' lar TMC'lerin morfolojisi ve yapısından büyük ölçüde etkilenir. Öncül olarak MoO_3 nano tabakalar kullanarak 2D h-MoN nano tabakalar hazırlanabilir. XRD verileri, oluşan MoN'nin altıgen yapıda olduğunu göstermiştir. Ayrıca, MAX fazını seçici olarak aşındırarak MoN nano tabakaları hazırlanmış ve üretilen nano tabakaların 0,71 nm kalınlığında olduğu belirlenmiştir. VN ve WN nano tabakalar da kalıp yaklaşımı kullanılarak üretilmiştir (Tian vd., 2020). Kalıp yöntemi kullanarak altıgen yapıya sahip δ -MoN nano tabakalar üretilmiştir (Joshi vd., 2017). Bu yaklaşımda, oksijen molekülü sıcak Mo filamenti ile reaksiyona sokularak dikey MoO_3 nano tabakaları oluşturulur. MoN MXenler, MoO_3 'ün 800 °C'de amonyak ile işlenmesiyle üretilir. Üretilen MXenlerin yanal boyutu 20-30 nm arasındadır. Ayrıca, MoO_2 ve MoO_3 nano tabakaları hazırlamak için öncül olarak 2D TMC'ler kullanılır. Örneğin, öncül olarak MoO_2 ve disiyandiamid kullanarak ultra ince N katkılı Mo_2C MXenler üretilmiştir (Jia vd., 2017). MXenleri üretmek için, öncüller 2 saat boyunca 450°C de tutulmuş ardından sıcaklık 700°C' ye çıkarılarak 2 saat bu sıcaklıkta tutulmuştur. Ardından MoO_2 nano tabakaları, N_2/Ar (1:9) içinde 900 °C' de ısıtılmasıyla altıgen MoO_3 yapılar sentezlenmiştir. N-katkılı Mo_2C nano tabakalarında çok sayıda nano gözeneklerin olduğu böylece kristal kalitesinin önemli oranda düştüğü gözlenmiştir (Jia vd., 2017).

2.5.2.3. *Plazma ile güçlendirilmiş darbeli lazer biriktirme yöntemi*

PEPLD yöntemi hem PLD hem de plazma ile güçlendirilmiş CVD'nin avantajlarını sergileyen geniş alanlı ultra ince yüzey merkezli kübik (fcc) Mo_2C filmleri üretmek için kullanılabilecek başarılı bir yöntemdir (Halim vd., 2016). Sentez için, bir karbon kaynağı olarak metan plazma kullanılarak safir alt tabanın 700°C'de ısıtılmasıyla Mo_2C filmi elde edilir. Sentezlenen fcc Mo_2C filmi pürüzsüz bir yüzey sergiler. Büyüme ve morfoloji, lazer darbe hızı değiştirilerek kontrol edilir. Bütün bunlara rağmen elde edilen filmler düşük kristalli yapıdadır. Bu nedenle, fcc yapısının düzenlenmesi, $\{111\}$ Mo_2C ve

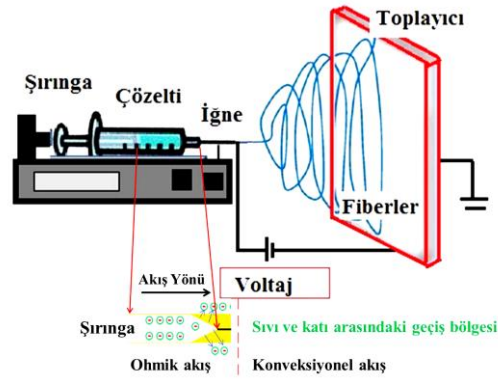
{0003} safır arasındaki bir yön ilişkisinden ve kafes uyumsuzluğundan başlayan diğer kristal yapılara benzemez. Farklı üretim yöntemleri kullanılarak elde edilen nano malzemelerin yapı şekil ve boyutları Tablo 2.3’ de özetlenmiştir. MXenlerin yapısal kusurları ve morfolojisi öncül olarak kullanılan kimyasal ve asitlerden büyük ölçüde etkilenmektedir. Asitle aşındırma, erimiş tuzla aşındırma, CVD, hidrotermal ve alkali uygulaması gibi çeşitli stratejiler kullanılarak olağanüstü yapısal özelliklere sahip MXene üretimi yapılabilir. Bu sayede MXenlerin morfolojisi, manyetik doğası ve elektriksel özellikleri istenilen şekilde ayarlanabilir. Bu stratejileri kullanarak, büyük yanal boyuta, iyi bir seçiciliğe, çok düşük kusur konsantrasyonuna, yüksek verime, geniş ara katman mesafesine ve geniş spesifik yüzey alanına sahip MXeneler üretilir. Bu üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ile MXeneler, çeşitli fonksiyonel moleküller ve/veya nano kompozitlerle başarılı bir şekilde üretilir. Yeni yapısal özelliklere sahip MXene nano kompozitlerin üretilmesi onları optoelektronik, kablosuz antenler, kataliz, algılama, enerji depolamada umut verici malzemeler haline getirmiştir. Yukarıdaki üretim yöntemleri kullanılarak çeşitli MXene tabanlı nano malzemeler üretilmiş olmasına rağmen, yüksek aşındırıcı asitlerin (HF) kullanılması bazı dezavantajları da beraberinde getirmiştir. Aşındırma işleminin uzun sürmesi, aşırı aşındırma nedeniyle MXene yapısının tahrip olması ve yüksek sıcaklık, zayıf kararlılık, düşük kristallik ve daha fazla yapısal kusurlara ve düşük hidrofilikliğe sahip MXenlerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, çok disiplinli araştırma alanlarında potansiyel kullanımlarını keşfetmeyi destekleyen olağanüstü yapısal özelliklere sahip ölçeklenebilir ve yüksek kaliteli MXenelerin üretilmesinde yukarıdaki sorunları ele almak için yoğun bilimsel araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Tablo 2.3. MXenenin boyut, şekil ve yapısının farklı yöntemlerle belirlenmesi (Kailasa vd., 2008; Hope vd., 2016; Scheibe vd., 2019; Babar vd., 2020; Kateshiya vd., 2020).

Yöntem	MXene malzemesi	Boy/Kalınlık	Şekil	Yapı
CVD	Mo ₂ C kristali	~ 2nm	Çokgenler	Hegzagonal
CVD	Mo ₂ C kristali	3-20 nm	Üçgen, kare, altıgen, sekizgen, dokuzgen ve on iki gen	-----
Kalıp yöntemi	α - Mo ₂ C tek kristali	~ 0,71 nm	-----	Hegzagonal
Kalıp yöntemi	2D MoN	a=b= 5,75 ve c= 5,62	-----	Hegzagonal
Kalıp yöntemi	2D MoN nano tabaka	20-30 μ m ve 5-40 nm	-----	Tabaka benzeri
PEPLD	Mo ₂ C film	2-25 nm	-----	FCC (yüzey merkezli kübik)

2.5.3. Elektro eğirme yöntemi

Elektro eğirme (electrospinning), uygun viskoziteye sahip polimer veya sol-jel kimyasına dayalı çözeltilerden nano lifler elde etmek için kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Bu yöntemde, bir şırıngadan beslenen çözeltiler yüksek elektrik gerilimine maruz bırakılır.



Resim 2.4. Elektro eğirme sistemi şematik görüntüsü

Elektrik alanının etkisiyle şarj edilmiş polimer çözeltisi, şırınganın ucunda Taylor konisi oluşturur ve yüzey gerilimini aşarak ince bir demet halinde toplayıcı yüzeye doğru hareket eder (Taylor, G. I. (1964). Çözelti jeti toplayıcı yüzeye doğru hareket ettiği süreçte, çözücü buharlaşır ve fiberler halinde toplayıcıya ulaşır. Elektrosinning için bir çözeltinin, uygulanan elektrik alanıyla yüzey geriliminin üstesinden gelmesi gerekir. Bunun yanı sıra, çözeltinin yüzey gerilimi ve viskoelastik özellikleri, yapıların fiber veya damla/film formunda olup olmayacağını belirler. Genellikle düşük viskoziteli çözeltilerden veya düşük molekül ağırlıklı polimerlerle hazırlanan çözeltilerden elektrosinning uygulaması fiberlerde damlacıklara neden olurken, yüksek viskoziteli veya yüksek molekül ağırlıklı polimerlerle hazırlanan çözeltilerden elektrosinning, fiberlerde damlacıklar olmadan sonuçlanır (Freyer, A. and Ortins Savage, N. 2014).

2.5.3.1. *Elektro eğirme işlemi*

Elektro eğirme, bir sıvı veya eriyikten ince lifler oluşturmak için elektrik alanını kullanan bir süreçtir. Malzeme bilimi, nanoteknoloji ve biyoteknoloji gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılan çok yönlü bir tekniktir. Elektro eğirme süreci genellikle şu adımları içerir.

- Polimer jel hazırlığı; polimerin istenilen nanolif özelliklerine bağlı olarak uygun bir çözücü içinde çözülmesi veya erimesiyle bir polimer çözeltisi veya eriyiği hazırlanır.
- Şırınga kurulumu; hazırlanan polimer çözeltisi, bir şırınga veya spinneret adı verilen bir metal iğne ile bağlantılı bir rezervuara yüklenir. Spinneretin boyutu ve şekli, elde edilen liflerin morfolojisini etkiler.

- Uygulanacak elektrik alan; şırıngaya yüksek bir voltaj uygulanır. Bu voltaj, polimer çözeltisinin yüzey gerilimini aşarak iğnenin ucunda bir Taylor konisi oluşturan bir elektrik alanı oluşturur. Elektrik alanı, sıvının yüzeyinde yüklerin oluşmasına neden olarak damlanın konik bir şekilde uzamasına yol açar.
- Fiber oluşumu; elektrik alanın yoğunluğu arttıkça, elektrostatik itme kuvvetleri sıvının yüzey gerilimini üzerine çıkar ve polimer çözeltisinin ince bir jet oluşturur. Elektrik alanının etkisiyle jet, bükülme ve çırpma kararsızlıklarına uğrar, sonuç olarak ultra ince liflerin oluşmasına neden olur (Taylor, G. I. 1969).
- Fiberlerin toplanması; Oluşan fiberler bir toplayıcı üzerine biriktirilir. Nanofiberler dokusuz bir örgü oluşturur. Toplayıcının tasarımı ve şırıngaya uzaklığı, biriktirilen fiberlerin düzenini ve yoğunluğunu etkiler.
- Çözücünün buharlaştırılması; eğer bir çözücü kullanılıyorsa, toplanan nanofiberler, çözücüü uzaklaştırmak ve fiberleri katılaştırmak için bir kuruma sürecine tabi tutulur. (Huang vd., 2003).

Elektro eğirme süreci, yüksek yüzey alanına, ayarlanabilir gözenekliliğe sahip nanofiberler üretme yeteneği gibi birçok avantaj sunar. Bu teknik, filtrasyon, doku mühendisliği, ilaç salınımı ve sensörler gibi alanlarda geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Araştırmacılar, Elektro eğirme tekniğinin verimliliğini ve farklı alanlarda kullanılabilirliğini artırmak için çeşitli varyasyonları ve iyileştirmeleri keşfetmeye devam etmektedirler.

2.5.3.2. Elektro eğirme süreci

Elektroeğirme, elektrik alandaki bir akışkanın dinamiği ile ilgili bir süreçtir. Üretilen nano fiberlerin yapısını ve morfolojisini kontrol etmek için niceliksel bir analizin yapılması zorunludur. Elektroeğirme sürecinde sıvı çözelti, bir boru sistemi ve elektrik alan yardımıyla nano ölçekli katı fiberlere dönüşür. Teorik çalışmalar göstermiştir ki eğirme işlemi üç aşamada gerçekleşir.

- Yüklenmiş jetlerin düz bir hat boyunca uzamasının başlaması
- Elektrik alan sayesinde jetlerin boylarının uzaması
- Jetlerin toplayıcı üzerinde katılarak nano fiberlerin oluşmasıdır (Sun vd. 2014).

3.3.2.1. *Yüklenmiş jetlerin düz bir hat boyunca uzamasının başlaması*

Elektroeğirme süreci, başlangıcını elektriksel kuvvetin devreye girmesiyle yapar. Şırınga iğnesinin ucuna ulaşan yüklü çözelti damlasının boyutu, elektriksel kuvvetin etkisi altında giderek değişkenlik gösterir. Uygulanan voltajın etkisiyle çözelti damlası, yarım küre formundan koniye dönüşür. Bu koni çözelti, bilinen adıyla Taylor konisi olarak anılır (Taylor, G. I. 1964). Taylor, elektroeğirme sürecinde kullanılan kritik voltaj değerini aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplamıştır (Taylor, 1969).

$$V_c^2 = 4 \frac{H^2}{h^2} \left(\ln \left(\frac{2h}{R} \right) - 1,5 \right) (1,3\pi R \gamma) (0,09) \quad (3.1)$$

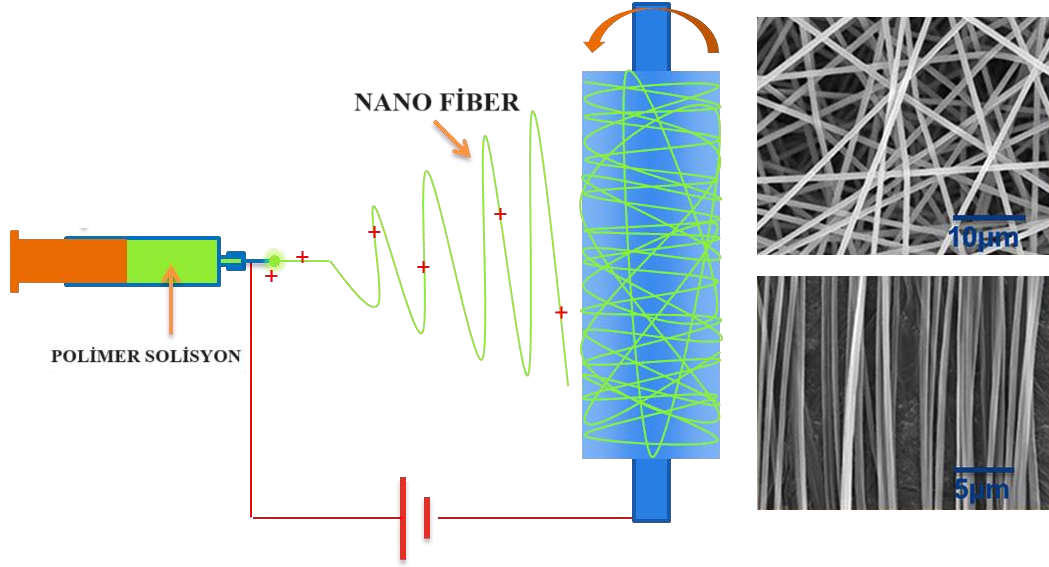
Denklemden; V_c^2 kritik voltaj değeri, H püskürtme iğnesinin ucunun toplayıcı yüzeye olan uzaklığı, h enjektöre yerleştirilen sıvının enjektördeki uzunluğu, R kullanılan iğnenin dış yarıçapı, γ ise çözeltinin yüzey gerilimidir. Denklemden 0,09 değeri ise voltajı kilovolt cinsinden ifade etmek için kullanılan katsayıdır.

2.5.3.2.2. *Elektrik alan sayesinde jetlerin boylarının uzaması*

Elektrik alanın etkisiyle fiberlerin bükülmeye bağlı olarak kalınlıkları azalırken çapları artar. Bükülmeler, yük dağılımı kaynaklı kararsızlık sonucu meydana gelir. Bu süreçte üç farklı kararsızlık türü bulunmaktadır. İlk kararsızlık, genellikle elektrik alanındaki baskılama ve yüzey gerilimi etkisiyle oluşan simetrik eksenli klasik Rayleigh kararsızlığıdır. İkinci kararsızlık yine simetrik eksenli bir kararsızlık olup, üçüncüsü ise simetrik eksenli olmayan bir tür olan "Whipping kararsızlığı"dır. Whipping kararsızlığı, yüksek elektrik alan etkisiyle giderek incelen fiberlerin bükülmesi sonucu oluşan bir kararsızlıktır (Shin vd., 2001).

2.5.3.2.3. *Jetlerin toplayıcı üzerinde katılaşılarak nano fiberlerin oluşması*

Katılaşma ve buharlaşma sırasında, jetlerin kütlesi ve hacmi değişir. Değişim nem ve ortam sıcaklığı faktörleri etkiler. Ortamın nem miktarı arttığında, katılaşma süreci yavaşlar. Bu yavaşlama, yüklü jetlerin sürekli uzamasına izin verir, böylece daha ince fiber oluşumu sağlanır. Oluşan fiberler, bir toplayıcı yüzey üzerinde biriktirilir. Fiberlerin biriktirilme sürecinde, katı yüzeye çarpan jetler, uzunlamasına bir baskı kuvvetine maruz kalarak bükülme kararsızlığına uğrar. Bu nedenle, toplayıcı olarak kullanılan yüzeyin şekli, fiberlerin morfolojisini önemli ölçüde etkiler (Han vd., 2007).



Resim 2.5. Sistemik elektropsinnig süreç diyagramı

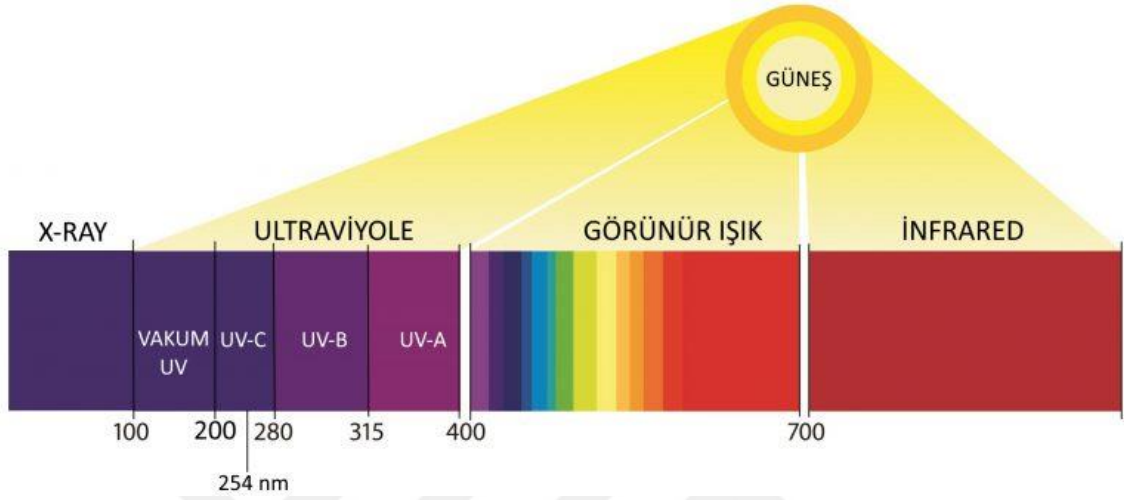
2.6. Güneş Pilleri

Galaksimizin merkezinde bulunan Güneş %70 hidrojen, %28 helyum ve %2 diğer elementlerden oluşur. Gaz bulutu olan güneş, $1,39 \times 10^7$ m çapında ve $1,9 \times 10^{30}$ kg ağırlığındadır. Güneş, galaksimizin kütlelerinin %99,8'ini oluşturur. Çekirdekteki sıcaklık $1,56 \times 10^6$ K ulaşırken, basınç 256×10^{10} atm' yi aşar. Bu durum nükleer füzyon 695×10^9 kg He' ye dönüşür. Bu süreçte, 5×10^9 kg γ ışını açığa çıkararak $3,86 \times 10^{26}$ J enerji yayılır. Gama ışınları, absorpsiyon ve emisyon süreçleriyle güneşin yüzeyine düşük sıcaklıklarda ulaşır ve görünür ışık olarak ortaya çıkar. Işık enerjisi atmosfere ulaştığında, görünür ışınların bir kısmı absorbe olur (Frederik C. Krebs, 2008).

Bir yılda güneşten dünyaya ulaşan ışınların enerjisi, %5 ultraviyole (UV), %43 görünür ve %52 kızılötesi ışınlardan oluşur. Bu enerji miktarı, dünyanın yıllık tüketiminden binlerce kat daha fazladır. Işınlar 45° açıyla geldiğinde, güneş ışınlarının yoğunluğu 844 W/m^2 'dir. Güneş ışınlarının en yoğun olarak ulaştığı bölümler ultraviyole, görünür ve kızılötesi olarak adlandırılır. Bu yoğun güneş enerjisi ısı enerjisi olarak kullanılabilirken, aynı zamanda fotovoltaik hücreler aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülerek de kullanılabilir (Paulus Albertus van Hal, 1999).

Işık kullanarak elektrik enerjisi elde etmek, fotovoltaik hücrelerle sağlanabilir. Fotovoltaik Yunanca ışık anlamına gelen photo ve ilk voltaik pili geliştiren Alessandro

Volta' nın isminden esinlenerek, gerilim anlamına gelen voltaic kelimelerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Fotovoltaik etki ilk olarak 1839 yılında Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel tarafından keşfedilmiştir (Öztürk, H. Kaya, D., 2013). Işık spektrumu Resim 2.6' de verilmiştir.

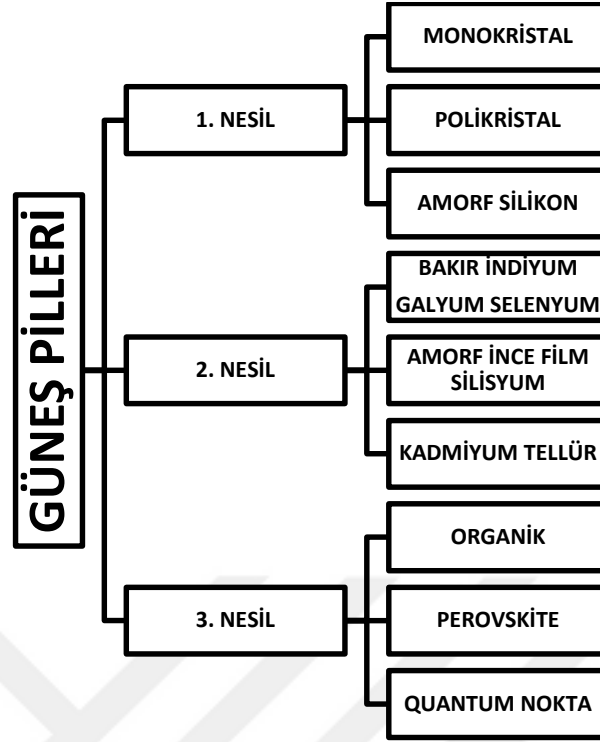


Resim 2.6. Işık spektrumu (Öztürk, H. Kaya, D., 2013).

1954'te Chapin, Fuller ve Pearson ilk p-n kavşaklı silisyum fotovoltaik hücreyi keşfetmişlerdir (Chapin, Fuller, Pearson, 1954). Daha sonra farklı yarıiletkenler ile tek-kristal, poli-kristal ve amorf ince film yapılar kullanılarak çeşitli konfigürasyonlarda güneş hücreleri üretilmiştir. Metal iletkenliğine sahip polimerlerin keşfi ile organik ve polimerik materyaller fotovoltaik hücre uygulamalarında değerlendirilmeye başlanmıştır. Günümüzde ticarileşmiş fotovoltaik modüller inorganik materyaller içermektedir. Ancak, son zamanlarda düşük maliyet, esneklik ve kolay üretimden dolayı organik materyalli güneş hücreleri, bilimsel ve ticari araştırmalarda büyük ölçüde yer almaya başlamıştır (Hall, 2003).

2.6.1. Güneş pili çeşitleri

Güneş hücreleri, teknolojik ilerlemeler, malzeme bilimi ve üretim süreçlerindeki gelişmeler sayesinde farklı tipler ve nesiller halinde gelişme göstermiştir. Güneş hücresi nesilleri:



Tablo 2.4. Güneş pili çeşitleri

2.6.1.1. *Birinci nesil güneş pilleri*

Birinci nesil güneş hücreleri, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren, genellikle kristalin veya amorf silikon gibi temel malzemelerden yapılan güneş hücreleridir. Bunlar, ticari olarak kullanılan ilk güneş hücreleri olup güneş enerjisi endüstrisinin temelini oluşturmuşlardır. Birinci nesil güneş hücreleri genellikle şu türlerde sınıflandırılır:

Monokristal Güneş Hücreleri: Tek kristal silikon kullanılarak üretilir. Bu hücreler genellikle en yüksek verimliliğe sahip olma eğilimindedir, ancak üretim süreçleri daha maliyetlidir.

Polikristal Güneş Hücreleri: Farklı kristal yapılarından oluşan silikon kullanılarak üretilir. Monokristalin hücrelere göre daha düşük verimliliğe sahip olabilirler, ancak üretim süreçleri daha ekonomiktir.

Amorf Silikon Güneş Hücreleri: Silikon filmler halinde ince tabakalar halinde üretilir. Esneklikleri sayesinde çeşitli uygulamalarda kullanılabilirler ancak genellikle daha düşük verimlilikle birlikte gelirler.

Birinci nesil güneş hücreleri, ticari olarak oldukça yaygın kullanılan ve güneş enerjisi sektörünün büyümesine öncülük eden hücrelerdir. Ancak, bu hücrelerin bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Örneğin, monokristalin hücrelerin yüksek maliyeti, polikristalin hücrelerin düşük verimliliği ve amorf silikon hücrelerinin düşük verimliliği gibi sınırlamaları vardır.

Güneş enerjisi endüstrisindeki araştırma ve geliştirme çalışmaları, daha yüksek verimlilik, daha düşük maliyet ve daha sürdürülebilir malzemelerle çalışan yeni nesil güneş hücrelerinin geliştirilmesi üzerine odaklanmaktadır. Bu gelişmeler, güneş enerjisi teknolojisinin ilerlemesine ve daha geniş bir kullanım alanına sahip olmasına yardımcı olmaktadır. Bunlar genellikle monokristal, polikristal veya amorf silikon gibi temel malzemeler kullanılarak üretilen ilk ticari güneş hücreleridir. Monokristal ve polikristal güneş hücreleri piyasada geniş ölçüde bulunurken, amorf silikon hücreleri daha esnek uygulamalar için kullanılır.

2.6.1.2. İkinci nesil güneş pilleri

İkinci nesil güneş hücreleri, genellikle inorganik malzemelerden yapılmış ve farklı yapılandırmaları olan güneş hücreleri olarak adlandırılır. İkinci nesil güneş hücreleri, birinci nesil güneş hücrelerinden farklı malzemeler ve üretim yöntemleri kullanarak daha farklı özelliklere sahip olabilirler. İkinci nesil güneş hücreleri genellikle şu türlerde sınıflandırılır.

Bakır İndiyum Galyum Selenid (CIGS): İnorganik malzemelerden yapılan ikinci nesil güneş hücrelerinden biridir. CIGS güneş hücreleri, ince film teknolojisi kullanılarak üretilir ve genellikle bir cam veya esnek alt taban üzerine ince bir tabaka halinde uygulanır. Bu hücreler, temel olarak bakır, indiyum, galyum ve selenyum elementlerinden oluşan bir yapıya sahiptir. İndiyum gibi elementlerin sınırlı bulunabilirliği ve maliyeti, bu tür güneş hücrelerinin geniş ölçekte kullanımını sınırlandırabilir. CIGS güneş hücreleri, yüksek verimlilik potansiyeli, düşük maliyetler ve esnek uygulama avantajları nedeniyle güneş enerjisi endüstrisinde ilgi çekici bir seçenek olarak kabul edilir. Ancak kararlılığı artırmak ve maliyetleri düşürmek için araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

Amorf ince silikon güneş pilleri: Fotovoltaik hücreler arasında yer alan bir tür güneş hücresidir. Bu tip güneş pilleri, silikonun amorf (düzenli olmayan kristal yapıya sahip) halinden üretilir ve ince film teknolojisi kullanılarak üretimleri gerçekleştirilir. Amorf ince silikon güneş pilleri, özellikle esnek uygulamalarda ve düşük maliyetli projelerde kullanılabilecek pratik bir güneş hücresi türü olarak görülmektedir. Ancak, yüksek verimlilik ve uzun süreli kararlılık gibi konularda devam eden araştırma ve geliştirme çalışmaları, bu tür güneş pillerinin performansını artırmayı ve daha geniş kullanım alanlarına yaymayı amaçlamaktadır.

Kadmiyum Tellür (CdTe): İnorganik malzemelerden yapılan bir tür güneş hücresidir ve genellikle ince film güneş hücresi olarak sınıflandırılır. CdTe güneş hücreleri, ikinci nesil güneş hücreleri arasında yüksek verimlilik seviyelerine sahiptir. Laboratuvar koşullarında %22'nin üzerinde verimlilik elde edilebilir. Ancak, CdTe güneş hücrelerinin bazı sınırlamaları da vardır, CdTe gibi bazı malzemeler, çevresel ve sağlık riskleri nedeniyle endişe kaynağı olabilir. Bu nedenle, güvenlik ve geri dönüşüm konuları üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

2.6.1.3. Üçüncü nesil güneş pilleri

Üçüncü nesil güneş pilleri, geleneksel silikon tabanlı güneş hücrelerinden farklı olarak daha yeni ve yenilikçi malzemeler veya teknolojiler kullanarak üretilen güneş hücreleri ailesini ifade eder. Bu güneş hücreleri, önceki nesil güneş pillerine kıyasla daha yüksek verimlilik, daha düşük maliyetler veya özel uygulamalar için tasarlanmıştır. Üçüncü nesil güneş pilleri arasında şunlar bulunmaktadır.

Organik Güneş Hücreleri: Organik polimerler veya organik moleküller kullanarak güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmeyi hedefler. Bu hücreler genellikle esnek yapıları nedeniyle esnek uygulamalar için uygun olabilirler. Ancak, şu anda düşük verimlilikleri nedeniyle ticari olarak yaygın değildir.

Perovskit Güneş Hücreleri: Perovskit adı verilen bir kristal yapısı içeren malzemelerden yapılmıştır. Bu tür güneş hücreleri yüksek verimlilik potansiyeli sunmalarıyla dikkat çekerler. Perovskit güneş hücreleri hızla gelişen bir alandır. Laboratuvar ortamında yüksek verimlilikler elde edilmektedir. Ancak, ticari kullanıma hazır olmadan önce kararlılık ve dayanıklılık konularında daha fazla çalışma gerektirebilir.

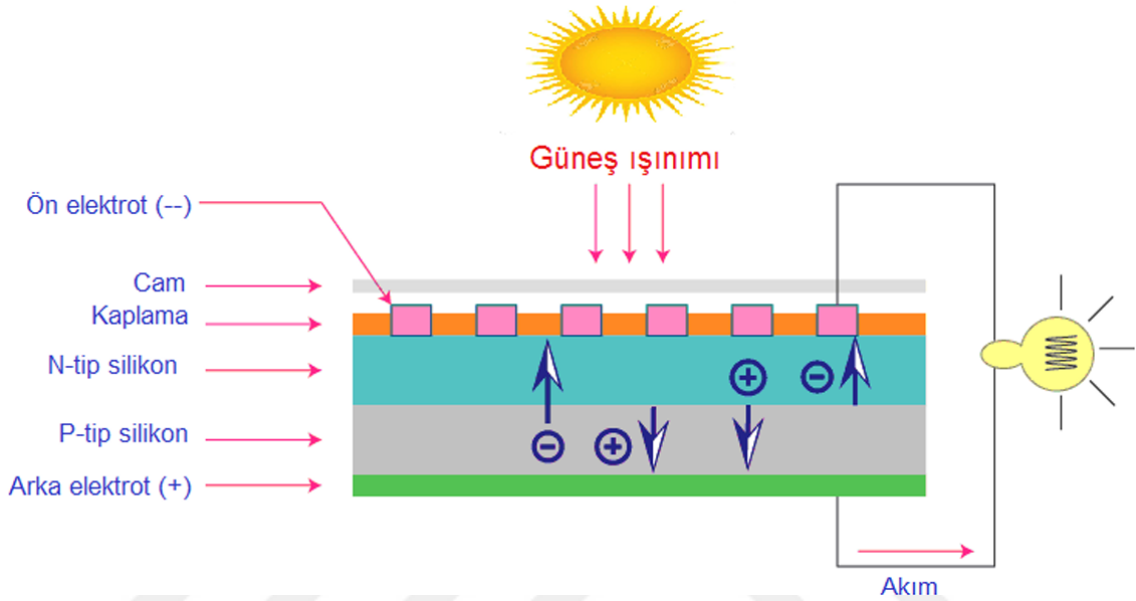
Kuantum Nokta (Quantum Dot) Güneş Hücreleri: Kuantum nokta güneş hücreleri, nanometre ölçeğindeki yarı iletken kristaller olan kuantum noktaları kullanarak güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmeyi amaçlar. Bu hücreler, genellikle çok yüksek verimlilik potansiyeline sahip olabilirler, ancak ticari kullanıma geçmeden önce daha fazla geliştirme gerekebilir.

Üçüncü nesil güneş pilleri, önceki nesil güneş hücrelerinin bazı sınırlamalarını aşma potansiyeline sahip olabilirler. Bu yeni teknolojiler, daha yüksek verimlilik, daha düşük maliyet veya özel uygulamalar için çeşitli avantajlar sağlayabilir. Ancak, ticari olarak yaygın olarak kullanılmaları için kararlılık, dayanıklılık ve maliyet gibi konularda daha fazla geliştirme ve iyileştirme gerektirebilir. Bu alanda devam eden araştırma ve geliştirme çalışmaları, üçüncü nesil güneş pillerinin potansiyelini artırmayı amaçlamaktadır.

