

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

**KİTOSAN KATKILI POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN  
MEKANİK, FİZİKSEL, TRİBOLOJİK VE ANTİBAKTERİYEL  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Erol KILIK**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL**

**Eylül 2018**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİTOSAN KATKILI POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN  
MEKANİK, FİZİKSEL, TRİBOLOJİK VE ANTİBAKTERİYEL  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

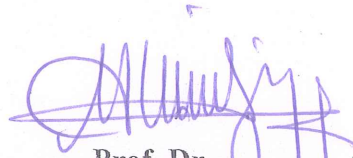
YÜKSEK LİSANS TEZİ


Erol KILIK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ

Bu tez 10.09.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr.  
Fehim FİNDİK  
Jüri Başkanı

  
Prof. Dr.  
Hüseyin ÜNAL  
Üye

  
Dr. Öğr. Üyesi  
Serkan APAY  
Üye

## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.



Erol KILIK  
10.09.2018

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin Ünal'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin hazırlanmasında desteğini esirgemeyen Uludağ Üniversitesi, Sakarya Üniversitesi ve Bursa Teknik Üniversitesi mensubu arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. Ayrıca, atölye ve laboratuvar olanakları ile bana destek veren Pimar Plastik Firması Genel Müdürü Erol Çalışkan ve ekip arkadaşlarına, STM Teknik Firması Genel Müdürü Semih Uslu ve ekip arkadaşlarına, Plaska Makine Kalıp Plastik Firma Yetkilisi Muhammet Hamdi Kayabaşı ve ekip arkadaşlarına, Federal Elektrik Firma Yetkilisi Ruhi Şenoğlu ve ekip arkadaşlarına teşekkür etmeyi borç bilirim.

Son olarak destekleri ve anlayışları için sevgili aileme çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	ix
TABLolar LİSTESİ .....	xiii
ÖZET .....	xiv
SUMMARY .....	xv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
POLİPROPİLEN VE KİTOSANIN ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI .....	23
2.1. Polipropilen Polimerinin Özellikleri ve Kullanım Alanları .....	23
2.2. Kitosanın Özellikleri ve Kullanım Alanları .....	25
2.2.1. Kitosanın antibakteriyel etkisi .....	28
BÖLÜM 3.	
DENEY MALZEMELERİ VE YAPILAN DENEYLER .....	29
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Üretim Yöntemi .....	29
3.2. Yapılan Deneyler .....	33
3.2.1. Çekme deneyi .....	34
3.2.2. Darbe deneyi .....	34
3.2.3. Sertlik deneyi .....	36
3.2.4. Eğilme deneyi .....	37
3.2.5. Yoğunluk deneyi .....	37

3.2.6. Aşınma deneyi .....	38
3.2.7. Yanmazlık deneyi .....	40
3.3. Antibakteriyel Testler .....	41

#### BÖLÜM 4.

DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA .....	43
4.1. Deney Malzemelerinin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi .....	43
4.1.1. Deney malzemelerinin çekme deneyleri .....	43
4.1.1.1. Deney malzemelerinin çekme mukavemeti-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	44
4.1.1.2. Deney malzemelerinin çekmedeki % uzama-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	46
4.1.1.3. Deney malzemelerinin elastiklik modülü-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	48
4.1.1.4. Deney malzemelerinin kopma mukavemeti-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	50
4.1.1.5. Deney malzemelerinin kopmadaki % uzama-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	52
4.1.1.6. Kopma yüzeylerinin SEM mikroyapıları .....	54
4.1.2. Deney malzemelerinin darbe deneyleri .....	58
4.1.2.1. Deney malzemelerinin çentikli izod darbe deneyine göre darbe mukavemeti-kitosan katkı oranı ilişkisi ...	59
4.1.2.2. Deney malzemelerinin çentiksiz izod darbe deneyine göre darbe mukavemeti-kitosan katkı oranı ilişkisi...	61
4.1.3. Deney malzemelerinin eğilme deneyleri .....	62
4.1.3.1. Deney malzemelerinin eğilme mukavemeti-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	64
4.1.3.2. Deney malzemelerinin eğilme modülü-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	66
4.1.4. Deney malzemelerinin sertlik deneyleri .....	68
4.1.4.1. Deney malzemelerinin sertlik-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	68

4.2. Deney Malzemelerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi .....	70
4.2.1. Deney malzemelerinin yoğunluk deneyleri .....	70
4.2.1.1. Deney malzemelerinin yoğunluk-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	70
4.3. Deney Malzemelerinin Sürtünme ve Aşınma Özelliklerinin Belirlenmesi .....	72
4.3.1. Deney malzemelerinin sürtünme katsayılarına uygulanan hızın etkisi .....	73
4.3.1.1. PP polimerinin farklı hızlarda sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi .....	73
4.3.1.2. PP+%10 kitosan kompozitinin farklı hızlarda sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi .....	75
4.3.1.3. PP+%20 kitosan kompozitinin farklı hızlarda sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi .....	76
4.3.1.4. PP+%30 kitosan kompozitinin farklı hızlarda sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi .....	78
4.3.1.5. PP+%10 asetik asit modifiyeli kitosan kompozitinin farklı hızlarda sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi .....	80
4.3.1.6. PP+%20 Asetik asit modifiyeli kitosan kompozitinin farklı hızlarda sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi .....	81
4.3.1.7. PP+%30 Asetik asit modifiyeli kitosan kompozitinin farklı hızlarda sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi .....	83
4.3.2. Deney malzemelerinin sürtünme katsayısı ve aşınma sonuçlarına uygulanan yükün etkisi .....	84
4.3.3. Aşınma deneyi numunelerinin SEM/EDS analizi ve çelik diskin mikroyapıları .....	89
4.4. Deney Malzemelerinin Yanmazlık Özelliklerinin Belirlenmesi .....	95
4.4.1. Deney malzemelerinin yanmazlık deneyleri .....	95
4.5. Deney Malzemelerinin Antibakteriyel Özelliklerinin Belirlenmesi ...	100

4.5.1. Deney malzemelerinin ATCC 6538 Staphylococcus Aureus'a karşı antibakteriyel etkisinin belirlenmesi .....	100
4.5.2. Deney malzemelerinin ATCC 35218 Escherichia Coli'ye karşı antibakteriyel etkisinin belirlenmesi .....	103
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	107
5.1. Sonuçlar .....	107
5.2. Öneriler .....	108
KAYNAKLAR .....	110
ÖZGEÇMİŞ .....	118



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

3-APE	: 3-aminopropiltrioksisilan
°C	: Santigrat derece
AA	: Asetik asit
Ag	: Gümüş
AISI	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Alüminyum oksit
APP	: Amonyum polifosfat
ATCC	: Amerikan Tıp Kültür Koleksiyonu
Au	: Altın
Bap	: Şeker kamışı külü partikülleri
C	: Karbon
CBp	: Kömürleşmiş kemik partikülleri
CF	: Karbon elyaf
CONE	: Koni kalorimetre
Cr	: Krom
Cs, CS	: Kitosan
CTAB	: Setil trimetil amonyum bromid
DD	: Deasitilasyon derecesi
dk	: Dakika
DNA	: Deoksiribo nükleik asit
E. coli	: Escherichia coli
EDS	: Enerji saçınım spektrometresi
EHCs	: Etilamin hidroksietil kitosan

Fe	: Demir
F <sub>N</sub>	: Normal kuvvet
F <sub>s</sub>	: Yanal sürtünme kuvveti
FTIR	: Fourier dnml infrared spektrofotometre
G	: Glisidil
GF	: Cam elyaf
gr	: Gram
HDPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
HUMCS	: Kitosan bazlı karbonlama maddesi
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
IFR	: Intumescent alev geciktirici
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı
K	: Potasyum
kj	: Kilojul
LLDPE	: Lineer düşük yoğunluklu polietilen
LOI	: Limit oksijen indeksi
m	: Metre
m <sup>2</sup>	: Metrekare
MA	: Maleik anhidrit
MCHP	: Kitosan fosfatlı melamin tuzu
MFI	: Erime akış indeks değeri
mm	: Milimetre
mm <sup>2</sup>	: Milimetrekare
MMT	: Montmorillonit kili
MMT	: Anyonik montmorillonit kili
Mn	: Manganez
Mpa	: Megapaskal
N	: Newton
Na	: Sodyum

NC	: Nanokil
Ni	: Nikel
OMMT	: Organik modifiyeli montmorillonit
PA 6	: Polyamid 6
PBSA	: Poli butilen süksinat adipat
PCS	: Fosfor pentoksit aşılı kitosanın
Pd	: Paladyum
pH	: Hidrojen kuvveti, asitlik derecesi
PLA	: Polilaktik asit
POM	: Polioksimetilen
PP	: Polipropilen
Pt	: Platinyum
PTFE	: Poli-tetra-floro-etilen
PU	: Poliüretan
PVA	: Polivinil alkol
RLDPE	: Geri dönüşümlü düşük yoğunluklu polietilen
s	: Saniye
S. Aureus	: Staphylococcus aureus
SDS	: Sodyum dodesil sülfat
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
TEM	: Transmisyon elektron mikroskobu
TiO <sub>2</sub>	: Titanyum dioksit
TS	: Zerdeçal
UHMWPE	: Ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen
WPC	: Ahşap katkılı polipropilen
μ	: Sürtünme katsayısı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Endüstriyel Tip Ekstrüzyon Makinesi .....	29
Şekil 3.2. Plastik kırma makinesi .....	29
Şekil 3.3. Granül haline getirilmiş PP kompozitleri .....	30
Şekil 3.4. Asetik asit çözeltisi ile kitosanın manyetik karıştırıcıda karıştırılması ..	30
Şekil 3.5. Deneilerde kullanılan plastik enjeksiyon makinası .....	31
Şekil 3.6. Çekme deneyi numunelerinin şekli ve boyutları [88]	32
Şekil 3.7. Zwick-Roell çekme-eğilme testi cihazı .....	33
Şekil 3.8. Darbe deneyi numunelerinin şekli ve boyutları [88] .....	34
Şekil 3.9. Zwick-Roell Hit 5,5 P darbe dayanımı test cihazı .....	34
Şekil 3.10. Devontrans DVT CDA çentik açma cihazı .....	34
Şekil 3.11. Tronic shore A-D sertlik ölçme test cihazı .....	35
Şekil 3.12. Eğilme deneyi numunelerinin şekli ve boyutları [88] .....	36
Şekil 3.13. And/gr 200 yoğunluk testi cihazı .....	36
Şekil 3.14. Aşınma test cihazı .....	38
Şekil 3.15. Federal KT01 kızaran tel test cihazı .....	40
Şekil 3.16. Antibakteriyel etkinliğin belirlenmesinde kullanılan deney numunesi örneği .....	41
Şekil 4.1. Saf PP ve modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin çekme mukavemeti-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	44
Şekil 4.2. Saf PP, modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin çekmedeki % uzama-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	46
Şekil 4.3. Saf PP ve modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin elastiklik modülü-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	48
Şekil 4.4. Saf PP ve modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin kopma mukavemeti-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	50
Şekil 4.5. Modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin	

kopmadaki % uzama-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	52
Şekil 4.6. PP polimerinin kopma yüzey SEM görüntüsü .....	53
Şekil 4.7. %10, 20 ve 30 kitosan katkılı kompozitlerin kopma yüzeyleri SEM görüntüleri.....	53
Şekil 4.8. %10, 20 ve 30 AA. modifiyeli kitosan katkılı kompozitlerin kopma yüzeyleri SEM görüntüleri .....	53
Şekil 4.9. Saf PP ve modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin iso 180 çentikli izod darbe deneyine göre darbe mukavemeti–kitosan katkı oranı ilişkisi .....	59
Şekil 4.10. Saf PP ve modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin iso 180 çentiksiz izod darbe deneyine göre darbe mukavemeti–kitosan katkı oranı ilişkisi .....	61
Şekil 4.11. Saf PP ve modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin eğilme mukavemeti-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	64
Şekil 4.12. Saf PP ve modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin eğilme modülü-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	66
Şekil 4.13. Saf PP ve modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin Shore-D sertlik değeri-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	68
Şekil 4.14. Saf PP, modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin yoğunluk-kitosan katkı oranı ilişkisi .....	71
Şekil 4.15. PP Polimerinin 1,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi .	73
Şekil 4.16. PP polimerinin 2,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi .	73
Şekil 4.17. PP+%10 kitosan kompozitin 1,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi .....	74
Şekil 4.18. PP+%10 kitosan kompozitin 2,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi .....	75
Şekil 4.19. PP+%20 kitosan kompozitin 1,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi .....	76
Şekil 4.20. PP+%20 kitosan kompozitin 2,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi .....	77
Şekil 4.21. PP+%30 kitosan kompozitin 1,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi .....	78