2.6.2. Güneş pilleri parametreleri

Güneş enerjisinin kaynağı, yüksek sıcaklık ve basınçta güneşin içinde gerçekleşen nükleer füzyondur. Hidrojen, deüteryum ve alfa atomları gibi küçük çekirdekleri bir araya getirerek yeni bir çekirdek oluşturulur ve çekirdeklerin kütle kaybından elde edilen enerji, güneş enerjisine dönüştürülür. Güneş hücresi fotovoltaiik etkiyi kullanarak doğrudan ışık enerjisini doğru akıma (DC) dönüştüren özel bir güç dönüşüm cihazıdır. Güneş hücresi içinde genellikle iki farklı yarı iletkenin birleşiminden oluşan bir p-n eklemi bulunur. Difüzyon, bu iki farklı yarı iletken malzemenin birbirine geçiş yaptığı bölgede gerçekleşir. Difüzyon süreci sonucunda bir iç elektrik alan oluşur. Elektronlar ve delikler adı verilen yük taşıyıcıları bu iç elektrik alanında birbirinden ayrılır. Güneş hücresi ışığa maruz kaldığında fotonlar tarafından taşınan enerji, malzemenin içinde elektronların ve deliklerin çiftler halinde oluşmasına neden olur. Bu olay fotovoltaiik etki olarak bilinir. Bu elektron-delik çiftleri iç elektrik alan tarafından ayrılır ve dış devre boyunca hareket eder. Bu hareket, elektrik akımı üretir. Bu dönüşüm süreci için güneşten fotonları absorbe edebilen bir madde gereklidir. Daha sonra bir elektronun daha yüksek enerji seviyesine çıkarılması ve ardından bir dış devreye akması gerekmektedir. Basit bir güneş hücresi yapısı Resim 2.7 'de gösterilmiştir. Modül, güneş veya fotovoltaiik (PV) hücreleri seri olarak bağlayarak oluşturulur. Modüller daha sonra diziler oluşturmak için paralel-seri düzenlemelerde birleştirilir. Hücreleri veya modülleri seri olarak bağlamak için eklenen

bir voltaj çıkışı üretmek için aynı akım derecelendirmesine sahip olmalıdırlar; benzer şekilde, daha büyük akımlar üretmek için paralel olarak bağlandığında, aynı voltaj derecelendirmesine sahip olmalıdırlar. İdeal bir güneş hücresinde bir akım kaynağı ve bir diyot paralel olarak bağlanır. Ancak, uygulamada durum çok farklıdır, bu nedenle güneş hücresi devresine bir R_{sh} ve R_s bileşeni eklenir.



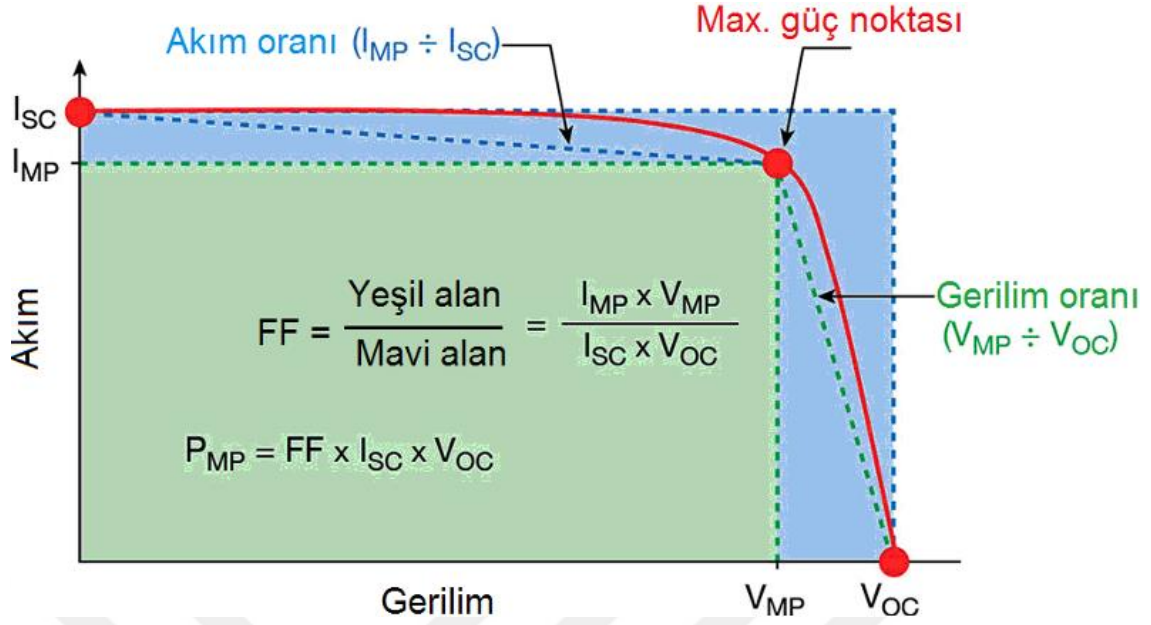
Resim 2.7. Basit güneş hücresi yapısı

2.6.2.1. Fotovoltaik parametreler

PV hücreler ışık şiddetleri altında, potansiyel ile değişen akımın ölçülmesi ile karakterize edilirler. PV hücrelerin farklı parametreleri olan akım yoğunluğu (J), dolum faktörü (FF), maksimum güç noktası (P_{max}), verim (η) ve gelen fotonun elektrik akımına dönüşüm verimi (IPCE) gibi özelliklerinin belirlenmesi gerekir.

2.6.2.1.1. Kısa devre akımı

Aydınlatma altında, sadece eklem direncinden kaynaklanan akıma kısa devre akımı (I_{sc}) denir. Bu durumda, pil üzerine herhangi bir gerilim uygulanmaz. Kısa devre akımı, dış devre üzerinden enjekte olan elektronlara bağlıdır. Kısa devre akım yoğunluğu (J_{sc}) ise kısa devre akımının fotoaktif yüzey alanına bölünmesi ile elde edilir. Bir güneş pilinin akım gerilim karakteristiği Resim 2.8’ de verilmiştir.



Resim 2.8. PV akım-gerilim karakteristiği

2.6.2.1.2. Açık devre gerilimi

Devreden akım geçmediği durumda ölçülen gerilime açık devre gerilimi V_{oc} denir. Açık devre gerilimi, elektrolit içindeki redoks çiftlerinin potansiyeli ile ışık altında yarı iletkenin Fermi seviyesi arasındaki farka bağlıdır (Wang, H., ., 2012).

2.6.2.1.3. Maksimum güç noktası

Bir güneş piline V gerilimi uygulandığında oluşan akım ile gerilimin çarpımı güneş pilinden elde edilen gücü verir. Elde edilen gücün en yüksek olduğu noktaya maksimum güç noktası (P_{max}) bu noktadaki akım ve gerilime de güneş pilinin maksimum akımı (I_{max}) ve maksimum gerilimi (V_{max}) denir. Bir güneş pilinin maksimum güç noktası (2.1) denklemi ile hesaplanır.

$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{max} \quad (2.1)$$

2.6.2.1.4. Dolum faktörü

Dolum faktörü (FF) pilin bir güç kaynağı olarak kalitesinin bir ölçüsüdür. Maksimum gücün, açık devre gerilimi ile kısa devre akımı çarpımına oranıdır. FF, Resim 2.8' de gösterilen yeşil alanın, idealize edilmiş tüm mavi alana oranından elde edilir. Dolum faktörü, pil tarafından yük direncine sağlanan gücün bir göstergesidir. Bu nedenle seri

dirence bağı olarak değişir. Güneş pilinde direnç ve rekombinasyonun artması dolum faktörünün düşmesine sebep olur. Dolum faktörü ifadesi denklem 2.2' de verilmiştir.

$$FF = \frac{V_{\max} \cdot I_{\max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{P_{\max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (2.2)$$

Güneş pilinin iyi olarak nitelendirilmesi için dolum faktörünün 0,75 – 0,8 aralığında olması gerekir.

2.6.2.1.5. Güç dönüşüm verimi

Pilin güç dönüşüm verimi (η) pil performansının bir ifadesidir. Elde edilen maksimum gücün ($P_{\max}$), güneş pili yüzeyine gelen ışık şiddetine oranıdır. Denklem 2.3' de verim ifadesi verilmiştir.

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{ışık}} = \frac{I_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{P_{ışık}} \quad (2.3)$$

Denklemden $P_{ışık}$ hava kütlesi 1,5 AM şartları altında 48° lik açıyla dünyanın yüzeyine gelen güneş ışığının ışık şiddeti olup, değeri 1000 W/m^2 ($=100 \text{ mW/cm}^2$) dir (Roy-Mayhew, JD., 2014).

2.6.2.1.6. Gelen fotonun elektrik akımına dönüşme verimi (IPCE)

Fotoanot üzerine gelen fotonların sayısının, elektrot üzerinde toplanan yük taşıyıcılarının sayısına oranıdır. IPCE aynı zamanda dış kuantum verimi olarak da bilinir. IPCE, farklı dalga boylarında (λ) devreden elde edilen kısa devre akımı kullanılarak hesaplanır. IPCE Denklem 2.4 kullanılarak elde edilir.

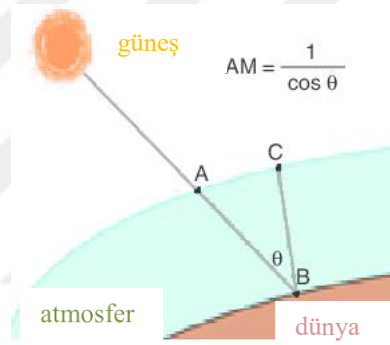
$$IPCE = \frac{1240 \cdot I_{sc}}{\lambda \cdot P_{ışık}} \quad (2.4)$$

Burada $P_{ışık}$ elektrot üzerine düşen ışığın gücüdür (Jun, H., 2013).

2.6.2.1.7. Standart şartlar

Üretilen ve incelenen güneş pillerinin karşılaştırılabilmesi için, ölçümlerin aynı şartlar altında yapılması gerekir. Ölçümler sırasında ortamın sıcaklığı 25°C , ortalama ışınım şiddeti 1000 W/m^2 ve hava kütlesi AM 1,5 olmalıdır. Atmosferik koşulların, dünya

yüzeyine gelen güneş ışığını etkileme oranı hava kütle (air mass AM) koşulu olarak adlandırılır. Işık atmosferden geçerken izlediği yolun, ışık dünyaya dik geldiği durumda izleyeceği yola oranı hava kütlesini verir. Dünya atmosferi dışında spektral dağılım AM 0, güneş tam tepedeyken dünya atmosferini geçerek yeryüzüne ulaşan güneş ışığının spektral dağılımı AM 1 olarak tarif edilir. Genel olarak AM (X) ifadesinde, $X = (\cos \theta)^{-1}$ olarak tanımlanır. Işık yeryüzüne dik geliş yoluna zenith çizgisi denir. θ ışık geliş yolu ile zenith çizgisi arasındaki açıdır. Buna göre, ışık geliş çizgisi ile zenith çizgisi arasındaki açı 48° olduğunda spektral dağılım AM 1,5 koşulu sağlanmış olur. Açığa bağlı olarak ışık şiddetindeki ve spektrumdaki farklılığın nedeni, ışığın ozon tabakası ve bulutlar tarafından soğurulması ve çeşitli etkilerle saçılmasından kaynaklanır. Resim 2.9’ da farklı hava kütlesi durumları şematik olarak gösterilmiştir (Alpaslan, Z., 2009).



Resim 2.9. Hava kütlesi ölçümü

3. MATARYEL VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Malzemeler

Bu tez çalışmasında, deneysel işlemlerde kullanılan kimyasal maddeler Tablo 3.1’ de verilmiştir.

Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan kimyasal maddeler ve özellikleri

Kullanılan Madde	Alındığı Firma Adı	Saflık Derecesi (%)
Sodyum sülfür (Na_2S)	Sigma- Aldrich	99,0
Asetik asit (CH_3COOH)	Sigma- Aldrich	99,5
Grafit tozu	Sigma- Aldrich	99,0
Titanyum (IV) izopropoksit	Sigma- Aldrich	97,0
Saf etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$)	Sigma- Aldrich	99,8
Sodyum nitrat (NaNO_3)	Sigma- Aldrich	99,0
Poliakrilonitril PAN ($\text{C}_3\text{H}_3\text{N}$) _n	Sigma- Aldrich	
Kükürt (S)	Sigma- Aldrich	99,9
Potasyum klorür (KCl)	Sigma- Aldrich	99,9
N,N-Dimetilformamid (DMF) ($\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}$)	Sigma- Aldrich	
Polivinil pirolidon (PVP) ($\text{C}_6\text{H}_9\text{NO}$) _n	Sigma- Aldrich	
Platin tel (Pt)	Sigma- Aldrich	99,9

Aseton (C_3H_6O)	Sigma- Aldrich	99,9
Sülfürik asit (H_2SO_4)	Sigma- Aldrich	98,0
Hidrojen peroksit (H_2O_2)	Sigma- Aldrich	30,0
Hidro platinik asit (Cl_6H_2Pt)	Sigma- Aldrich	
Sodyum hidroksit ($NaOH$)	Sigma- Aldrich	97,0
Sodyum Sülfür (Na_2S)	Sigma- Aldrich	
FTO camlar	Merck	(15 Ω cm ⁻²)

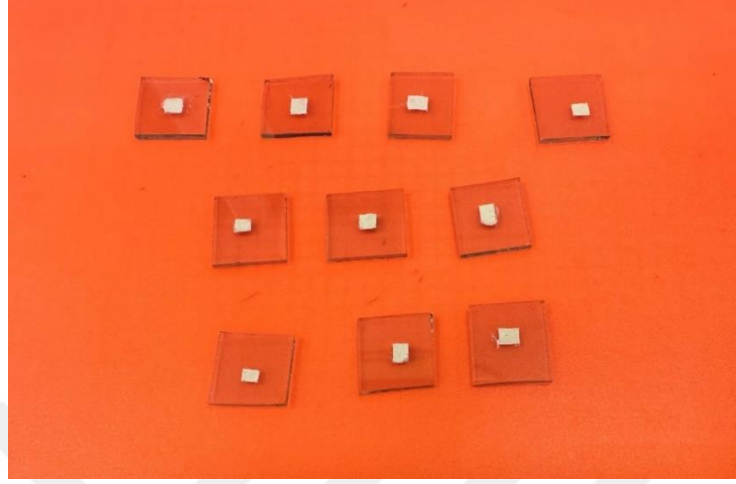
3.2. Ti_3C_2 MXene Üretimi

Ticari olarak satın alınan Ti_3AlC_2 MAX fazındaki Al tabakası kazınarak Ti_3C_2 MXene tozları elde edildi. Özetle 1 g Ti_3AlC_2 tozu, 10 ml 9 M HCl ve 1 g LiF karışımı içerisine yavaş yavaş eklendi. Bu karışım 35 °C’ de 24 h karıştırıldı. Daha sonra bu çözelti deiyonize su içerisinde pH değeri 7 olana kadar yıkandı. Elde edilen Ti_3C_2 tortusu 100 ml etanol içerisinde disperse edildi. Katmanlı bir tabaka elde etmek için kalem tipi bir sonikatör yardımıyla 300 W’ de 1 h sonikasyon yapıldı. Ardından 10000 rpm’ de 20 dakika santrifüj yapılarak 100 ml etanol içerisinde tekrar disperse edildi. Ardından 20 dakika sonikasyon yapıldı. Elde edilen tabakalı Ti_3C_2 MXene 3500 rpm’ de 1 h santrifüj yapıldıktan sonra vakumda kurutularak donduruldu. Elde edilen ürün Argon ortamında 200 °C’ de fırınladı. Böylece Ti_3C_2 MXene elde edildi (Wang vd., 2019).

3.3. Saf TiO_2 Nanofiber Üretimi

6,4 ml etanol, 8 ml DMF ve 1.2 g asetik asit karıştırıldı. Bu çözeltiye 1,5 g polivinil pirolidon (PVP) eklendi. Oluşan bu çözelti oda sıcaklığında 12 h karıştırıldı. Karıştırma işleminin ardından 3 g tetrabütültitanat eklenerek 6 h daha karıştırıldı. Elde edilen çözelti şırıngaya dolduruldu. İğne ucu ile FTO arası 15 cm ve voltaj 15 kV olacak şekilde ayarlandıktan sonra 1 ml/h akış hızında elektro eğirme işlemi yapıldı. Kaplama işlemi

güneş pillerine kullanılacağı için 0.25 cm^2 lik aktif alana yapıldı. 80°C ' de 24 h kurutuldu. Ardından 550°C ' de 2 h fırınladı. Böylece saf TiO_2 nanofiber üretildi. FTO üzerine doğrudan kaplanan TiO_2 fiber filmlerin görüntüsü Resim 3.1' de verildi.



Resim 3.1. Saf TiO_2 elektrotlar

3.4. TiO_2 - Ti_3C_2 MXene Nanokompozit Fiber Üretimi

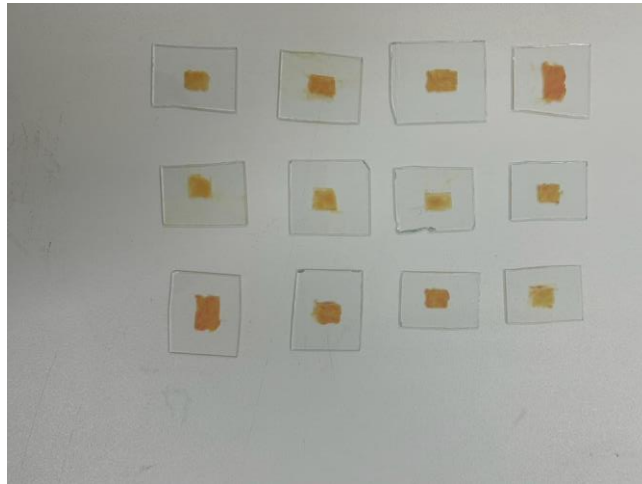
6,4 ml etanol, 8 ml DMF ve 1.2 g asetik asit karıştırıldı. Bu çözeltiye 1,5 g polivinil pirolidon (PVP) eklendi. Oluşan bu çözelti oda sıcaklığında 12 h karıştırıldı. Karıştırma işleminin ardından 3 g tetrabütültitanat eklenerek 6 h daha karıştırıldı. Böylece TiO_2 çözeltisi elde edildi. 10 mg Ti_3C_2 MXene tozları 10 ml DMF (N-N dimetil formamit) içinde tornavida uçlu bir sonikatör yardımıyla 4 h sonikasyon yapıldı. Bu işlemin ardından çözelti 9000 rpm' de 20 dakika santrifüj yapıldı. Elde edilen tortu toplandı. Bu tortu tekrar DMF içerisine eklendi. DMF-MXene çözeltisi içerisine ağırlıkça % 8 poliakrilonitril (PAN) eklendi. Elde edilen bu kıvamlı çözeltiyi elektroegirme işlemine uygun hale getirebilmek için oda sıcaklığında bir gece karıştırıldı. Böylece Ti_3C_2 MXene çözeltisi elde edildi. TiO_2 çözeltisi içerisine ağırlıkça % 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ve 1 oranında Ti_3C_2 çözeltisi eklendi. Oluşan bu TiO_2 - Ti_3C_2 MXene çözeltisi şırıngaya dolduruldu. Şırınga iğnesi ile FTO arasındaki mesafe 12 cm olacak şekilde 15 kV altında 1 ml/h akış hızında elektroegirme işlemi uygulanarak TiO_2 - Ti_3C_2 MXene kompozit nano fiberler üretildi. Kaplama işlemi güneş pillerine kullanılacağı için 0.25 cm^2 lik alana yapıldı. Ardından 80°C ' de 2 h ön kurutma yapıldı. Daha sonra 350°C ' de 2 h fırınladı (Levitt vd., 2019).



Resim 3.2. Nano fiber üretiminde kullandığımız elektroğirme cihazının görüntüsü

3.3. CdS Kuantum Noktaların FTO Yüzeye Bağlanması

FTO yüzey üzerine elektroğirme yöntemiyle hazırlanmış TiO_2 ve $\text{TiO}_2\text{-MXene}$ fotoanotların yüzeyleri CdS kuantum noktalar ile kaplandı. CdS sentezi için öncelikle kadmiyum nitrat etanol içerisinde, Na_2S (sodyum sülfid) ise deiyonize su içerisinde ayrı ayrı çözüldü. CdS kuantum noktalar fotoanot yüzeye SILAR yöntemi kullanılarak bağlandı. Fotoanot film yüzeyler 10 dakika kadmiyum nitrat çözeltisine daldırılıp çıkarıldı ve etanol ile yıkandı. Ardından 10 dakika Na_2S çözeltisine daldırılarak tekrar etanol ile yıkandı. Oluşan filmler 150°C ' de 10 dakika kurutularak bir SILAR döngüsü tamamlandı (Lee vd. 2009). Bu döngü beş kez tekrarlandı. CdS kaplı turuncu renkteki fotonatların görüntüsü Resim 3.3' de veridi.



Resim 3.3. CdS kuantum nokta kaplı elektrotlar

3.6. Platin (Pt) Karşı elektrot Üretimi

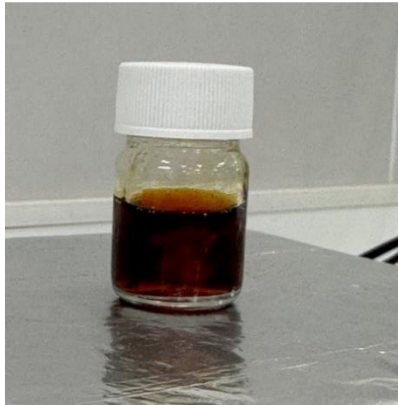
$\text{Cl}_6\text{H}_2\text{Pt}$ (hidro platinik asit) iki propanol içerisinde çözülerek, şeffaf bir çözelti oluşturuldu. Çözelti daha önceden temizliği yapılan FTO cam üzerine homojen bir şekilde damlatılarak pürüzsüz ve şeffaf bir film oluşması sağlandı. Oluşan film 400°C ' de 1 saat ısıtıl işleminden geçirilerek Pt karşı elektrotlar üretildi (Imoto vd. 2003). Üretilen Pt karşı elektrotların görüntüsü Resim 3.4.' te verildi.



Resim 3.4. Pt karşı elektrotlar

3.7. Elektrolit Hazırlama

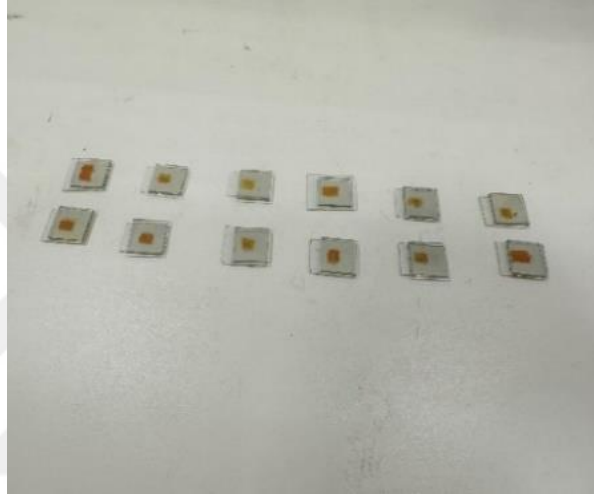
Öncelikle 7 ml etanol ve 3 ml de iyonize su karışımı içerisinde $0,5\text{ M Na}_2\text{S}$ eklendi. Na_2S tamamen çözünene kadar karıştırıldı. Karıştırma işlemi sürerken, çözeltiye 2 M kükürt eklendi. Çözelti tamamen şeffaf olana kadar karıştırma işlemine devam edildi. Daha sonra $0,2\text{ M KCl}$ eklenerek 1 saat daha karıştırıldı (Yang vd. 2010). Böylece sıvı elektrolit üretildi. Üretilen elektrolitin görüntüsü Resim 3.5' da verildi.



Resim 3.5. Üretilen sülfid/polisülfid tabanlı elektrolitin görüntüsü

3.8. Kuantum Nokta Duyarlı Güneş Pillerinin Üretimi

Elektroegirme yöntemiyle doğrudan 0.25 cm^2 ' lik alana kaplanmış nano kompozit fiber fotoanotlar, SILAR yöntemiyle CdS kuantum noktalar ile kaplandı. Üretilen Pt karşı elektrotlar elektrolit doldurabilmek için optisyen matkabı ile delindi. Ardından, fotoanotların çevresi bir yalıtkan çerçeve ile kaplandı. Karşı elektrotlarla fotoanotlar sandviç şekline getirilerek aralarına elektrolit dolduruldu. Böylece güneş pilleri üretildi. Üretilen güneş pillerinin görüntüsü Resim 3.6' de verildi. Pillerin elektriksel karakterizasyonu FYTRONIX 9000 solar simülatör kullanılarak yapıldı.



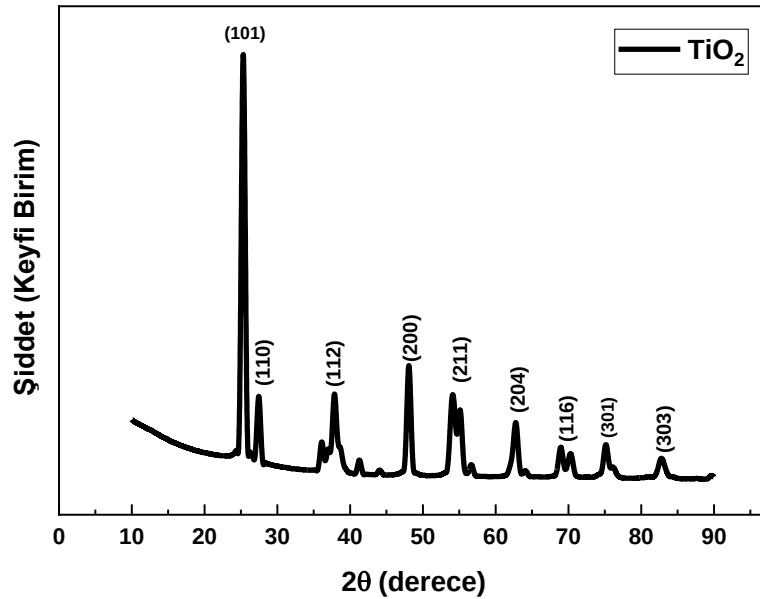
Resim 3.6. Üretilen kuantum nokta duyarlı güneş pillerinin görüntüsü

4. DENEYSEL BULGULAR

Üretilen malzemelerin yapısal ve yüzey analizlerinin incelenmesi nano bilim ve nano malzemeler açısından son derece önemlidir. Bu nedenle üretilen tüm malzemelerin yapısal analizleri X-ışını kırınımı (XRD) analizi, Fourier dönüşüm kızıl ötesi (FTIR) spektrumu ölçümü ve Raman spektroskopisi analizi yapılarak incelenmiştir. Ayrıca yüzeysel analizler alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM) görüntüleri alınarak incelenmiştir. Malzemelerin element analizleri ise enerji dağılımlı X-ışını (EDX) ölçümleri yapılarak incelenmiştir.

4.1. X-ışını Kırınımı (XRD) Analizleri

Üretilen malzemelerin XRD analizleri Panalytical Empyrean marka X-ray kırınım ölçer ile $0,02^\circ$ tarama hızında Cu K_α ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$) ışınımı kullanılarak yapıldı. Üretilen saf TiO_2 nano fiberlere ait XRD analizleri Şekil 4.1’ de verildi. TiO_2 nanofiberlere ait XRD numuneleri incelendiğinde $2\theta=25.30^\circ$, $2\theta=38.56^\circ$, $2\theta=48.05^\circ$, $2\theta=53.86^\circ$, $2\theta=54.32^\circ$, $2\theta=62.68^\circ$, $2\theta=68.73^\circ$, $2\theta=76.07^\circ$, $2\theta=82.19^\circ$ de sırasıyla (101), (112), (200), (105), (211), (204), (116), (301), (303) düzlemlerine ait karakteristik anataz TiO_2 pikleri görülmüştür (kart no: JCPDS 83-2243) (Tsega vd. 2017). Saf TiO_2 nanofiberlerde çoğunlukla anataz piki görülse de $2\theta=27.45^\circ$ de (110) düzlemine ait rutil TiO_2 ’ ye ait pikte gözlenmiştir (kart no: JCPDS 78-1510) (Niltharach vd. 2012).



Şekil 4.1. Saf TiO_2 nano fiberlerin XRD analizi

Üretilen saf TiO₂ nano fiber ile farklı oranlarda Ti₃C₂ MXene katkılı TiO₂-Ti₃C₂ MXene nano kompozitlerin birim hücrelerinin düzlemler arası mesafeleri Denklem 4.1’ deki Bragg eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad (4.1)$$

λ ışığın dalga boyu, d_{hkl} komşu düzlemler arası mesafe, θ yansıma açısıdır. Anataz TiO₂’ ye ait örgü sabitleri (a,c), d_{hkl} ve (hkl) indisleri arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (4.2)$$

Üretilen malzemelerin kristal büyüklükleri (D), XRD pikleri yardımıyla denklem 4.3’ te verilen Debye-Scherrer eşitliği yardımıyla hesaplanabilir (Tripathi vd. 2013).

$$D = \frac{0,94\lambda}{\beta_{1/2} \cos \theta} \quad (4.3)$$

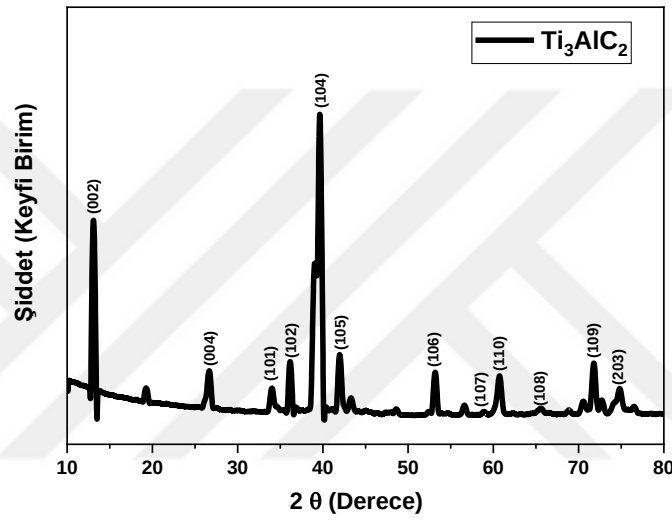
Denklemden, D ortalama kristal büyüklüğü, λ dalga boyu, $\beta_{1/2}$ yarı maksimumdaki tam genişlik (FWHM), θ ise Bragg açısıdır. Şekil 4.1’ de verilen anataz TiO₂ piklerine ait kristal parametreleri hesaplanmış ve Tablo 4.1’ de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 4.1. TiO₂ nano fibere ait kristal yapı parametreleri

Pik No	2 θ (derece)	hkl indisleri	d_{hkl} (nm)	D (nm)
1	25,30°	(101)	0,351	18,8
2	38,56°	(112)	0,233	19,4
3	48,05°	(200)	0,189	20,1
4	53,86°	(105)	0,169	20,6
5	54,32°	(211)	0,166	20,7
6	62,68°	(204)	0,148	21,6
7	68,73°	(116)	0,136	22,4
8	76,07°	(301)	0,125	23,6
9	82,19°	(303)	0,117	24,9

Tablo incelendiğinde ortalama kristal büyüklüğünün 18-24 nm arasında olduğu görülmektedir. Bu değerler oldukça başarılı bir üretim gerçekleştirildiğinin göstergesidir. Viana ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada TiO₂’ nin ortalama kristal büyüklüğünü 17-45 nm arasında hesaplamışlardır (Viana vd. Viana vd. 2010). Huber ve arkadaşları ise TiO₂’ nin kristal büyüklüğünü 21,4 nm olarak hesaplamışlardır (Huber vd. 2005). Bizim

hesapladığımız değerler göz önüne alındığında literatürle uyumlu olduğu açıkça görülmektedir. Huber ve arkadaşları $2\theta=25.30^\circ$ TiO_2 'ye ait (101) düzlemi için d_{hkl} değerini 0,352 nm olarak hesaplamışlardır (Huber vd. 2005). Bu değer (101) düzlemi için bizim hesapladığımız 0,351 nm değeri ile neredeyse aynıdır. Huber ve arkadaşları TiO_2 'nin (200) ve (105) düzlemleri için d_{hkl} değerini 0,189 ve 0,170 nm olarak hesaplamışlardır (Huber vd. 2005). TiO_2 'nin (200) ve (105) düzlemlerine ait bizim hesapladığımız d_{hkl} değerleri ise 0,189 nm ve 0,169 nm dir. Bu değerler literatür ile karşılaştırıldığında neredeyse aynıdır.

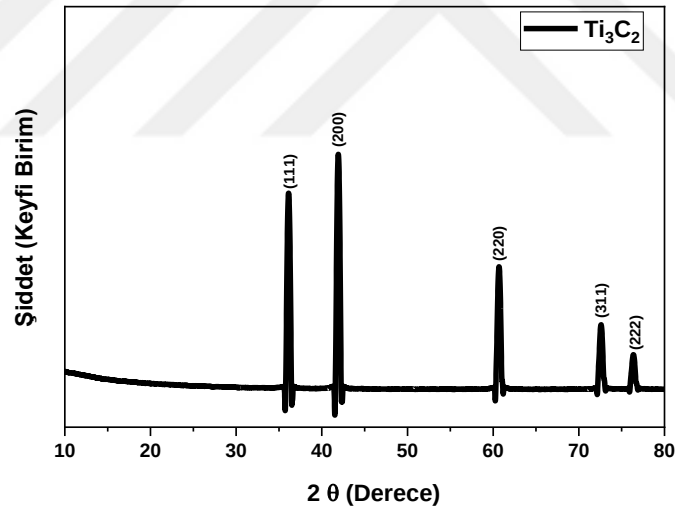


Şekil 4.2. Ti_3AlC_2 'nin XRD analizleri

Ti_3AlC_2 'nin XRD analizleri Şekil 4.2' de verildi. Şekil incelendiğinde $2\theta=13.08^\circ$, $2\theta=26.61^\circ$, $2\theta=34.01^\circ$, $2\theta=36.12^\circ$, $2\theta=39.64^\circ$, $2\theta=41.90^\circ$, $2\theta=53.17^\circ$, $2\theta=58.91^\circ$, $2\theta=60.73^\circ$, $2\theta=65.61^\circ$, $2\theta=71.82^\circ$, $2\theta=74.77^\circ$ de sırasıyla (002), (004), (101), (102), (104), (105), (106), (107), (110), (108), (109), (203) düzlemlerine ait karakteristik Ti_3AlC_2 pikleri görülmüştür (kart no: JCPDS 52-08765) (Hu vd. 2020; Liu vd. 2020). Şekil 4.2' de verilen Ti_3AlC_2 piklerine ait kristal parametreleri hesaplanmış ve Tablo 4.2' de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Tablo incelendiğinde ortalama kristal boyutunun 14-17 nm arasında olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.2. Ti_3AlC_2 ' ye ait kristal yapı parametreleri

Pik No	2θ (derece)	hkl indisleri	d_{hkl} (nm)	D (nm)
1	13.08°	(002)	0,675	14,1
2	26.61°	(004)	0,339	14,3
3	34.01°	(101)	0,259	14,6
4	36.12°	(102)	0,246	14,7
5	39.64°	(104)	0,208	15,0
6	41.90°	(105)	0,189	15,3
7	53.17°	(106)	0,172	15,6
8	58.91°	(107)	0,156	16,1
9	60.73°	(110)	0,152	16,2
10	65.61°	(108)	0,143	16,6
11	71.82°	(109)	0,131	17,4
12	74.77°	(203)	0,126	17,7

**Şekil 4.3.** Ti_3C_2 MXene' nin XRD analizleri

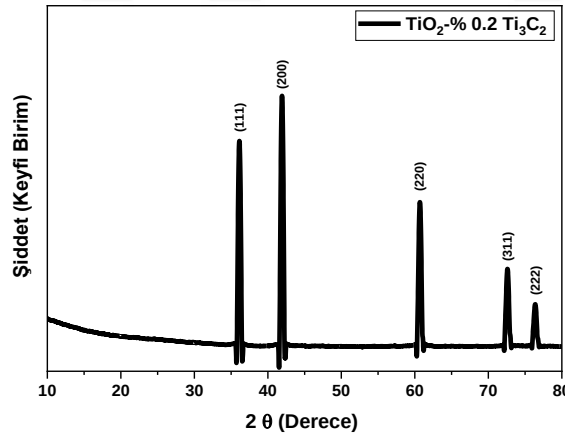
Ti_3C_2 MXene'nin XRD analizleri Şekil 4.3' de verilmiştir. XRD analiz sonuçları incelendiğinde $2\theta=36.06^\circ$, $2\theta=41.82^\circ$, $2\theta=60.75^\circ$, $2\theta=72.55^\circ$, $2\theta=76.38^\circ$ de sırasıyla (111), (200), (220), (311), (222) düzlemlerine ait karakteristik Ti_3C_2 MXene pikleri görülmüştür (kart no: JCPDS 32-1383) (Ding vd. 2021). Ti_3AlC_2 'nin XRD analizleri ile karşılaştırıldığında Ti_3AlC_2 ' de görülen piklerin gözden kaybolduğu ve Ti_3C_2 MXene ait karakteristik piklerin gözlemlendiği tespit edilmiştir. Özellikle 39.64° ki Ti_3AlC_2 MXene ait keskin (004) pikinin gözden kaybolması Al tabakasının uzaklaştırıldığının en belirgin

göstergesidir (Luo vd. 2016). Bu sonuçlar Al' nin kazındığını ve Ti_3C_2 MXene yapıların üretildiğini doğrular. Ti_3C_2 MXene'nin XRD piklerine ait kristal parametreleri hesaplanmış ve Tablo 4.3' de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Tablo incelendiğinde ortalama kristal büyüklüklerinin 205-443 nm arasında olduğu görülmektedir. Ortalama kristal boyutu Ti_3AlC_2 'ye göre artmıştır. Bu artış Al kazınması sırasında kullanılan kimyasal işlemler sonucu yapının genişlemesinden kaynaklanmaktadır (Lukatskaya vd. 2013).

Tablo 4.3. Ti_3C_2 MXene ait kristal yapı parametreleri

Pik No	2θ (derece)	hkl indisleri	dhkl (nm)	D (nm)
1	36,06°	(111)	0,248	205
2	41,82°	(200)	0,215	209
3	60,75°	(220)	0,152	255
4	72,55°	(311)	0,130	361
5	76,38°	(222)	0,124	443

Şekil 4.4 - Şekil 4.8 arasında ise farklı oranlarda Ti_3C_2 MXene katkılı TiO_2/Ti_3C_2 MXene nano kompozitlerin XRD analizleri verilmiştir.



Şekil 4.4. TiO_2 - % 0,2 Ti_3C_2 MXene' nin XRD analizleri

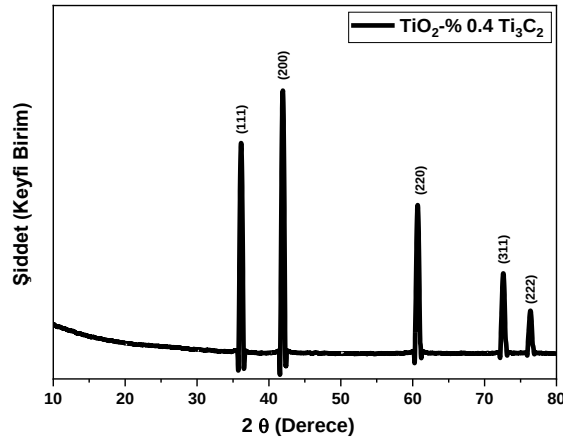
Şekil 4.4' te TiO_2 -% 0,2 Ti_3C_2 MXene yapıda üretilen nano kompozit yapının XRD analizi verilmiştir. XRD analiz sonuçları incelendiğinde $2\theta=36.10^\circ$, $2\theta=41.85^\circ$, $2\theta=60.69^\circ$, $2\theta=72.73^\circ$, $2\theta=76.44^\circ$ de sırasıyla (111), (200), (220), (311), (222) düzlemlerine ait karakteristik Ti_3C_2 MXene pikleri görülmüştür (kart no: JCPDS 32-1383) (Mashtalir vd. 2016). Grafik incelendiğinde Ti_3C_2 MXene ait piklerin varlığını koruduğu ancak TiO_2 ' ye ait piklerin gözlenmediği tespit edilmiştir. Bu durum Ti_3C_2

MXene' nin piklerinin oldukça baskın olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak Ti_3C_2 MXene ait piklerin bozulmamış olması yapının başarılı bir şekilde üretildiğini gösterir. Pikler saf Ti_3C_2 MXene oranla daha keskindir. Bu durum kristalleşme açısından olumlu bir durumdur.

TiO_2 -% 0,2 Ti_3C_2 MXene ait hesaplanan kristal yapı parametreleri Tablo 4.4' de verilmiştir. Tablo incelendiğinde ortalama kristal boyutunun 122-180 nm civarında olduğu görülmektedir. Bu değerler saf Ti_3C_2 MXene'nin kristal boyutu değerlerinden daha küçüktür. Bu durum, TiO_2 ile Ti_3C_2 MXene arasında oluşan kompozit yapı sırasında kümeleşmenin engellenmiş olmasından kaynaklanmış olabilir. Daha küçük ortalama kristal boyutu, Ti_3C_2 MXene yapılara göre daha fonksiyonel TiO_2 -% 0,2 Ti_3C_2 MXene nano kompozit yapıların başarılı bir şekilde üretilmiş olduğunu gösterir.

Tablo 4.4. TiO_2 - % 0,2 Ti_3C_2 ' ye ait kristal yapı parametreleri

Pik No	2θ (derece)	hkl indisleri	d_{hkl} (nm)	D (nm)
1	36,10°	(111)	0,248	122
2	41,85°	(200)	0,215	124
3	60,69°	(220)	0,152	142
4	72,73°	(311)	0,130	167
5	76,44°	(222)	0,124	180



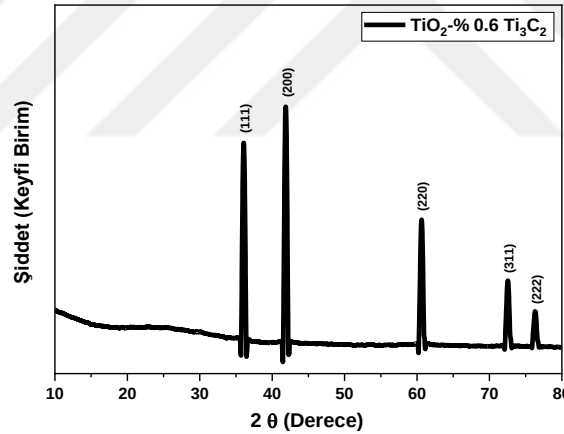
Şekil 4.5. TiO_2 - % 0,4 Ti_3C_2 MXene' nin XRD analizleri

Şekil 4.5' te TiO_2 -% 0,4 Ti_3C_2 MXene yapıda üretilen nano kompozit yapının XRD analizi verilmiştir. XRD analiz sonuçları incelendiğinde $2\theta=36.08^\circ$, $2\theta=41.90^\circ$, $2\theta=60.63^\circ$, $2\theta=72.60^\circ$, $2\theta=76.42^\circ$ de sırasıyla (111), (200), (220), (311), (222) düzlemlerine ait karakteristik Ti_3C_2 MXene pikleri görülmüştür (kart no: JCPDS 32-

1383) (Mashtalir vd. 2016). TiO_2 -% 0,4 Ti_3C_2 MXene ait hesaplanan kristal yapı parametreleri Tablo 4.5’ de verilmiştir. Tablo incelendiğinde ortalama kristal boyutunun 113-164 nm civarında olduğu görülmektedir. Bu değerler TiO_2 -% 0,2 Ti_3C_2 MXene ortalama kristal boyutundan küçüktür. Kompozit yapılarda ideal katkı oranının bulunması son derece önemlidir. % 0,4 Ti_3C_2 MXene katkılı numunede kristal boyutunun düşme eğiliminde olması kompozit yapının oluştuğu ve metal oksitlerin yapı içerisine yerleşerek topaklaşmayı engellemiş olmasından kaynaklanabilir.

Tablo 4.5. TiO_2 - % 0,4 Ti_3C_2 MXene ait kristal yapı parametreleri

Pik No	2 θ (derece)	hkl indisleri	d_{hkl} (nm)	D (nm)
1	36,08°	(111)	0,248	113
2	41,90°	(200)	0,215	116
3	60,63°	(220)	0,152	135
4	72,60°	(311)	0,130	153
5	76,42°	(222)	0,124	164



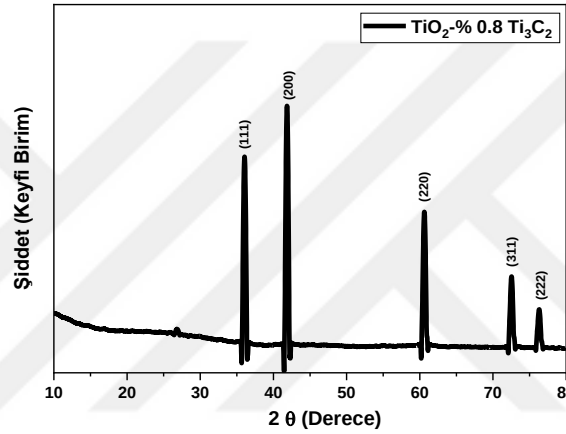
Şekil 4.6. TiO_2 - % 0,6 Ti_3C_2 MXene XRD analizleri

Şekil 4.6’ da TiO_2 -% 0,6 Ti_3C_2 MXene yapıda üretilen nano kompozit yapının XRD analizi verilmiştir. XRD analiz sonuçları incelendiğinde $2\theta=36.13^\circ$, $2\theta=41.93^\circ$, $2\theta=60.72^\circ$, $2\theta=72.56^\circ$, $2\theta=76.40^\circ$ de sırasıyla (111), (200), (220), (311), (222) düzlemlerine ait karakteristik Ti_3C_2 MXene pikleri görülmüştür (kart no: JCPDS 32-1383) (Mashtalir vd. 2016; Ding 2021). TiO_2 -% 0,6 Ti_3C_2 MXene ait hesaplanan kristal yapı parametreleri Tablo 4.6’ de verilmiştir. Tablo incelendiğinde ortalama kristal boyutunun 65-84 nm civarında olduğu görülmektedir. Bu değerler % 0,2 ve 0,4 Ti_3C_2 MXene katkılı numunelerin kristal boyutlarında daha küçüktür. Kristal boyutunun 100

nm' nin altına düşmüş olması bu katkı oranının TiO_2 -MXene kompozit yapılar için ideal bir oran olabileceği düşünülebilir.

Tablo 4.6. TiO_2 - % 0,6 Ti_3C_2 MXene ait kristal yapı parametreleri

Pik No	2θ (derece)	hkl indisleri	d_{hkl} (nm)	D (nm)
1	$36,13^\circ$	(111)	0,248	65
2	$41,93^\circ$	(200)	0,215	66
3	$60,72^\circ$	(220)	0,152	73
4	$72,56^\circ$	(311)	0,130	81
5	$76,40^\circ$	(222)	0,124	84

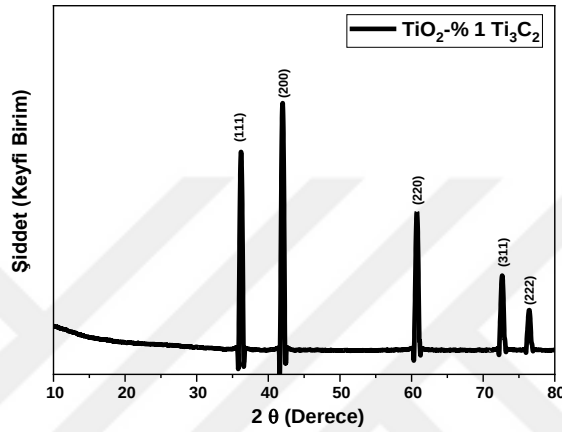


Şekil 4.7. TiO_2 - % 0,8 Ti_3C_2 MXene XRD analizleri

Şekil 4.7' da TiO_2 -% 0,8 Ti_3C_2 MXene yapıda üretilen nano kompozit yapının XRD analizi verilmiştir. XRD analiz sonuçları incelendiğinde $2\theta=36.02^\circ$, $2\theta=41.92^\circ$, $2\theta=60.69^\circ$, $2\theta=72.58^\circ$, $2\theta=76.29^\circ$ de sırasıyla (111), (200), (220), (311), (222) düzlemlerine ait karakteristik Ti_3C_2 MXene pikleri görülmüştür (kart no: JCPDS 32-1383) (Mashtalir vd. 2016; Ding 2021). TiO_2 -% 0,8 Ti_3C_2 MXene ait hesaplanan kristal yapı parametreleri Tablo 4.7' da verilmiştir. Tablo incelendiğinde ortalama kristal boyutunun 195-394 nm civarında olduğu görülmektedir. Bu değerler % 0,6 Ti_3C_2 MXene katkılı numunenin kristal boyutlarından büyüktür. Bu artma katkı oranının artması sonucu kompozit yapının bozulmuş olmasından kaynaklanmış olabilir. % 0,6 katkı oranının üzerine çıkıldığında TiO_2 - Ti_3C_2 MXene arasında oluşmasını istediğimiz pozitif etkileşimlerin oluşmaması ve topaklaşmaların artması nedeniyle kompozit yapının bozulmuş olma ihtimali kristal boyutunu artırmış olabilir.

Tablo 4.7. TiO₂- % 0,8 Ti₃C MXene ait kristal yapı parametreleri

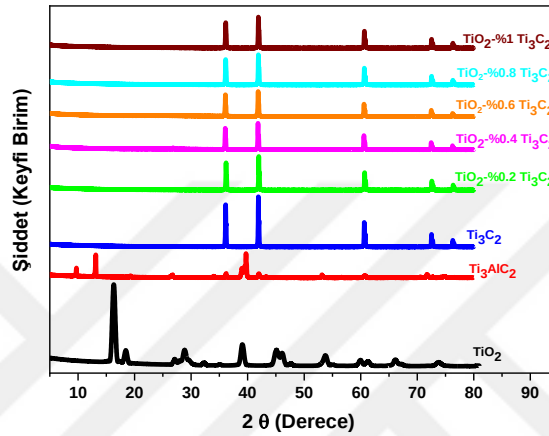
Pik No	2θ (derece)	hkl indisleri	d _{hkl} (nm)	D (nm)
1	36,13°	(111)	0,248	195
2	41,93°	(200)	0,215	199
3	60,72°	(220)	0,152	241
4	72,56°	(311)	0,130	329
5	76,40°	(222)	0,124	394

**Şekil 4.8.** TiO₂-% 1 Ti₃C₂ MXene XRD analizleri

Şekil 4.8’ de TiO₂-% 1 Ti₃C₂ MXene yapıda üretilen nano kompozit yapının XRD analizi verilmiştir. XRD analiz sonuçları incelendiğinde $2\theta=36.20^\circ$, $2\theta=41.98^\circ$, $2\theta=60.81^\circ$, $2\theta=72.69^\circ$, $2\theta=76.36^\circ$ de sırasıyla (111), (200), (220), (311), (222) düzlemlerine ait karakteristik Ti₃C₂ MXene pikleri görülmüştür (kart no: JCPDS 32-1383) (Mashtalir vd. 2016; Ding 2021). TiO₂-% 1 Ti₃C₂ MXene ait hesaplanan kristal yapı parametreleri Tablo 4.8’ de verilmiştir. Tablo incelendiğinde ortalama kristal boyutunun 212-492 nm civarında olduğu görülmektedir. Ortalama kristal boyutu TiO₂-% 0,8 Ti₃C₂ MXene’ den daha büyüktür. Kristal boyutunda % 0,8 katkılı numuneyle beraber artış gözlenmiştir. % 0,6 katkı oranının ideal oran olduğu bu oranın üzerindeki katkılmalarda ise yapının bozulduğu sonucuna varılmıştır. Bu malzeme için % 0,6 katkılama oranı adeta bir eşik değerdir.

Tablo 4.8. TiO₂- % 1 Ti₃C MXene ait kristal yapı parametreleri

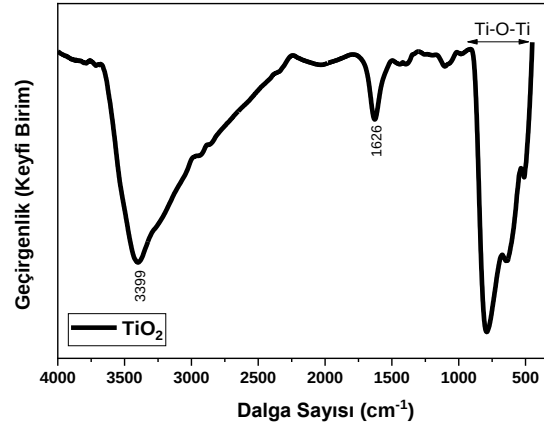
Pik No	2θ (derece)	hkl indisleri	d _{hkl} (nm)	D (nm)
1	36,20°	(111)	0,248	212
2	41,98°	(200)	0,215	216
3	60,81°	(220)	0,152	267
4	72,69°	(311)	0,130	387
5	76,36°	(222)	0,124	492

**Şekil 4.9.** Saf TiO₂, Ti₃AlC₂, Ti₃C₂ MXene ve TiO₂-Ti₃C₂ MXene yapıların XRD analizleri

Şekil 4.9’ da ise üretilen tüm yapıların XRD analizleri karşılaştırmalı bir şekilde verilmiştir. Şekil 4.9 incelendiğinde TiO₂ ve Ti₃AlC₂ ait piklerin TiO₂-Ti₃C₂ MXene yapılarda oluşmadığı tespit edilmiştir. Ancak TiO₂-Ti₃C₂ MXene kompozit yapılarda Ti₃C₂ MXene ait karakteristik piklerin olduğu gözlenmiştir. Özellikle Ti₃AlC₂’ ye ait (004) düzlemine ait pikin gözden kaybolması Al’ nin başarılı bir şekilde uzaklaştırılarak Ti₃C₂ MXene yapıların üretildiğini gösterir.

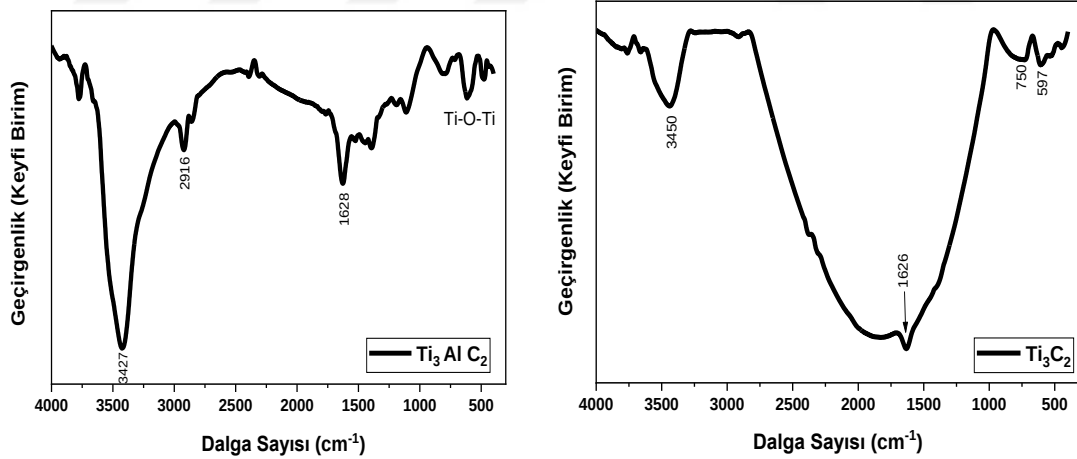
4.2. Fourier Dönüşüm Kızıl Ötesi (FTIR) Spektrumu Analizleri

FTIR analizi kızıl ötesi (IR) ışının soğurulması ile birlikte kimyasal bağlarda oluşan titreşimlerin ölçülmesidir. Farklı kimyasal fonksiyonel gruplar kendilerine özgü titreşim sıklığına sahiptir. Üretilen malzemedeki kimyasal bileşiklerin analizlerinin yapılması malzeme bilimi açısından oldukça önemlidir. Üretilen malzemelerin Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analizleri 400-4000 cm⁻¹ aralığında JASCO FT/IR-6700 cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 4.10. Saf TiO₂ nano fiberlerin FTIR analizi

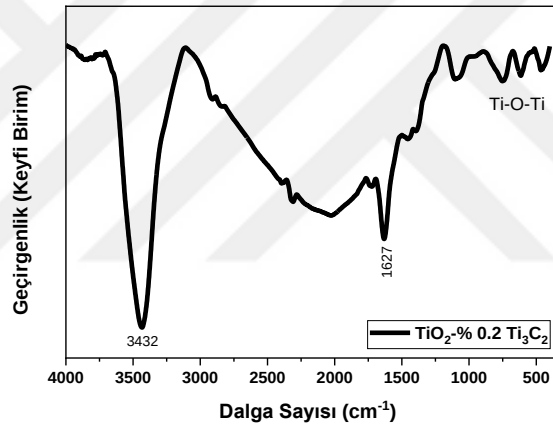
Üretilen saf TiO₂ nano fiber malzemenin FTIR sonuçları Şekil 4.10’ da verilmiştir. Şekil incelendiğinde 3399 cm⁻¹ de geniş aralıklı bir pik gözlenmiştir. Bu pik emilen suyun içerisindeki hidroksil (OH) gruplarından kaynaklanan O-H gerilme titreşimine ait piktir. 1626 cm⁻¹ deki pik ise su moleküllerinde ki hidroksil (OH) gruplarının O-H bükülme titreşiminden kaynaklanır. 400-1000 cm⁻¹ arasındaki geniş aralıklı pik ise TiO₂’ ye ait karakteristik Ti-O-Ti pikleridir (L. Dong vd. 2014). FTIR analizleri incelendiğinde TiO₂’ ye ait karakteristik piklerin görülmesi TiO₂’ nin başarılı bir şekilde üretildiğini gösterir.



Şekil 4.11. a) Ti₃AlC₂ yapının FTIR analizi **b)** Ti₃C₂ MXene yapının FTIR analizi

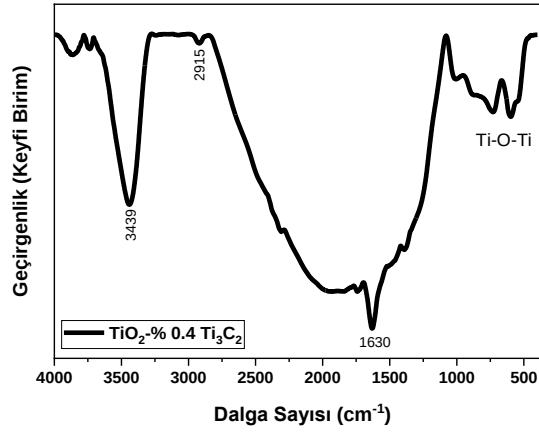
Ti₃C₂ MXene yapılar, Ti₃AlC₂’ den kimyasal yollarla Al kazınması sonucu elde edilir. Bu nedenle saf Ti₃AlC₂ ve Ti₃C₂ MXene yapıların FTIR analizleri yapılmıştır. Şekil 4.11. a’ da Ti₃AlC₂’ nin FTIR analizi, Şekil 4.11b’ de ise Ti₃C₂ MXene yapının FTIR analizi verilmiştir. Şekil 4.11a incelendiğinde 3427 cm⁻¹ de görülen pik yapı içerisinde OH varlığını işaret eder. Bu nedenle, FTIR analizinde görülen bu pik OH titreşim pikine aittir.

1628 cm^{-1} ' de görülen pik OH titreşimlerine, 400-1000 cm^{-1} arasında görülen pikler ise titanyumdan kaynaklanan titreşim pikleridir (Li, X., vd. 2014). Şekil 4.11. b' de Ti_3C_2 MXene ait FTIR analizleri incelendiğinde ise 3450 cm^{-1} ve 597 cm^{-1} görülen pikler Ti_3C_2 MXene yüzeyi üzerinde OH varlığının bulunduğu işaret eder. Bu pikler OH gerilme titreşim piklerinden kaynaklanır. Ancak bu pik yoğunluklarının azalmış olması Ti_3C_2 MXene yapıda suyun azaldığını ve daha kaliteli bir Ti_3C_2 MXene elde edildiğini gösterir. Ayrıca 1700-1900 cm^{-1} de görülen geniş pik çoğunlukla C=O titreşimlerinden kaynaklanır. 750 cm^{-1} civarında görülen pik ise O-Ti-O gerilme titreşimlerine ait piklerdir (Li, X., vd. 2014; Xue, Q., vd. 2017) . Saf TiO_2 nano fiberlere farklı oranlarda (% 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ve % 1) Ti_3C_2 MXene katkılanarak TiO_2 - Ti_3C_2 MXene nano kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin FTIR analizleri sırasıyla Şekil 4.12 - Şekil 4.16 arasında ayrı ayrı verilmiştir.



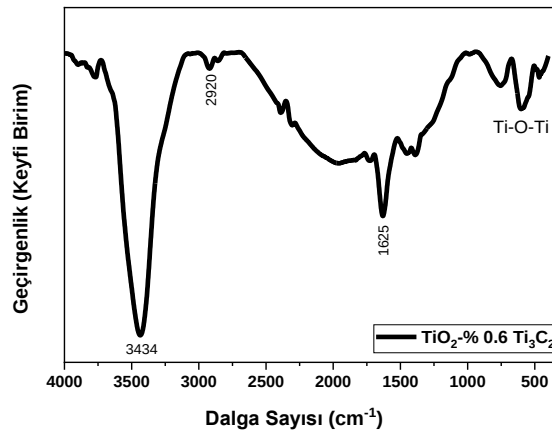
Şekil 4.12. TiO_2 -% 0,2 Ti_3C_2 MXene yapının FTIR analizi

Şekil 4.12' te TiO_2 -%0,2 Ti_3C_2 MXene yapıda üretilen nano kompozit yapının FTIR analizi verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde 3432 cm^{-1} de ki pik, Ti_3C_2 - TiO_2 MXene yüzeyinde soğurulan OH gerilme titreşimlerinden kaynaklanan piktir. 1627 cm^{-1} de görülen pik ise yine OH titreşimlerinden kaynaklanan piktir. 400-1000 cm^{-1} arasında görülen pikler ise O-Ti-O gerilme titreşimlerine ait piklerdir (Li, X., vd. 2014; Xue, Q., vd. 2017). Bu piklerin şiddeti saf TiO_2 ' ye oranla azalmıştır. Bu durum Ti_3C_2 MXene katkılanmış olmasından kaynaklı oluşmuş olabilir. Ayrıca, saf Ti_3C_2 MXene' de 1700-1900 cm^{-1} de görülen geniş pik bu numunede nispeten azalmıştır. Bu durum TiO_2 -%0,2 Ti_3C_2 MXene katkılı kompozitin üretildiğini gösterir.



Şekil 4.13. TiO₂- % 0,4 Ti₃C₂ MXene yapının FTIR analizi

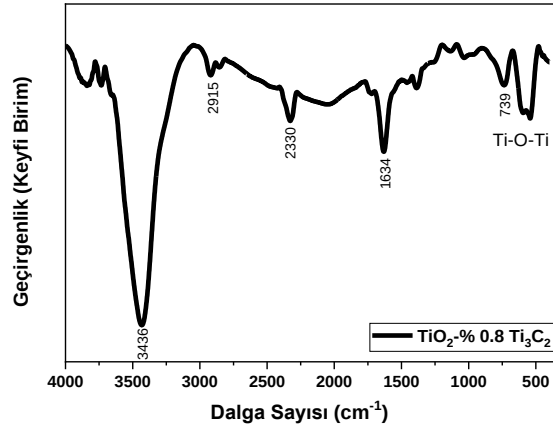
Şekil 4.13’ te TiO₂-%0.4 Ti₃C₂ MXene yapıda üretilen nano kompozit yapının FTIR analizi verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde 3439 cm⁻¹’ de yoğunluğu azalsa da Ti₃C₂-TiO₂ yüzeyinde soğurulan OH gerilme titreşimlerinden kaynaklanan pik varlığını korumuştur. Pik yoğunluğundaki bu azalma muhtemelen artan katkı oranından kaynaklanmıştır. 2915 cm⁻¹’ de C-H gerilme titreşimlerine ait pik gözlenmiştir. 1700-1900 cm⁻¹’ de görülen Ti₃C₂ MXene ait pik, TiO₂-% 0,2 numunesine göre nispeten artmıştır. 1630 cm⁻¹’ de görülen OH titreşim piki ise yine varlığını korumuştur. 400-1000 cm⁻¹ arasındaki pikler TiO₂’ ye ait karakteristik O-Ti-O titreşim pikleridir (Li, X., vd. 2014; Chen, Y., vd. 2012).



Şekil 4.14. TiO₂- % 0,6 Ti₃C₂ MXene yapının FTIR analizi

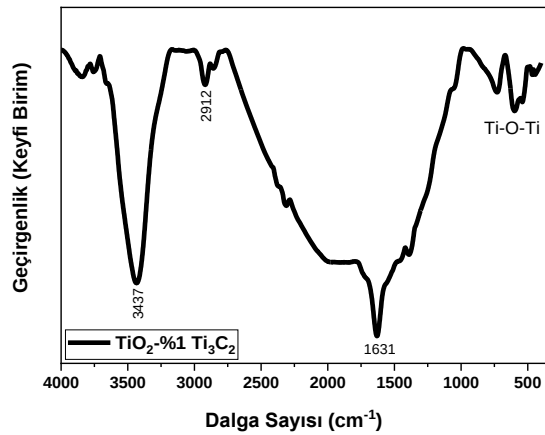
Şekil 4.14’ te TiO₂-%0,6 Ti₃C₂ MXene yapıda üretilen nano kompozit yapının FTIR analizi verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde 3433 cm⁻¹’ de ve 1632 cm⁻¹’ de görülen OH titreşim pikleri varlığını korumuştur. 2920 cm⁻¹’ de C-H gerilme

titreşimlerine ait pik gözlenmiştir. Ayrıca, TiO_2 ' ye ait karakteristik O-Ti-O titreşim pikleri yine $400\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ arasında gözlenmiştir (Li, X., vd. 2014; Chen, Y., vd. 2012).



Şekil 4.15. TiO_2 -% 0,8 Ti_3C_2 MXene yapının FTIR analizi

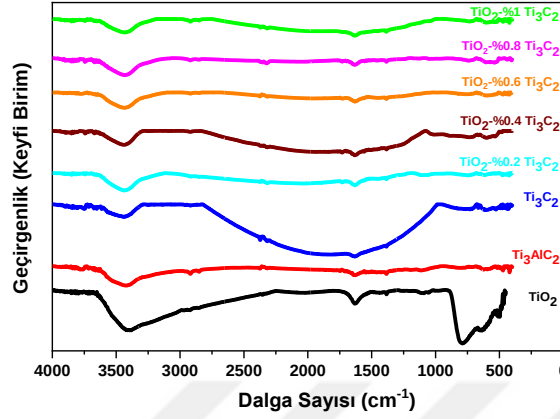
Şekil 4.15' te TiO_2 -%0,8 Ti_3C_2 MXene yapıda üretilen nano kompozit yapının FTIR analizi verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde 3441 cm^{-1} ' de ve 1632 cm^{-1} ' de görülen OH titreşim pikleri varlığını korumuştur. 2920 cm^{-1} ' de C-H gerilme titreşimlerine ait pik gözlenmiştir. Bu numunede 2330 cm^{-1} ' de havadaki CO_2 ' den kaynaklanan zayıf bir pik görülmüştür (Dong, L., vd. 2014). Ancak bu pik yapıyı etkileyen bir durum değildir. 734 cm^{-1} civarında görülen pik ise O-Ti-O gerilme titreşimlerine ait piktir (Li, X., vd. 2014; Xue, Q., vd. 2017).