Şekil 4.22. PP+%30 kitosan kompozitin 2,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi .....	78
Şekil 4.23. PP+%10 AA modifiyeli kitosan kompozitin 1,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi .....	79
Şekil 4.24. PP+%10 AA modifiyeli kitosan kompozitin 2,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi .....	80
Şekil 4.25. PP+%20 AA modifiyeli kitosan kompozitin 1,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi .....	81
Şekil 4.26. PP+%20 AA modifiyeli kitosan kompozitin 2,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi .....	81
Şekil 4.27. PP+%30 AA modifiyeli kitosan kompozitin 1,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi .....	82
Şekil 4.28. PP+%30 AA modifiyeli kitosan kompozitin 2,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi .....	83
Şekil 4.29. PP ve kompozitlerinin 1.0 m/s hızda sürtünme katsayısı-yük ilişkisi ..	84
Şekil 4.30. PP ve kompozitlerinin 2,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-yük ilişkisi ..	85
Şekil 4.31. PP ve kompozitlerinin 1,0 m/s hızda aşınma oranı-yük ilişkisi .....	86
Şekil 4.32. PP ve kompozitlerinin 2,0 m/s hızda aşınma oranı-yük ilişkisi .....	87
Şekil 4.33. %30 kitosan katkı PP kompozitin EDS analizinde kullanılmış olan noktalar .....	89
Şekil 4.34. %30 kitosan katkı PP kompozitin EDS analizi sonuç grafikleri .....	89
Şekil 4.35. %30 AA modifiyeli kitosan katkı PP kompozitin EDS analizi görüntüsü .....	90
Şekil 4.36. %30 AA modifiyeli kitosan katkı PP kompozitin EDS analizi sonuç grafikleri .....	90
Şekil 4.37. PP polimeri yıpranmış yüzey SEM görüntüsü .....	91
Şekil 4.38. %10, 20 ve 30 kitosan katkı kompozitlerin yıpranmış yüzey SEM görüntüleri .....	91
Şekil 4.39. %10, 20 ve 30 AA modifiyeli kitosan katkı kompozitlerin yıpranmış yüzey SEM görüntüleri .....	91
Şekil 4.40. Çelik diskin PP polimeri ile sürtünme yüzeyinin SEM görüntüsü .....	91
Şekil 4.41. Çelik diskin %10, 20 ve 30 kitosan katkı kompozitler ile sürtünme	

yüzeylerinin SEM görüntüleri .....	92
Şekil 4.42. Çelik diskin %10, 20 ve 30 AA modifiyeli kitosan katkı kompozitler ile sürtünme yüzeylerinin SEM görüntüleri .....	92
Şekil 4.43. Deney numunelerinin S. Aureus'a karşı antibakteriyel etkinliğinin incelenmesi .....	101
Şekil 4.44. Deney numunelerinin E. Coli'ye karşı antibakteriyel etkisinin incelenmesi .....	103

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan polimerin ticari ve teknik bilgileri .....	28
Tablo 3.2. Deneylerde kullanılan kitosanın ticari ve teknik bilgileri .....	28
Tablo 3.3. Deneylerde kullanılan PP polimeri ve kompozitlerinin bilgileri .....	31
Tablo 3.4. Enjeksiyon makinesinde uygulanan proses değerleri .....	32
Tablo 4.1. Deney malzemelerinin çekme mukavemeti değerleri .....	43
Tablo 4.2. Deney malzemelerinin çekmedeki % uzama oranları .....	45
Tablo 4.3. Deney malzemelerinin elastiklik modülü değerleri .....	47
Tablo 4.4. Deney malzemelerinin kopma mukavemeti değerleri .....	49
Tablo 4.5. Deney malzemelerinin kopmadaki % uzama oranları .....	51
Tablo 4.6. Deney malzemelerinin ISO 180 standardına göre çentikli izod darbe mukavemeti değerleri .....	58
Tablo 4.7. Deney malzemelerinin ISO 180'e göre çentiksiz izod darbe değerleri .	60
Tablo 4.8. Deney malzemelerinin eğilme mukavemeti değerleri .....	63
Tablo 4.9. Deney malzemelerinin eğilme modülü değerleri .....	65
Tablo 4.10. Deney malzemelerinin belirlenen sertlik değerleri .....	67
Tablo 4.11. Deney malzemelerinin yoğunluk değerleri .....	70
Tablo 4.12. PP ve kompozitlerinin yanmazlık deney sonuçları .....	96



## ÖZET

Anahtar kelimeler: Kitosan, polipropilen, kompozit, antibakteriyel, mekanik, triboloji

Bu çalışmada, katkısız PP polimeri ile kitosan katkılı polipropilen (PP) kompozitlerin mekanik, fiziksel, tribolojik ve antibakteriyel özellikleri incelenmiştir. Kullanılan malzemeler; %10kitosan katkılı PP, %20kitosan katkılı PP, %30kitosan katkılı PP, ile asetik asit ile modifiyeli %10kitosan, %20kitosan ve %30kitosan katkılı polipropilen kompozitlerdir. Kompozit malzeme üretimi tek vidalı ekstrüderde gerçekleştirilmiştir. Katkısız PP ve kitosan katkılı PP kompozit malzemelerin test numuneleri enjeksiyonla kalıplama tekniği ile üretilmiştir. Kalıplanan numunelerin mekanik, fiziksel, tribolojik, yanmayı geciktiricilik ve antibakteriyel özellikleri incelenmiştir. Çekme, eğme, darbe gibi mekanik testler, yoğunluk ve sertlik gibi fiziksel testler, pin-disk aşınma testi, kızgın tel deneyi ile antibakteriyel testleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, çekme mukavemeti, çekmedeki elastiklik modülü, kopmadaki % uzama, kopma mukavemeti, darbe mukavemeti, eğilme mukavemeti, eğmedeki elastiklik modülü, yoğunluk, Shore D sertlik testi, sürtünme katsayısı, spesifik aşınma oranı ile Escherichia Coli ile Staphylococcus Aureus bakterilerine karşı antibakteriyel özellikler incelenmiştir. Buna ilaveten, numunelerin kırılma ve aşınma yüzeylerinin mikroyapıları optik ve taramalı elektron mikroskop kullanılarak incelenmiştir.

# **THE INVESTIGATION OF MECHANICAL, PHYSICAL, TRIBOLOGICAL AND ANTIBACTERIAL PROPERTIES OF CHITOSAN FILLED POLYPROPYLENE COMPOSITES**

## **SUMMARY**

Keywords: chitosan, polypropylene, composite, antibacterial, mechanical, tribology

In this study, the mechanical, physical, tribological and antibacterial properties of polypropylene (PP) composites with addition of chitosan filled PP polymer were investigated. In the study used materials are as follows; 10wt.%chitosan filled PP, 20wt.%chitosan filled PP, 30wt. %chitosan filled PP, 10wt.% chitosan modified with acetic acid filled PP, 20wt.% chitosan modified with acetic acid filled PP and 30wt.% chitosan modified with acetic acid filled PP composites.

Composite material production was carried out in a single screw extruder. Test samples of pure PP and chitosan filled PP composite materials were produced by injection molding technique. Mechanical, physical, tribological, flame retardancy and antibacterial properties of molded samples were investigated.

Mechanical tests such as tensile, bending, impact, physical tests such as density and hardness, pin-disc wear test, glow wire test and antibacterial tests have been performed. Tensile strength, tensile modulus, elongation at break, fracture strength, flexural strength, flexural modulus, density, Shore D hardness tests, friction coefficient, specific wear rate and antibacterial properties of test samples against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* bacteria were investigated. In addition, the microstructural properties of the fracture and wear surfaces of the test samples were examined using optical and scanning electron microscopy (SEM).

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Polimerler, günümüzde teknolojinin bütün alanlarına girmiş ve hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Polimerlerin birçok özelliği katkı maddeleri ile gereksinimlere göre geliştirilebilmektedir. Bu özelliklerinden bazıları mekanik, fiziksel, tribolojik, yanma ve antibakteriyel özellikleridir. Polimerik kompozit malzeme üretiminde polipropilen oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğal bir biyopolimer olan kitosan ise özellikle son yıllarda hem kompozit üretilmesinde hem de çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Kitosan, antibakteriyel özelliği sahip doğal bir madde olması nedeniyle tekstil terbiyesi, gıda katkısı, gıda ambalajı, tarımsal malzeme, biyomedikal malzeme ve kompozit katkı maddesi gibi pek çok amaçla kullanılabilir. Bunlara ilaveten, polimerlerin mekanik, fiziksel, tribolojik ve yanma özelliklerini de etkilemektedir. Aşağıda, başta PP/kitosan kompozitler olmak üzere, diğer benzer polimer esaslı kompozit malzemeler üzerine yapılan bazı bilimsel çalışmalara yer verilmiştir.

Salmah ve arkadaşları [1], kitosan katkılı polipropilen kompozit malzemelerinin mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek için arayüzey uyumluluğunu artırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada dolgu maddesi olarak kitosan kullanmış ve PP ile arasındaki uyumluluğu arttırmak için ise kitosan 3-aminopropiltrietoksisilan (3-APE) ile modifiye edilmiştir. Deney malzemelerinde hem modifiyeli hem de saf kitosanın katkı oranları %0, %10, %20, %30 ve %40 olarak tercih edilmiştir. 3-APE modifiyeli kitosanın, kompozit malzemenin mekanik özellikleri, morfolojisi, FTIR ve termal özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, modifiyesiz kitosan katkı oranındaki artışın kompozitin çekme mukavemeti ve kopma % uzaması değerlerini düşürdüğü, fakat elastiklik modülünü arttırdığı gözlenmiştir. 3-APE modifiyeli kitosan katkılı kompozit, diğer kompozit ile karşılaştırıldığında çekme mukavemeti ve elastiklik modülünün daha

yüksek, fakat kopmaki % uzama değerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, çekme mukavemeti değeri %10 katkı oranı kullanılmış olanında en yüksek değerine ulaştığı ve PP polimerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. %10-%20 katkı oranları kullanıldığında da PP polimerinden daha yüksek değerinde olduğu fakat katkı oranı arttıkça buna bağlı olarak azalma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kitosanın 3-APE ile modifiye edilmesi kompozitin termal stabilite ve kristallik gibi termal özelliklerini geliştirdiği tespit edilmiştir. Son olarak, modifiyeli ve modifiyesiz kitosan katkısının sertlik değerlerini arttırdığı belirtilmiş ve SEM ile yapılan yüzey incelemelerinin sonucunda 3-APE modifiyeli kitosan ile PP arasındaki arayüzey etkileşimi ve yapışmanın daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Salmah ve arkadaşları [2], asetik asit modifiyeli kitosan katkılı PP polimer kompozitin mekanik ve termal özelliklerine, kitosan katkı miktarı ve modifiye işleminin etkilerini araştırmışlardır. Hem modifiyeli hem de saf kitosan katkı oranları %0, %10, %20, %30 ve %40 olarak tercih etmişlerdir. Çalışmada, modifiyesiz kitosan katkı oranının artması ile PP polimer kompozitin çekme mukavemeti, kopmaki % uzaması ve kristallik değerlerinde azalma olduğu tespit edilirken elastiklik modülü ve termal kararlılık değerlerinin ise arttığı tespit edilmiştir. Asetik asit modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitin çekme mukavemeti değeri %10 katkı oranı kullanılmış olanında en yüksek değerine ulaştığı ve PP polimerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. %10-%30 katkı oranları kullanıldığında da PP polimerinden daha yüksek değerlerde olduğu fakat katkı oranı arttıkça buna bağlı olarak azalma olduğu tespit edilmiştir. Elastiklik modülü değerlerinde ise katkı oranı artmasına bağlı olarak artma olduğu, termal kararlılık, kristallik ve camsı geçiş sıcaklığı değerlerinde de iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kırılma yüzeyleri üzerinden yapılan incelemeler sonucunda asetik asitin, PP/kitosan arasında arayüzey etkileşimini arttırdığı tespit edilmiştir. Aynı çalışmada modifiyeli ve modifiyesiz PP/Kitosan, kitosan katkı içeriğinin artmasına bağlı olarak kopmadaki % uzama değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir.

Salmah ve arkadaşları [3], kitosan katkılı PP polimer kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, morfolojisi ve termal özellikleri üzerine modifiyesiz ve akrilik

asit modifiyesinin etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, modifiyesiz kompozit malzeme bünyesindeki kitosan katkı miktarının artması ile çekme mukavemeti ve kopmadaki % uzama değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, elastiklik modülü değerinde kitosan katkı miktarının artmasına bağlı olarak artma olduğu tespit edilmiştir. Akrilik asit modifiyeli PP kompozit malzemesinde ise çekme mukavemeti değerinin %10 katkı oranı kullanılmış olanında en yüksek değerine ulaştığı ve PP polimerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Diğer katkı oranları kullanıldığında da PP polimerinden daha yüksek değerlerde olduğu fakat katkı oranı arttıķça buna bağlı olarak azalma olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, modifiye kitosan katkı miktarının artmasına bağlı olarak kopmadaki % uzama değerlerinde azalma olduğu, elastiklik modülü değerinde artma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kırılma yüzeylerinin incelenmesi sonucunda akrilik asit ile kitosanın modifiye işleminin PP/kitosan arasındaki arayüzey etkileşimini arttırdığı gözlenmiştir. Termogravimetrik analiz verileri sonucunda PP polimeri bünyesindeki kitosan katkı miktarının artması ile PP polimer kompozitin ısıl kararlılığının iyileştiği tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten PP polimer matrisinde kullanılan kitosan katkı miktarı artması ile ergime sıcaklığında önemli oranda bir değişim olmadığı, kristalliğinde ise hafif azalma olduğu tespit edilmiştir.