Şekil 4.16. TiO_2 - % 1 Ti_3C_2 MXene yapının FTIR analizi

Şekil 4.16' da TiO_2 -%1 Ti_3C_2 MXene yapıda üretilen nano kompozit yapının FTIR analizi verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde 3437 cm^{-1} ' de ve 1631 cm^{-1} ' de OH titreşim pikleri varlığını korumuştur. 2912 cm^{-1} ' de C-H gerilme titreşimlerine ait pik gözlenmiştir. Ayrıca, TiO_2 ' ye ait karakteristik O-Ti-O titreşim pikleri yine $400\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$

¹ arasında gözlenmiştir. 1700-1900 cm^{-1} ' de görülen Ti_3C_2 MXene ait pik yeniden artarak genişlemiştir (Li, X., vd. 2014; Xue, Q., vd. 2017). Bu durum katkı oranının artmış olmasından kaynaklanmış olabilir.

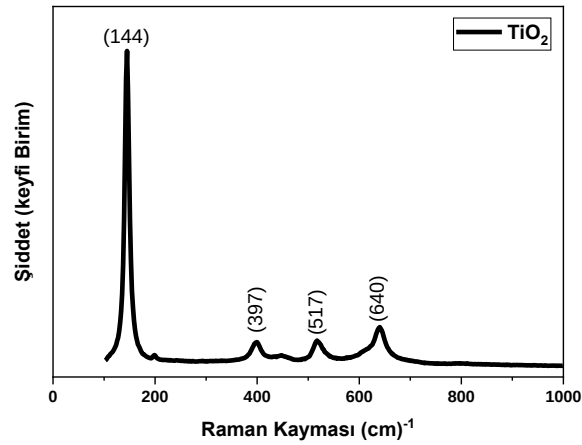


Şekil 4.17. TiO_2 , Ti_3AlC_2 , Ti_3C_2 ve TiO_2 - Ti_3C_2 MXene yapıların Raman analizleri

Şekil 4.17' de ise üretilen tüm yapıların FTIR analizleri karşılaştırmalı bir şekilde verilmiştir. Şekil 4.17 incelendiğinde 3400 cm^{-1} ' de ve 1632 cm^{-1} civarındaki OH titreşimlerinden kaynaklanan piklerin yoğunluğunun azaldığı ancak varlığını koruduğu görülmüştür. Bu pikler emilen su miktarına bağlı olduğundan katkı oranının artması emilen su oranını azaltmış olmasından kaynaklanmış olabilir. 400-1000 cm^{-1} arasında TiO_2 ' ye ait karakteristik O-Ti-O titreşim piklerinin görülmesi TiO_2 - Ti_3C_2 MXene kompozit yapıların oluştuğunu gösterir. Saf Ti_3C_2 MXene' de 1700-1900 cm^{-1} ' de görülen geniş pikin azaldığı görülmüştür. Bu durum sadece katkı malzemesi olarak kullanılan Ti_3C_2 MXene için beklenen bir sonuçtur. Ancak genel olarak değerlendirildiğinde yapı içinde TiO_2 ve Ti_3C_2 MXene ait titreşimlerin tespit edilmesi kompozit yapıların başarılı bir şekilde üretildiğini doğrular niteliktedir.

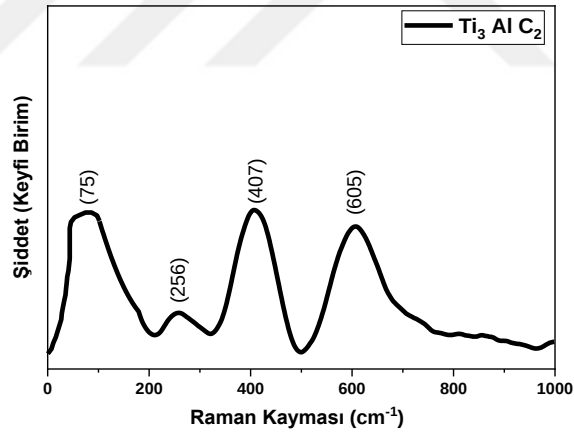
4.3. Raman Analizleri

Numunelerin Raman analizleri Renishaw marka Raman sistemi ile 514 nm argon iyon lazeri uyarımı kullanılarak yapıldı.



Şekil 4.18. Saf TiO₂, nano fiberlerin Raman analizleri

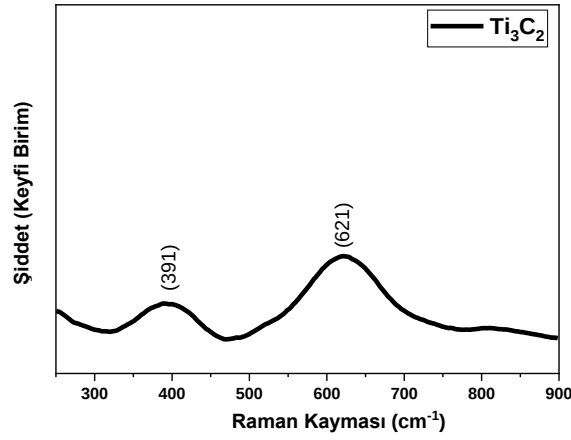
Şekil 4.18’ de saf TiO₂ nanofiberlerin Raman analiz sonuçları verildi. Şekil 4.18 incelendiğinde üretilen numunede saf anataz faza ait 144 cm⁻¹’ de (E_g), 397 cm⁻¹’ de (B1_g), 517 cm⁻¹’ de (A1_g + B1_g), 639 cm⁻¹’ de (E_g) karakteristik Raman piklerinin varlığı görüldü (Mathpal 2013). Bu durum XRD sonuçlarına uygun olarak TiO₂ nano fiberlerin üretildiğini doğrular.



Şekil 4.19. Ti₃AlC₂’nin Raman analizi

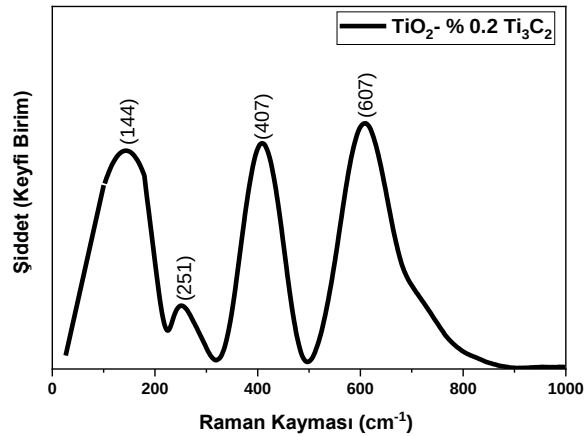
Karbon içerikli malzemelerin yapısal özelliklerini belirlemek için kullanılan en ideal analiz yöntemi hiç şüphesiz Raman spektroskopisidir. Bu nedenle, Ti₃AlC₂ ve farklı oranlarda Ti₃C₂ katkılı TiO₂-Ti₃C₂ MXene nano kompozit yapıların Raman analizleri yapılmıştır. Şekil 4.19’ da Ti₃AlC₂’nin Raman analiz sonuçları verilmiştir. Şekil incelendiğinde Ti₃AlC₂’ye ait sırasıyla 75 cm⁻¹’ de ω_1 piki, 256 cm⁻¹’ de ω_2 piki, 407 cm⁻¹’ de ω_3 ve 605 cm⁻¹’ de ω_4 karakteristik pikleri görülmüştür. ω_1 ve ω_2 pikleri Ti-Al

bağlarının titreşiminden kaynaklanırken ω_3 ve ω_4 pikleri ise Ti-C bağlarının titreşimlerinden oluşan piklerdir (Naguib vd. 2011).



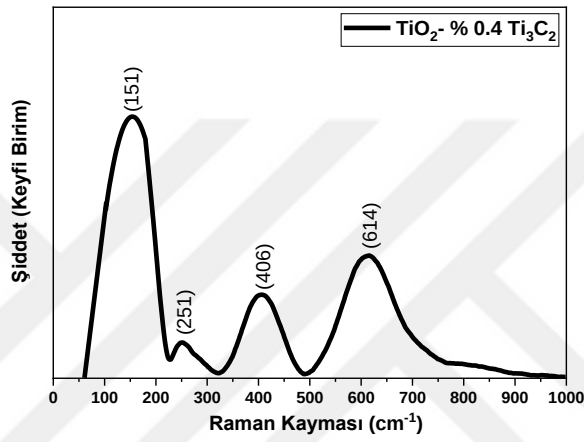
Şekil 4.20. Ti_3C_2 MXene yapının Raman analizi

Şekil 4.20’ de Ti_3C_2 MXene yapıların Raman analizleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde Ti_3AlC_2 ’ ye ait 75 cm^{-1} ’ de ω_1 piki ve 256 cm^{-1} ’ de ω_2 piki gözden kaybolmuştur. Bu pikler Ti-Al bağlarının titreşimlerinden kaynaklandığı için Al’ nin uzaklaştırılmasından dolayı Ti_3C_2 MXene yapısında görülmemiştir. ω_3 piki varlığını koruyarak 391 cm^{-1} ’e , ω_4 piki ise yine varlığını koruyarak 621 cm^{-1} civarına kaymıştır. Bu kayma yüzeydeki Ti içerikli fonksiyonel gruplardan kaynaklanır. ω_1 ve ω_2 piklerinin gözden kaybolması, ω_3 ve ω_4 piklerinin varlığını koruması Al’ nin başarılı bir şekilde uzaklaştırılarak Ti_3C_2 MXene yapıların oluşturulduğu anlamına gelir. Şekil 22-Şekil 26 arasında farklı oranlarda Ti_3C_2 katkılı $\text{TiO}_2/\text{Ti}_3\text{C}_2$ MXene nano kompozitlerin Raman analizleri verilmiştir.



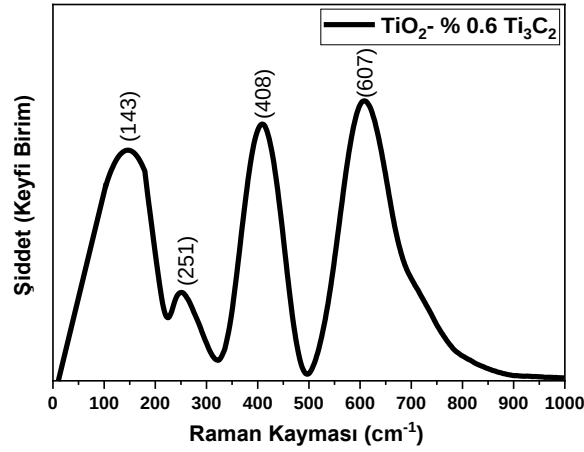
Şekil 4.21. TiO_2 - % 0,2 Ti_3C_2 MXene Raman analizleri

Şekil 4.21’ de TiO_2 -% 0,2 Ti_3C_2 MXene yapıda üretilen nano kompozit yapının Raman analizi verilmiştir. Şekil incelendiğinde bu numunede, saf Ti_3C_2 MXene’ de görülmeyen TiO_2 ’ye ait 144 cm^{-1} ’ de (E_g) karakteristik Raman piki varlığını korumuştur. Ancak TiO_2 saf olarak kullanılmadığı için kompozit yapıda bu pikin yoğunluğunun azalması beklenen bir sonuçtur. Ancak bu numunede yoğun olmamakla birlikte 251 cm^{-1} ’ de istenmeyen ω_2 piki görülmüştür. Ti_3C_2 MXene yapıdan kaynaklanan ω_3 ve ω_4 piklerinin yoğunluğu artarak varlığını korumuştur. Raman sonuçları TiO_2 -% 0,2 Ti_3C_2 MXene yapıların başarılı bir şekilde üretildiğini doğrulamıştır.



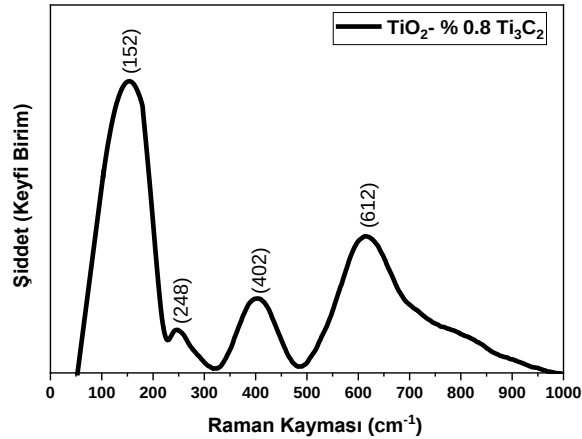
Şekil 4.22. TiO_2 - % 0,4 Ti_3C_2 MXene Raman analizleri

Şekil 4.22’ de TiO_2 -% 0,4 Ti_3C_2 MXene yapıda üretilen nano kompozit yapının Raman analizi verilmiştir. Şekil incelendiğinde bu numunede, saf Ti_3C_2 MXene’ de görülmeyen TiO_2 ’ye ait 144 cm^{-1} ’ de (E_g) karakteristik Raman piki 151 cm^{-1} ’e kaysa da varlığını korumuştur. Bu kayma muhtemelen kompozit oluşumu sırasında meydana gelen yapısal düzenlemelerden kaynaklanmaktadır. Ancak bu numunede de yoğun olmamakla birlikte 251 cm^{-1} ’ de istenmeyen ω_2 piki görülmüştür. Ti_3C_2 MXene yapıdan kaynaklanan ω_3 ve ω_4 piklerinin yoğunluğu TiO_2 -% 0,2 Ti_3C_2 MXene numunesine göre nispeten azalsa da varlığını korumuştur. Raman sonuçları TiO_2 -% 0,4 Ti_3C_2 MXene yapıların başarılı bir şekilde üretildiğini doğrulamıştır.



Şekil 4.23. TiO₂- % 0,6 Ti₃C₂ MXene XRD analizleri

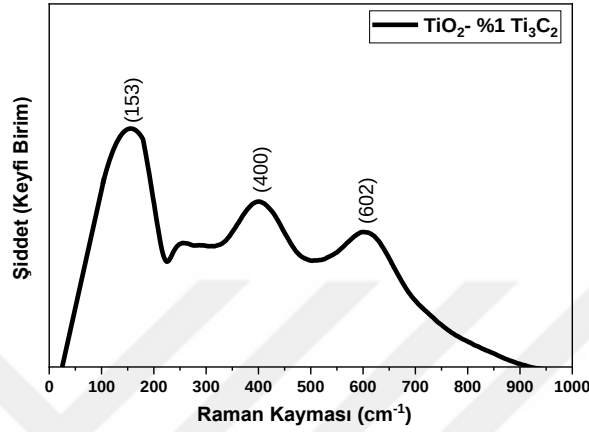
Şekil 4.23’ te TiO₂-% 0,6 Ti₃C₂ MXene yapıda üretilen nano kompozit yapının Raman analizi verilmiştir. Şekil incelendiğinde bu numunede, saf Ti₃C₂ MXene’ de görülmeyen TiO₂’ye ait 144 cm⁻¹’ de (E_g) karakteristik Raman piki 143 cm⁻¹’de varlığını korumuştur. Ancak bu numunede de yoğun olmamakla birlikte 251 cm⁻¹’ de istenmeyen ω₂ piki görülmüştür. Ti₃C₂ MXene yapıdan kaynaklanan ω₃ ve ω₄ piklerinin yoğunluğu % 0,2 ve % 0,4 Ti₃C₂ MXene katkılı numunelere göre belirgin bir biçimde artmıştır. Ti₃C₂ MXene yapıdan kaynaklanan ω₃ ve ω₄ piklerinin yoğunluğunun artması istenen kalitede kompozit üretimini desteklemektedir. Ayrıca elde edilen Raman sonuçları incelendiğinde ideal katkı oranının % 0,6 olduğu düşünülmektedir. Bu sonuçlar XRD analizinden elde edilen sonuçlarla uyumludur.



Şekil 4.24. TiO₂- % 0,8 Ti₃C₂ MXene XRD analizleri

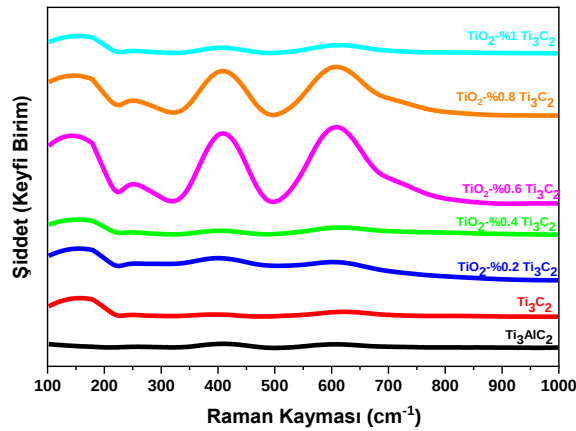
Şekil 4.254’ te TiO₂-% 0,8 Ti₃C₂ MXene yapıda üretilen nano kompozit yapının Raman analizi verilmiştir. Şekil incelendiğinde bu numunede, saf Ti₃C₂ MXene’ de görülmeyen TiO₂’ye ait 144 cm⁻¹’ de (E_g) karakteristik Raman piki 152 cm⁻¹’e kaysa da varlığını

korumuştur. Ancak bu numunede de yoğun olmamakla birlikte 248 cm^{-1} de istenmeyen ω_2 piki görülmüştür. Ti_3C_2 MXene yapıdan kaynaklanan ω_3 ve ω_4 piklerinin yoğunluğu % 0,2, % 0,4 ve özellikle % 0,6 Ti_3C_2 MXene katkılı numunelere göre belirgin bir biçimde azalmıştır. Ancak pik yoğunluğu azalsa da oluşması gereken pikler elde edilmiştir. Bu durum XRD sonuçları ile uyumludur.



Şekil 4.25. TiO_2 - % 1 Ti_3C_2 MXene XRD analizleri

Şekil 4.25’ te TiO_2 -% 1 Ti_3C_2 MXene yapıda üretilen nano kompozit yapının Raman analizi verilmiştir. Şekil incelendiğinde bu numunede, saf Ti_3C_2 MXene’ de görülmeyen TiO_2 ’ye ait 144 cm^{-1} de (E_g) karakteristik Raman piki 153 cm^{-1} ’e kaysa da varlığını korumuştur. Ancak ω_1 piki neredeyse gözden kaybolmuştur. ω_1 pikinin görülmemiş olması, katkı oranının artmasından kaynaklanmış olabilir. Ti_3C_2 MXene yapıdan kaynaklanan ω_3 ve ω_4 piklerinin yoğunluğu % 0,2, % 0,4, % 0,6 ve % 0,8 Ti_3C_2 MXene katkılı numunelere göre azalmıştır. Ancak pik yoğunluğu azalsa da oluşması gereken pikler elde edilmiştir. Bu durum XRD sonuçları ile uyumludur.

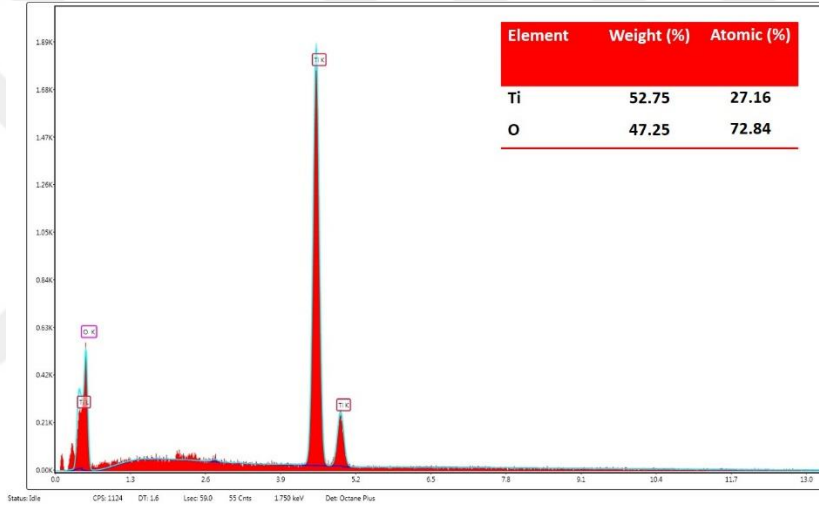
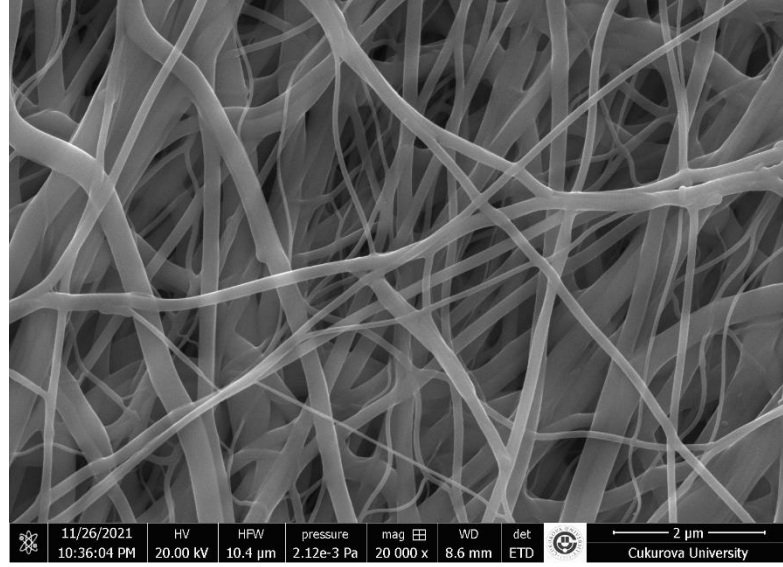


Şekil 4.26. Ti_3AlC_2 , Ti_3C_2 MXene ve TiO_2 - Ti_3C_2 MXene yapıların Raman analizleri

Şekil 4.26' da, üretilen tüm yapıların Raman analizleri karşılaştırmalı bir şekilde verilmiştir. Raman analizleri değerlendirildiğinde saf Ti_3C_2 MXene' de Ti_3AlC_2 ' ye ait Ti-Al bağlarının titreşimlerinden kaynaklanan 75 cm^{-1} ' de ω_1 piki ve 256 cm^{-1} ' de ω_2 piki gözden kaybolmuştur. Bu durum Al' nin uzaklaştırılarak Ti_3C_2 MXene yapıların başarılı bir şekilde üretildiğini doğrular. TiO_2 - Ti_3C_2 MXene kompozit yapılarda ise TiO_2 'ye ait 144 cm^{-1} ' de (E_g) karakteristik Raman pikinin azalarak varlığını koruduğu tespit edilmiştir. Saf Ti_3C_2 MXene' den kaynaklanan 400 cm^{-1} civarındaki ω_3 ve 621 cm^{-1} civarındaki ω_4 pikleri kompozit yapılarda görülmüştür. Bu sonuçlar TiO_2 - Ti_3C_2 MXene nano kompozit yapıların üretildiğini doğrulamıştır. Kompozit yapılar üretilirken en önemli aşama ideal katkı oranının belirlenmesidir. Raman analizlerine göre ideal katkı oranı % 0,6 Ti_3C_2 MXene katkılama oranıdır. Elde edilen bu sonuçlar XRD sonuçlarıyla uyumludur.

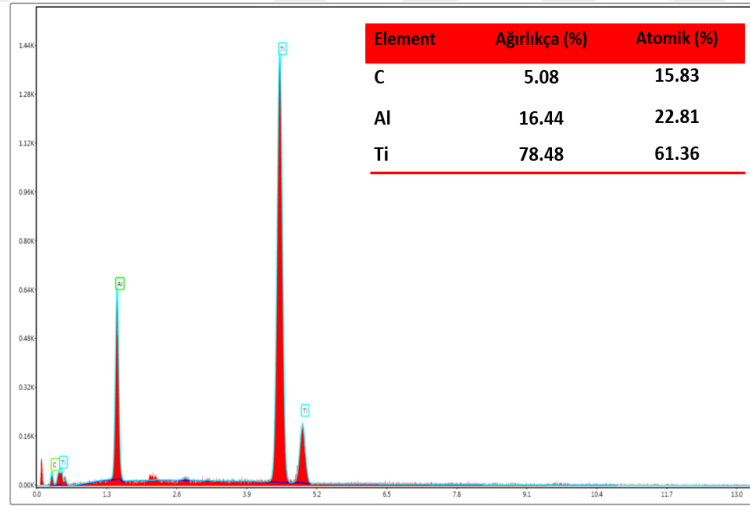
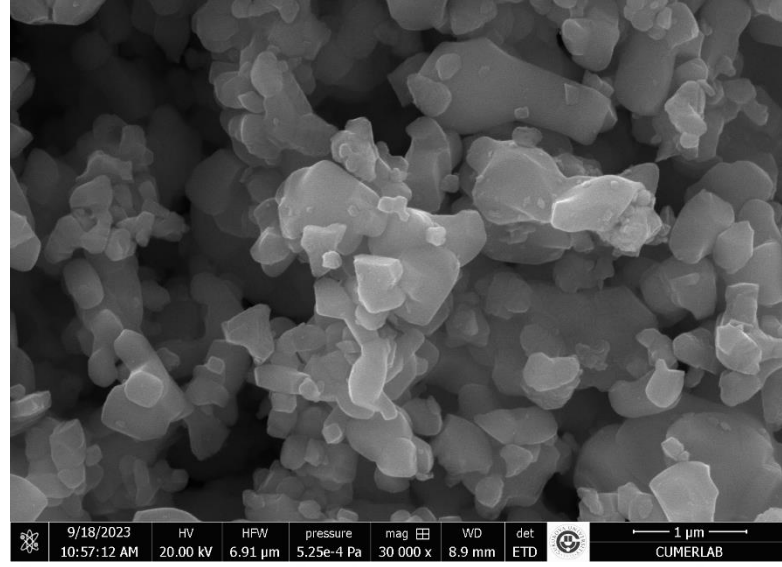
4.4. FESEM Görüntüleri ve EDX Analizleri

Üretilen malzemelerin yüzey özellikleri FEI Quanta 650 field emission scanning electron microscopy (FESEM) kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) analizleri yapılarak üretilen malzemelerde ki elementlerin ağırlıkça ve atomik oranları belirlenmiştir.



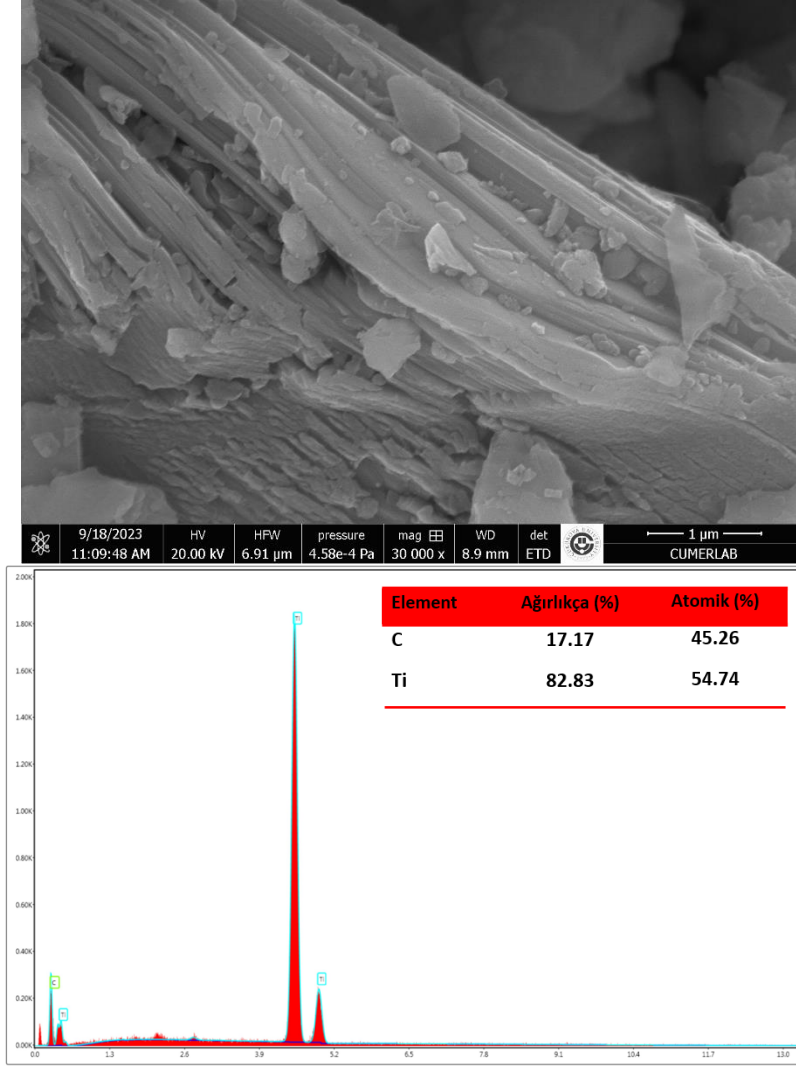
Şekil 4.27. Saf TiO₂ nano fiberlerin FESEM görüntüsü ve EDX analizi

Şekil 4.27’ de saf TiO₂ nano fiberlerin FESEM görüntüleri ve EDX analizleri verilmiştir. FESEM görüntüsü incelendiğinde fiber yapıların başarılı bir şekilde üretildiği görülmektedir. TiO₂’ ye ait EDX sonuçları incelendiğinde ağırlıkça % 53 Ti, % 47 O, atomik oranda ise % 27 Ti, % 73 O tespit edildi. XRD, FTIR, Raman analizleri birlikte incelendiğinde TiO₂ yapının başarılı bir şekilde üretildiği açıkça görülmektedir.



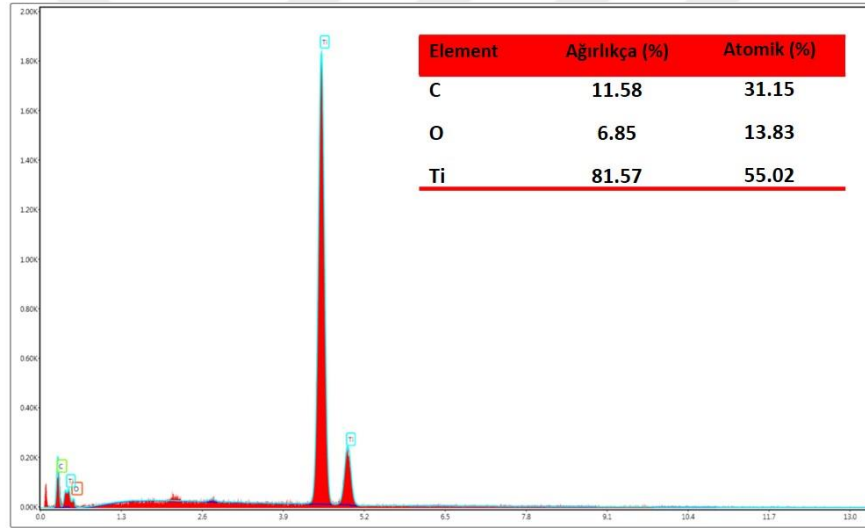
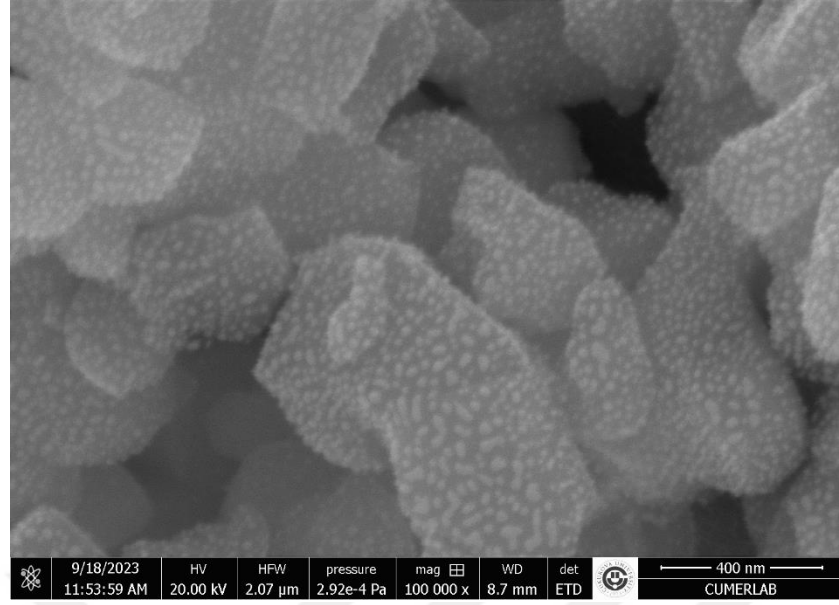
Şekil 4.28. Ti_3AlC_2 ' nin FESEM görüntüsü ve EDX analizi

Şekil 4.28' de Ti_3AlC_2 yapıya ait FESEM görüntüsü ve EDX analizi verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde kübik ve dörtgenlerin olduğu bir yapı gözlenmiştir. Bu yapı sıkı paket yapılara benzemektedir. Alınan bu görüntüler literatürle uyumludur (Chen vd. 2018). EDX analizi incelendiğinde ise ağırlıkça % 5,80 C, % 16,44 Al ve % 78,48 Ti atomik oranda ise % 15,83 C, % 22,81 Al ve % 61,36 Ti tespit edilmiştir.