Faisal ve arkadaşları [4], kitosan katkılı PP polimer kompozit malzemelerin özelliklerine organosolv lignin'in etkileri üzerine araştırma yapmışlardır. Bitkisel kaynaklı bir malzeme olarak bulunabilirliğinden dolayı organosolv lignin maddesi kitosanın modifiye edilmesinde kullanmışlardır. Hem modifiyesiz hem de organosolv lignin modifiyeli kompozitlerinin üretiminde %0, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında kitosan kullanmışlardır. Daha sonra, elde ettikleri kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, modifiyesiz kitosan katkı oranının artması ile kompozit malzemelerin çekme mukavemeti ve kopmadaki % uzama değerlerinde azalma olduğu tespit edilirken elastiklik modülü değerlerinde artma olduğu gözlenmiştir. Organosolv lignin modifiyeli kitosan katkılı kompozit malzemelerde ise %10 kitosan katkı oranında en yüksek çekme mukavemeti değerinin elde edildiği ve bu değerin, hem PP polimerinden hem de modifiyesiz kitosan katkılı kompozitten daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kitosan katkı

miktarının artmasına baęlı olarak her iki tip kompozitin kopmadaki % uzama deęerlerinde dūŒme olduęu ve modifiyeli kitosan katkılı kompozitlerde ise bu oranın daha yūksək deęerler aldıęı tespit edilmiŒtir. Bunlara ilaveten, kitosan katkı miktarının artması ile elastiklik modūlü deęerinde artma olduęu ve organosolv lignin modifiyeli kitosan katkılı kompozitin elastiklik modūlü deęerleri modifiyesiz PP kompozitten daha yūksək olduęu tespit edilmiŒtir. Ayrıca, PP polimer būnyesindeki kitosan katkı oranı %30 oranına ulaŒtıęında her iki tip kompozitin de darbe mukavemeti deęerinin maksimum deęerine ulaŒtıęı gözlenmiŒtir. Benzer oranlarda, organosolv lignin modifiyeli kitosan katkı ięeren kompozitin, modifiyesiz kitosan katkı ięeren kompozite göre daha yūksək çekme mukavemeti, kopmadaki % uzaması, elastiklik modūlü ve darbe dayanımı deęerlerine sahip olduęu tespit edilmiŒtir. Son olarak, organosolv lignin modifiyeli kitosan katkılı polimer kompozit malzemelerin termal özelliklerinin dięer kompozitlere göre daha iyi olduęu da tespit edilmiŒtir. Ayrıca, mekanik ve termal özelliklerine göre organosolv lignin'in sentetik modifiye edici maddelerin yerine tercih edilebilecek bir alternatif olarak kullanılabilieceęi ifade edilmiŒtir.

Faisal ve arkadaşları [5], kitosan katkılı PP esaslı polimer kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerine, sodyum dodesil sūlfatın (SDS) etkileri üzerine araştırma yapmıŒlardır. Deney malzemelerinde hem modifiyeli hem de saf kitosanın katkı oranları %0, %10, %20, %30 ve %40 olarak tercih edilmiŒtir. alıŒmada, SDS modifiyeli kitosan katkılı kompozitlerin mekanik özellikleri, modifiyesiz kitosan katkılı kompozitlerin ki ile karŒılaŒtırıldıęında daha yūksək çekme mukavemeti ve elastiklik modūlüne sahip olduğu tespit edilirken, kopmadaki % uzama değerlerinin ise daha dūŒük olduğu belirlenmiŒtir. Aynı zamanda SDS modifiyeli kitosan katkılı polimer kompozit malzemelerin ısı kararlılık ve kristallik derecesinin de daha yūksək olduğu tespit edilmiŒtir. Bunlara ilaveten, SDS modifiyeli kitosan katkılı kompozitlerin çekme mukavemeti değerinin %10 katkı oranı kullanılmıŒ olanında en yūksək değerine ulaŒtıęı ve PP polimerinden daha yūksək olduğu tespit edilmiŒtir. Dięer katkı oranları kullanıldığında da PP polimerinden daha yūksək değerlerde olduğu fakat katkı oranı arttıķça buna bağlı olarak azalma olduğu tespit edilmiŒtir.

Faisal ve arkadaşları [6], kitosan organosolv lignin ve akrilik asit ikilisi ile modifiye ederek PP esaslı kompozit üretmişlerdir. Deney malzemelerini, hem modifiyeli ve hem de modifiyesiz kitosanı %0, %10, %20, %30 ve %40 katkı oranlarında PP'ye ekleyerek üretmişlerdir. Daha sonra, PP'nin mekanik ve termal özelliklerine ikili modifiyenin etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, modifiyesiz kitosan katkı oranının artması ile PP polimerinin çekme mukavemetinde azalma olduğu ve elastiklik modülünde artma olduğu tespit edilmiştir. Katkı oranı olarak %10-30 aralığında modifiyesiz kitosan kullanılan kompozit malzemelerin darbe dayanımında ise artma olduğu tespit edilmiştir. İkili modifiyeli kitosan katkılı kompozitlerin ise çekme mukavemeti değerinin %10 katkı oranı kullanılmış olanda en yüksek değerine ulaştığı ve PP polimerinin değerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, kitosan katkı miktarı artışına bağlı olarak bu değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Diğer katkı oranları kullanıldığında da PP polimerinin değerinden daha yüksek çekme mukavemeti değerlerinde olduğu fakat katkı oranı arttıkça buna bağlı olarak azalma olduğu tespit edilmiştir. İkili modifiyeli kompozit malzemelerin elastiklik modülü değerinde de kitosan katkı miktarı artışına bağlı olarak artma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, darbe dayanımının maksimum değerine %30 katkı oranlı kompozit malzemelerde ulaşıldığı tespit edilmiştir. Buna ilaveten, kitosan katkı oranı %10-%30 aralığında kullanıldığında bu oranın artışına bağlı olarak darbe dayanımında artma olduğu, %40 oranında ise azalma olduğu tespit edilmiştir. Aynı katkı oranları kullanılarak ikili modifiyeli kitosan katkılı kompozit, modifiyesiz kitosan katkılı kompozit malzeme ile kıyaslandığında ise daha yüksek bir çekme mukavemeti, young modülü ve darbe dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. Son olarak, ikili modifiyeli kitosan katkılı kompozitin, modifiyesiz kitosan katkılı kompozit malzemeye göre daha iyi mekanik ve termal özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Khan ve arkadaşları [7], kitosan lif katkılı PP matrisli kompozitlerin mekanik ve arayüzey özellikleri üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, PP matris ve ağırlık olarak %5 oranda ve biyobozunur özelliğe sahip olan kitosan fiber kullanılarak elde edilen kompozit malzeme, tek yönlü liflerle kompresyon kalıplama ile üretilmiştir. Kompozit konstrüksiyonu 3 PP levhanın arasında 2 lif katmanı

yerleştirilerek sandviç şeklinde katmanlı olarak hazırlanmıştır. Daha sonra deney malzemelerinin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme, eğme, darbe ve sertlik deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen değerler PP polimerinin değerleri ile karşılaştırıldığında, kompozit malzemenin çekme mukavemeti, çekme modülü, eğilme mukavemeti, eğilmedeki elastiklik modülü ve darbe direncinin önemli derecede arttığı, fakat kopmadaki % uzama değerinin ciddi oranda düştüğü tespit edilmiştir. Bunlara ilave olarak, lif ve kompozitlerin parçalanma testleri yapılmıştır. Bu testler 2 hafta ve 6 ay süreli olmak üzere oda sıcaklığında ve sulu bir ortamda yapılmıştır. Altı ay sonra, kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini yaklaşık olarak %65 oranında koruduğu tespit edilmiştir.

Jian ve Kao-Walter [8], karbon elyaf katkılı polipropilen kompozitin (CF/PP), ara yüzey uyumluluğunu artırılması amacıyla PA6 polimerinin kullanılarak CF/PA6/PP üçlü kompozit malzeme üretmişlerdir. Daha sonra PP, CF/PP ve CF/PA6/PP malzemelerinin mekanik ve tribolojik performansını araştırmışlardır. Kompozit malzemelerin üretim sürecinde PA6 polimerini %0, %3, %5 ve %6 katkı oranlarında, CF malzemesini ise %0, %5, %10, %15 ve %20 katkı oranlarında kullanmışlardır. Çalışmada, CF/PP kompozit malzemesinin mekanik ve aşınma özelliklerinin gelişmesinde CF'nin önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. CF/PP kompozit malzemesine PA6 polimeri eklendiğinde ise aşınma davranışının önemli ölçüde geliştiği ve aşınma miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Buna ilaveten, CF/PA6/PP kompozit malzemesinin gösterdiği mükemmel tribolojik performansın aşınmış yüzeylerin morfolojisi ile tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, CF/PA6/PP kompozit malzemesinin gösterdiği mekanik özelliklerin kontrol edilmesinde PA6'nın CF'ye göre daha önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Son olarak, kullanılan kompozit malzemelerin arasında en yüksek çekme mukavemeti değerine, %20 CF + %5 PA6 katkılarının kullanılmış olduğu CF/PA6/PP kompozit malzemesinin ulaştığı tespit edilmiştir.

Palabıyık ve Bahadır [9], %20, 40, 60 ve 80 oranlarında yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve poliamid 6 (PA 6) polimerlerini, uyumluluğu arttırmak için maleik anhidrid propilen ile birlikte ve maleik anhidrid propilen kullanmadan çeşitli



kompozit malzemeler üretmişlerdir. Daha sonra bu malzemelerin yapı, mekanik ve tribolojik özelliklerini araştırmışlardır. Deney malzemelerinin üretilmesi çift vidalı ekstrüder kullanılarak ve sonrasında enjeksiyon yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Tribolojik testler ise polimerik pim-çelik disk test düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, poliamid oranı %20'den fazla olduğunda malzemenin çekme mukavemetinin arttığı ve kullanılan herhangi bir oranda sertliğinin de arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, tribolojik deneylerin sonucunda kompozit malzemelerin sürtünme katsayılarının daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu davranışın sebebi ise malzemelerin çelik diskin temas yüzeylerinde transfer filmi oluşturma yeteneğine sahip olması ile açıklanmıştır.

Ünal ve Mimaroglu [10], poliamid 6 (PA 6) polimerine %10, %20 ve %30 oranlarında cam elyaf ve mika dolgusu eklenerek elde edilen kompozit malzemenin mekanik özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, yapılan deneylerin bir sonucunda cam elyaf oranının artması ile çekme mukavemeti ve elastiklik modülü değerlerinde artma, % uzama oranlarında ise azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu artmanın sebebi akma teorisi ile, azalmanın sebebi ise artan cam elyaf oranının kırılabilirliği artırması ile açıklanmıştır. Buna ilaveten, cam elyaf oranı %30 olduğunda kompozit malzemenin darbe dayanımının, PA 6 polimerinin darbe dayanımından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu düşmenin sebebi ise artan cam elyaf katkı oranına bağlı olarak malzemenin tokluğunun düşmesi ile açıklanmıştır.

Faisal ve arkadaşları [11], kitosanı asetik asit ile modifiye ederek PP esaslı kompozit üretmişlerdir. Deney malzemelerini, hem modifiyeli ve hem de modifiyesiz kitosanı %0, %10, %20, %30 ve %40 katkı oranlarında PP'ye ekleyerek üretmişlerdir. Çalışmada, asetik asit modifiyeli kitosan katkılı kompozitlerin, termal kararlılık ve bozunma sıcaklığının modifiyesiz kitosan katkılı kompozite göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise kitosanın asetik asit ile modifiye edilmesinin, kitosan ile PP arasındaki arayüzey uyumunu geliştirmesi olabileceği ifade edilmiştir.

Onnongpong ve arkadaşları [12], PP/PP-g-kitosan kompoziti hazırlayarak kitosan ile polipropilen arasında uyumluluk özelliklerini araştırmışlardır. Önce, ortalama partikül büyüklüğü 75µm olan kitosanı, maleik anhidrit aşılı polipropilen (PP-g-MA) ile toluen sıvısı karışımı içerisinde çözmüşlerdir. Daha sonra uygulanan kimyasal işlemler sonucunda kitosan aşılı PP (PP-g-kitosan) malzemesini başarılı bir şekilde üretmişlerdir. Modifiye işlemiyle ürettikleri bu PP-g-kitosan kompozitini, çift vidalı ekstrüderde ve %0, %2, %4, %6 ve %8 katkı oranlarında PP reçinesine ekleyerek PP/PP-g-kitosan kompozit malzemesini de üretmişlerdir. Çalışmada, PP-g-kitosan partiküllerinin, saf kitosan partiküllerinden önemli ölçüde daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, PP-g-MA ile kitosanın modifiye edilmesi ile kitosanın boyutunun azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca morfolojisi incelendiğinde PP-g-kitosanın bu küçük boyutu ve hidrofobik özelliği nedeniyle PP matris içinde iyi dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Fakat buna ilaveten, PP-g-kitosanın PP matris ile kötü uyumluluğunun yansıması olarak topaklanma olduğu gözlenmiştir. PP-g-kitosan partiküllerinde gözlenen bu topaklanmanın, modifiye işleminin yetersiz olarak gerçekleşmesinden kaynaklanmış olabileceği belirtilmiştir.

Huang ve arkadaşları [13], sulu çözeltilerde gümüş (Ag), altın (Au), platinyum (Pt) ve paladyum (Pd) içeren çeşitli metal/kitosan nanokompozitleri sentezlemişlerdir. Hazırlanmış olan metal nanopartiküllerin yüzeyine kitosan molekülleri emdirilerek metal-kitosan nanokompozit malzeme ve nanokompozit film oluşturmuşlardır. Nanokompozit malzemenin optik ve diğer özelliklerine ilave olarak, nanokompozit filmlerin morfolojisini de araştırmışlardır. Elde edilen tüm tanecik boyutlarının karşılaştırılması, gümüş nanopartiküllerin diğerlerinden çok daha büyük olduğunu göstermiştir. Buna ilave olarak, tanecik boyutlarındaki farklılığın farklı morfolojilere yol açtığı gözlenmiştir. Yapılan incelemelerde Ag-kitosan nanokompozit malzeme kullanılarak hazırlanan filmlerde bulunan nanopartiküller batona benzeyen kıvrık yapıya sahip bir özellik göstermiştir. Diğer nanokompozit malzeme kullanılarak hazırlanan filmlerde ise nanopartiküllerin, aralarında küçük farklar bulunan dallanmış yapıya sahip bir özellikte olduğu tespit edilmiştir.

Chung ve arkadaşları [14], kitosan-maltoz, glukoz, fruktoz, glukozamin gibi doğal kitosan türevlerinin, kitosanın çözünürlüğünü artıran maillard reaksiyonu ile üretilmesi üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada, bunlardan kitosan-glukozamin türevinin, doğal bir antibakteriyel madde olarak diğer kitosan ve kitosan türevlerinden daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Sadeghi ve arkadaşları [15], N-trimetil kitosan ve N-dietilmetil kitosandan nanopartiküller üretilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmaların bir sonucunda daha yüksek zeta potansiyeline sahip olan N-trimetil kitosanın bu özelliği sayesinde *S. aureus*'e karşı daha yüksek antibakteriyel etki gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Takahashi ve arkadaşları [16], kitosanın şeklinin ve partikül büyüklüğünün antibakteriyel etkisini üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışmada, katı durumda olan kitosanın antibakteriyel etkisi incelendiğinde morfolojisi ve partikül büyüklüğü, membran ve fiber kalınlığının farklı sonuçlara sebep olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, toz haline getirilmiş kitosanın şekli ve partikül büyüklüğünün *S. Aureus*'e karşı olan etkisi incelendiğinde, partikül boyutunda azalmanın antibakteriyel aktivitesini geliştirdiği, sonuçların kitosanın şekli ve spesifik yüzey alanından etkilendiği gözlenmiştir. Ayrıca *S. Aureus*'e karşı, *E. coli*'ye karşı olandan daha fazla antibakteriyel etkisinin olduğu ve kitosanın deasetilasyon derecesinin (DD) yüksek olmasının antibakteriyel etkisini arttırdığı tespit edilmiştir.

Kong ve arkadaşları [17], kitosanın katı dispersiyon halinde arayüzeyle temas eden kısımlarında *E. coli*'ye karşı antibakteriyel mekanizması üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışmada, katı halde iken kitosanın antibakteriyel aktivitesinin düşük pH değerinden olumlu etkilendiği tespit edilmiştir. Buna ilaveten, katı kitosan ve türevlerinin, çözülmüş durumdakinden daha büyük pH değerinin üzerinde antibakteriyel aktivite gösterebildiği tespit edilmiştir. Ayrıca inhibitor etkisi kitosanın morfolojisi ve yüzeyin hidrofobik ya da hidrofilik olma karakteristik özelliklerine bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Xie ve arkadaşları [18], kitosan ve kloroetilamin hidroklorit maddelerini, tarif ettikleri yeni bir yöntemle alkali koşullar altında sentezleyerek etilamin hidroksietil kitosan (EHCs) üretmişlerdir. Ayrıca, kitosanın bu türevinde meydana gelen yapı değişikliklerini araştırmışlardır. Çalışmada EHCs'nin antibakteriyel aktivitesi optik yoğunluk yöntemi ile araştırılarak elde edilen türevin E. coli'ye karşı yüksek antibakteriyel etkisi olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, EHCs'nin van der Waals bağları gibi molekül içi etkileşimleri zayıflatarak sudaki çözünürlüğünü arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca, antibakteriyel özelliği en çok etkileyen faktörün, yeni sentezleme yönteminde kullanılmış olan NH<sub>2</sub> oranı olduğu tespit edilmiştir.

Sekiguchi ve arkadaşları [19], kitosanın molekül ağırlığı ve deasetilasyon derecesinin, antimikrobiyel aktivitesine etkileri üzerine kimyasal araştırma yapmışlardır. Çalışmada, her iki parametrenin kitosan oligomerlerin antimikrobiyel aktivitesini bağımsız olarak etkilerken, molekül ağırlığının etkisinin deasetilasyon derecesinin etkisinden daha fazla olduğu ileri sürülmüştür. Buna ilaveten, genel anlamda kitosanın antibakteriyel aktivite mekanizmasının henüz yeterince netleşmediği belirtilmiştir.

Lee ve arkadaşları [20], süt ve portakal suyunu saklamak üzere karton ambalajını nisin/kitosan içeren bir madde ile kaplayarak, farklı sıcaklıklarda antimikrobiyel etkisi üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada, hazırlanan ambalajın düşük sıcaklıklarda antimikrobiyel etkisinin daha iyi olduğu fakat 20°C sıcaklıkta önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Ambalajın nisin ile kitosanın birlikte kullanılarak hazırlanması durumunda ise daha iyi sonuçlar alındığı tespit edilmiştir.

Bostan ve arkadaşları [21], farklı gıda uygulamalarında kitosanın antibakteriyel etkileri üzerine literatürde yapılan baza çalışmaları özetleyen bir araştırma yapmışlardır. Çalışmada, kitosanın antibakteriyel etkisinin moleküler ağırlığı, asetilasyon derecesi, sıcaklık, pH gibi faktörlerden etkilendiğini gösteren birçok bilimsel çalışmanın yapıldığı ifade edilmiştir.

Yıldız ve Yangılar [22], kitosanın kimyasal yapısı, özellikleri ve gıda endüstrisindeki kullanımını üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışmada, kitosanın antibakteriyel etkisi sayesinde gıda maddelerinin raf ömrünü uzattığı ve insan sağlığına bir yan etkisinin olmadığı ifade edilmiştir. Kullanımının yaygınlaşması ile atık miktarının azalacağı, çevre sağlığı ve ekonomiye önemli bir katkısının olacağı vurgulanmıştır.

Helander ve arkadaşları [23], kitosanın gram-negatif bakterilere olan antibakteriyel etkisi üzerine araştırma yapmışlardır. Yapılan mikroskobik incelemeler sonucunda, kitosanın hücre için bariyer gibi bir fonksiyonu olan hücre zarına damar gibi ağlarla bağlanarak zayıflattığı ve hücrenin dış yüzeyine hasar verdiği tespit edilmiştir.

Zheng ve Zhu [24], farklı moleküler ağırlık ve konsantrasyonlarda bulunan kitosanın, *E. coli* ve *S. aureus* bakterilerine karşı antibakteriyel etkileri üzerine araştırma yapmışlardır. Söz konusu araştırma, bu iki bakteri türü için kitosanın etkilerinin farklı olduğunu göstermiştir. Deneylede kullanılan kitosan konsantrasyonu artması ile her iki bakteri türüne karşı antibakteriyel etkisinin güçlendiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, kitosanın moleküler ağırlığı artması ile gram pozitif *S. aureus* bakterisine karşı antibakteriyel etkisinin güçlendiği fakat diğerinin tersine gram negatif *E-coli* bakterisine karşı antibakteriyel etkisinin zayıfladığı tespit edilmiştir. Ayrıca, yüksek moleküler ağırlıklı kitosanın *S. Aureus*'e karşı gösterdiği güçlü antibakteriyel etkisinin, hücrenin yüzeyinde beslenmesini engelleyen polimerik bir zar oluşturmasından kaynaklandığı iddia edilmiştir. Kitosanın *E-coli*'ye karşı gösterdiği zayıf antibakteriyel etkisinin ise düşük moleküler ağırlıklı kitosanın bakteri hücresine daha kolay nüfuz ederek hücreyi bozmasından kaynaklandığı iddia edilmiştir.

Sanpui ve arkadaşları [25], rekombinant yeşil flüoresan proteini ekspresyonu *E.coli* ve kendilerinin sentezlediği kitosan-Ag-nanopartikül kompozitinin antibakteriyel etkinliği üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada, kitosan-Ag-nanopartikül kompozitin bileşenlerinden çok daha yüksek antimikrobiyal etkinliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna ilave olarak kitosan-Ag-nanopartikül kompozit malzemesinde düşük yüzdeli metal nanopartiküllerin varlığının yeterli olduğu gözlenmiştir. Kitosan

ile karşılaştırıldığında metal nanopartiküllerin varlığının E. coli'nin inaktivasyonunu önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir.

Wu [26], poli butilen süksinat adipat (PBSA) ve akrilik asit aşılı PBSA (PBSA-g-AA) kullanarak PBSA/kitosan ve PBSA-g-AA/kitosan kompozit malzemelerini üretmiştir. Daha sonra PBSA/kitosan ve PBSA-g-AA/kitosan kompozitlerinin özellikleri ve antibakteriyel etkileri karşılaştırarak PBSA'nın akrilik asit ile modifiye edilmesinin etkilerini araştırmıştır. Çalışmada, her iki kompozitinde mekanik özelliklerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, PBSA-g-AA'nın kitosan ile yapısal olarak uyumlu olmasından dolayı PBSA-g-AA/kitosan kompozitin mekanik özelliklerinde görülen bu azalmanın fazla belirgin olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, PBSA'nın akrilik asit ile modifiye edilmesinin kompozitin antibakteriyel etkisini arttırdığı ve PBSA-g-AA/kitosan kompozit malzemesinin diğerine göre daha iyi antibakteriyel etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Atay ve Çelik [27], toz ya da koloid gibi farklı durumlarda olan kitosan ve akrilik reçine (polimetil akrilat) ile antibakteriyel kompozit malzeme üretmişlerdir. Daha sonra cam yüzeyleri bu polimerik malzeme ile kaplamışlardır. Yüzeyler üzerinde gerçekleştirilen antibakteriyel testlere göre, kitosan'ın etkili bir antibakteriyel katkı maddesi olarak kabul edilebileceği sonucuna varmışlardır. Ayrıca çalışmada, koloid kitosan katkılı kompozitin, toz kitosan katkılı kompozite göre daha iyi antibakteriyel etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Prakash ve arkadaşları [28], montmorillonit kil ve naylon 6 ile kitosan'ın ikili ve üçlü bileşenler kullanarak kompozit malzeme üretmişlerdir. Daha sonra bunların antimikrobiyel aktivitesini inceleyip bir topikal krem ile kullanılabilecek potansiyel bir ajan belirmesi üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada, belli koşullarda kitosan/montmorillonit kil/naylon 6 kullanılarak üretilen kompozitin topikal kremde farmasötik bir ajan olarak başarılı bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Kong ve arkadaşları [29], kitosanın antimikrobiyal aktivitesi ve etki şekli üzerine literatürde yapılan çalışmaları inceledikleri bir araştırma yapmışlardır. Bu

araştırmada, kitosanlı uygulamalarda gözlenen inhibasyonu etkileyen faktörleri, mikroorganizmalar, fiziksel durum, içyapısal faktörler ve çevresel faktörler olmak üzere sınıflandırmışlardır. Daha sonra, farklı fiziksel durumlar ve mikroorganizmalar kullanılarak yapılan çalışmaları tartışmışlardır. Genel antibakteriyel etkili uygulamalar ve bu alandaki yapılması gereken çalışmalara ilişkin değerlendirmeler yapmışlardır. Çalışmada, geçmişte yapılmış olan birçok çalışmadan elde edilen bazı sonuçların, benzer çalışmaların sonuçları ile tutarlılık göstermediği ve standart olmayan testlerin karşılaştırmayı zorlaştırdığı belirtilmiştir. Buna ek olarak, bulguları ve sonuçları değerlendirmek için kullanılması gereken yöntem ve teknolojilerin, biyolojik anlayışın ötesinde kimya, fizik, bilişim, nanoteknoloji ve genetik mühendisliği gibi disiplinlerin birleşimini içerdiği belirtilmiştir. Ayrıca, kitosanın antibakteriyel etkiye sahip olmasının yapılan birçok araştırmada teyit edildiği fakat etki mekanizması ve moleküler ayrıntılar üzerine daha fazla araştırma yapılması gerektiği belirtilmiştir. Son olarak, araştırma enstitüleri, sanayi ve kamu kurumlarının bu alanda yapılacak çalışmalara katılımı ve işbirliğinin başarıyı arttıracığı vurgulanmıştır.