Şekil 4.29. Ti_3C_2 MXene yapının FESEM görüntüsü ve EDX analizi

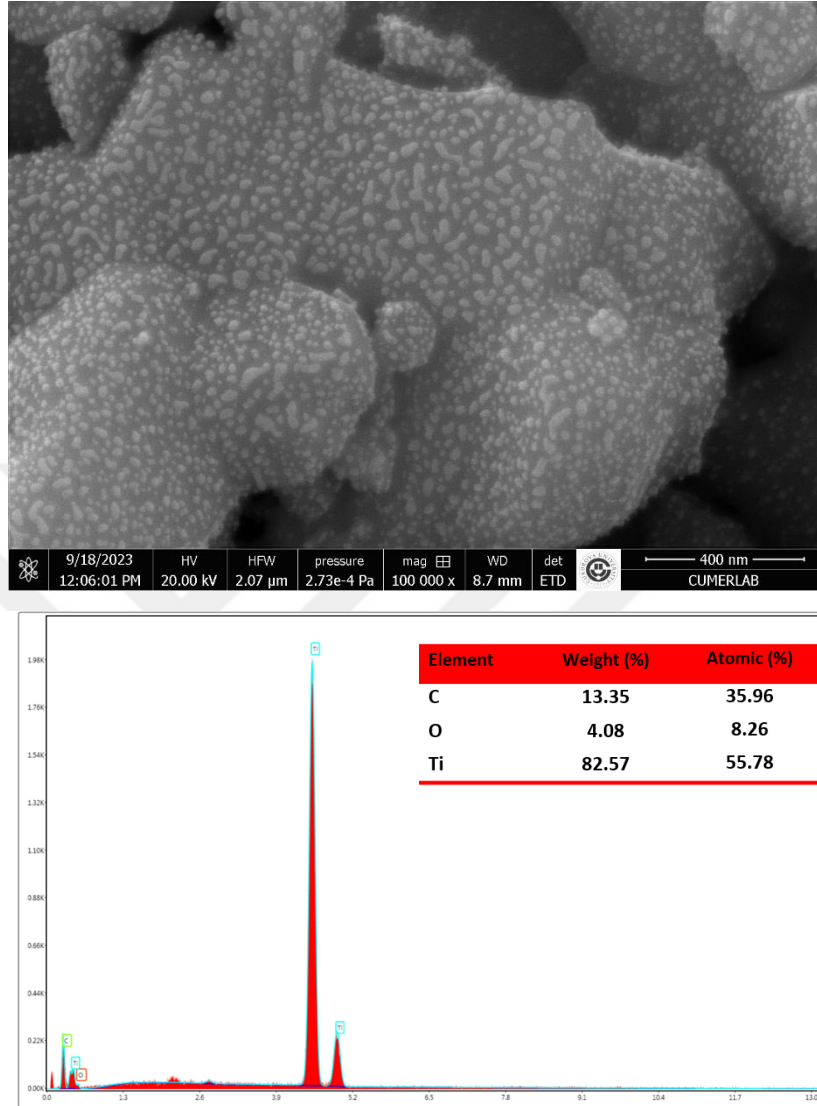
Şekil 4.29’ da Ti_3C_2 MXene yapıya ait FESEM görüntüsü ve EDX analizi verilmiştir. FESEM görüntüleri incelendiğinde tabakalı bir yapı gözlenmiştir. Bu durum Ti_3AlC_2 ’ den Al’ nin kazındığının göstergesidir. Ayrıca elde edilen sonuçlar literatürle uyumludur (Chen vd. 2018; Liu vd. 2020). EDX analizleri incelendiğinde ise ağırlıkça % 17,17 C, % 82,83 Ti atomik oranda ise % 45,26 C, % 54,74 Ti tespit edilmiştir. Ağırlıkça oranlarda Ti atomu karbon atomuna göre oldukça yüksektir. Atomik oranda ise Ti_3C_2 MXene formülündeki oranlara oldukça yaklaşılmış olduğu görülmektedir. EDX analiz sonuçları incelendiğinde Al atomunun başarılı bir şekilde kazındığı ve Ti_3C_2 MXene yapıların üretildiği görülmektedir. Ayrıca yapı içerisinde Ti ve C dışında başka elementlerin görülmemiş olması oldukça başarılı bir üretim yapıldığını doğrulamaktadır.



Şekil 4.30. TiO₂- % 0,2 Ti₃C₂ MXene yapının FESEM görüntüsü ve EDX analizi

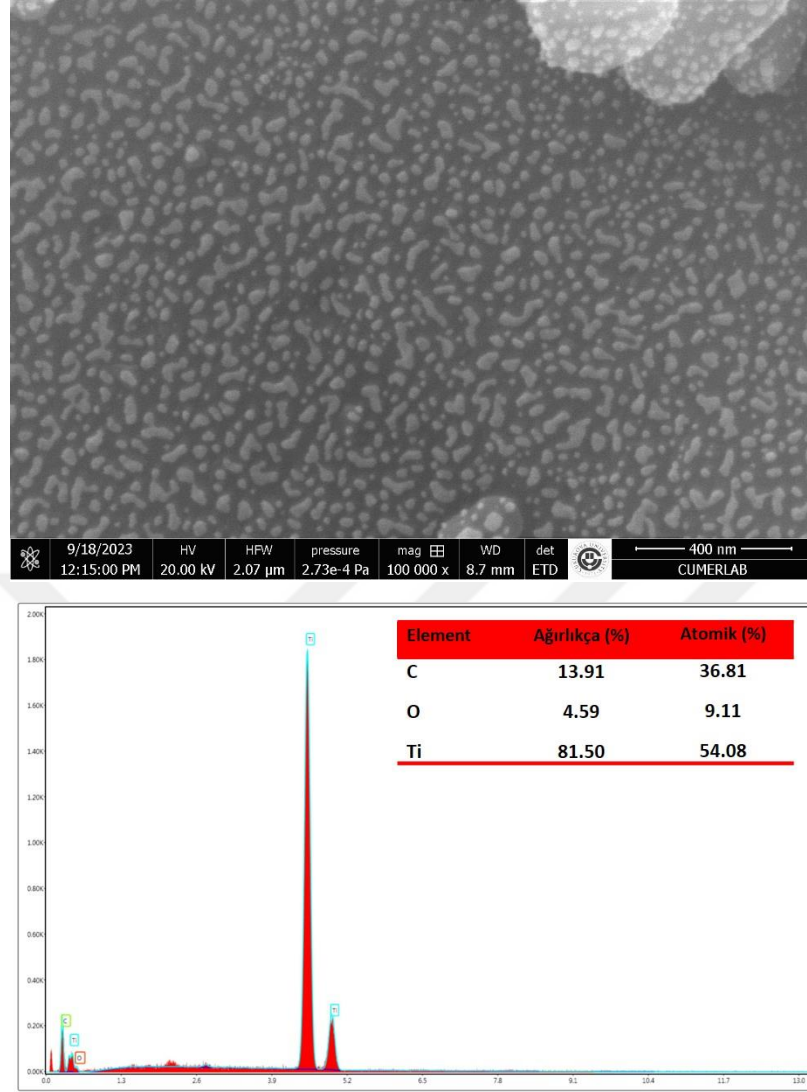
Şekil 4.30’ da TiO₂- % 0,2 Ti₃C₂ MXene kompozit yapının FESEM görüntüsü ve EDX analizi verilmiştir. FESEM görüntüleri incelendiğinde tabakaların küçüldüğü, TiO₂ nanfiberlerin boylarının kısaldığı ancak tabakalar üzerine düzgün bir şekilde yerleştiği görülmektedir. Bu durum TiO₂ ile Ti₃C₂ MXene arasında kompozit bir yapının oluştuğunu göstermektedir. Kompozit yapı oluşurken yapıyı oluşturan malzemelerde önemli değişiklikler oluşmakta ve böylece daha fonksiyonel malzemeler elde edilmektedir. EDX analizleri incelendiğinde ise ağırlıkça % 11,58 C, % 6,85 O ve % 81,57 Ti, atomik oranda ise % 31,15 C, % 13,83 O ve % 55,02 Ti tespit edilmiştir. Tespit edilen elementler arasında C, O ve Ti olması kompozit yapının oluştuğunu gösterir.

Ayrıca hem TiO_2 'den hem de Ti_3C_2 MXene' nin Ti içerdiği düşünüldüğünde Ti oranının yüksek olması da beklenen bir sonuçtur.



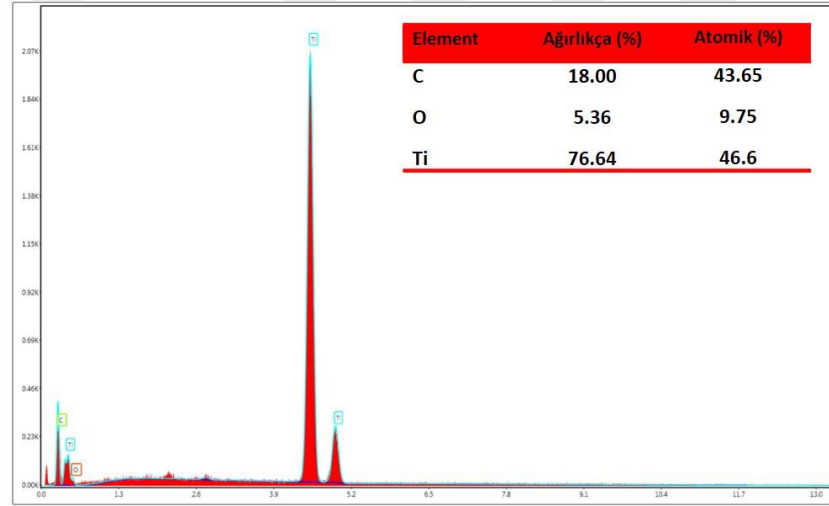
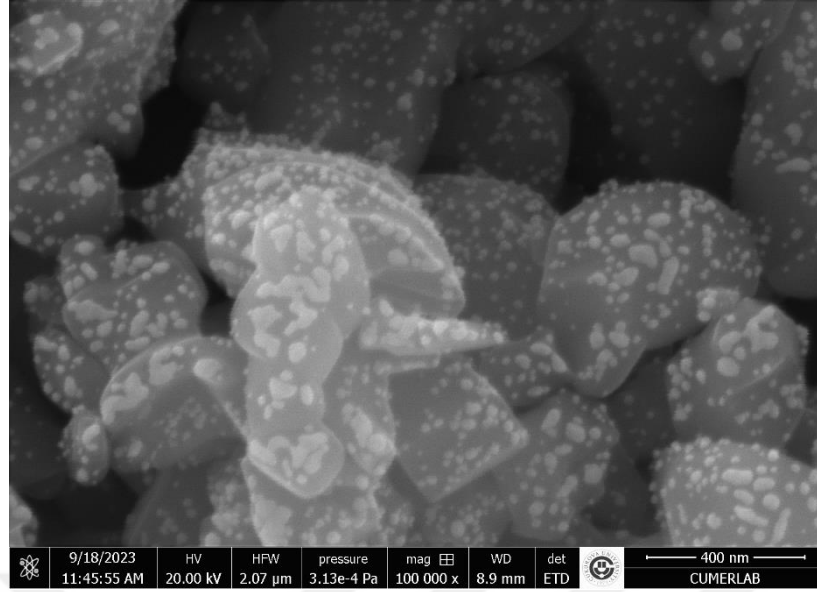
Şekil 4.31. TiO_2 - % 0,4 Ti_3C_2 MXene yapının FESEM görüntüsü ve EDX analizi

Şekil 4.31' de TiO_2 - % 0,4 Ti_3C_2 MXene kompozit yapının FESEM görüntüsü ve EDX analizi verilmiştir. FESEM görüntüleri incelendiğinde tabakaların küçüldüğü, ancak TiO_2 - % 0,2 MXene oranla arttığı görülmüştür. Bu durum katkı oranının artmış olmasından kaynaklanmış olabilir. TiO_2 nanofiberlerin boylarının kısaldığı ancak tabakalar üzerine düzgün bir şekilde yerleştiği görülmektedir.



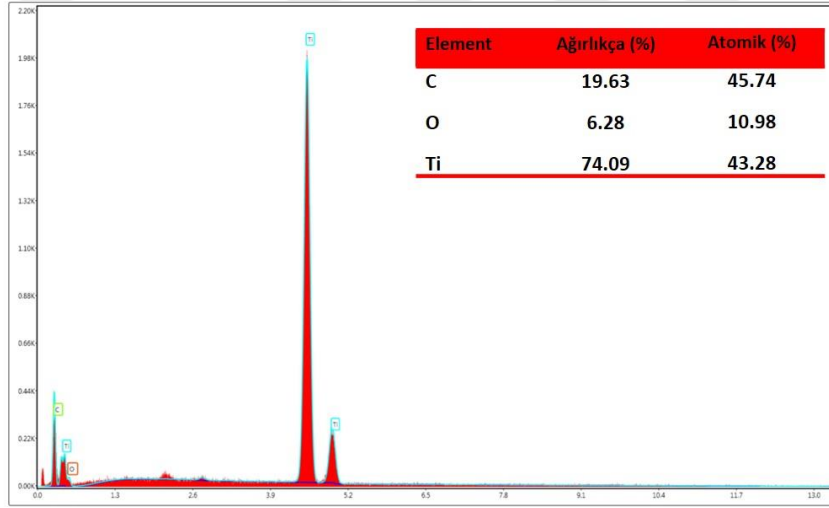
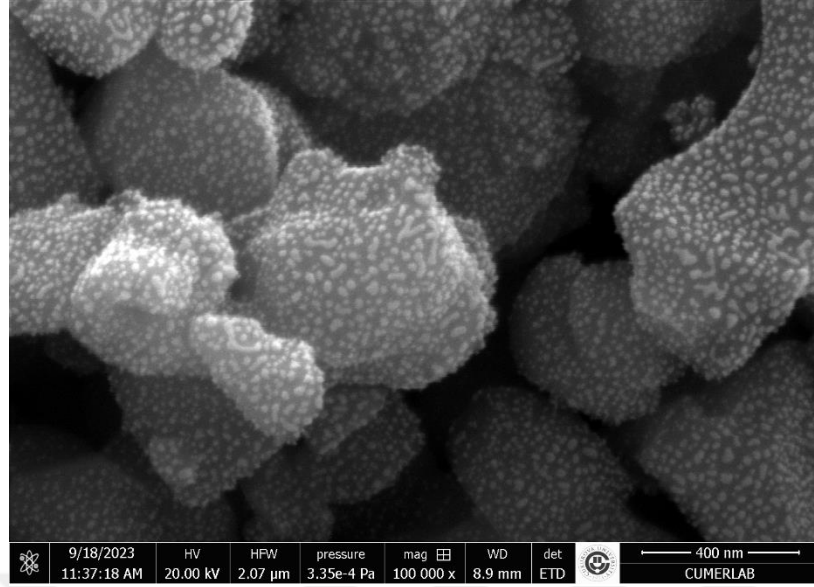
Şekil 4.32. TiO_2 - % 0,6 Ti_3C_2 MXene yapının FESEM görüntüsü ve EDX analizi

Şekil 4.32’ te TiO_2 - % 0,6 Ti_3C_2 MXene kompozit yapının FESEM görüntüsü ve EDX analizi verilmiştir. FESEM görüntüleri incelendiğinde tabakaların büyüdüğü ve uniform bir yapıda olduğu gözlenmiştir. TiO_2 nanfiberlerin boylarının kısaldığı ancak tabakalar üzerine düzgün bir şekilde yerleştiği görülmektedir. Bu durum TiO_2 ile Ti_3C_2 MXene arasında kompozit bir yapının oluştuğunu göstermektedir. EDX analizleri incelendiğinde ise ağırlıkça % 13,91 C, % 4,59 O ve % 81,50 Ti, atomik oranda ise % 36,81 C, % 9,11 O ve % 54,08 Ti tespit edilmiştir. Tespit edilen elementler arasında C, O ve Ti olması kompozit yapının oluştuğunu gösterir. Ayrıca bu numunede EDX sonuçlarından elde edilen sonuçlar beklenen ideal oranlara oldukça yakındır.



Şekil 4.33. TiO_2 - % 0,8 Ti_3C_2 MXene yapının FESEM görüntüsü ve EDX alizi

Şekil 4.33’ de TiO_2 - % 0,8 Ti_3C_2 MXene kompozit yapının FESEM görüntüsü ve EDX analizi verilmiştir. FESEM görüntüleri incelendiğinde tabaka boyutunun TiO_2 -% 0,6 Ti_3C_2 MXene kompozit yapıya oranla küçüldüğü gözlenmiştir. TiO_2 nanfiberlerin boylarının kısaldığı ancak tabakalar üzerine dağıldığı görülmektedir. Bu durum TiO_2 ile Ti_3C_2 MXene arasında kompozit bir yapının oluştuğunu göstermektedir. EDX analizleri incelendiğinde ise ağırlıkça % 18,00 C, % 5,36 O ve % 76,64 Ti, atomik oranda ise % 43,65 C, % 9,75 O ve % 46,06 Ti tespit edilmiştir. Tespit edilen elementler arasında C, O ve Ti olması kompozit yapının oluştuğunu gösterir.



Şekil 4.34. TiO_2 - % 1 Ti_3C_2 MXene yapının FESEM görüntüsü ve EDX analizi

Şekil 4.34’ te TiO_2 -% 1 Ti_3C_2 MXene kompozit yapının FESEM görüntüsü ve EDX analizi verilmiştir. FESEM görüntüleri incelendiğinde tabakaların küçüldüğü gözlenmiştir. TiO_2 nanfiberlerin boylarının kısaldığı neredeyse dairesel forma yaklaştığı ancak yoğunluklarının arttığı ve tabakalar üzerine dağıldığı görülmektedir. Bu durum TiO_2 ile Ti_3C_2 MXene arasında kompozit bir yapının oluştuğunu göstermektedir. EDX analizleri incelendiğinde ise ağırlıkça % 19,63 C, % 6,28 O ve % 74,09 Ti, atomik oranda ise % 45,74 C, % 10,98 O ve % 43,28 Ti tespit edilmiştir. Tespit edilen elementler arasında C, O ve Ti olması kompozit yapının oluştuğunu gösterir. FESEM görüntüleri ve EDX analizleri incelendiğinde Ti_3AlC_2 ’den Al’ nin kazınarak tabakalı Ti_3C_2 MXene’nin başarılı bir şekilde üretildiği görülmüştür. Kompozit yapılarda ise tabakaların boyutlarının ve küçüldüğü, TiO_2 fiberlerin boylarının kısalarak Ti_3C_2 MXene üzerinde

düzgün bir şekilde dağıldığı görülmüştür. Bu durum kompozit oluşumu sırasında meydana gelen etkileşimlerden kaynaklanmaktadır. EDX analizlerinde ise istenilen elementlerin görülmesi yapı içerisine safsızlıkların girmemiş olması üretilen malzemelerin kalitesi açısından oldukça önemlidir. Tabaka yapısı ve element analizi bakımından en ideal kompozitin TiO_2 -% 0,6 Ti_3C_2 MXene olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar yapısal analizlerle de uyumludur.

4.5. Üretilen Güneş Pillerinin Fotovoltaik Özelliklerin İncelenmesi

Saf TiO_2 ve farklı oranlarda MXene katkılı nano kompozit yapıların üzerine CdS kuantum noktalar kaplanarak fotoanotlar üretildi. Üretilen fotoanotlar ve Pt karşı elektrot arasına elektrolit doldurularak kuantum nokta duyarlı güneş pilleri üretildi. Üretilen güneş pillerinin yapısı aşağıda verildi.

TiO_2 -CdS/Pt

TiO_2 -% 0,2 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt

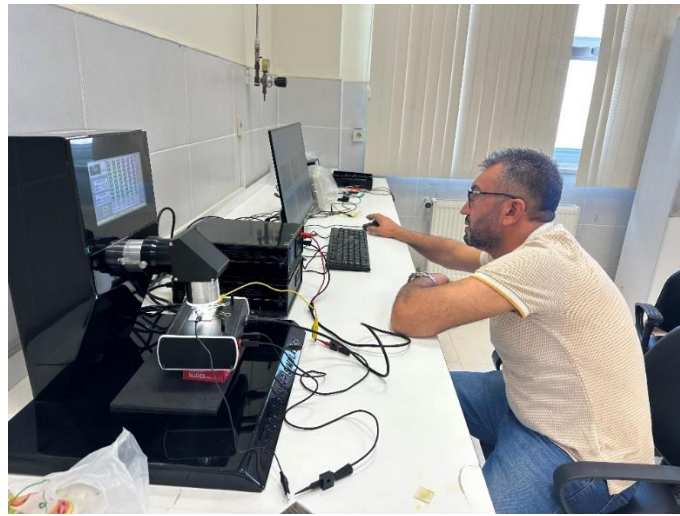
TiO_2 -% 0,4 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt

TiO_2 -% 0,6 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt

TiO_2 -% 0,8 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt

TiO_2 -% 1,0 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt

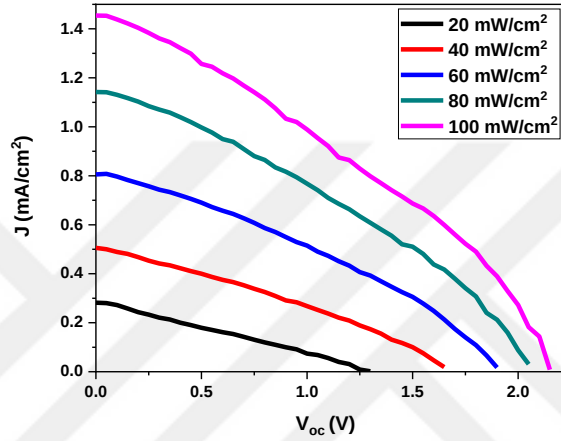
Güneş pillerinin fotovoltaik parametreleri FYTRONIX 9000 güneş simülatörü ile ölçüldü. Resim 4.1’ de ölçümlerde kullanılan güneş simülatörünün resmi verilmiştir.



Resim 4.1. Güneş pillerinin fotovoltaik ölçümlerinde kullandığımız FYTRONIX marka solar simülatör

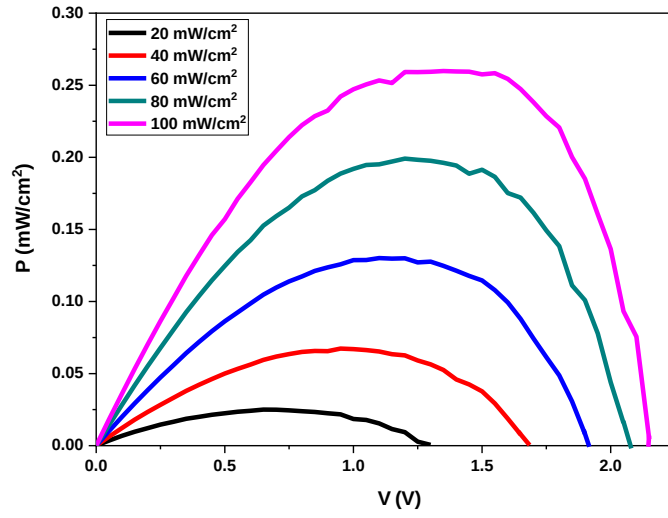
4.5.1. TiO₂-CdS/Pt Güneş Pillerinin J_{sc}-V_{oc}, J_{sc}-P, P-V Ve I-T Analizleri

Üretilen güneş pillerinin kısa devre akımı- açık devre voltajı (J_{sc}-V_{oc}) ölçümleri, ışığın gücü 20 mW/cm²' den başlayıp 20 mW/cm² adımlarla artırılarak sırasıyla 40, 60, 80 ve 100 mW/cm²'de yapıldı. Akım yoğunluğu (J), ölçülen kısa devre akımının (I_{sc}) fotoanotun alanına (0,25 cm²) bölünmesi ile hesaplandı. Daha sonra her pil için ayrı ayrı J_{sc}-V grafikleri çizildi. Şekil 4.35'de TiO₂-CdS fotoanota sahip güneş pillerinin J_{sc}-V grafiği, Şekil 4.35' de ise P-V grafiği verildi.



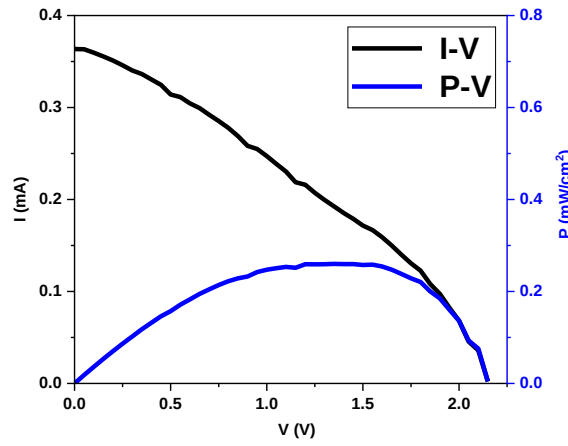
Şekil 4.35. TiO₂-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki J_{sc}-V_{oc} grafiği

TiO₂/CdS fotoanota sahip kuantum nokta duyarlı güneş piline ait J_{sc}-V_{oc} grafiği incelendiğinde, ışığın gücü 20 mW/cm² den 40, 60, 80, 100 mW/cm²'ye çıkarıldığında ışığın gücündeki artışa bağlı olarak akım yoğunluğu da artmıştır. Kısa devre akım yoğunluğu 20 mW/cm²' de 0,300 mA/cm² iken 100 mW/cm²' de 1,456 mA/cm²'ye çıkmıştır. Gelen ışığın gücüne bağlı olarak akımdaki artış, uyarılan fotoelektronların sayısının artmasıyla açıklanabilir. Ancak açık devre voltajı 20-100 mW/cm² arasındaki ölçümlerde 1,29-2,15 V değerleri arasındadır. Akımda gözlenen artış voltajda gözlenmemiştir. Bu durum, açık devre voltajının fotoanot malzemesinin bant aralığına bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.36' daki P-V grafiği incelendiğinde güç değeri maksimum değere ulaşana kadar voltaj ile birlikte artmakta maksimuma ulaştıktan sonra beklenildiği gibi üretilen güç azalarak sıfıra inmektedir.



Şekil 4.36. TiO₂-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki P-V grafiği

TiO₂-CdS/Pt güneş pilinin 1,5 AM standart şartlardaki (100 mW/cm²) I, P-V grafiği Şekil 4.37’de verilmiştir. Bu grafik yardımıyla V_{max} değerine karşılık gelen I_{max} değeri elde edilmiş elde edilen bu değerler kullanılarak güneş pilinin dolum faktörü (FF) denklem 4.2’den, verim (η) değeri ise denklem 4.3’ den yararlanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen fotovoltatik parametreler Tablo 4.9’ da verilmiştir.

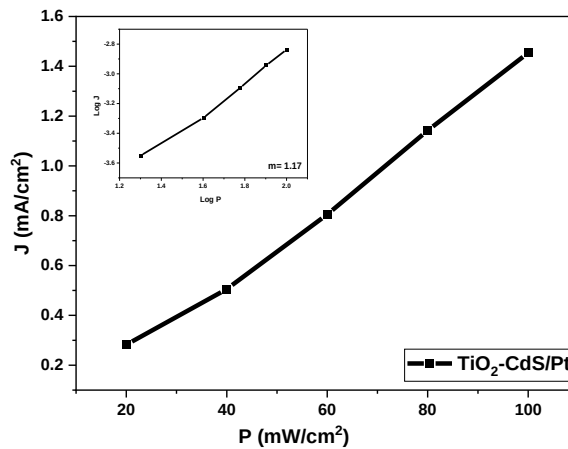


Şekil 4.37. TiO₂-CdS/Pt güneş pilinin 100 mW/cm² ışık yoğunluğundaki I, P-V grafiği

Tablo 4.9. TiO₂-CdS/Pt güneş pilinin farklı aydınlatma şiddetleri altında elde edilen fotovoltatik parametreleri

P	I _{sc}	J _{sc}	V _{oc}	V _{max}	I _{max}	FF	η
(mW/cm ²)	(mA)	(mA/cm ²)	(V)	(V)	(mA)		(%)
20	0,075	0,300	1,29	0,649	0,038	0,25	0,48
40	0,126	0,504	1,64	0,949	0,071	0,33	0,68
60	0,201	0,804	1,89	1,100	0,118	0,34	0,86
80	0,286	1,144	2,04	1,200	0,166	0,34	0,99
100	0,364	1,456	2,15	1,350	0,193	0,33	1,03

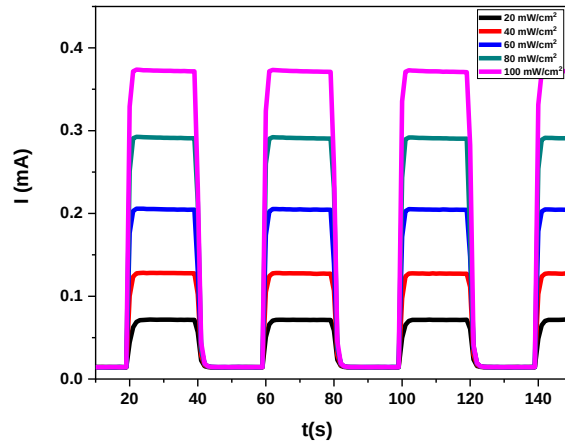
Tablo incelendiğinde aydınlatma şiddeti arttıkça güneş pilinin fotovoltatik parametrelerinin arttığı görülmüştür. Özellikle standart şartlar olan 100 mW/cm²’ de verim değeri % 1,03 olarak hesaplanmıştır. Bu durum aydınlatma şiddetinin artmasıyla birlikte oluşan elektron-hol (e⁻-h⁺) çiftlerinin sayısının artmasıyla açıklanabilir. Ancak, e⁻-h⁺ çiftlerinin sayısının artması verimi artırsa da verim değerini etkileyen en önemli faktör rekombinasyon süreçleridir. Rekombinasyon süreci uyarılan elektronun iletim bandına geçmeden hol ile birleşerek yok olmasıdır. Rekombinasyon oranı ne kadar düşük olursa pilin verimi de o kadar yüksek olur. Üretilen pillerde oluşan rekombinasyonları anlamak için gelen ışığın gücü (P) ile akım yoğunluğu (J) arasındaki ilişkinin incelenmesi gerekir. Işığın gücü (P) ile akım yoğunluğu (J) arasındaki ifade $P \propto J^m$ şeklinde verilir (Wageha vd., 2013). Bu denklemdeki ‘m’ ifadesi bir sabit olup rekombinasyonun türü hakkında bilgi verir. Şekil 4.38’ da J-P grafiği ve aynı grafiğin içinde ise LogJ-LogP grafiği birlikte verilmiştir. Bu grafiğin eğiminden yararlanılarak ‘m’ değeri bulunmuştur.



Şekil 4.38. TiO₂-CdS/Pt güneş pilinin J-P ve Log J-Log P grafiği

TiO₂-CdS/Pt güneş pilinin m değeri LogJ-LogP grafiğinin eğiminden 1,17 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer güneş pilinde gerçekleşen rekombinasyonların türü hakkında bilgi verir. m değerinin 0-1 arasında olması durumunda güneş pilinde bimoleküler rekombinasyon süreçlerinin etkili olduğunu gösterirken m değerinin 1' den büyük olması durumunda ise monomoleküler rekombinasyonların etkili olduğunu gösterir. Bimoleküler rekombinasyon süreci ışıkla uyarılma sonucu oluşan e^-h^+ çiftlerinin bir süre sonra doğrudan birleşerek yok olmasıdır. Monomoleküler rekombinasyonlar ise yük taşıyıcılarının ara yüzeydeki tuzaklarla birleşerek yok olmasıdır (Kyaw vd., 2013). Monomoleküler rekombinasyonlar genellikle fotoanotta kullanılan malzemeler arasındaki tabakalardan kaynaklanır. TiO₂-CdS/Pt güneş pilinin m değerinin 1,17 olması güneş pilinde tabakalar arasındaki tuzaklardan kaynaklanan monomoleküler rekombinasyonların etkili olduğunu gösterir. Oluşan bu rekombinasyonlar pil veriminin düşmesine neden olur.

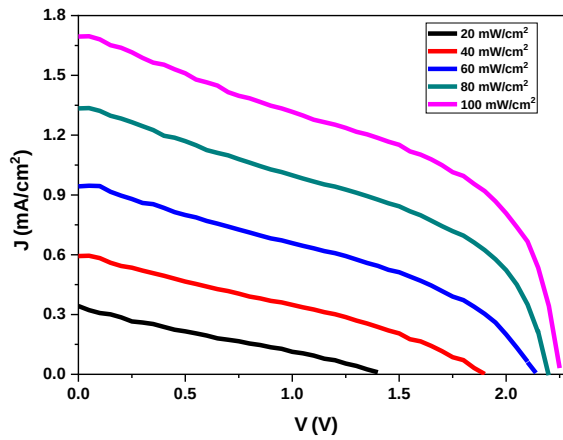
Üretilen güneş pillerinin kararlı bir şekilde çalışıp çalışmadığı oldukça önemlidir. Bu nedenle üretilen güneş pillerinin akım değerlerinin zamanla değişiminin incelenmesi gerekir. Bu nedenle 20 s aralıklarla ışığın açılıp kapanmasıyla birlikte akım değerleri ölçülerek güneş pilinin ışığa karşı tepkisi ölçülmüştür. Ölçülen akımın (I) zamana (t) karşı grafiği çizilmiş ve Şekil 4.39' da verilmiştir. Grafik incelendiğinde ışığın açılmasıyla birlikte akım değeri maksimum değere çıkmış ışığın kapatılmasıyla birlikte minimum değere inmiştir. Bu döngü ölçüm boyunca sürmüştür. Bu durum pilin kararlı olduğunun bir göstergesidir. Ayrıca akımdaki maksimum değerler ışık yoğunluğuna bağlı olarak artmıştır. Bu artış aydınlatma şiddetine bağlı olarak oluşan e^-h^+ çiftlerinin sayısıyla açıklanabilir.