Ünal ve Mimaroglu [30], PTFE, POM ve PEI polimerlerinin sürtünme ve aşınma davranışlarına test hızı ve yük değerlerinin etkisi üzerine araştırma yapmışlardır. Söz konusu araştırmada tribolojik deneyler 5, 10 ve 15N yük altında ve 0,5, 0,75 ve 1m/s hız değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Polimer pim-çelik disk düzeneği kullanılarak gerçekleştirilen bu deneylerin sonucunda araştırmada kullanılan tüm polimerler için yükün artması ile sürtünme katsayısının doğrusal olarak arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca aşınma oranı değerinin, özellikle yüksek değerli yüklerde daha belirgin olmak üzere, uygulanan yüke karşı az hassaslık gösterdiği ve bununla birlikte uygulanan test hızına karşı çok fazla hassaslık gösterdiği tespit edilmiştir.

Kastan ve arkadaşları [31], HDPE, nanokil olarak montmorillonit (NC) ve bağdaştırıcı olarak maleik anhidrid aşılansmış polietilen (PE-g-MA) ve PA 6 matrisi kullanarak üretilen kompozit malzemelerin, aşınma hızı-yükü, sürtünme katsayısı-yükü, sürtünme katsayısı-yükü arasındaki ilişkiler üzerine araştırma yapmışlardır. Deney malzemelerinin aşınma testleri pim-çelik disk düzeneği, aşınma yüzeylerinin

incelenmesi ise transmisyon elektron mikroskobu (TEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bir sonucu olarak, malzemeye eklenen %1 nanokilin (montmorillonit) aşınma üzerinde olumlu etkisi olduğu ve nanokil oranının artması ile aşınmanın da arttığı tespit edilmiştir.

Kumar ve Srinivasan [32], kitosan, bazalt ve polilaktik asiti (PLA), üç farklı orandaki kombinasyonlarla kullanmış ve üretmiş oldukları PLA kompozitlerinin tribolojik özelliklerini araştırmışlardır. Daha sonra, deney malzemelerinin yıpranmış yüzeylerini taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile inceleyerek aşınma mekanizmalarını sınıflandırmışlardır. Buna ilaveten, sürtünme katsayısı, temas sıcaklığı ve aşınma oranı üzerine kayma hızı ve normal kuvvetin etkilerini incelemiştir. Sonuçlar, kullanılmış olan bazalt ve kitosan katkı oranı artışının PLA polimerinin aşınma direncinin artmasında çok etkili bir rol oynadığını göstermiştir.

Ünal ve Mimaroglu [33], polioksimetilen (POM), ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE), poliamid 6 (PA 6) saf polimerleri ile %10 grafit ve %6 wax katkılı PA 6 kompozit malzemeleri tribolojik performansları üzerine araştırma yapmışlardır. Deney malzemelerinin tribolojik deneyleri kuru atmosferik koşullarda, 0,5-2,0m/s aralığı kayma hızında, 1,77-5,31Mpa aralığında basınç altında ve pim-çelik disk düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiş ve aşınma yüzeyleri optik olarak incelenmiştir. Çalışmada, hız ve basıncın kombine olarak değerlerinin artması ile birlikte polimerlerin tribolojik performansının önemsenmeyecek derecede değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek tribolojik performansı ise %10 grafit katkılı PA 6 kompozit malzemenin gösterdiği ve yüksek hızlarda kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Son olarak deney malzemelerinin yıpranmış yüzeyleri üzerinde aşınma mekanizmasının transfer filmi, deformasyon ve yapışma içerdiği sonucuna varılmıştır.

Subli ve arkadaşları [34], ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE) polimerine çeşitli oranlarda çinko oksit (ZnO) ile karıştırmış ve daha sonra bu malzemeye kitosan ekleyerek elde ettikleri bu kompozit tiplerinin mekanik, aşınma



ve morfolojik özelliklerini araştırmışlardır. Sonuçlar, UHMWPE/ZnO kompozitin çekme mukavemeti ve young modülünün arttığını, kopmadaki % uzamasının ise azaldığını göstermiştir. UHMWPE/ZnO/kitosan kompozitin ise diğer tip kompozite göre daha düşük çekme mukavemeti ve young modülü ve daha yüksek kopmadaki % uzama değerleri aldığı belirtilmiştir. Bunlara ilaveten, UHMWPE/ZnO kompozit ve UHMWPE/ZnO/kitosan kompozitin aşınmaya karşı direncinin UHMWPE polimerine göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Ünal ve arkadaşları [35], karbon elyaf katkılı kompozit malzeme (PTFE+%35CF) ve cam elyaf katkılı kompozit malzeme (PTFE+%17GF) üretmişlerdir. Daha sonra politetra-floro-etilen (PTFE) ve kompozit malzemelerin sürtünme ve aşınma performansını araştırmışlardır. Tribolojik deneylerde 0,32-0,64-0,96-1,0-1,5 ve 2,0m/s kayma hızı değerleri; 0,17-0,34-0,68-1,02-1,76-3,53-5,30 ve 7,07MPa basınç değerleri ve 2000m kayma mesafesi parametreleri kullanılmıştır. Bu deneyler kuru koşullar altında ve bilgisayarlı pim-çelik disk test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, kullanılan deney malzemelerinin her birinde uygulanan yükün artmasına bağlı olarak sürtünme katsayısı değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, abrasiv ve adhesif aşınma mekanizmalarının oluştuğu tespit edilmiştir. Son olarak, aşınma oranındaki en büyük azalma ve en düşük sürtünme katsayısına sahip olan PTFE+%17GF kompozit malzemenin aşınmaya karşı direncinin diğer malzemelerinkinden daha iyi olduğu tespit edilmiştir. PTFE+%17GF kompozit malzemesinin, PTFE polimerinden 20 kat, PTFE+%35CF kompozitinden ise 366 kat daha fazla aşınmaya karşı direnç gösterdiği tespit edilmiştir.

Sedlak ve arkadaşları [36], kolza yağı, dişli yağı ve motor yağı emprenye edilmiş PP polimerlerin sürtünme katsayısı ve aşınma mekanizmasını kuru kayma şartları altında araştırmışlardır. Malzemelerin aşınma davranışları 100Cr6 yatak çeliğinden karşı numune kullanılarak ASTM G77-98 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Test sürecinde kullanılan sistem programı ile numunenin devri, yük değeri, aşınması, sürtünme katsayısı, numune ve çevre sıcaklığı gibi parametrelerinin kayıt ve grafikleri oluşturulmuştur. Numunelerin aşınma miktarı, ağırlık kaybı ile, aşınma

mekanizmaları ise taramalı elektron mikroskopisi ile değerlendirilmiştir. Çalışmada, PP'nin yağlar ile emprenye edilmesinin aşınma oranı ve sürtünme katsayısını etkilediği ve polimerler ile çelik arasında adesiv aşınma mekanizmasının baskın olduğu tespit edilmiştir. Daha yüksek sıcaklık değerlerinin olduğu yüksek kayma hızlarında ise termal aşınma mekanizmasının baskın olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, PP'nin yağlar ile emprenye edilmesi, yüksek sıcaklık değerlerinin olduğu daha yüksek kayma hızlarına çıkılmasını sağlamıştır. Ayrıca bu malzemeler daha iyi erime ve plastik akış direnci göstermiştir. Son olarak, çalışmanın en önemli bulgusunun, yağlar ile emprenye edilen PP'nin tribolojik performansının düşük yük kullanılan deneylerde daha iyi gelişme göstermesi olduğu belirtilmiştir.

Aurrekoetxea ve arkadaşları [37], ahşap katkılı polipropilen kompozit malzemesi (WPC), çam ağacı ve saf polipropilenin (PP) sürtünme katsayısı, aşınma oranı ve aşınma mekanizmalarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada, WPC ve ahşapın sürtünme katsayısı değerlerinin birbirlerine yakın olduğu, PP'nin sürtünme katsayısı değerinin ise daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, WPC'nin aşınma oranının diğer iki malzemeye kıyasla önemli ölçüde daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Saf ahşapın aşınma oranı, WPC'nin aşınma oranının en düşük değerinde olduğunda 10 kat daha yüksek olduğu, PP'nin aşınma oranının ise daha da yüksek olduğu tespit edilmiştir. Son olarak, WPC kompozit malzemesinin, saf polimer ve saf ahşap malzemelerden daha iyi bir aşınma performansı gösterdiği tespit edilmiştir.

Syed ve Syed [38], zerdeçal takviyesi (TS), polipropilen (PP) ve uyumluluğu arttırmak için maleik anhidrid aşıllı polipropilen (MA-g-PP) kullanarak, doğa dostu bir PP/TS kompozit malzeme üretmişlerdir. PP/TS kompozit malzemelerini, PP polimerine % 10, % 20, % 30 ve % 40 oranlarında zerdeçal ve 5 php MA-g-PP ekleyerek ekstrüzyon yöntemiyle üretmişlerdir. Daha sonra enjeksiyon kalıplama yöntemi ile kompozit deney numunelerini hazırlayıp, mekanik ve tribolojik özelliklerini araştırmışlardır. Tribolojik testleri, 200rpm devirde, 150, 300, 450 ve 600m kayma mesafeleri, 23,54 ve 33,54N yük değerleri uygulayıp kuru kum/lastik tekerlek aşınma cihazı kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca deneysel olarak elde ettikleri mekanik özelliklerini gösteren bazı değerleri, öngörülen teorik değerleriyle

karşılaştırmışlardır. Çalışmada, PP'ye %40 katkı eklenmesinin çekme modülü değerini %70 oranında yükselttiği fakat çekme mukavemeti değerini %12 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir. Eğilme özelliklerinin ise TS katkı miktarındaki artma oranına bağlı olarak geliştiği tespit edilmiştir. Buna ilaveten, PP'ye %40 katkı eklenmesinin eğilme mukavemeti değerini %57 oranında yükselttiği, eğilme modülü değerini ise %144 oranında yükselttiği tespit edilmiştir. Ayrıca, TS katkı miktarı artışının PP/TS kompozitin aşınma direncini düşürdüğü tespit edilmiştir. Sürtünme mesafesi ve uygulanan yük değerlerinin artmasına bağlı olarak aşınma miktarının da arttığı tespit edilmiştir. Spesifik aşınma oranı ise kayma mesafesi artışına bağlı olarak azalmıştır. Son olarak, termoplastik kompozitlerin üretiminde kullanılan geleneksel katkı maddelerinin yerine TS kullanılmasının faydalı olacağı vurgulanmıştır.

Asuke ve arkadaşları [39], takviye edici olarak karbonlaşmış kemik partikülleri (CBp) kullanarak polipropilen esaslı kompozit malzeme üretmişlerdir. Daha sonra bu malzemenin aşınma davranışlarına uygulanan yükün etkileri üzerine araştırma yapmışlardır. Deney malzemelerinin üretilmesinde CBp katkısını %5-%20 oranları arasında kullanmışlardır. Aşınma testlerinde 5N-15N arasında yük değerleri uygulamış ve aşınma yüzeylerini ise mikroskopik olarak incelemişlerdir. Çalışmada, uygulanan yükün 5 ila 15N değerleri arasında artmasına bağlı olarak, aşınma oranında artma olduğu tespit edilmiştir. CBp katkı miktarının % 0- %15 oranları arasında artmasına bağlı olarak ise aşınma oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, aşınma deneyleri ve mikroskopik incelemelerin sonucunda, kömürleşmiş kemiğin polipropilen kompozitlerin aşınma direncini arttırmak amacıyla katkı maddesi olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Aigbodon ve arkadaşları [40], geri dönüşümlü düşük yoğunluklu polietilen (RLDPE) polimeri ve katkı olarak şeker kamışı külü partikülleri (Bap) kullanılarak kompozit malzeme üretmişlerdir. Daha sonra, kuru koşullar altında pim-disk aşınma düzeneği kullanarak malzemelerin tribolojik performansını araştırmışlardır. Deneylerde uygulanan yük, kayma hızı, kayma mesafesi ve şeker kamışı külü katkı

oranı gibi parametrelerin aşınma oranına etkileri araştırılmış ve aşınma yüzeyleri incelenmiştir. Çalışmada, hem RLDPE ve hem de RLDPE+Bap kompozitlerinin öngörülen aşınma oranları ile deneysel olarak gözlemlenen aşınma oranlarının yakın değerler olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, RLDPE kompozitlerinin üretilmesinde katkı maddesi olarak Bap eklenmesinin aşınma direncini önemli ölçüde geliştirdiği tespit edilmiştir. Son olarak, uygulanan yük miktarı ve kayma hızının aşınma oranına belirgin bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Yallem ve arkadaşları [41], jüt dokuma takviyeli PP kompozit malzeme üretmişlerdir. Daha sonra, jüt takviyesinin PP polimerinin aşınma davranışına etkisini araştırmışlardır. PP ve Jüt/PP deney malzemelerinin üretilmesi için sıkıştırma kalıplama yöntemini kullanmışlardır. Tribolojik deneyleri ise bilgisayarlı pim-disk aşınma test cihazı ile kuru koşullar altında gerçekleştirmişlerdir. Bu deneylerde, 1-3m/s aralığında hız, 10-30N aralığında yük, 1000-3000m aralığında kayma mesafesi parametrelerini kullanmışlar ve aşınma yüzeylerini incelemişlerdir. Çalışmada, jüt dokuma takviyesinin PP matrisine eklenmesi sonucunda aşınma direncini geliştirdiği tespit edilmiştir. Buna ilaveten sürtünme katsayısı değerlerinin % 3.5-45 oranlarında azalma olduğu ve spesifik aşınma oranlarında %65'in üzerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Son olarak, Jüt/PP kompozit malzemelerin yapay insan eklemi, ayakkabı tabanları, otomobil fren balataları ve yüzey kaplama gibi uygulamalarda tribolojik özellikleri iyi ve ucuz bir malzeme olarak kullanılabilme potansiyeline sahip olduğu vurgulanmıştır.