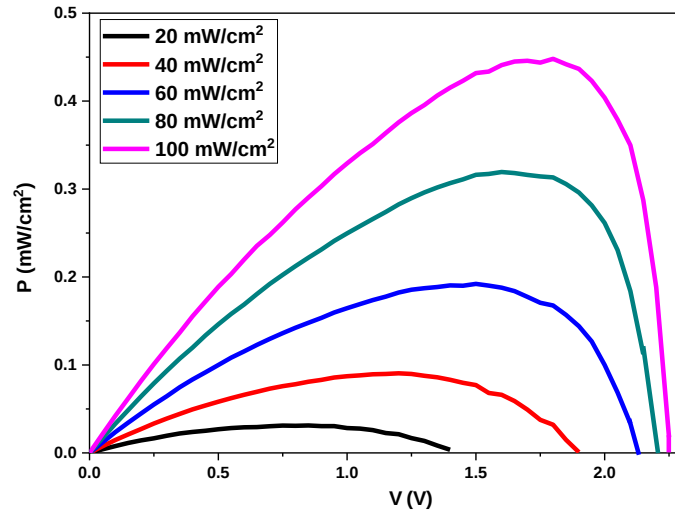
Şekil 4.39. TiO₂-CdS/Pt güneş pilinin I-t grafiği

4.5.2. TiO_2 -% 0,2 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pillerinin J_{sc} - V_{oc} , J_{sc} -P, P-V Ve I-T analizleri

TiO_2 -% 0,2 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt yapısında üretilen kuantum nokta duyarlı güneş pilinin 20-100 mW/cm^2 aydınlatma şiddeti aralığında ölçülen kısa devre akımı ve açık devre voltajı kullanılarak çizilen J_{sc} - V_{oc} grafiği Şekil 4.40' de verilmiştir. Grafik incelendiğinde beklenildiği gibi ışık şiddeti arttıkça akım değeri de artmıştır. Şekil 4.40 incelendiğinde kısa devre akım yoğunluğu 20 mW/cm^2 de 0,340 mA/cm^2 iken 100 mW/cm^2 de 1,596 mA/cm^2 'ye çıkmıştır. Elde edilen bu akım değerleri saf TiO_2 ' den elde edilen akım değerlerinden az da olsa yüksektir. Açık devre voltajı ise özellikle 40 mW/cm^2 ' den sonra önemli bir artış göstermemiştir. Açık devre voltajı 20-100 mW/cm^2 arasındaki ölçümlerde 1,39-2,25 V değerleri arasındadır. Bu değerler saf TiO_2 ' den yüksek olsa da anlamlı bir artış değildir. Çünkü açık devre voltajı, elektrolit içindeki redoks çiftlerinin potansiyeli ile ışık altında yarı iletkenin Fermi seviyesi arasındaki farka ve yarı iletkenin bant aralığına bağlıdır (Wang vd., 2012). Bu nedenle açık devre voltajından önemli bir değişme tespit edilmemiştir. Ancak elde edilen akım-voltaj eğrisi Resim 4.3' de verilen ideal bir güneş pilinin eğrisine oldukça benzerdir. Bu durum üretilen cihazın güneş pili olarak kullanılabileceğinin bir göstergesidir. Ancak güneş piline ait, FF faktörü, verim gibi fotovoltaiik parametrelerin hesaplanarak pilin ayrıntılı olarak incelenmesi gerekir. Bu nedenle güneş pilinin ürettiği gücün voltaja bağlı karakteristiğinden I_{max} ve V_{max} değerlerinin bulunması gerekir. Bu nedenle üretilen güneş pillerinin P-V grafiği çizilmiş ve Şekil 4.41' de verilmiştir.

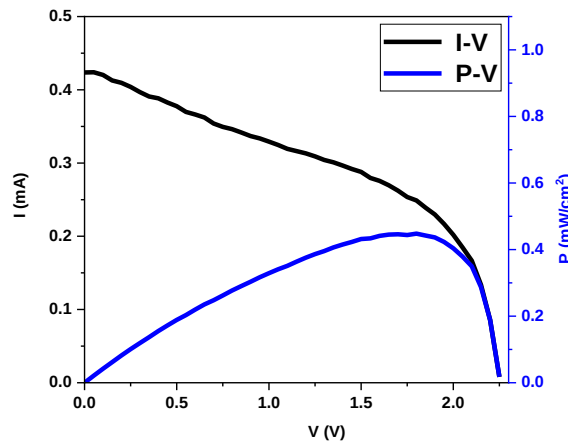


Şekil 4.40. TiO_2 -%0,2 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki J_{sc} - V_{oc} grafiği



Şekil 4.41. TiO₂-%0,2 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki P-V grafiği

Şekil 4.41’deki P-V grafiği incelendiğinde, güç değeri maksimum değere ulaşana kadar voltaj ile birlikte artmakta, maksimuma ulaştıktan sonra beklenildiği gibi üretilen güç azalarak sıfıra inmektedir. Ayrıca 100 mW/cm²’de saf TiO₂ tabanlı güneş pilinin ürettiği maksimum güç 0,25 mW/cm² civarındayken TiO₂-%0,2 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinde ise bu değer 0,45 mW/cm² civarına çıkmıştır. İki boyutlu tabakalı MXene katkılanması, oluşan elektronların daha hızlı bir şekilde iletim bandına taşınmasını sağlayarak rekombinasyon oranını düşürmüş ve böylece üretilen gücün artmasını sağlamış olabilir. TiO₂-%0,2 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin 100 mW/cm²’de çizilen I, P-V grafiği Şekil 4.42’de verilmiştir.

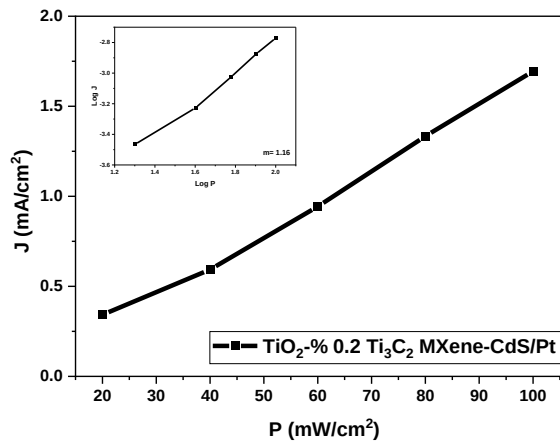


Şekil 4.42. TiO₂-%0,2 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin 100 mW/cm² ışık yoğunluğundaki I, P-V grafiği

Tablo 4.10. TiO₂-%0,2 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı aydınlatma şiddetleri altında elde edilen fotovoltaiik parametreleri

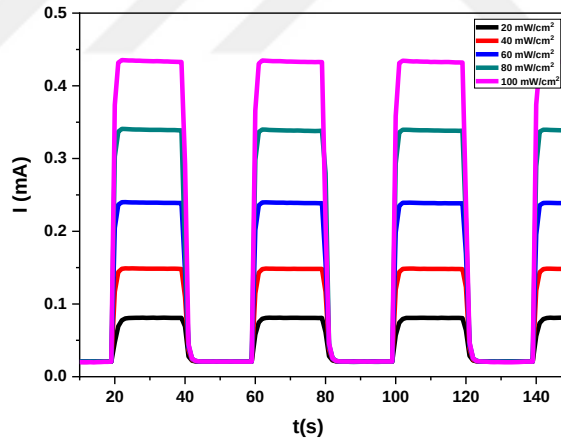
P	I _{sc}	J _{sc}	V _{oc}	V _{max}	I _{max}	FF	η
(mW/cm ²)	(mA)	(mA/cm ²)	(V)	(V)	(mA)		(%)
20	0,085	0,340	1,39	0,850	0,037	0,27	0,64
40	0,148	0,592	1,89	1,200	0,0754	0,32	0,89
60	0,236	0,944	2,09	1,500	0,128	0,38	1,25
80	0,334	1,336	2,15	1,600	0,200	0,44	1,58
100	0,424	1,696	2,25	1,799	0,249	0,47	1,79

Şekil 4.42’ te verilen grafik yardımıyla V_{max} değerine karşılık gelen I_{max} değeri elde edilmiş elde edilen bu değerler kullanılarak güneş pilinin dolum faktörü (FF) denklem 4.2’den, verim (η) değeri ise denklem 4.3’ den yararlanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen fotovoltaiik parametreler Tablo 4.10’ da verilmiştir. Tablo incelendiğinde saf TiO₂’ ye göre kısa devre akımları artmış ve buna bağlı olarak verimde artmıştır. Saf TiO₂ tabanlı güneş pilinin 100 mW/cm²’ de ki verim değeri % 1,03 iken bu değer TiO₂-%0,2 Ti₃C₂ MXene tabanlı güneş pilinde % 1,79 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar MXene katkılama işleminin pil verimini artırdığının göstergesidir. Ancak katkılama işleminde ideal katkı oranının bulunması son derece önemlidir. Bu nedenle farklı oranlarda katkılamlar yapılarak güneş pilleri üretilmiş ve karakterizasyonları yapılmıştır. Şekil 4.43’de J-P ve Log J-Log P karakteristikleri aynı grafikte verilmiştir. Log J-Log P grafiğinin eğiminden m değeri hesaplanmıştır.



Şekil 4.43. TiO₂-%0,2 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin J-P ve Log J-Log P grafiği

Hesaplanan m değerine göre TiO_2 -%0,2 Ti_3C_2 MXene güneş pillerinde gerçekleşen rekombinasyonların türü tespit edilmiştir. Log J- Log P grafiğinin eğiminden m değeri 1,16 olarak hesaplanmıştır. TiO_2 -%0,2 Ti_3C_2 MXene güneş pilinin m değerinin 1,16 olması, ara yüzey durumlarındaki tuzaklardan kaynaklanan monomoleküler rekombinasyonların etkili olduğunu gösterir. TiO_2 -%0,2 Ti_3C_2 MXene tabanlı güneş pilinin m değerinin, saf TiO_2 'nin m değerinden (1,17) düşük olması TiO_2 -%0,2 Ti_3C_2 MXene yapı içindeki ara yüzey durumlarının saf TiO_2 'nin ara yüzey durumlarından daha az olduğunu gösterebilir. TiO_2 -%0,2 Ti_3C_2 MXene nanokompozit yapıdaki ara yüzey durumlarının azalması, rekombinasyon oranını düşürerek verimin artmasını sağlar. TiO_2 -%0,2 Ti_3C_2 MXene tabanlı güneş pilinin I-t grafiği Şekil 4.44' de verilmiştir. Işığın açılıp kapanmasıyla birlikte akım değeri maksimum değerini almış ve bu değerde 40 s boyunca sabit kaldıktan sonra minimum değere düşmüştür. Bu maksimum-minimum döngüsü ışığın her açılıp kapanmasıyla tekrarlanmıştır. 100 mW/cm^2 de ışığın açılmasıyla akım değeri $0,435 \text{ mA}$ çıkmış ışığın kapatılmasıyla birlikte $0,021 \text{ mA}$ ' e düşmüştür. Işığın açılıp kapanmasıyla birlikte akımdaki bu maksimum-minimum döngüsü TiO_2 -%0,2 Ti_3C_2 MXene tabanlı güneş pilinin ışığa karşı duyarlı olduğunu gösterir.

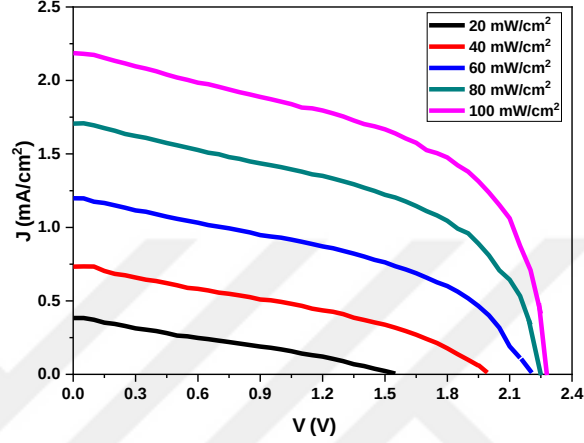


Şekil 4.44. TiO_2 -%0,2 Ti_3C_2 MXene tabanlı güneş pilinin I-t grafiği

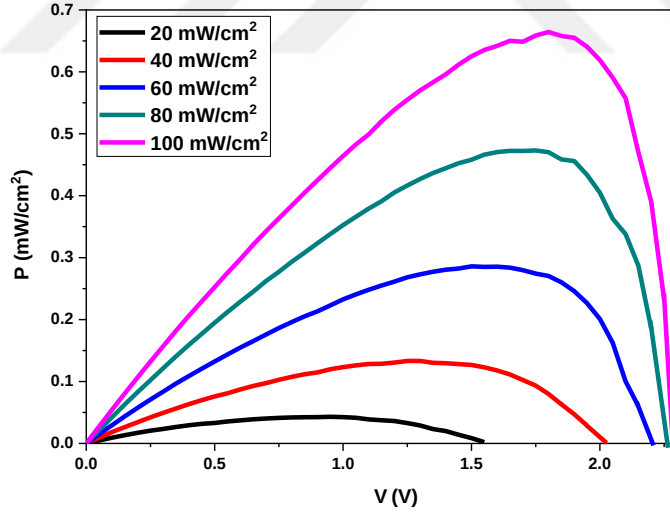
4.5.3. TiO_2 -% 0,4 Ti_3C_2 Mxene-Cds/Pt Güneş Pillerinin J_{sc} - V_{oc} , J_{sc} -P, P-V Ve I-T analizleri

TiO_2 -% 0,4 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt yapısında üretilen kuantum nokta duyarlı güneş pilinin 20 - 100 mW/cm^2 aydınlatma şiddeti aralığında ölçülen kısa devre akımı ve açık devre voltajı kullanılarak çizilen J_{sc} - V_{oc} grafiği Şekil 4.45' de verilmiştir. Grafik incelendiğinde ışık şiddeti arttıkça akım değerleri de artmıştır. TiO_2 -% 0,4 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt tabanlı güneş pilinin kısa devre akım yoğunluğu 20 mW/cm^2 de $0,384 \text{ mA/cm}^2$

iken 100 mW/cm^2 de $2,188 \text{ mA/cm}^2$ 'ye çıkmıştır. Bu akım değerleri hem saf TiO_2 tabanlı hem de TiO_2 -% 0,4 Ti_3C_2 MXene tabanlı güneş pillerinin değerlerinden daha yüksektir. Açık devre voltajı $20\text{-}100 \text{ mW/cm}^2$ arasındaki ölçümlerde $1,55\text{-}2,25 \text{ V}$ değerleri arasındadır. Açık devre voltajı değerleri diğer pillerle uyum içindedir. Akım değerlerinin yüksek olması % 0,4 MXene katkılanmasının rekombinasyonları baskıladığı anlamına gelir.



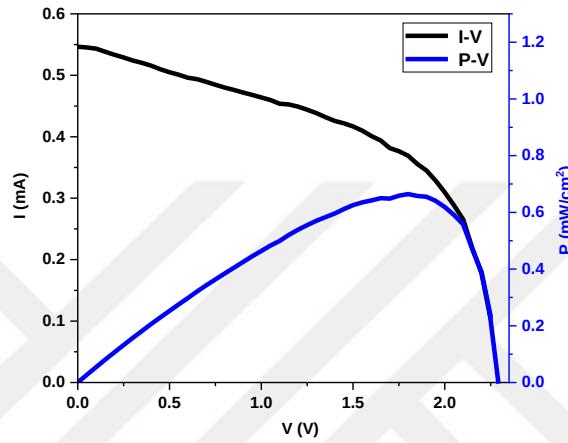
Şekil 4.45. TiO_2 -%0,4 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki J_{sc} - V_{oc} grafiği



Şekil 4.46. TiO_2 -%0,4 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki P-V grafiği

Bir güneş pilinin kalitesinin göstergesi güneş pile ait fotovoltaik parametrelerin belirlenmesidir. Bu nedenle, güneş pilinin ürettiği gücün voltaja (P-V) bağlı grafiği çizilmiş ve Şekil 4.46' da verilmiştir. Grafik incelendiğinde voltajın artmasıyla birlikte güç değeri de artmış maksimum değere ulaştıktan sonra azalarak sıfıra düşmüştür. Ayrıca

üretlen güç değerleri ışık yoğunluğun artmasıyla birlikte sistematik olarak artmıştır. 20 mW/cm²' de üretilen maksimum güç 0,043 mW/cm² civarındayken 100 mW/cm²' de bu değer 0,665 mW/cm²' ye çıkmıştır. TiO₂-%0,2 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinde maksimum güç 0,45 mW/cm² iken TiO₂-%0,4 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinde önemli oranda artış göstermesi kısa devre akım yoğunluğunun yüksek ölçülmesiyle uyumludur. Şekil 4.47, TiO₂-%0,4 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin 100 mW/cm²' de çizilen I, P-V grafiğidir.



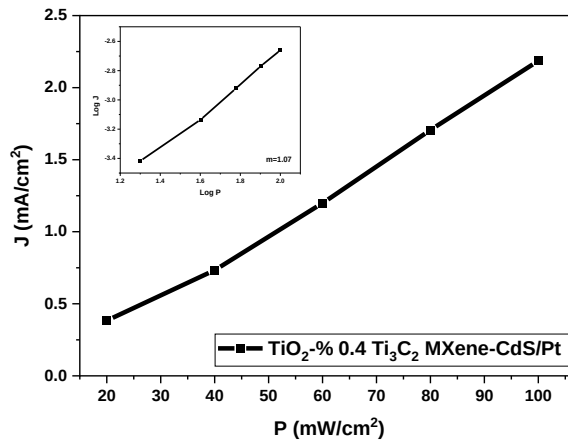
Şekil 4.47. TiO₂-%0,4 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin 100 mW/cm² ışık yoğunluğundaki I, P-V grafiği

Bu grafik yardımıyla gücün maksimum olduğu noktadaki maksimum voltaj (V_{max}) değeri bulunmuş ve $P_{max} = V_{max} \cdot I_{max}$ eşitliğinden yararlanılarak I_{max} değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan I_{max} ve V_{max} değerleri kullanılarak güneş pilinin dolum faktörü (FF) denklem 4.2'den, verim (η) değeri ise denklem 4.3' den yararlanılarak hesaplanmıştır. Ölçüm sonucu elde edilen I_{sc} , V_{oc} ve I_{sc} değerinin fotoanotun aktif yüzey alanına (0,25 cm²) bölünmesiyle elde edilen kısa devre akım yoğunluğu (J_{sc}) ve hesaplanan fotovoltatik parametreler Tablo 4.11' de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

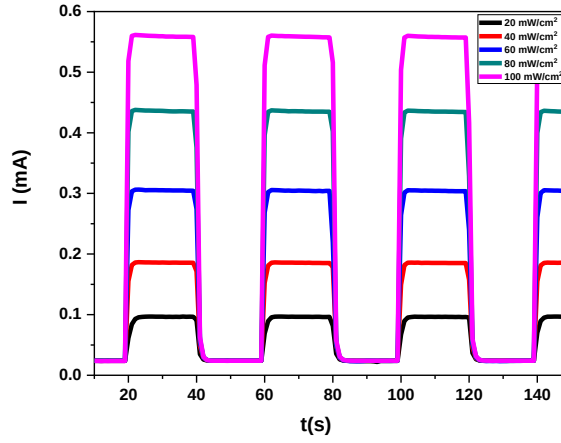
Tablo 4.11. TiO₂-%0,4 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı aydınlatma şiddetleri altında elde edilen fotovoltaiik parametreleri

P (mW/cm ²)	I _{sc} (mA)	J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc} (V)	V _{max} (V)	I _{max} (mA)	FF	η (%)
20	0,096	0,384	1,55	0,95	0,045	0,29	0,86
40	0,183	0,732	1,95	1,25	0,107	0,37	1,32
60	0,300	1,200	2,15	1,50	0,191	0,44	1,89
80	0,427	1,708	2,20	1,75	0,270	0,50	2,35
100	0,547	2,188	2,25	1,80	0,369	0,54	2,66

Tablo incelendiğinde saf TiO₂' ye göre kısa devre akımları artmış ve buna bağlı olarak FF ve verim değerleri de artmıştır. TiO₂-%0,2 Ti₃C₂ MXene tabanlı güneş pilinin 100 mW/cm²' de ki verim değeri % 1,79 iken bu değer TiO₂-%0,4 Ti₃C₂ MXene tabanlı güneş pilinde % 2,66 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer saf TiO₂' tabanlı güneş pilinin veriminden % 158, TiO₂-%0,2 Ti₃C₂ MXene tabanlı güneş pilinin veriminden % 49 daha fazladır. % 0,4 oranında MXene katkılama işlemi tabakalar arasındaki tuzak seviyelerinin sayısını azaltarak rekombinasyon oranının düşürmüştür. Şekil 4.48'de J-P ve Log J-Log P karakteristikleri aynı grafikte verilmiştir. Log J-Log P grafiğinin eğiminden m değeri 1,07 olarak hesaplanmıştır. m değerinin 1,07 olması monomoleküler rekombinasyonların etkili olduğunu gösterir. TiO₂-%0,4 Ti₃C₂ MXene tabanlı güneş pilinin m değerinin düşük olması TiO₂-%0,4 Ti₃C₂ MXene yapı içindeki ara yüzey durumlarının sayısının ve buna bağlı olarak rekombinasyon oranının azaldığını ve böylece verim değerinin arttığını gösterir.



Şekil 4.48. TiO₂-%0,4 Ti₃C₂ MXene güneş pilinin J-P ve Log J-Log P grafiği

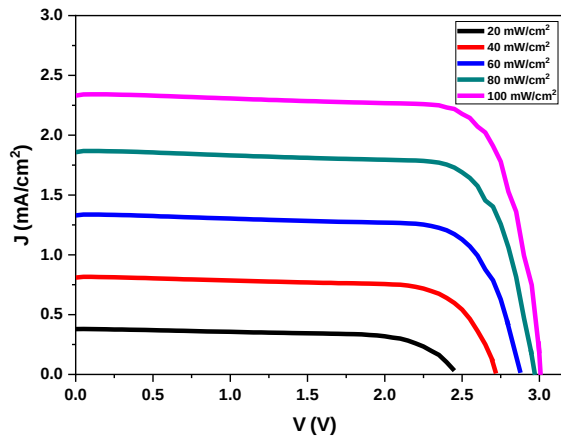


Şekil 4.49. TiO_2 -%0,4 Ti_3C_2 MXene tabanlı güneş pilinin I-t grafiği

Şekil 4.49’ da TiO_2 -%0,4 Ti_3C_2 MXene tabanlı güneş pilinin I-t grafiği verilmiştir. Işığın açılıp kapanmasıyla birlikte akım değeri maksimum değerini almış ışığın kapanmasıyla birlikte minimum değere düşmüştür. Bu döngü ışığın açılıp kapanmasıyla tekrarlanmıştır. 100 mW/cm^2 ’ de ışığın açılmasıyla akım değeri 0,556 mA çıkmış ışığın kapatılmasıyla birlikte 0,024 mA’ e düşmüştür. Işığın açılıp kapanmasıyla birlikte akımdaki bu maksimum-minimum döngüsü pilin kararlı bir şekilde çalıştığının göstergesidir.

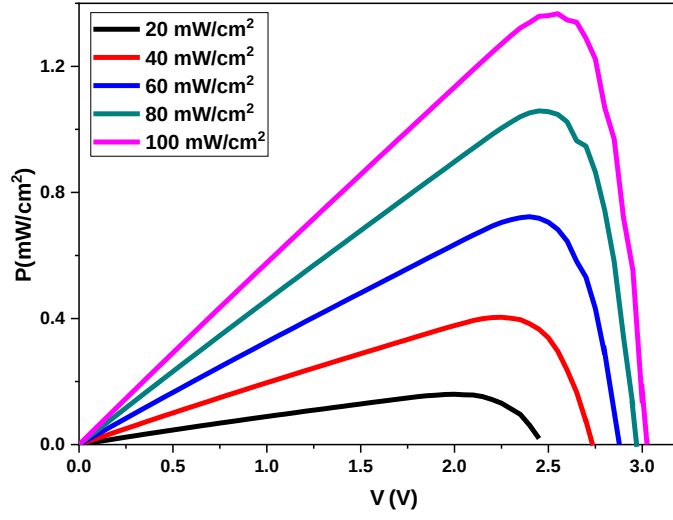
4.5.4. TiO_2 -% 0,6 Ti_3C_2 Mxene-Cds/Pt Güneş Pillerinin J_{sc} - V_{oc} , J_{sc} -P, P-V Ve I-T analizleri

TiO_2 -% 0,6 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt yapısında üretilen kuantum nokta duyarlı güneş pilinin, 20-100 mW/cm^2 aydınlatma şiddeti aralığında ölçülen kısa devre akımı ve açık devre voltajı kullanılarak çizilen J_{sc} - V_{oc} grafiği Şekil 4.50’ de verilmiştir.



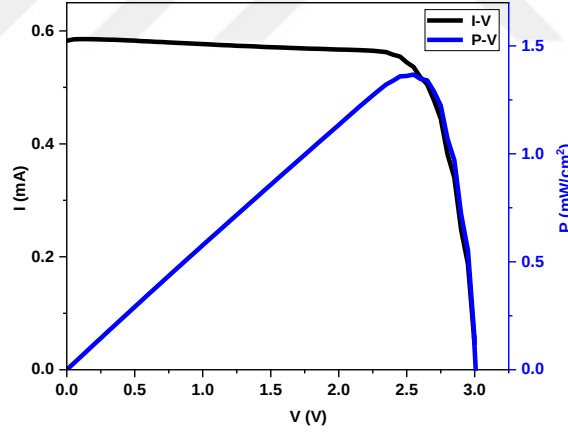
Şekil 4.50. TiO_2 -%0,6 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki J_{sc} - V_{oc} grafiği

Grafik incelendiğinde ışık şiddeti arttıkça akım değerleri de artmıştır. Ayrıca elde edilen bu eğri dördüncü bölüm Resim 4.3' de verilen ideal bir güneş pilinin akım-gerilim eğrisine oldukça benzerdir. Akım değerinin aniden düşmemesi tabakalar arasındaki seri direnç etkisinin oldukça düşük olduğunu ve rekombinasyonların önemli oranda azaldığı anlamına gelir. TiO_2 -% 0,6 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt tabanlı güneş pilinin kısa devre akım yoğunluğu 20 mW/cm^2 ' de $0,380 \text{ mA/cm}^2$ iken 100 mW/cm^2 de $2,330 \text{ mA/cm}^2$ 'ye çıkmıştır. Bu akım değerleri hem saf TiO_2 tabanlı hem de % 0,2 ve % 0,4 MXene katkılı pillerinden yüksektir. Açık devre voltajı 20 - 100 mW/cm^2 arasındaki ölçümlerde $2,45$ - $3,00 \text{ V}$ değerleri arasındadır. Açık devre voltajı değerleri diğer pillerden elde edilen voltaj değerlerine yakındır. Akım değerlerinin yüksek olması % 0,6 oranında MXene katkılanmasının rekombinasyonları baskıladığı anlamına gelir. Ayrıca altıncı bölümde yapısal analizlerin incelenmesi kısmında görüldüğü gibi bu numunenin yapısal olarak en kaliteli ürün olduğu düşünüldüğünde bu güneş pilinde yüksek akım değerinin elde edilmesi yapısal analizlerle de uyumludur. MXene kullanılarak başarılı bir kompozit yapı üretmek oldukça zor bir işlemdir. Tabakalı ve kararlı yapısı kimyasal işlemi zorlaştırmaktadır. Ancak bu numunede istenilen başarı sağlanmış ve tabakalı yapısıyla MXene, kompozit içinde ilave elektron taşıma yolları oluşturarak elektronların rekombinasyona uğramadan hızlı bir şekilde elektrota taşınmasını sağlamıştır. Güneş pilinin ürettiği gücün voltaja (P-V) bağlı grafiği çizilmiş ve Şekil 4.51' de verilmiştir. Bu grafikten yararlanılarak güneş pilinin maksimum voltaj değeri bulunmuş maksimum akım değeri ise hesaplanmıştır. Pilin ürettiği maksimum güç 20 mW/cm^2 ' de $2,044 \text{ mW/cm}^2$ civarındayken 100 mW/cm^2 ' de $2,541 \text{ mW/cm}^2$ ' ye yükselmiştir. Bu değerler diğer numunelere göre oldukça yüksektir.



Şekil 4.51. TiO₂-%0,6 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki P-V grafiği

Şekil 4.52’ de TiO₂-%0,6 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin 100 mW/cm²’ de çizilen I, P-V grafiği verilmiştir. Grafik 4.51 ve 4.52 yardımıyla elde edilen I_{max} ve V_{max} değerleri kullanılarak güneş pillerinin FF değeri ve verimleri hesaplanmıştır. Hesaplanan fotovoltatik parametreler Tablo 4.12’ de verilmiştir.

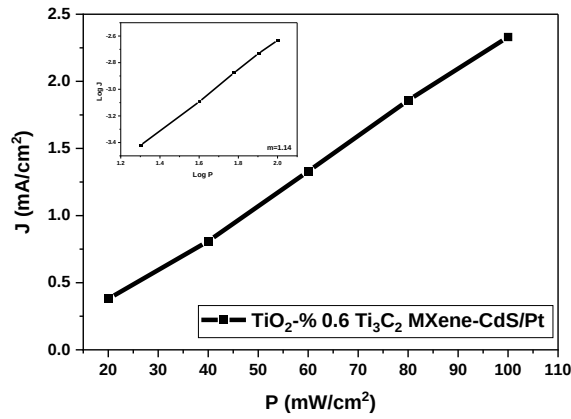


Şekil 4.52. TiO₂-%0,6 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin 100 mW/cm² ışık yoğunluğundaki I, P-V grafiği

Tablo 4.12. TiO₂-%0,6 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı aydınlatma şiddetleri altında elde edilen fotovoltaiik parametreleri

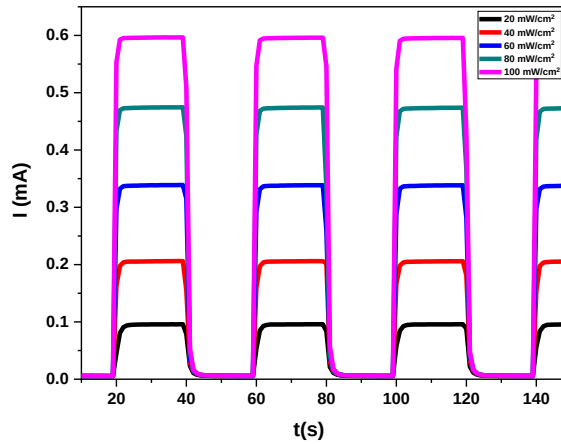
P	I _{sc}	J _{sc}	V _{oc}	V _{max}	I _{max}	FF	η
(mW/cm ²)	(mA)	(mA/cm ²)	(V)	(V)	(mA)		(%)
20	0,095	0,380	2,45	2,00	0,080	0,69	3,21
40	0,202	0,808	2,70	2,25	0,180	0,74	4,03
60	0,332	1,328	2,80	2,40	0,301	0,78	4,83
80	0,465	1,806	2,95	2,45	0,432	0,77	5,12
100	0,583	2,330	3,00	2,55	0,536	0,78	5,45

Tablo 4.12 incelendiğinde 20 mw/cm²' de kısa devre akım yoğunluğunun 0,380 mA, 100 mw/cm²' de ise 2,330 mA olduğu görülmüştür. Bu değer daha önce ölçümü yapılan saf TiO₂, % 0,2 ve % 0,4 MXene katkılı numunelerden oldukça yüksektir. Voltaj değerlerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. 100 mW/cm²' de FF faktörü 0,78 olup oldukça ideal bir değere ulaşmıştır. Ayrıca bu numunenin verim değeri 20 mw/cm²' de % 3,21, 100 mw/cm²' de ise % 5,45 olarak ölçülmüştür. Bu verim değerleri saf TiO₂, %0,2, ve %0,4 MXene katkılı numunelerden oldukça yüksektir. 20 mw/cm² gibi düşük aydınlatma altında bile %3,21 gibi bir verim elde edilmiş olması oldukça umut vaat edici bir gelişmedir. Bu güneş pilinde malzeme kalitesine bağlı olarak üretilen elektronlar, tabakalı MXene sayesinde rekombinasyona uğramadan FTO elektrota taşınmış böylece rekombinasyonlar azalmış ve verim değeri artmıştır. Fotoanot yüzeyinde gerçekleşen reombinasyonları türünü belirlemek için J-P ve Log J-Log P grafikleri çizilmiş ve çizilen grafik Şekil 4.53'de verilmiştir. Log J-Log P grafiğinin eğiminden m değeri 1,11 olarak hesaplanmıştır. m değerinin 1,11 olması monomoleküler rekombinasyonların etkili olduğunu gösterir. Bu rekombinasyonlar tabakalar arasındaki tuzak seviyelerinde meydana gelen elektron-hol birleşmesi sonucu oluşan rekombinasyonlardır. Saf TiO₂'ye oranla MXene katkılı kompozit numunelerde rekombinasyonların azalması yapı içerisine yerleşen iki boyutlu MXene yapılar sayesinde sağlanır. MXene, TiO₂'nin kümelenmesini ve hacim değişikliğini engelleyerek oluşacak tuzakların sayısını azaltır. Azalan tuzak sayısı yapı içindeki rekombinasyon oranını düşürür. Böylece güneş pilinin akım ve verim değerleri yükselir.