Laufer ve arkadaşları [42], kitosan ve anyonik montmorillonit kili (MMT) gibi doğal maddeler kullanarak kaplamalarda kullanılacak film üretmişlerdir. Bu doğal malzemelerin çok katmanlı birleşimiyle hazırlanan ince filmler kullanıldığında olağanüstü oksijen bariyeri ve alev geciktirici özellikler sergilemiş oldukları gözlenmiştir. Buna ilaveten, çevreye duyarlı olması ve gaz bariyeri etkisi kazandırması nedeniyle, gıda ambalajlarında yüksek performanslı bir kaplama malzemesi olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir. Son olarak kitosan ve kilin yanmaya karşı gösterdiği direnç nedeniyle bina izolasyonu ve mobilya dolgu uygulamalarında kullanılabilmesi belirtilmiştir.

Costes ve arkadaşları [43], kolay bulunabilir ve doğal olan polimerlerden alev geciktirici özelliğe sahip biyokütle kompozitler üzerine araştırma yapmışlardır. Halojen, mineral ve diğer bileşiklere dayanan geleneksel alev geciktiricilerin bir çoğu, özellikle de halojen alev geciktiricilerin bir kısmı, insan sağlığı ve çevre için zararlı olmasından dolayı kullanımları kısıtlanmıştır. Bu çalışmada, alev geciktirici sistemlerde doğal ve yenilebilir katkı maddeleri kullanılarak elde edilen, yangına dirençli malzemelerin üretimi ile ilgili son gelişmeler ele alınmıştır. Söz konusu bu araştırmanın sonucunda sakkarit esaslı ürünler, biyobaz aromatik bileşikler, DNA, proteinler, fitik asit ve bitkisel yağlar gibi muhtelif biyolojik bazlı bileşiklerin, üstün kömürleşme özellikleri sayesinde etkili alev geciktirici katkı maddeleri olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Xiao ve arkadaşları [44], fosfonik asit melamin tuzu ve kitosan/üre bileşiği kullanarak yeni bir kitosan bazlı karbonlaşma maddesi (HUMCS) sentezlenmişlerdir. Elde edilen HUMCS'nin sinerjistik olarak kullanılıp intumescent alev geciktirici etkiye sahip polipropilen (IFR-PP) üzerine etkisinin araştırmışlardır. Çalışmada, IFR-PP polimerine HUMCS'nin eklenmesi sonucu elde edilen PP/IFR/HUMCS kompozit malzemesinin, mekanik özelliklerinde azalma olmasına rağmen yanmaya karşı performansı üzerinde iyi bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Chen ve arkadaşları [45], katkı olarak amonyum polifosfat (APP) ve kitosan (CS) kombinasyonunun, polilaktik asitin (PLA) alev geciktirici özelliklerine etkisi üzerine araştırma yapmışlardır. Üretilen kompozit malzemelere limit oksijen indeksi (LOI), dikey yanmazlık (UL-94), koni kalorimetre (CONE) deneyleri yapılmıştır. Yüzey morfolojisinin incelenmesi ise taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, kompozit malzemelerin yanma sürecinde CS/APP katkısının etkisiyle sürekli ve homojen karbon kalıntısı oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle CS/APP kombinasyonunun PLA'nın alev geciktirici özelliğinin gelişmesinde yüksek etki gösterdiği tespit edilmiştir. Buna ilaveten, kitosanın çevre dostu özellikleri nedeniyle diğer polimerler ile alev geciktirici uygulamalarda kullanılabileceği belirtilmiştir.

Hirschler [46], poliüretan (PU) köpüğünün yüzeyine alevlenmeye karşı direncini arttırmak amacıyla kitosan, montmorillonit kili ve polilaktik asit (PLA) kullanılarak elde edilen bir film ile kaplamıştır. Çalışmada, PU köpüğünün alevlenmeye karşı direnci bütün alevinin 10s süresince uygulanması ile test edilmiştir. Kaplanmış olmayan PU hemen alev alarak tükenmiştir. Kaplanmış olan PU ise yaklaşık 30s sonra sönmüş ve kalan malzeme incelendiğinde kömürleşmiş bir tabaka ve korunmuş bir köpük yapısı olduğu gözlenmiştir. Çalışmada, kitosan, montmorillonit kili ve polilaktik asit (PLA) kullanılarak elde edilen filmin etkili bir alev geciktirici özelliği göstermesine rağmen, PU köpüğünün her ortamda yangına karşı güvenle kullanılabilir bir malzeme olmadığı vurgulanmıştır.

Hassan ve arkadaşları [47], organik modifiyeli montmorillonit (OMMT) ve kitosan fosfatlı melamin tuzu (MCHP) katkıları, lineer düşük yoğunluklu polietilene (LLDPE) eklenerek kompozit malzeme üretmişlerdir. Daha sonra OMMT ve MCHP'nin, malzemenin termal kararlık ve yanma özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. MCHP, kitosan fosfat'ın melamin ile reaksiyona sokulmasıyla sentezlenmiştir. OMMT ise setil trimetil amonyum bromid (CTAB) ve sodyum montmorillonit reaksiyonu ile elde edilmiştir. Çalışmada, OMMT/MCHP katkısının LLDPE'nin termal kararlılığını etkili bir şekilde geliştirdiği tespit edilmiştir. Buna ilaveten, LLDPE polimerine OMMT/MCHP eklenmesinin, kompozitin yanma sürecinde karbon kalıntılarını oluşturması etkisiyle yangın riskini belirgin bir şekilde azalttığı tespit edilmiştir.

Hu ve arkadaşları [48], asit, kömürleştirme ve üfleme etkisi olan katkı maddelerini melamin kitosan fosfat'a (MPCS) ekleyip doğal malzeme bazlı alev geciktirici etkisi olan bir malzeme üretmişlerdir. Daha sonra katkılı MPCS'nin polivinil alkolün (PVA) ısıl özellikleri ve yanma performansına etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, katkılı MPCS kullanılmasının PVA'nın termal kararlılığını arttırdığı tespit edilmiştir. Buna ilaveten, katkılı MPCS'nin yanma sürecinde yanıcı uçucu ürünlerin miktarını azaltıp, yanıcı olmayan ürünlerin miktarını artmasını sağladığı gözlenmiştir. Buna

bağlı olarak katkıli MPCCS kullanılmasının PVA esaslı kompozit malzemenin alev geciktiricilik özelliğini geliştirdiği tespit edilmiştir.

Kurt ve arkadaşları [49], alev geciktirici etkili odun-polimer kompozit malzemeler üretmişlerdir. Kompozit malzemenin üretiminde amonyum polifosfat ile birlikte sinerjist olarak bor bileşikleri kullanmışlardır. Daha sonra odun unu, polipropilen, maleik anhidritli polipropilen ve farklı oranlardaki alev geciktiricilerden üretilen odun-polimer kompozitlerinin fiziksel, mekanik ve yanma hızı özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada, amonyum polifosfat ile birlikte sinerjist olarak bor bileşikleri kullanılmasının malzemenin mekanik özelliklerinin ve yanma hızı performansını iyileştirdiği tespit edilmiştir. Buna ilaveten bor bileşiklerinin ucuz ve halojensiz bir alev geciktirici olarak iyi bir potansiyele sahip olduğu ifade edilmiştir.

Laoutid ve arkadaşları [50], pek çok alev geciktirici sistem üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada, yanmaya karşı daha güvenli plastiklerin elde edilmesi amacıyla çeşitli alev geciktirici malzemelerin kullanıldığı ve bu konuda gelişmelerin devam ettiği tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, plastik malzemelerin çok fazla çeşitlilik göstermesi nedeniyle tek bir alev geciktirici sistemin yeterli olamayacağı ve bu nedenle alev geciktirici sistemlerin çeşitlilik gösterdiği vurgulanmıştır.

Hu ve arkadaşları [51], kitosanı iki aşamalı olarak modifiye etmişlerdir. Kitosanın iki aşamalı modifiye edilmesi, önce fosfor pentoksit aşılı kitosanın (PCS) üretilmesi ve ardından PCS'ye glisidil metakrilat aşılama (GPCS) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra epoksi akrilat reçinesi ve GPCS kullanarak epoksi akrilat/GPCS kompozit malzemesi üreterek alev geciktirici özelliğini araştırmışlardır. Çalışmada, kitosanın iki aşamalı modifiye edilmesinin epoksi akrilat ile olan uyumluluğunu attırdığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte elde edilen kompozitin kömürleşme özelliğinin gelişme gösterdiği ve yanıcı-uçucu ürünlerin buharlaşmasını engellendiği tespit edilmiştir. Yanmaya karşı performansının, kompozitin GPCS oranındaki artışa bağlı olarak daha da iyileştiği vurgulanmıştır.

Ahmad ve arkadaşları [52], optimize edilmiş yüzde %5, %10 ve %15 oranlarında kitosan kullanarak kitosan-epoksi kompozit malzeme üretmişlerdir. Daha sonra kitosan katkısının gerilme mukavemeti, eğilme mukavemeti, sertlik ve darbe mukavemeti gibi mekanik özellikler üzerine etkilerini araştırmışlardır. Buna ilaveten, taramalı elektron mikroskobu ile yüzeyleri incelemişlerdir. Çalışmada, optimize edilmiş yüzde % 15 kitosan katkılı epoksi kompozitin daha yüksek çekme mukavemeti sahip olduğu fakat diğer katkı oranları kullanıldığında düştüğü tespit edilmiştir. Katkı oranı artmasına bağlı olarak sertlik değerinin arttığı tespit edilmiştir. Darbe ve eğilme mukavemeti değerlerinde ise katkı oranı artmasına bağlı olarak azalma olduğu gözlenmiştir. Bunlara ilaveten, SEM yüzey görüntüleri incelendiğinde bazı kitosan partiküllerinin topaklanmış olduğu gözlenmiştir.

Sivarao ve Vijayaram [53], doğal organik kalsiyum karbonat kaynağı olan yumurta kabuğunu bağlayıcı madde olarak silan ile birlikte polipropilen polimerine %10, %20, %30 ve %40 katkı oranlarında ekleyerek kompozit malzemeleri üretmişlerdir. 160µm boyutunda kullanılan yumurta kabuklarının, malzemenin çekme ve eğilme özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Daha sonra mikroyapılarını incelemişlerdir. Çalışmada, çekme modülü ve eğilme modülünde iyileşmeler olduğu ancak çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve kopma mukavemeti değerlerinde artma olmadığı tespit edilmiştir. En yüksek gerilme ve eğilme modülü değerleri ise sırasıyla %20 ve %10 katkılı kompozitlerde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kopma yüzeylerinde boşluklar, topaklaşma ve pürüzler olduğu tespit edilmiştir.

Yao ve arkadaşları [54], istiridye kabuğu atıkları ve polipropilen polimerini kullanarak kompozit malzeme üretmişlerdir. Organik atık kabukları hem modifiyesiz hem de furfural ile modifiye edip %5, %7, %10, %15, %20 ve %30 katkı oranlarında PP polimerine ekleyerek kompozit malzeme üretmişlerdir. Daha sonra katkısız PP ve PP kompozitlerinin mekanik ve termal özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada, modifiyeli toz katkısı eklenmesinin darbe mukavemetini, kopmada % uzamayı ve eğilme modülünü önemli ölçüde artırabildiği tespit edilmiştir. Sertlik ve tokluk arasında iyi bir dengeye katkı oranı en yüksek %15 olduğunda erişilebilmiştir.



Literatürde daha önce yapılan bilimsel çalışmalar incelendiğinde, kitosan katkı malzemesi ile ilgili çok sayıda yayın bulunmaktadır. Bunların büyük bir çoğunluğu polimer gıda film malzemelerine yöneliktir. Fakat polimer matrisli hacimsel malzemelerle yapılan kitosan katkılı çalışmaların sınırlı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca katkı ile üretilen hacimsel kompozitlerin mekanik, tribolojik, yanmayı geciktiricilik ve antibakteriyel özelliklerine pek rastlanmamıştır. Bu sebeple literatürdeki bu eksikliğin tamamlanması ve endüstride günlük yaşamda, hastanelerde, tesisatlarda, gıda endüstrisinde, elektrik, elektronik gibi sektörlerde kullanımını sağlamak ve ürün üretmek için bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, PP polimeri matris malzeme olarak seçilmiştir. Farklı oranlarda kitosan ilaveli polipropilen (PP) kompozitlerin mekanik, fiziksel, tribolojik ve antibakteriyel özellikleri araştırılmıştır. Deneyleerde, %10kitosan katkılı PP, %20kitosan katkılı PP, %30kitosan katkılı PP, ile asetik asit ile modifiyeli %10kitosan, %20kitosan ve %30kitosan katkılı polipropilen kompozitler kullanılmıştır ve tek vidalı ekstrüderde üretilmişlerdir. Katkısız PP ve kitosan katkılı PP kompozitlerin test numuneleri enjeksiyonla kalıplanmıştır. Kalıplanan numunelerin mekanik, fiziksel, tribolojik, yanmayı geciktiricilik ve antibakteriyel özellikleri incelenmiştir. Çekme, eğme, darbe gibi mekanik testler, yoğunluk ve sertlik gibi fiziksel testler, pin-disk aşınma testi, kızgın tel deneyi ile antibakteriyel testleri gerçekleştirilmiştir. Deneyleerde, çekme mukavemeti, çekmedeki elastiklik modülü, kopmadaki % uzama, kopma mukavemeti, darbe mukavemeti, eğilme mukavemeti, eğmedeki elastiklik modülü, yoğunluk, Shore D sertlik testi, sürtünme katsayısı, spesifik aşınma oranı ile Escherichia Coli ile Staphylococcus Aureus bakterilerine karşı antibakteriyel özellikler incelenmiştir. Buna ilaveten, numunelerin kırılma ve aşınma yüzeylerinin mikroyapıları optik ve taramalı elektron mikroskop kullanılarak incelenmiştir.

## **BÖLÜM 2. POLİPROPİLEN VE KİTOSANIN ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI**

### **2.1. Polipropilen Polimerinin Özellikleri ve Kullanım Alanları**

Polipropilen, termoplastikler içerisinde düşük yoğunluğa sahip, şeffaf renkli, kokusuz ve uzun ömürlü olan bir polimerdir. Propilen gazının basınç altında polimerizasyonu ile elde edilen ve yarı kristalin yapılı olan polipropilen, mühendislik malzemesi olarak geniş bir uygulama alanına sahiptir. Saydamlık, boyutsal stabilite, alev direnci, yüksek ısıl bozulma derecesi ve yüksek darbe mukavemeti gibi birçok önemli ve faydalı özelliklere sahiptir. Mekanik, fiziksel, kimyasal, termal, işlenebilirlik ve ekonomik özelliklerinden dolayı PP, kompozit üretimi için en uygun termoplastik matris malzemelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Biyokütle kökenli lifli doğal polimerler ile PP kompozitlerin eldesi ile ilgili yapılan çalışmalar, doğal polimerik kompozit malzeme üretimindeki gelişmeler bakımından oldukça umut vericidir [7, 55-58].

Polipropilen mantarlara ve bakterilere karşı dayanıklıdır. Etkili asit ve bazlara karşı dayanıklı ve zehirsizdir. Uygun koşullarda üretildiğinde iyi derecede ışık ve ısı dayanımı kazandırılabilir. Talaşlı işlenebilir. Yanıcı fakat yavaş yanma özelliğine sahiptir. Yanma esnasında parlak ve mavi alevle birlikte, mum kokusuna benzer bir koku vermektedir. Kaynaklı işlemlerin yapılmasına uygundur. Su geçirmeyen ve düşük nem tutma özelliğine sahip polipropilen polimerinin boyanması zor özellikte bir yapısı vardır [55, 56, 59].

Polipropilen, folye, plaka, profil, boru, hastane ve laboratuvar aletleri, kutu, sehpa, menteşe, sandalye, elektrikli ev aletlerinin parçaları vb. üretiminde kullanılmaktadır [60,61]. Bunlara ilaveten, otomotiv sanayinde akümülatörlerin yapımında, enjektör,

halat, levha, atılabilir filtre, elektrik malzemeleri vb. yapımında da kullanılmaktadır [56].

Polipropilen, termoplastik malzemelerden ürün imalatında kullanılan bütün metotlarla üretilmektedir. PP ile yapılan üretimlerde daha kaliteli ürün elde edilmesi için yüksek basınçla çalışmak iyi sonuçlar vermektedir. Enjeksiyon yöntemi ile imalat yönteminde PP polimerinin kullanımı oldukça yaygındır. Çalışma sıcaklığı 200°C-250°C arasında olmalıdır. Hiçbir zaman 270°C sıcaklık değerinin üzerinde çalışılmamalıdır. Sınırlar dahilinde, sıcak çalışma koşullarında daha yüksek ürün yüzey kalitesinin elde edilmesi mümkün olmaktadır. Bu sıcaklığın geçilmesi durumunda ise polipropilen bozunmakta ve ürünün mekanik özellikleri olumsuz etkilenerek daha kırılabilir olmaktadır [62, 63].

## **2.2. Kitosanın Özellikleri ve Kullanım Alanları**

Yengeç ve karides gibi kabuklu su canlılarının kabukları kimyasal ve biyolojik yöntemlerle işlenerek yeniden değerlendirilmektedir. Bu şekilde elde edilen ürünlerin başında kitin ve kitosan gelmektedir [64, 65]. Kitin, kabuklu su ürünlerinin ana bileşenidir. Selülozdan sonra doğada en fazla bulunan ikinci yenilebilir polimerdir. Kitosan, kitinin bir türevi olup kitinin deasetilasyonu ile elde edilir. Kitinden önemli bir farkı ise asidik solüsyonlarda çözünebilmesidir. Kitosan doğal bir biyopolimerdir. [21, 66, 67]. Katı durumdayken yarı şeffaf ve sarımsı beyaz renkte olup kokusuz ve tatsızdır [21].

Kitinin birçok türevi arasında en önemli yere sahip olan kitosan, 1811 yılında Henri Bracannot tarafından bulunmuştur. 1894 yılında ise Hoppe-Seyler tarafından kitine deasetilasyon işlemi uygulanarak kitosan elde edilmiştir. Sonrasında birçok akademik ve endüstriyel çalışmada kullanılmış ve halen kullanılmaktadır [64, 68].

Dünyada kitinin yıllık üretimi  $150 \times 10^3$  ton civarında olup böcek kabuklarında yaklaşık % 23,5, yengeçte % 17 ve karideste % 32 civarında bulunur [64, 65]. Günümüzde kitin ve kitosan üretimi özellikle Oregon, Washington, Virginia,

Japonya ve Antartika'da gerçekleştirilmektedir. Norveç, Meksika ve Şili gibi ülkelerde de çalışmalar yapılmakta ve üretim maliyetinin ürün kalitesine ve üretim prosesine bağlı olarak değiştiği görülmektedir [64, 69, 70].

Kompozit malzeme üretiminde sentetik fiberler yerine ucuz ve biyobozunur özellikli doğal fiberlerin katkı maddesi olarak kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Kenevir, sisal, muz ve kitosan gibi birçok doğal elyaf, özellikle polimer bileşiklerde dolgu ya da takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır [1]. Kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından diğer biyopolimerlere göre üstün özellikler gösteren kitosan birçok endüstri dalında kullanılabilir. Kitosan biyobozunur ve biyo-uyumlu olmasının yanısıra toksik olmamasından dolayı gıda ambalajı, biyomedikal uygulamalar, su arıtma sistemleri ve ilaç salınım sistemleri gibi geniş uygulama alanlarına sahiptir [64, 71, 72]. Tekstil terbiyesi işlemlerinde kullanılan kimyasal maddeler de kirliliğe yol açmaktadır. Kirlilik, su ve enerji sarfiyatına çözüm olarak, zararlı kimyasal maddelerin yerine doğal maddelerin kullanılabilmesiyle ilgili çalışmalar yapılmaktadır [64, 68]. Ayrıca, kitosanın asidik çözeltilerde çözünebildiği, inorganiklerde sınırlı olsa da özellikle organik asidik çözeltilerde çözünebildiği bilinmektedir [73]. Bunlara ilaveten, gıda sektöründe de kimyasal koruyucu maddeler yerine doğal katkı maddeleri üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Kitosan, antimikrobiyel etkisi sayesinde gıda maddelerinin kalitesi ve raf ömrünün artırılmasında kullanılabilir. Et ve et ürünleri üretiminde, çilek, elma, armut gibi meyve ve sebzelerin depolanmasında ve diyetetik bir madde olarak kullanılmaktadır. Gıda maddelerini korumakta kullanılan film ve koruyucu ambalajların üretilmesinde kullanılabilir [21,74]. Kitosan, gıda işleme atıklarının yeniden kazanılması işlerinde ve tarımsal hammadde olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca, antimikrobiyel madde olarak, yiyecek ve içecekler katkı maddesi ve suyun saflaştırılması gibi uygulamalarda da kullanılmaktadır [70, 75].

Plastik ürünlerin kullanımları esnasında antimikrobiyel özellik göstermeleri için polimerlere ergiyik karışım yolu ile bazı antibakteriyel ajanların katılması bilinen en temel yoldur [76, 77, 78]. Buna ilaveten, antibakteriyel polimerlerin eldesi için aşılama, halojenizasyon veya kopolimerizasyon yöntemleri uygulanabilmektedir [76,

79]. Ergiyik fazda polimere katılan antibakteriyel maddeler  $TiO_2$ ,  $ZnO$ ,  $MgO$  gibi nano boyutlu metal oksitler veya zeolitler olabilmektedir [76, 80, 81].

### 2.2.1. Kitosanın antibakteriyel etkisi

İnsanların sağlığını etkileyen üç temel unsur insan, hastalık yapıcı etmenler ve çevredir. Mikroorganizma miktarı, herhangi bir tedbir alınmıyorsa sürekli olarak artış gösterebilmektedir [82, 83]. Bu artış kullanılan plastik ürünlerde, araçlarda, evlerde ve işyerlerinde insanları tehdit edebilmektedir. Özellikle de hastane gibi ortamlarda bu durum daha da önemsenmelidir. Kitosanın antibakteriyel aktivitesi reaksiyon serisinin sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Reaksiyonlar hücre duvarı ve kitosan molekülleri arasında gerçekleşmektedir. Burada etkili olan molekül morfolojisidir. Kitosanın fiziksel durumu mevcut molekül morfolojisine bağlı ve antibakteriyel aktivitesinde önemli bir rolü vardır [29]. Solüsyonun içinde çözünen kitosan ise uzayan bir konformasyona sahiptir. Bu konformasyon yeterli seviyede benzerleri ile reaksiyona girmesine olanak sağlayarak tam olarak uyumlu olma potansiyeli kazandırmaktadır [29, 84]. Çözünebilir kitosan ve onun türevlerinin bakteriyel gelişmenin inhibe edilmesinde neden daha etkili olduğunu açıklamaktadır. Çözünebilir kitosan ve türevleri, çözelti ile yeterli temas sayesinde dış çevresel faktörlerin yanı sıra çok sayıda iç faktörlerden de etkilenmektedir [14, 18, 29, 84]. Çözünebilir kitosanın moleküler ağırlığı ve deasitilasyon derecesi de önemlidir. Örneğin kitosanın moleküler ağırlığının belirgin ölçüde azaltmak çözünübilirliği attırmaktadır. Deasitilasyon derecesi ise çözünübilirliğinin geliştirilmesinde düşük verimle sonuçlanmaktadır [29, 85]. Çözünmüş kitosan için pH çözünürlükle ilgili çok önemli bir faktördür ve daha ileri düzeyde antibakteriyel aktiviteyi de değişikliğe uğratabilir. Benzer durum çözünebilir kitosanla sınırlı olmayıp katı durumda kullanılacak kitosanı da kapsamaktadır [29]. Çözünür kitosan ile karşılaştırıldığında katı kitosan, solüsyon ile artan uyumlu temas yerine, fiber, membran, hidrojel, mikroküre ve nanopartiküller olarak, sadece yüzey boyunca temasa girmektedir. Hidrojeller kitosan ile çapraz bağlı kovalent bağ oluşturabilmektedir. Fiziksel durum değişimi kitosanın antibakteriyel etkinliğini değiştirmektedir. Nanopartiküllerin daha az pozitif yükü negatif bakteriyel hücre duvarına bağlanmak üzere hedeflenmesi ile

bazı bakteriler üzerinde serbest çözüner biçimdeki polimerlerden daha az inhibisyon etkisi göstermektedir [15, 29]. Bunun aksine kitosan nanopartiküllerin özel karakteri göz önüne alındığında daha yüksek antibakteriyel etkinlik göstermesi de mümkün olabilmektedir. Nanopartiküllerin daha geniş yüzey alanı ve bakteri hücrelerine daha fazla benzerliği buna sebep olabilmektedir [29, 86]. Katı halde iken kitosanın antibakteriyel aktivitesini pH değeri de etkilemektedir. Katı kitosan ve türevleri, çözüner durumdakinden daha geniş ölçekteki pH değerinin üzerinde antibakteriyel aktivite gösterebilmektedir. Ayrıca bu etki katı yüzeyin karakteristiği ve katı kitosanın morfolojisi de dahil olmak üzere farklı faktörlere bağlıdır. En önemli faktörlerden biri de yüzeyin hidrofobik ya da hidrofilik karakteristikte olmasıdır [17, 29]. Zeta potansiyeli nanopartiküllerde mevcut yüzey yüklerinin iyi bir göstergesi olan başka bir temel yüzey karakteristik özelliği olup kitosanın antibakteriyel etkinliğini etkilemektedir [15, 29]. Katı kitosanın morfolojisi ve partikül büyüklüğü, membran ve fiber kalınlığı farklı sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Toz kitosan membranın antibakteriyel aktivitesi hem şekline hem de spesifik yüzey alanına bağlıdır. Toz haline getirilmiş kitosanın partikül boyutunun azalması antibakteriyel aktivitesini geliştirmektedir [16, 29].