Şekil 4.53. TiO₂-%0,6 Ti₃C₂ MXene güneş pilinin J-P ve Log J-Log P grafiği

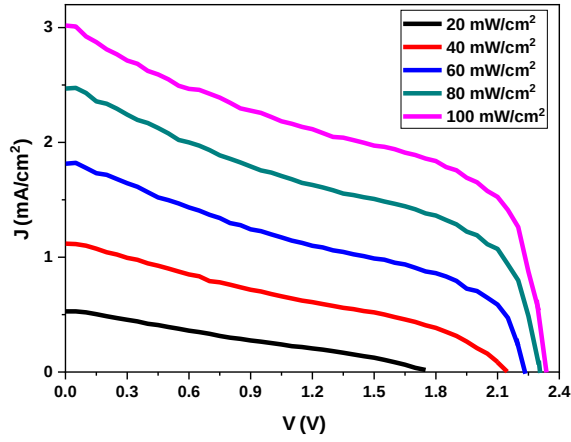
Şekil 4.54’ de TiO₂-%0,6 Ti₃C₂ MXene tabanlı güneş pilinin I-t grafiği verilmiştir. Işığın açılıp kapanmasıyla birlikte akım değeri maksimum değerini almış ve bu değerde 40 s boyunca sabit kaldıktan sonra minimum değere düşmüştür. Bu döngü ışığın açılıp kapanmasıyla sürmüştür. 100 mW/cm²’ de ışığın açılmasıyla akım değeri 0,560 mA çıkmış ışığın kapatılmasıyla birlikte 0,024 mA’ e düşmüştür. Işığın açılıp kapanmasıyla birlikte akımdaki bu maksimum-minimum döngüsü TiO₂-%0,6 Ti₃C₂ MXene tabanlı güneş pilinin ışığa karşı duyarlı olduğunu gösterir.



Şekil 4.54. TiO₂-%0,6 Ti₃C₂ MXene tabanlı güneş pilinin I-t grafiği

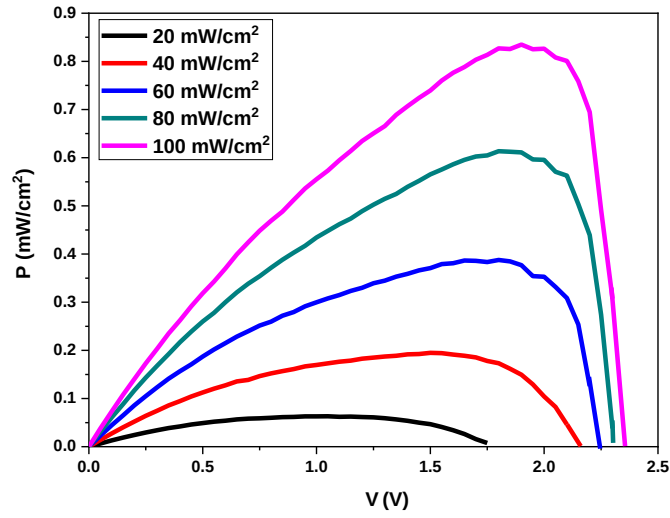
4.5.5. TiO₂-% 0,8 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pillerinin J_{sc}-V_{oc}, J_{sc}-P, P-V ve I-t analizleri

TiO₂-% 0,8 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt yapısında üretilen kuantum nokta duyarlı güneş pilinin, 20-100 mW/cm² aydınlatma şiddeti aralığında ölçülen kısa devre akımı ve açık devre voltajı kullanılarak çizilen J_{sc}-V_{oc} grafiği Şekil 4.55’ de verilmiştir.



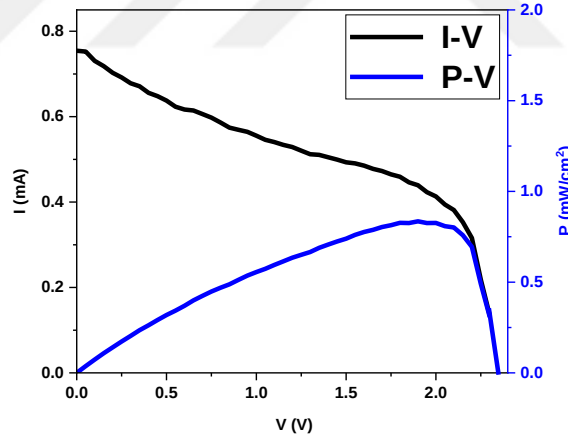
Şekil 4.55. TiO₂-%0,8 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki J_{sc}-V_{oc} grafiği

Grafik incelendiğinde ışık şiddeti arttıkça akım değerleri de artmıştır. TiO₂-% 0,8 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt tabanlı güneş pilinin kısa devre akım yoğunluğu 20 mW/cm²' de 0,528 mA/cm² iken 100 mW/cm² de 3,020 mA/cm²'ye çıkmıştır. Bu akım değerleri hem saf TiO₂ tabanlı hem de % 0,2 ve % 0,4 MXene katkılı pillerinden yüksektir. Açık devre voltajı 20-100 mW/ cm² arasındaki ölçümlerde 1,79-2,29 V değerleri arasındadır. Açık devre voltajı değerleri diğer pillerden elde edilen voltaj değerlerine yakındır. Akım değerlerinin yüksek olması % 0,6 oranında MXene katkılanmasının rekombinasyonları baskıladığı anlamına gelir. Ayrıca altıncı bölümde yapısal analizlerin incelenmesi kısmında görüldüğü gibi bu numunenin yapısal olarak ta en kaliteli ürün olduğu tespit edilmişti. Bu nedenle bu güneş pilinde yüksek akım değerinin elde edilmesi yapısal analizlerle uyum içindedir. MXene kullanılarak başarılı bir kompozit yapı üretmek oldukça zor bir işlemdir. Tabakalı ve kararlı yapısı kimyasal işlemi zorlaştırmaktadır. Ancak bu numunede istenilen başarı sağlanmış ve tabakalı yapısıyla MXene ilave elektron taşıma yolları oluşturarak elektronların rekombinasyona uğramadan hızlı bir şekilde elektrota taşınmasını sağlamıştır. Güneş pilinin ürettiği gücün voltaja (P-V) bağlı grafiği çizilmiş ve Şekil 4.56' da verilmiştir. Bu grafikten yararlanılarak güneş pilinin maksimum voltaj değeri bulunmuş maksimum akım değeri ise hesaplanmıştır. Pilin ürettiği güç maksimum güç 20 mW/cm²' de 0,064 mW/cm² civarındayken 100 mW/cm²' de 0,835 mW/cm²' ye yükselmiştir. Bu değerler diğer numunelere göre yüksektir.



Şekil 4.56. TiO_2 -%0,8 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki P-V grafiği

Şekil 4.57’ de TiO_2 -%0,8 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin 100 mW/cm^2 ’ de çizilen I, P-V grafiği verilmiştir. Grafik 4.56 ve 4.57 yardımıyla elde edilen I_{max} ve V_{max} değerleri kullanılarak güneş pillerinin FF değeri ve verimleri hesaplanmıştır. Hesaplanan fotovoltatik parametreler Tablo 4.13’ de verilmiştir.



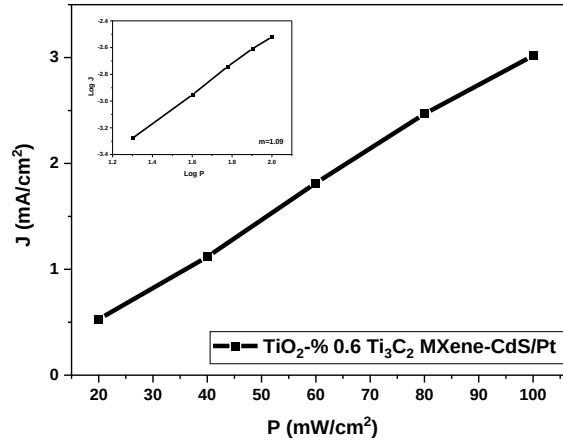
Şekil 4.57. TiO_2 -%0,8 Ti_3C_2 MXene-CdS/Pt güneş pilinin 100 mW/cm^2 ışık yoğunluğundaki I, P-V grafiği

Tablo 4.13. TiO₂-%0,8 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı aydınlatma şiddetleri altında elde edilen fotovoltaiik parametreleri

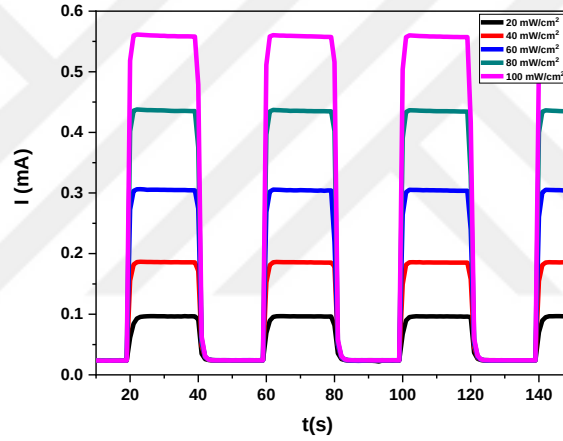
P	I _{sc}	J _{sc}	V _{oc}	V _{max}	I _{max}	FF	η
(mW/cm ²)	(mA)	(mA/cm ²)	(V)	(V)	(mA)		(%)
20	0,132	0,528	1,75	1,05	0,060	0,27	1,25
40	0,280	1,120	2,09	1,50	0,130	0,33	1,93
60	0,454	1,816	2,20	1,80	0,215	0,39	2,60
80	0,617	2,468	2,29	1,80	0,341	0,43	3,04
100	0,755	3,020	2,29	1,90	0,439	0,48	3,32

Tablo 4.13 incelendiğinde 20 mw/cm²' de kısa devre akım yoğunluğunun 0,528 mA, 100 mw/cm²' de ise 3,020 mA olduğu görülmüştür. Bu değer daha önce ölçümü yapılan saf TiO₂, % 0,2, % 0,4 ve %0,6 MXene katkılı numunelerden yüksektir. Voltaj değerlerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. 100 mW/cm²' de FF faktörü 0,48 hesaplanmıştır. Akım değerinin yüksek olduğu göz önüne alındığında FF faktörünün 0,48' den yüksek olması beklenir. Ancak bu değer nispeten düşük kalması pilin seri direnç etkisi nedeniyle idealden saptığını gösterir. Ayrıca bu numunenin verim değeri 20 mw/cm²' de % 1,32, 100 mw/cm²' de ise % 3,32 olarak hesaplanmıştır. Bu verim değerleri saf TiO₂, % 0,2, ve % 0,4 MXene katkılı numunelerden yüksektir. Ancak bu verim değeri % 0,6 oranında MXene katkılı numuneden düşüktür. Kompozit malzemelerde katkı oranı son derece önemlidir. Saf TiO₂' den sonra % 0,2-0,4 ve % 0,6 MXene katkılı numunelerde verim değerine periyodik bir artış gözlenmiş bu artış % 0,6 oranında MXene katkılı numunede maksimum değere ulaşmıştır. Ancak % 0,8 oranında katkılı bu numunede verim değeri % 0,6 katkılı numuneye göre düşmüştür. Bu durum ideal katkı oranının % 0,6 olduğunu düşündürmektedir. Aşırı oranda MXene katkılanması malzemenin topaklaşmaya başlamasını ve böylece yapı içinde kusurların oluşmasına neden olmuş olabilir. Böylece % 0,6 oranında daha fazla oranda MXene katkılanması verimin düşmesine sebep olmuştur. Fotoanot yüzeyinde gerçekleşen rekombinasyonların türünü belirlemek için J-P ve Log J-Log P grafikleri çizilmiş ve çizilen grafik Şekil 4.58'de verilmiştir. Log J-Log P grafiğinin eğiminden m değeri 1,09 olarak hesaplanmıştır. m değerinin 1,09 olması monomoleküler rekombinasyonların etkili olduğunu gösterir. Bu rekombinasyonlar tabakalar arasındaki tuzak seviyelerinde meydana gelen elektron-hol birleşmesi sonucu oluşan rekombinasyonlardır. Saf TiO₂'ye oranla MXene katkılı

kompozit numunelerde rekombinasyonların azalması yapı içerisine yerleşen iki boyutlu MXene yapılar sayesinde sağlanır.



Şekil 4.58. $\text{TiO}_2\text{-}\%0.8 \text{ Ti}_3\text{C}_2$ MXene güneş pilinin J-P ve Log J-Log P grafiği

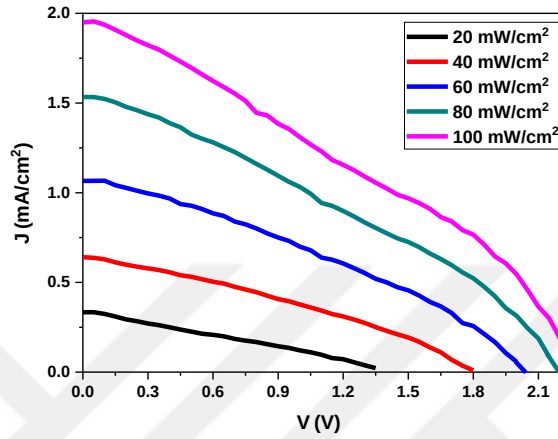


Şekil 4.59. $\text{TiO}_2\text{-}\%0.8 \text{ Ti}_3\text{C}_2$ MXene tabanlı güneş pilinin I-t grafiği

Şekil 4.59’ da $\text{TiO}_2\text{-}\%0.8 \text{ Ti}_3\text{C}_2$ MXene tabanlı güneş pilinin I-t grafiği verilmiştir. Işığın açılıp kapanmasıyla birlikte akım değeri maksimum değerini almış ve bu değer 40 s boyunca sabit kaldıktan minimum değere düşmüştür. Bu döngü ışığın açılıp kapanmasıyla sürmüştür. 100 mW/cm²’ de ışığın açılmasıyla akım değeri 0,560 mA çıkmış ışığın kapatılmasıyla birlikte 0,024 mA’ e düşmüştür. Işığın açılıp kapanmasıyla birlikte akımdaki bu maksimum-minimum döngüsü $\text{TiO}_2\text{-}\%0.8 \text{ Ti}_3\text{C}_2$ MXene tabanlı güneş pilinin ışığa karşı duyarlı olduğunu gösterir.

4.5.6. TiO₂-% 1 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pillerinin J_{sc}-V_{oc}, J_{sc}-P, P-V ve I-t analizleri

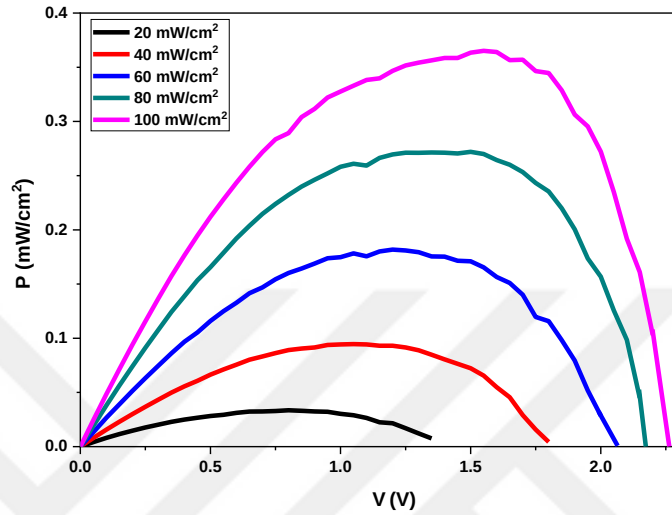
TiO₂-% 1 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt yapısında üretilen kuantum nokta duyarlı güneş pilinin, 20-100 mW/cm² aydınlatma şiddeti aralığında ölçülen kısa devre akımı ve açık devre voltajı kullanılarak çizilen J_{sc}-V_{oc} grafiği Şekil 4.60' de verilmiştir.



Şekil 4.60. TiO₂-%1 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki J_{sc}-V_{oc} grafiği

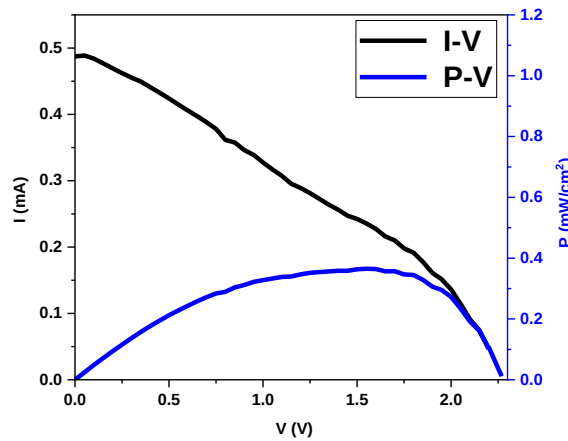
Grafik incelendiğinde ışık şiddeti 20 mW/cm²' den 100 mW/cm²' ye doğru gidildikçe akım değerleri artmıştır. TiO₂-% 1 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt tabanlı güneş pilinin kısa devre akım yoğunluğu 20 mW/cm²' de 0,332 mA/cm² iken 100 mW/cm² de 1,948 mA/cm²'ye çıkmıştır. Akım değerleri incelendiğinde TiO₂-% 1 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt tabanlı güneş pilinin kısa devre akım yoğunluğunun saf TiO₂ kullanılarak üretilen pillerden yüksek olduğu görülmüştür. Ancak akım değerleri % 0,2-% 0,4-% 0,6 ve % 0,8 MXene katkılı numunelerle üretilen pillerden düşüktür. Kompozit malzemeler üretilirken belirlenmesi gereken en önemli konu ideal katkı oranının bulunmasıdır. Üretilen numuneler göz önüne alındığında TiO₂-% 1 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt tabanlı güneş pilinin kısa devre akım yoğunluğunun % 0,2-% 0,4-% 0,6 ve % 0,8 MXene katkılı numunelerle üretilen pillerden düşük olması ideal katkı oranının % 0,6 MXene katkılamanın olduğunu doğrular niteliktedir. Katkı oranı % 0,6'yı aştıktan sonra malzeme içerisindeki iki boyutlu MXene yığılmaya başlamakta oluşan bu yığılma hem yapıyı bozmakta hem de soğurulan ışık miktarını azaltmaktadır. % 0,6 oranında MXene katkılı numuneden sonra verim değeri periyodik olarak azalmıştır. Bu durum güneş pillerinin ölçülen fotovoltaiik parametrelerine de yansımıştır. Açık devre voltajı 1,35-2,20V aralığında ölçülmüş olup diğer pillerle

yakın değerlerde seyretmiştir. Güneş pilinin ürettiği gücün voltaja (P-V) bağlı grafiği çizilmiş ve Şekil 4.61’ de verilmiştir. Grafik incelendiğinde ışık yoğunluğu arttıkça üretilen gücün artarak maksimum değere ulaşmış ardından azalarak sıfıra ulaşmıştır. Pilin ürettiği maksimum güç, 20 mW/cm²’ de 0,033 mW/cm² civarındayken 100 mW/cm²’ de 0,366 mW/cm²’ ye yükselmiştir.



Şekil 4.61. TiO₂-%1 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı ışık yoğunluklarındaki P-V grafiği

TiO₂-%1 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin 100 mW/cm² için çizilen I, P-V grafiği Şekil 4.56’ da verilmiştir. Grafik 4.61 ve 4.62 yardımıyla elde edilen I_{max} ve V_{max} değerleri kullanılarak güneş pillerinin FF değeri ve verimleri hesaplanmıştır. Hesaplanan fotovoltatik parametreler Tablo 4.14’ de verilmiştir.

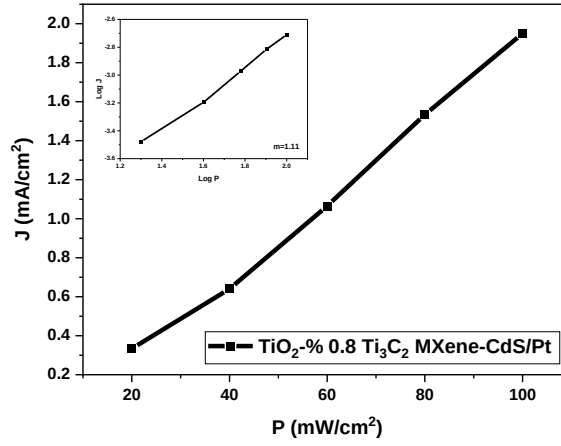


Şekil 4.62. TiO₂-%1 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin 100 mW/cm² ışık yoğunluğundaki I, P-V grafiği

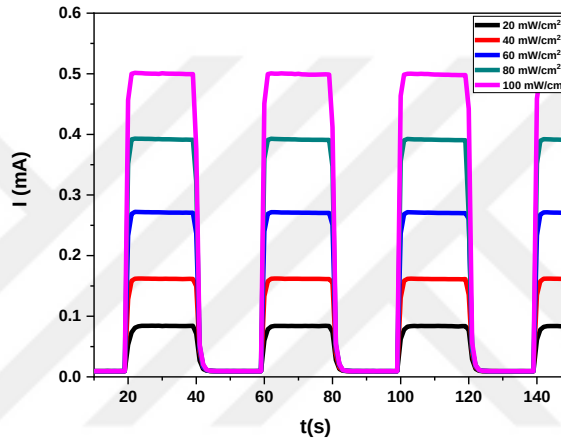
Tablo 4.14. TiO₂-%1 Ti₃C₂ MXene-CdS/Pt güneş pilinin farklı aydınlatma şiddetleri altında elde edilen fotovoltaiik parametreleri

P (mW/cm²)	I_{sc} (mA)	J_{sc} (mA/cm²)	V_{oc} (V)	V_{max} (V)	I_{max} (mA)	FF	η (%)
20	0,083	0,332	1,35	0,80	0,042	0,30	0,67
40	0,160	0,640	1,80	1,05	0,090	0,33	0,95
60	0,266	1,064	2,00	1,20	0,152	0,34	1,21
80	0,383	1,532	2,15	1,50	0,181	0,33	1,36
100	0,487	1,948	2,20	1,55	0,236	0,34	1,46

Tablo 4.14 incelendiğinde 20 mw/cm², de kısa devre akım yoğunluğunun 0,332 mA, 100 mw/cm², de ise 1,948 mA olduğu görülmüştür. Bu değer daha önce ölçümü yapılan saf TiO₂, den yüksek ancak % 0,2, % 0,4, %0,6 ve %0,8 MXene katkılı numunelerden düşüktür. Voltaj değerlerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. 100 mW/cm², de FF faktörü 0,34 olarak hesaplanmıştır. Bu numunenin 100 mw/cm², de verim değeri ise % 1,46 olarak hesaplanmıştır. Bu verim değerleri beklenildiği gibi saf TiO₂, den yüksek ancak % 0,2, % 0,4, % 0,6 ve % 0,8 MXene katkılı numunelerden düşüktür. Bu güneş pilinde katkı oranının artması malzeme kalitesini düşürmüş ve buna bağlı olarak üretilen verim değerini de düşürmüştür. Fotoanot yüzeyinde gerçekleşen rekombinasyonların türünü belirlemek için J-P ve Log J-Log P grafikleri çizilmiş ve çizilen grafik Şekil 4.63’de verilmiştir. LogJ-LogP grafiğinin eğiminden m değeri 1,11 olarak hesaplanmıştır. m değerinin 1,11 olması monomoleküler rekombinasyonların etkili olduğunu gösterir. Bu rekombinasyonlar tabakalar arasındaki tuzak seviyelerinde meydana gelen rekombinasyonlardır. Bu numunede MXene katkı oranının yüksek olması kompozit içinde kümelenmeye sebep olarak yapı içinde tuzak seviyelerinin oluşmasına neden olmuştur. Tuzak seviyelerinin varlığı monomoleküler rekombinasyonların etkili olduğunun bir göstergesidir.



Şekil 4.63. TiO₂-% 1 Ti₃C₂ MXene güneş pilinin J-P ve Log J-Log P grafiği

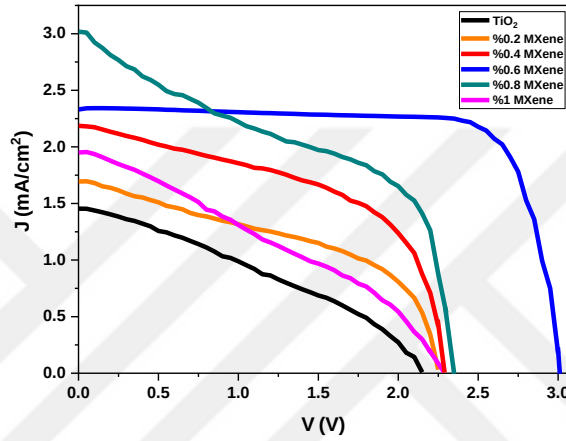


Şekil 4.64. TiO₂-% 1 Ti₃C₂ MXene tabanlı güneş pilinin I-t grafiği

Şekil 4.64’ de TiO₂-% 1 Ti₃C₂ MXene tabanlı güneş pilinin I-t grafiği verilmiştir. Işığın açılıp kapanmasıyla birlikte akım değeri maksimum değerini almış ve bu değerde 40 s boyunca sabit kaldıktan sonra minimum değere düşmüştür. Bu döngü ışığın açılıp kapanmasıyla sürmüştür. 100 mW/cm², de ışığın açılmasıyla akım değeri 0,498 mA çıkmış ışığın kapatılmasıyla birlikte 0,009 mA’ e düşmüştür. Işığın açılıp kapanmasıyla birlikte akımdaki bu maksimum-minimum döngüsü TiO₂-% 1 Ti₃C₂ MXene tabanlı güneş pilinin ışığa karşı duyarlı olduğunu gösterir.

Üretilen beş farklı yapıdaki güneş pillerinin karşılaştırmasını yapmak için 100 mW/cm² için J_{sc}-V_{oc} grafiği çizilmiştir. Çizilen grafik Şekil 4.65’ te verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi saf TiO₂’ nin akım değeri en düşüktür. % 0,2-0,4 ve % 0,6 katkılama oranlarında akım periyodik olarak artmış ve özellikle % 0,6 katkılama oranında grafik oldukça ideale yaklaşmıştır. % 0,8 ve % 1 katkı oranlarında ise seri direnç etkisiyle akım aniden düşmüştür. Tablo 4.15’ te üretilen tüm güneş pillerine ait fotovoltaiik parametreler

verilmiştir. Tablo incelendiğinde en yüksek verim ve FF faktörünün % 0,6 oranında MXene katkılı numuneden elde edildiği görülmektedir. Tüm katkılı numunelerden üretilen güneş pillerinin verimleri ve FF faktörleri saf TiO₂ tabanlı güneş pilinden yüksektir. Katkı oranı % 0,6 olana kadar verim periyodik olarak artmış % 0,6 oranında maksimuma ulaşmıştır. Ancak bu katkı oranı aşıldıktan sonra yapı bozulmaya başladığından verim değerleri de düşmüştür. Bu sonuçlar özellikle nispeten düşük katkı oranlarında MXene katkılama işleminin güneş pili üretiminde olumlu sonuç verdiğini doğrulamıştır.



Şekil 4.65. Üretilen güneş pillerinin 100 mW/cm², de ki J_{sc}-V_{oc} grafiği

Tablo 4.15. Üretilen tüm güneş pillerinin 100 mW/cm², de ki fotovoltatik parametreleri

Numune Adı	I _{sc} (mA)	J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc} (V)	V _{max} (V)	I _{max} (mA)	FF	η (%)
TiO ₂	0,364	1,456	2,15	1,350	0,193	0,33	1,03
TiO ₂ -%0,2 Ti ₃ C ₂ MXene	0,424	1,696	2,25	1,799	0,249	0,47	1,79
TiO ₂ -%0,4 Ti ₃ C ₂ MXene	0,547	2,188	2,25	1,80	0,369	0,54	2,66
TiO ₂ -%0,6 Ti ₃ C ₂ MXene	0,583	2,330	3,00	2,55	0,536	0,78	5,45
TiO ₂ -%0,8 Ti ₃ C ₂ MXene	0,755	3,020	2,29	1,90	0,439	0,48	3,32
TiO ₂ -%1 Ti ₃ C ₂ MXene	0,487	1,948	2.20	1,55	0,236	0,34	1,46

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında elektroegirme yöntemiyle farklı oranlarda (% 0,2- 0,4- 0,6- 0,8 ve 1) MXene katkılı TiO_2 -MXene nano kompozit fiberler üretilmiş ve yapısal analizleri yapılmıştır. Üretilen fiberler doğrudan FTO yüzeye kaplanarak fotoanaotlar oluşturulmuştur. Fotoanotların yüzeyleri SILAR (successive ionic layer adsorption and reaction) yöntemi kullanılarak CdS kuantum noktalarla kaplanmıştır. Karşı elektrotta ise Pt elektrot kullanılarak kuantum nokta duyarlı güneş pilleri üretilmiş ve üretilen pillerin verimleri karşılaştırılmıştır. Üretilen güneş pillerinin kısa devre akımları (I_{sc}) ve açık devre voltajları (V_{oc}) ölçülmüş ve fotovoltaiik parametreleri hesaplanmıştır. MXene gibi kararlı malzemeler kullanılarak elektroegirme yöntemiyle kompozit üretilmesi oldukça zordur. Ancak bu çalışmada, MXene farklı oranlarda katkılanarak TiO_2 -MXene formunda nano kompozit fiberler başarıyla üretilmiştir. Üretilen tüm nano kompozit fiberler kullanılarak kuantum nokta duyarlı güneş pilleri üretilmiştir.

Piller genel olarak değerlendirildiğinde TiO_2 -MXene nanokompozit tabanlı güneş pillerinin verimlerinin saf TiO_2 güneş pilinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. MXene katkılı pillerde katkı oranı % 0,2- 0,4 ve 0,6 olarak arttığında güneş pillerinin verimleri de periyodik olarak artmış ve % 0,6 oranında MXene katkılı pilde verim en yüksek değerine ulaşmıştır. Ancak katkı oranı 0,6 değerini aştıktan sonra güneş pillerinin verim değerleri düşmeye başlamıştır. Kompozit malzemelerde ideal katkı oranının belirlenmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada düşük katkı oranlarının güneş pilinin verimini artırdığı katkı oranı % 0,6' yı geçtikten sonra verim değerinin düştüğü tespit edilmiştir. İdeal katkı oranının % 0,6 olduğu görülmüştür. Düşük oranda katkılama yapıldığında katkı maddesi (MXene) TiO_2 fiber ağlara zarar vermeden, ya ağların arasına girmekte ya da fiberlerle bütünleşerek fiberlerin karalılığını artırmaktadır. Düşük oranda katkılama yapıldığında TiO_2 metal oksit fiber ağlarla MXene arasında bazı olumlu etkileşimler meydana gelir. İki boyutlu yapıya sahip olan MXene, metal oksitlerin yüzey üzerine düzgün bir şekilde dağılımını ve yerleşmesini sağlayarak boyut ve şekil açısından düzgün bir kristallik sağlar. Düşük oranlarda katkılama yapılarak üretilen kompozit yapılarda bu kristallik kalitesi yapısal analizlerle de doğrulanmıştır. Yapılan çalışmada özellikle yüksek oranda (% 0,8 ve % 1) MXene katkılama yapıldığında yapı bozulmakta, 2D malzemeler yığılmaya başlamakta ve kompozitin yapısal ve elektronik özellikleri

bozulmaktadır. Oluşan bu olumsuzluklar üretilen kuantum nokta duyarlı güneş pillerinin verimlerinin de düşmesine neden olmaktadır.

Üretilen güneş pillerinin 100 mW/cm² aydınlatma şiddeti altında verim değerleri incelendiğinde saf TiO₂ tabanlı güneş pilinin veriminin % 1,03 olduğu görülmüştür. Bu değer düşük sayılabilecek ölçektir. Ancak MXene katkılanması ile birlikte verim değerleri artmıştır. % 0,2- 0,4- 0,6- 0,8 ve 1 MXene katkılı TiO₂-MXene nano kompozit fiber tabanlı güneş pillerinin verimleri sırasıyla % 1,79- % 2,66- % 5,45- % 3,32 ve % 1,46 olarak hesaplanmıştır. 2D yapıda MXene katkılanması kompozit içinde elektron taşıma yolları oluşturarak elektronların FTO elektrota taşınmasını hızlandırmış ve böylece rekombinasyon oranlarını düşürerek pil verimlerinin artmasını sağlamıştır. Bu çalışma göstermiştir ki 2D malzemelerin metal oksit yarıiletkenlere katkılanması güneş pillerinin verimlerini artırmıştır. MXene gibi farklı 2D malzemelerin katkılanması ile gelecekte daha verimli güneş pillerinin üretilmesi mümkün olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- A. Feng, A., Hou, T., Jia, Z., Zhang, Y., Zhang, F., Wu, G., 2020. Preparation and characterization of epoxy resin filled with $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ MXene nanosheets with excellent electric conductivity. *Nanomater.* 10 162. <https://doi.org/10.3390/nano10010162>
- Akın, E., Demiroğlu Mustafov, S., Alyamaç, E., & Seydibeyoğlu, M. Ö. (2020). Elektro Çekim Yöntemi İle Halosit Katkılı Biyo-Bazlı Termoplastik Poliüretan Nanolif Üretimi Ve Karakterizasyonu. *Journal Of Textiles & Engineers/Tekstil Ve Mühendis*, 27(120). <https://doi.org/10.7216/1300759920202712001>
- Alpaslan, Z., 2009. *Bazı İletken Polimerlerin Güneş Pili Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli. YÖKTEZ NO: 245290
- Anasori B., Shi, C., Moon, E.J., Xie, Y.U., Voigt, C.A., Kent, P.R.C., May, S.J., Billinge, S.J.L., Barsoum, M.W., Gogotsi, Y., 2016. Control of electronic properties of 2D carbides (MXenes) by manipulating their transition metal layers. *Nanoscale Horizon.* 1 (3) 227–234, <https://doi.org/10.1039/C5NH00125K>
- Babar, Z.U.D., Fatheema, J., Arif, N., Anwar, M.S., Gul, S., Iqbal, M., Rizwan, S., 2020. Magnetic phase transition from paramagnetic in Nb_2AlC -MAX to superconductivity-like diamagnetic in Nb_2C -MXene: An experimental and computational analysis. *RSC Adv.* 10 25669–25678. <https://doi.org/10.1039/d0ra04568c>
- Caffrey, N.M., 2018. Effect of mixed surface terminations on the structural and electrochemical properties of two-dimensional $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_2$ and V_2CT_2 MXenes multilayers. *Nanoscale* 10 (28) 13520–13530. <https://doi.org/10.1039/C8NR03221A>
- Chaitoglou, S., Tsipas, P., Speliotis, T., Kordas, G., Vavouliotis, A., Dimoulas, A., 2018. Insight and control of the chemical vapor deposition growth parameters and morphological characteristics of graphene/ Mo_2C heterostructures over liquid catalyst. *J. Cryst. Growth* 495 46–53 <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2018.05.015>
- Chandran, M., Thomas, A., Raveendran, A., Vinoba, M., Bhagiyalakshmi, M., 2020. MoS_2 confined MXene heterostructures as electrode material for energy storage application. *J. Energy Storage.* 30.101446. <https://doi.org/10.1016/j>
- Chen, L., Shi, X., Yu, N., Zhang, X., Du, X., & Lin, J. (2018). Measurement and analysis of thermal conductivity of $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ MXene films. *Materials*, 11(9), 1701. <https://doi.org/10.3390/ma11091701>

- Chen, Y., Mastalerz, M., & Schimmelmann, A. (2012). Characterization of chemical functional groups in macerals across different coal ranks via micro-FTIR spectroscopy. *International Journal of Coal Geology*, 104, 22-33. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2012.09.001>
- Deshmukh, K., Kovářík, T., Khadheer Pasha, S.K., 2020. State of the art recent progress in two dimensional MXenes based gas sensors and biosensors: A comprehensive review. *Coord. Chem. Rev.* 424 213514. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2020.213514>
- Dillon, A.D., Ghidui, M.J., Krick, A.L., Griggs, J., May, S.J., Gogotsi, Y., Barsoum, M.W., Fafarman, A.T., Highly conductive optical quality solution-processed films of 2D titanium carbide. 2016. *Adv. Funct. Mater.* 26 (23) 4162–4168. <https://doi.org/10.1002/adfm.v26.2310.1002/adfm.201600357>
- Ding, J., Chen, F., Chen, J., Liang, J., & Kong, J. (2021). MXene-derived TiC/SiBCN ceramics with excellent electromagnetic absorption and high-temperature resistance. *Journal of the American Ceramic Society*, 104(4), 1772-1784. <https://doi.org/10.1111/jace.17596>
- Dong, L., Li, M., Zhao, M., Feng, J., Han, Y., Deng, J., ... & Sun, X. (2014). Hydrothermal synthesis of mixed crystal phases 2-reduced graphene oxide nanocomposites with small particle size for lithium ion batteries. *international journal of hydrogen energy*, 39(28), 16116-16122. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.01.029>
- Enríquez, J.M.H., Lajas, L.A.C., Alamilla, R.G., Alamilla, P.G., Handy, E.B., Galindo, G.C., Serrano, L.A.G., 2013. Synthesis of solid acid catalysts based on TiO₂-SO₄ and Pt/TiO₂-SO₄ applied in n-Hexane isomerization. *Open J. Met.* <https://doi.org/10.4236/ojmetal.2013.33006>
- Freyer, A. and Ortins Savage, N. (2014). Electrospun Silica Nanofiber Mats. In Harper-Leatherman, A. S., Solbrig, C. M. (Eds.), *The Science and Function of Nanomaterials: From Synthesis to Application* (1st ed., pp. 139–150). Retrieved June 30, 2020 from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/bk-2014-1183.ch008>
- Gao, L., Li, C., Huang, W., Mei, S., Lin, H., Ou, Q., Zhang, Y., Guo, J., Zhang, F., Xu, S., Zhang, H., 2020. MXene/polymer membranes: synthesis, properties, and emerging applications. *Chem. Mater.* 32 1703–1747. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.9b04408>
- Geng, D., Zhao, X., Li, L., Song, P., Tian, B., Liu, W., Chen, J., Shi, D., Lin, M., Zhou, W., Loh K.P., 2016. Controlled growth of ultrathin Mo₂C superconducting crystals on liquid Cu surface. *2D Mater.* 4. <https://doi.org/10.1088/2053-1583/aa51b7>

- Ghidiu, M., Lukatskaya, M.R., Zhao, M.-Q., Gogotsi, Y., Barsoum, M.W., 2014. Conductive two-dimensional titanium carbide ‘clay’ with high volumetric capacitance. *Nature* 516 516 (7529) 78–81. <https://doi.org/10.1038/nature13970>
- Gogotsi, Y., Anasori, B., 2019. The Rise of MXenes, *ACS Nano* 13 (8) 8491– 8494. <https://doi.org/10.1021/acsnano.9b06394>
- Gu, J., Lv, Z., Wu, Y., Guo, Y., Tian, L., Qiu, H., ... & Zhang, Q. (2017). Dielectric thermally conductive boron nitride/polyimide composites with outstanding thermal stabilities via in-situ polymerization-electrospinning-hot press method. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 94, 209-216. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.12.014>
- Halim, J., Cook, K.M., Naguib, M., Eklund, P., Gogotsi, Y., Rosen, J., Barsoum, M.W., 2016. X-ray photoelectron spectroscopy of select multi-layered transition metal carbides (MXenes). *Appl. Surf. Sci.* 362 406–417. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.11.089>
- Halim, J., Kota, S., Lukatskaya, M.R., Naguib, M., Zhao, M.-Q., Moon, E.J., Pitock, j., Nanda, J., May, S.J., Gogotsi, Y., Barsoum, M.W., 2016. Synthesis and characterization of 2D molybdenum carbide (MXene) *Adv. Funct. Mater.* 26 (18) 3118– 3127, <https://doi.org/10.1002/adfm.201505328>
- Halim, J., Lukatskaya, M.R., Cook, K.M., Lu, J., Smith, C.R., Näslund, L.-Å., May, S.J., Hultman, L., Gogotsi, Y., Eklund, P., Barsoum, M.W., 2014. Transparent conductive two-dimensional titanium carbide epitaxial thin films, *Chem. Mater.* 26 (7) 2374–2381. <https://doi.org/10.1021/cm500641a>
- Halim, J., Moon, E.J., Eklund, P., Rosen, J., Barsoum, M.W., Ouisse, T., 2018. Variable range hopping and thermally activated transport in molybdenum-based MXenes. *Phys. Rev. B.* 98. <https://doi.org/10.1103/physrevb.98.104202>
- Halim, j., Palisaitis, J., Lu, J., Thörnberg, J., Moon, E.J., Precner, M., Eklund, P., Persson, P.O.Å., Barsoum, M.W., Rosen, J., 2018. Synthesis of two-dimensional Nb_{1.33}C (MXene) with randomly distributed vacancies by etching of the quaternary solid solution (Nb₂/3Sc_{1/3})₂AlC MAX phase. *ACS Appl, Nano Mater.* 1 (6) 2455–2460. <https://doi.org/10.1021/acsanm.8b00332>
- Han, M., Shuck, C.E., Rakhmanov, R., Parchment, D., Anasori, B., Koo, C.M., Friedman, G., Gogotsi B., 2020. Beyond Ti₃C₂Tx: MXenes for electromagnetic interference shielding. *ACS Nano.* 14 5008–5016. <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c01312>
- Han, T., Reneker, D. H., ve Yarin, A. L. (2007). Buckling of jets in electrospinning. *Polymer*, 48 (20), 6064-6076. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2007.08.002>

- Hantanasirisakul, K., Zhao, M.Q., Urbankowski, P., Halim, J., Anasori, B., Kota, S., Ren, C.E., Barsoum, M.W., Gogotsi Y., 2016. Fabrication of $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ MXene transparent thin films with tunable optoelectronic properties. *Adv. Electron. Mater.* 2 1600050. <https://doi.org/10.1002/aelm.201600050>
- Hope, M.A., Forse, A.C., Griffith, K.J., Lukatskaya, M.R., Ghidui, M., Gogotsi, Y., Grey, C.P., 2016. NMR reveals the surface functionalisation of Ti_3C_2 MXene, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 18 (7) 5099–5102. <https://doi.org/10.1039/C6CP00330C>
- Hu, A., Yu, J., Zhao, H., Zhang, H., & Li, W. (2020). One-step synthesis for cations intercalation of two-dimensional carbide crystal Ti_3C_2 MXene. *Applied Surface Science*, 505, 144538. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144538>
- 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. [https://doi.org/10.1016/s0266-3538\(03\)00178-7](https://doi.org/10.1016/s0266-3538(03)00178-7)
- Huber, B., Brodyanski, A., Scheib, M., Orendorz, A., Ziegler, C., & Gnaser, H. (2005). Nanocrystalline anatase TiO_2 thin films: preparation and crystallite size-dependent properties. *Thin Solid Films*, 472(1-2), 114-124. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2004.06.120>
- Imoto, K., Takahashi, K., Yamaguchi, T., Komura, T., Nakamura, J., and Murata, K., (2003). High-performance carbon counter electrode for dye-sensitized solar cells, *Solar energy materials and solar cells* 79 459–69. [https://doi.org/10.1016/s0927-0248\(03\)00021-7](https://doi.org/10.1016/s0927-0248(03)00021-7)
- Jia, J., Xiong, T., Zhao, L., Wang, F., Liu, H., Hu, R., Zhou, J., Zhou, W., Chen, S., 2017. Ultrathin N-doped Mo_2C nanosheets with exposed active sites as efficient electrocatalyst for hydrogen evolution reactions. *ACS Nano* 11 (12) 12509–12518, <https://doi.org/10.1021/acsnano.7b06607>
- Joshi, S., Wang, Q.I., Puntambekar, A., Chakrapani, V., 2017. Facile synthesis of large area two-dimensional layers of transition-metal nitride and their use as insertion electrodes. *ACS Energy Lett.* 2 (6) 1257–1262. <https://doi.org/10.1021/acsenenergylett.7b00240>
- Kailasa, S.K., Kiran, K., Wu, H.F., 2008. Comparison of ZnS Semiconductor Nanoparticles Capped with Various Functional Groups as the Matrix and Affinity Probes for Rapid Analysis of Cyclodextrins and Proteins in Surface-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry. *Anal. Chem.* 80 (24) 9681–9688. <https://doi.org/10.1021/ac8015664>
- Kateshiya, M.R., Malek, N.I., Kailasa, S.K., 2020. Facile synthesis of highly blue fluorescent tyrosine coated molybdenum oxide quantum dots for the detection of imidacloprid pesticide. *J. Mol. Liq.* 319. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114329>

- Khaledialidusti, R., Anasori, B., Barnoush, A., 2020. Temperature-dependent mechanical properties of $Ti_{n+1}C_nO_2$ ($n=1,2$) MXene monolayers: A firstprinciples study. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 22 (6) 3414–3424. <https://doi.org/10.1039/C9CP06721C>.
- Khazaei, M., Arai, M., Sasaki, T., Chung, C.Y., Venkataramanan N.S., Estili, M., Sakka, Y., Kawazoe Y., 2013. Novel electronic and magnetic properties of twodimensional transition metal carbides and nitrides. *Adv. Funct. Mater.* 23 (17) 2185–2192. <https://doi.org/10.1002/adfm.v23.1710.1002/adfm.201202502>
- Khazaei, M., Ranjbar, A., Arai, M., Sasaki, T., Yunoki, S., 2017. Electronic properties and applications of MXenes: a theoretical review, *J. Mater. Chem. C* 5 (10) 2488–2503. <https://doi.org/10.1039/C7TC00140A>
- Kobayashi, T., Sun, Y., Prenger, K.E., Jiang, D.E., Naguib, M., Pruski, M., 2020. On the nature of terminating hydroxyl groups and intercalating water in $Ti_3C_2T_x$ MXenes: A study by ^1H solid-state NMR and DFT calculations. *J. Phys. Chem. C.* 124 13649–13655. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.0c04744>.
- Kyaw, AKK., Wang, DH., Gupta, V., Leong, WL., Ke, L., Bazan, GC., vd., 2013, Intensity dependence of current–voltage characteristics and recombination in high-efficiency solution-processed small-molecule solar cells, *ACS nano*, 7,4569-4577.
- Lee, HyoJoong, Mingkui Wang, Peter Chen, Daniel R Gamelin, Shaik M Zakeeruddin, Michael Gratzel, and Md K Nazeeruddin. 'Efficient CdSe quantum dot-sensitized solar cells prepared by an improved successive ionic layer adsorption and reaction process', *Nano letters*, 9: 4221-27. 2009 <https://doi.org/10.1021/nl902438d>
- Levitt, A. S., Alhabeb, M., Hatter, C. B., Sarycheva, A., Dion, G., and Gogotsi, Y., (2019). Electrospun MXene/carbon nanofibers as supercapacitor electrodes, *Journal of Materials Chemistry A* 7 269–77. <https://doi.org/10.1039/c8ta09810g>
- Li, M., Lu, J., Luo, K., Li, Y., Chang, K., Chen, K., Zhou, J., Rosen, J., Hultman, L., Eklund, P., Persson, P.O.Å., Du, S., Chai, Z., Huang, Z., Huang, Q., 2019. Element replacement approach by reaction with Lewis acidic molten salts to synthesize nanolaminated MAX phases and MXenes. *J. Am. Chem. Soc.* 141 (11) 4730–4737, <https://doi.org/10.1021/jacs.9b0057410.1021/jacs.9b00574.s001>
- Li, T., Yao, L., Liu, Q., Gu, J., Luo, R., Li, J., Yan, X., Wang, W., Liu, P., Chen, B. Zhang, W., Abbas, W., Naz, R., Zhang, D.İ., 2018. Fluorine-free synthesis of high-purity $Ti_3C_2T_x$ ($T= OH, O$) via alkali treatment, *Angew. Chem. Int.* 57 (21) 6115–6119, <https://doi.org/10.1002/anie.v57.2110.1002/anie.201800887>
- Li, X., Fan, G., & Zeng, C. (2014). Synthesis of ruthenium nanoparticles deposited on graphene-like transition metal carbide as an effective catalyst for the hydrolysis of sodium borohydride. *International journal of hydrogen energy*, 39(27), 14927-14934. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.07.029>

- Liu, Y., He, Y., Vargun, E., Plachy, T., Saha, P., & Cheng, Q. (2020). 3D porous Ti₃C₂ MXene/NiCo-MOF composites for enhanced lithium storage. *Nanomaterials*, 10(4), 695. <https://doi.org/10.3390/nano10040695>
- Liu, Z., Fei, Z., Xu, C., Jiang, Y., Ma, X.L., Cheng, H.M., Ren, W., 2017. Phase transition and in situ construction of lateral heterostructure of 2D superconducting a/b Mo₂C with sharp interface by electron beam irradiation. *Nanoscale* 9 (22) (2017) 7501–7507. <https://doi.org/10.1039/C7NR01609C>
- Liu, Z., Xu, C., Kang, N., Wang, L., Jiang, Y., Du, J., Liu, Y., Ma, X.L., Cheng, H.M., Ren, W., 2016. Unique domain structure of two-dimensional a-Mo₂C superconducting crystals, *Nano Lett.* 16 (7) 4243–4250, <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.6b01265> 10.1021/acs.nanolett.6b01265.s001
- Lukatskaya, M. R., Mashtalir, O., Ren, C. E., Dall'Agnese, Y., Rozier, P., Taberna, P. L., ... & Gogotsi, Y. (2013). Cation intercalation and high volumetric capacitance of two-dimensional titanium carbide. *Science*, 341(6153), 1502-1505. <http://doi.org/10.1126/science.1241488>
- Luo, J., Tao, X., Zhang, J., Xia, Y., Huang, H., Zhang, L., ... & Zhang, W. (2016). Sn⁴⁺ ion decorated highly conductive Ti₃C₂ MXene: promising lithium-ion anodes with enhanced volumetric capacity and cyclic performance. *ACS nano*, 10(2), 2491-2499. <https://doi.org/10.1021/acsnano.5b07333>
- Mashtalir, O., Lukatskaya, M. R., Kolesnikov, A. I., Raymundo-Pinero, E., Naguib, M., Barsoum, M. W., & Gogotsi, Y. (2016). The effect of hydrazine intercalation on the structure and capacitance of 2D titanium carbide (MXene). *Nanoscale*, 8(17), 9128-9133. <https://doi.org/10.1039/C6NR01462C>
- Mathpal, M. C., Tripathi, A. K., Singh, M. K., Gairola, S. P., Pandey, S. N., & Agarwal, A. (2013). Effect of annealing temperature on Raman spectra of TiO₂ nanoparticles. *Chemical Physics Letters*, 555, 182-186. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2012.10.082>
- Mei, J., Ayoko, G.A., Hu, C., Bell, J.M., Sun, Z., 2020. Two-dimensional fluorine-free mesoporous Mo₂C MXene via UV-induced selective etching of Mo₂Ga₂C for energy storage. *Sustain Mater. Technology*. 25. <https://doi.org/10.1016/susmat.2020.e00156> e00156
- Miranda, A., Halim, j., Barsoum, M.W., Lorke, A., Electronic properties of freestanding Ti₃C₂T_x MXene monolayers. 2016. *Appl. Phys. Lett.* 108. <https://doi.org/10.1063/1.4939971> 033102
- Modi, R.P., Mehta, V.N., Kailasa, S.K., 2014. Bifunctionalization of silver nanoparticles with 6-mercaptocotinic acid and melamine for simultaneous colorimetric sensing of Cr³⁺ and Ba²⁺ ions *Sensor Actuators B Chem.* 195 562–571. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.01.059>

- Naguib, M., Kurtoglu, M., Presser, V., Lu, J., Niu, J., Heon, M., ... & Barsoum, M. W. (2011). Two-dimensional nanocrystals produced by exfoliation of Ti_3AlC_2 . In MXenes (pp. 15-29). Jenny Stanford Publishing. <https://doi.org/10.1002/adma.201102306>
- Naguib, M., Unocic, R.R., Armstrong, B.L., Nanda, J., 2015. Large-scale delamination of multi-layers transition metal carbides and carbonitrides “MXenes”. Dalton Trans. 44 (20) 9353–9358, <https://doi.org/10.1039/C5DT01247C>
- Nakano, R., Ishiguro, H., Yao, Y. ve diğerleri. İnfluenza virüsünün titanyum dioksit ince filmi ile fotokatalitik inaktivasyonu. Photochem Photobiol Sci 11, 1293–1298 (2012). <https://doi.org/10.1039/c2pp05414k>
- Nicolosi, V., Chhowalla, M., Kanatzidis, M.D., Strano, M.S., Coleman, J.N., 2013. Liquid exfoliation of layered materials. Science 340. <https://doi.org/10.1021/acsanm.9b00286>
- Niltharach, A., Kityakarn, S., Worayingyong, A., Klysubun, W., Songsiriritthigul, P., & Limpijumnong, S. (2012). Structural characterizations of sol–gel synthesized TiO_2 and Ce/ TiO_2 nanostructures. Physica B: Condensed Matter, 407(15), 2915-2918. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2011.08.108>
- Örnek, O., 2012. *İletken Polimer Tabanlı Hibrit Güneş Pili Üretimi ve Karakterizasyonu*, Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli. YÖKTEZ NO: 315089
- Oi, L. E., Choo, M.-Y., Lee, H. V., Ong, H. C., Hamid, S. B. A., & Juan, J. C. (2016). Recent advances of titanium dioxide (TiO_2) for green organic synthesis. RSC Advances, 6(110), 108741-108754 <https://doi.org/10.1039/C6RA22894A>
- Pang, J., Mendes, R.G., Bachmatiuk, A., Zhao, L., Ta, H.Q., Gemming, T., Liu, H., Liu, Z., Rummeli, M.H., 2019. Applications of 2D MXenes in energy conversion and storage systems. Chem. Soc. Rev. 48 (1) 2–133. <https://doi.org/10.1039/C8CS00324F>
- Pang, S.Y., Wong, S.T., Yuan, S., Liu, Y., Tsang, M.K., Yang, Z., Huang, H., Wong, W.T., Hao, J., 2019. Universal strategy for HF-free facile and rapid synthesis of twodimensional MXenes as multifunctional energy materials. J. Am. Chem. Soc. 141(24) 9610–9616. <https://doi.org/10.1021/jacs.9b02578>
- Persson, I., El Ghazaly, A., Tao, Q., Halim, J., Kota, S., Darakchieva, V., Palisaitis, J., Barsoum, M.W., Rosen, J., Persson P.O., 2018. Tailoring structure, composition, and energy storage properties of MXenes from selective etching of in-plane, chemically ordered MAX phases. Small. 14 1703676. <https://doi.org/10.1002/sml.201703676>

- Qi, Y., Meng, C., Xu, X., Deng, B., Han, N., Liu, M., Hong, M., Ning, Y., Liu, K., Zhao, J., Fu, Li, Y., Zhang, Y., Liu, Z., 2017. Unique transformation from graphene to carbide on Re (0001) induced by strong carbon–metal interaction. *J. Am. Chem. Soc.* 139 (48) 17574–17581. <https://doi.org/10.1021/jacs.7b09755>
- Qiao, J.B., Gong, Y., Zuo, W.J., Wei, Y.C., Ma, D.L., Yang, H., Yang, N., Qiao, K.Y., Shi, J.A., Gu, L., He, L., 2017. One-step synthesis of van der Waals heterostructures of graphene and two-dimensional superconducting a-Mo₂C. *Phys. Rev. B.* 95. <https://doi.org/10.1103/physrevb.95.201403>
- Rafique, R., Gul, A.R., Lee, I.G., Baek, S.H., Kailasa, S.K., Iqbal, N., Cho, E.J., Lee, M., Park, T.J., 2020. Photo-induced reactions for disassembling of coloaded photosensitizer and drug molecules from upconversion-mesoporous silica nanoparticles: An effective synergistic cancer therapy. *Mater. Sci. Eng. C.* 110 110545. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.110545>
- Ronchi, R.M., Arantes, J.T., Santos, S.F., 2019. Synthesis, structure, properties and applications of MXenes: Current status and perspectives. *Ceram. Int.* 18167–18188. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.06.114>
- Roy-Mayhew, J.D., Aksay, I.A., 2014. Graphene materials and their use in dye- sensitized solar cells, *Chemical reviews*, 114, 6323-6348. <https://doi.org/10.1021/cr400412a>
- Sarkar, S.D., Uddin, M.M., Roy, C.K., Hossen, M.J., Sujan, M.I., Azam, M.S., 2020. Mechanically tough and highly stretchable poly (acrylic acid) hydrogel crosslinked by 2D graphene oxide. *RSC Adv.* 10 (18) 10949–10958. <https://doi.org/10.1039/D0RA00678E>
- Sarycheva, A., Gogotsi, A.Y., 2020. Raman spectroscopy analysis of the structure and surface chemistry of Ti₃C₂T_x MXene. *Chem. Mater.* 32 (8) 3480–3488. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.0c00359>
- Scheibe, B., Tadyszak, K., Jarek, M., Michalak, N., Kempin'ski, M., Lewandowski, M., Peplin'ska, B., Chybczyn'ska, K., 2019. Study on the magnetic properties of differently functionalized multilayered Ti₃C₂T_x MXenes and Ti-Al-C carbides. *Appl. Surf. Sci.* 479 216–224, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.02.055>
- Shin, H., Kim, K. K., Benayad, A., Yoon, S., Park, H. K., Jung, I. Choi, J. (2009). Efficient reduction of graphite oxide by sodium borohydride and its effect on electrical conductance. *Advanced Functional Materials*, 19 (12), 1987-1992. <https://doi.org/10.1002/adfm.200900167>
- Shuck, C.E., Han, M., Maleski, K., Hantanasirisakul, K., Kim, S.J., Choi, J., Reil, W.E.B., Gogotsi, Y., 2019. Effect of Ti₃AlC₂ MAX phase on structure and properties of resultant Ti₃C₂T_x MXene. *ACS Appl. Nano Mater.* 2 (6) 3368–3376. <https://doi.org/10.1021/acsanm.9b00286>

- Soundiraraju, B., George, B.K., 2017. Two-dimensional titanium nitride (Ti_2N) MXene: synthesis, characterization, and potential application as surface-enhanced Raman scattering substrate. *ACS Nano* 11 8892–8900, <https://doi.org/10.1021/acsnano.7b03129>
- Sun, W., Shah, S.A., Chen, Y., Tan, Z., Gao, H., Habib, T., Radovic, M., Green, M.J., 2017. Electrochemical etching of Ti_2AlC to Ti_2CT_x (MXene) in low-concentration hydrochloric acid solution. *J. Mater. Chem. A* 5 (41) 21663–21668. <https://doi.org/10.1039/C7TA05574A>
- Tan, J., Wang, Y., Wang, Z., He, X., Liu, Y., Wang, B., Katsnelson, M.I., Yuan, S., 2019. Large out-of-plane piezoelectricity of oxygen functionalized MXenes for ultrathin piezoelectric cantilevers and diaphragms. *Nano Energy* 65. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.104058>
- Tao Q., Dahlqvist, M., Lu, J., Kota, S., Meshkian, R., Halim, J., Palisaitis, J., Hultman, L., Barsoum, M.W., Persson, P.O., Rosen, J., 2017. Two-dimensional $\text{Mo}_{1.33}\text{C}$ MXene with divacancy ordering prepared from parent 3D laminate with inplane chemical ordering. *Nat. Commun.* 1–7. <https://doi.org/10.1038/ncomms14949>
- Taylor, G. I. (1964). Disintegration of water drops in an electric field. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 280 (1382), 383-397. <https://doi.org/10.1098/rspa.1964.0151>
- Taylor, G. I. (1969). Electrically driven jets. *Proceedings of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences*, 313 (1515), 453-475. <https://doi.org/10.1098/rspa.1969.0205>
- Tian, Z., Wei, C., Sun, J., 2020. Recent advances in the template-confined synthesis of two-dimensional materials for aqueous energy storage devices, *Nanoscale Adv.* 2 (6) 2220–2233. <https://doi.org/10.1039/D0NA00257G>
- Tsega, M., & Dejene, F. B. (2017). Influence of acidic pH on the formulation of TiO_2 nanocrystalline powders with enhanced photoluminescence property. *Heliyon*, 3(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00246>
- Urbankowski, P., Anasori, B., Makaryan, T., Er, D., Kota, S., Walsh, P.L., Zhao, M., Shenoy, V.B., Barsoum, M.W., Gogotsi, Y., 2016. Synthesis of two-dimensional titanium nitride Ti_4N_3 (MXene). *Nanoscale* 8 (22) 2016 11385–11391. <https://doi.org/10.1039/C6NR02253G>
- Verger, L., Xu, C., Natu, V., Cheng, H-M., Ren W., Barsoum M.W., 2019. Overview of the synthesis of MXenes and other ultrathin 2D transition metal carbides and nitrides. *Curr. Opin. Solid State Mater. Sci.* 23 (3) 149–163. <https://doi.org/10.1016/j.cossms.2019.02.001>
- Viana, M. M., Soares, V. F., & Mohallem, N. D. S. (2010). Synthesis and characterization of TiO_2 nanoparticles. *Ceramics International*, 36(7), 2047-2053. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2010.04.006>

- Wageha, S., Al-Ghamdia, A., Soylu, M., Al-Turkie, Y., El Shirbeenya, W., Yakuphanoglu, F., 2013. Improvement of Efficiency in CdS Quantum Dots Sensitized Solar Cells, ACTA PHYSICSA POLONICA A, 124, 750. DOI: [10.12693/APhysPolA.124.750](https://doi.org/10.12693/APhysPolA.124.750)
- Wang, H., Leonard, S. L., & Hu, Y. H. (2012). Promoting effect of graphene on dye-sensitized solar cells. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51 (32), 10613-10620. <https://doi.org/10.1021/ie300563h>
- Wang, H., Leonard, S.L., Hu, Y.H., 2012. Promoting effect of graphene on dye- sensitized solar cells, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51, 10613-10620. <https://doi.org/10.1021/ie300563h>
- Wang, L., Chen, L., Song, P., Liang, C., Lu, Y., Qiu, H., Zhang, Y., Kong, J., and Gu, J., (2019). Fabrication on the annealed $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ MXene/Epoxy nanocomposites for electromagnetic interference shielding application, *Composites Part B: Engineering* 171 111–8, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.04.050>.
- Wang, Z., Kochat, V., Pandey, P., Kashyap, S., Chattopadhyay, S., Samanta, A., Sarkar, S., Manimunda, P., Zhang, X., Asif, S., Singh, A.K., 2017. Metal immiscibility route to synthesis of ultrathin carbides, borides, and nitrides. *Adv. Mater.* 29 1700364, <https://doi.org/10.1002/adma.201700364>
- Wong, Z.M., Tan, T.L., Tieu, A.J.K., Yang, S-W., Xu, G.Q., 2019. Computational discovery of transparent conducting in-plane ordered MXene (i-MXene) alloys. *Chem. Mater.* 31 (11) 4124–4132, <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.9b00881>
- Wu, Q., Huang W., Wang Y., Wang, C., Zheng, Z., Chen, H., Zhang, M., Zhang, H., 2020. All optical control of microfiber knot resonator based on 2D Ti_2CT_x MXene, *Adv. Opt. Mater.* 8 1900977. <https://doi.org/10.1002/adom.201900977>
- Xue, Q., Pei, Z., Huang, Y., Zhu, M., Tang, Z., Li, H., ... & Zhi, C. (2017). Mn_3O_4 nanoparticles on layer-structured Ti_3C_2 MXene towards the oxygen reduction reaction and zinc–air batteries. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(39), 20818-20823. <https://doi.org/10.1039/C7TA04532H>
- Yan Z., Yunfei L., Xianfeng M., Fabrication of TiO_2 nanofibers/MXene Ti_3C_2 nanocomposites for photocatalytic H_2 evolution by electrostatic self-assembly, *Applied Surface Science*, Volume 496, 2019, 143647, ISSN 0169-4332, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.143647>
- Yang, F., Song, P., Ruan, M., Xu, W., 2019. Recent progress in two-dimensional nanomaterials: Synthesis, engineering, and applications. *Flat Chem.* 18. <https://doi.org/10.1016/j.flatc.2019.100133>

- Yang, S., Zhang, P., Wang, F., Ricciardulli, A.G., Lohe, M.R., Blom, P.W.M., Feng, X., 2018. Fluoride-free synthesis of two-dimensional titanium carbide (MXene) using a binary aqueous system. *Angew. Chem. Int.* 57 (47) 15491–15495. <https://doi.org/10.1002/anie.v57.4710.1002/anie.201809662>
- Yang, Zusing, Chia-Ying Chen, Chi-Wei Liu, and Huan-Tsung Chang. 'Electrocatalytic sulfur electrodes for CdS/CdSe quantum dot-sensitized solar cells', *Chemical Communications*, 46: 5485-87. 2010 <https://doi.org/10.1039/c0cc00642d>
- Ying, G., Dillon, A.D., Fafarman, A.T., Barsoum, M.W., 2017. Transparent, conductive solution processed spincoated 2D Ti_2CT_x (MXene) films. *Mater. Res. Lett.* 5 6 391–398 <https://doi.org/10.1080/21663831.2017.1296043>
- Ying, G., Kota, S., Dillon, A.D., Fafarman, A.T., Barsoum, M.W., 2018. Conductive transparent V_2CT_x (MXene) films. *Flat Chem* 8 25–30, <https://doi.org/10.1016/j.flatc.2018.03.001>
- Zhang, C., Anasori, B., Seral-Ascaso, A., Park, S.H., McEvoy, N., Shmeliov, A., Duesberg, G.S., Coleman, J.N., Gogotsi, Y., Nicolosi, V., 2017. Transparent, flexible, and conductive 2D titanium carbide (MXene) films with high volumetric capacitance. *Adv. Mater.* 29 1702678. <https://doi.org/10.1002/adma.201702678>
- Zhang, F., Zhang, Z., Wang, H., Chan, C.H., Chan, N.Y., Chan, X.X., Dai, J.Y., 2017. Plasma-enhanced pulsed-laser deposition of single-crystalline Mo_2C ultrathin superconducting films. *Phys. Rev. Mater.* 1. <https://doi.org/10.1103/physrevmaterials.1.034002>
- Zhang, Y., Zhou, Z., Lan, J., Zhang, P., 2019. Prediction of $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{O}_2$ MXene as an effective capturer of formaldehyde. *Appl. Surf. Sci.* 469 770–774, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.11.018>
- Zhang, Y., Guo, B., Hu, L., Xu, Q., Li, Y., Liu, D., Xu, M., 2018. Synthesis of SnS nanoparticle-modified MXene ($\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$) composites for enhanced sodium storage, *J. Alloys Compd.* 732 448–453. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.10.223>

ÖZGEÇMİŞ

1. KİŞİSEL BİLGİLER			
Adı Soyadı : Abuzer Fikret DEMİREL			
ORCID : https://orcid.org/0000-0002-5347-7828			
Doğum tarihi :			
Doğum yeri :			
E mail :			
2. ÖĞRENİM BİLGİLERİ			
Derece	Alan	Üniversite	Yıl
3. İŞ TECRÜBELERİ			
4. YAYINLAR			
5. ULUSLARARASI SÖZLÜ BİLDİRİLER			