## BÖLÜM 3. DENEY MALZEMELERİ VE YAPILAN DENEYLER

### 3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Üretim Yöntemi

Bu tez çalışmasında, polipropilen polimeri ile kitosan katkılı polipropilen kompozitler olmak üzere toplam 7 farklı malzeme kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan PP polimerinin bilgileri Tablo 3.1.'de, kitosan katkısının bilgileri Tablo 3.2.'de verilmiştir. Tablo 3.3.'de ise deneylerde kullanılan PP ve PP kompozitlerin kısaltmaları ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan polimerin ticari ve teknik bilgileri

Malzeme	Kısa Gösterim	Ticari Adı	Üretici Firma	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	MFI (gr/10dk)
Polipropilen homopolimer	PP	Pimaplen	Pimar	0,87	12

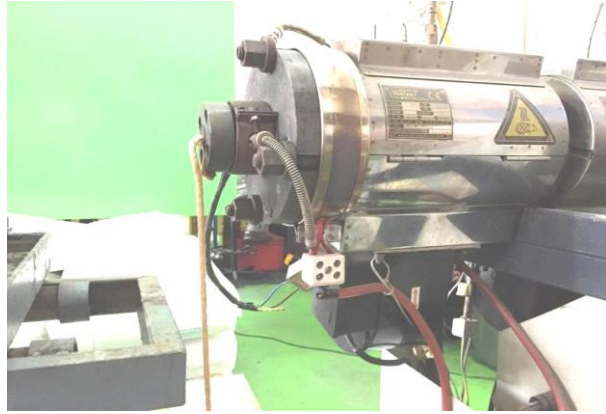
Tablo 3.2. Deneylerde kullanılan kitosanın ticari ve teknik bilgileri

Malzeme	Kısa Gösterim	Ticari Adı	Üretici Firma	Ort. partikül boyutu (µm)	Deasitilasyon derecesi (%)
Kitosan	CS	Kitosan 9012-76-4	Xi'an Rongsheng Biotechnology Co., Ltd.	100	95

Ayrıca kitosanın modifiye edilmesinde Tekkim firmasının TK.010030 ürün numarası ile sunduğu %100 saflıkta asetik asit çözeltisi ve TK.200655 ürün numarası ile sunduğu % 99,5 saflıkta etil alkol kullanılmıştır. Kompozit granüllerinin üretim aşamasında PP ile kitosanın homojen olarak karıştırılması için Mişa firmasının ürünü saf kekik yağı kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında kompozit malzemeler STM Teknik Şirketi bünyesinde bulunan STM01-2012 Marka Model 4Kw gücünde endüstriyel tip bir tek vidalı ekstrüder ile

180°C-190°C sıcaklık aralığında üretilmiştir. Kitosan katkı PP kompozitin üretilmesi için önce PP granürler az miktarda %0,2 oranında kekik yağı ile muamele edilmiştir. Sonra belirlenen %10, %20 ve %30 oranlarında toz olarak bulunan kitosan eklenip karıştırılarak 4,5mm çapında dairesel kesitli olarak fitil şekline getirilmiştir. Şekil 3.1.'de deney malzemelerinin üretilmesinde kullanılan endüstriyel tip tek vidalı ekstrüzyon makinesi gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Endüstriyel Tip Ekstrüzyon Makinesi

Fetil şeklinde elde edilen bu malzemeler plastik kırma makinesinde kırılarak tekrar granür haline getirilmiştir. Daha sonra granürler 40°C sıcaklıkta 1 saat süre ile kurutulmuştur. Şekil 3.2.'de kırma işleminde kullanılan Hastek marka plastik kırma makinesi ve Şekil 3.3.'de kırılarak granür şekline gelen malzemeler gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Plastik kırma makinesi





Şekil 3.3. Granül haline getirilmiş PP kompozitleri

Asetik asit modifiyeli kitosan katkıli kompozit malzemenin üretilmesinde ise toz olarak bulunan kitosan, oda sıcaklığında, etanol içinde %3 asetik asit çözeltisi ile karıştırılarak çözülmüştür. Karışım, homojenize olması için 2 saat boyunca manyetik karıştırıcıda mekanik olarak karıştırılmıştır. Şekil 3.4.'de asetik asit çözeltisi ile kitosanın karıştırılması sürecinde çekilen fotoğraf verilmiştir.



Şekil 3.4. Asetik asit çözeltisi ile kitosanın manyetik karıştırıcıda karıştırılması

Karıştırma işleminden sonra çökelti filtrelenmiş ve ardından fırınlanarak 18 saat boyunca  $70^{\circ}\text{C}$  de kurutulmuştur. Elde edilen asetik asit modifiyeli kitosan, modifiyesiz kitosan katkıli PP kompozitin üretilmesine benzer şekilde ekstrüzyon tezgahında üretilmiştir. Daha sonra, plastik kırma makinesinde kırılarak enjeksiyon yöntemiyle numune üretimine hazırlamak için granül haline getirilmiş ve  $40^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta 1 saat süre ile kurutulmuştur.

Tablo 3.3.'de bilgileri verilen saf PP polimer ve PP kompozit deney numunelerinin üretimi Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Laboratuvarında bulunan Yonca Makina YMS 120/200 marka, 200 gramajlı ve 18 Kw gücündeki Şekil 3.5.'de fotoğrafı verilen plastik enjeksiyon makinasıyla yapılmıştır. Ayrıca üretim aşamasında plastik enjeksiyon makinasına ait üretim proses değerleri Tablo 3.4.'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Deneylerde kullanılan PP polimeri ve kompozitlerinin bilgileri

Sıra No	Numune Adı	Kısa Gösterimi	Üretim Yöntemi	Yoğunluk gr/cm <sup>3</sup>
1	Polipropilen	PP	Ekstrüzyon	0,87
2	%10 kitosan katkılı PP kompozit	PP+%10kitosan	Enjeksiyon	0,9
3	%20 kitosan katkılı PP kompozit	PP+%20kitosan	Enjeksiyon	0,91
4	%30 kitosan katkılı PP kompozit	PP+%30kitosan	Enjeksiyon	0,92
5	AA modifiyeli %10 kitosan katkılı PP kompozit	AA modifiyeli PP+%10kitosan	Enjeksiyon	0,9
6	AA modifiyeli %20 kitosan katkılı PP kompozit	AA modifiyeli PP+%20kitosan	Enjeksiyon	0,92
7	AA modifiyeli %30 kitosan katkılı PP kompozit	AA modifiyeli PP+%30kitosan	Enjeksiyon	0,96



Şekil 3.5. Deneylerde kullanılan plastik enjeksiyon makinası

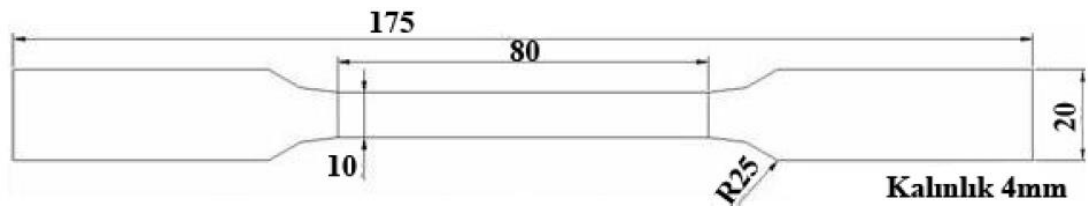
Tablo 3.4. Enjeksiyon makinesinde uygulanan proses değerleri

İşlem	Enjeksiyon
Sıcaklık (°C)	200
Bekleme süresi (s)	30
Basınç (bar)	100
Kalıp sıcaklığı (°C)	40

## 3.2. Yapılan Deneyler

### 3.2.1. Çekme deneyi

Çekme deneyi, malzemelerin çekmeye karşı mekanik özelliklerini belirlemek için kullanılan başlıca deney yöntemlerindedir. Deney sonrasında deney cihazları sayesinde numunenin çekmedeki uzaması, çekme mukavemeti, kopmadaki uzaması ve kopma mukavemeti ile elastik modülü okunabilmektedir [87]. Bu çalışmada çekme deneyleri Pimar Plastik San. Tic. Ltd. Şti. bünyesinde bulunan Zwick-Roell Z020 çekme-eğilme cihazı kullanılarak 23°C oda sıcaklığında 10 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Deneyler ISO 527'ye uygun şekilde yapılmıştır. Deney numuneleri standartlara göre hazırlanmış olup malzemeler enjeksiyon kalıplama yöntemi ile yapılmıştır. Çekme deneylerinde her malzeme için en az üç çekme test numunesi kullanılmış olup sonuçlarda bunların ortalaması alınmıştır. Çekme deneyinde, cihazla birlikte cihaza bağlantılı bir bilgisayar ve cihazın test programı olan testxpert yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım ile deney yapılırken deney malzemelerinin çekme mukavemeti, çekmedeki % uzama, kopma mukavemeti, kopmadaki % uzama miktarı ve elastiklik modülü değerleri hesaplanmaktadır. Şekil 3.6.'da testlerde kullanılan çekme deneyi numunesinin şekli ve boyutları, Şekil 3.7.'de testlerde kullanılan çekme deneyi cihazı gösterilmiştir.



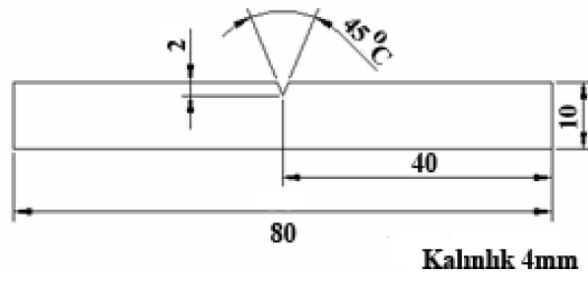
Şekil 3.6. Çekme deneyi numunelerinin şekli ve boyutları [88]



Şekil 3.7. Zwick-Roell çekme-eğilme testi cihazı

### 3.2.2. Darbe deneyi

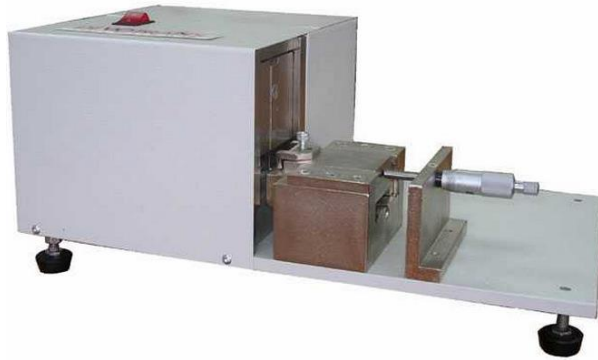
Izod darbe dayanımı testi ve kullanılan test cihazı, malzemenin belirlenen darbe özelliklerine sahip olup olmadığını belirlemek ya da diğer malzemelerle özelliklerini karşılaştırmak için, hızlı ve kolay bir kalite kontrol yöntemi olarak kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, darbe deneyleri, Pimar Plastik San. Tic. Ltd. Şti. bünyesinde bulunan Zwick-Roell HIT 5,5P marka model darbe dayanımı testi cihazında ISO 180'e uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri, enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilmiştir. Çentikli darbe testlerinde kullanılacak numuneler için çentik açma işlemi oldukça hassas bir işlemdir. Çentikli numunelerde bulunan çentikler standartlara uygun şekilde deney parçasının boyuna eksenine dik olacak şekilde açılarak hazırlanmıştır. Darbe deneylerinde her malzeme için en az üç test numunesi kullanılmış olup sonuçlarda bunların ortalaması alınmıştır. Şekil 3.8.'de çentikli darbe deneylerinde kullanılan numunenin şekli ve boyutları, Şekil 3.9.'da kullanılan darbe dayanımı test cihazı ve Şekil 3.10.'da çentik açma cihazı verilmiştir.



Şekil 3.8. Darbe deneyi numunelerinin şekli ve boyutları [88]



Şekil 3.9. Zwick-Roell Hit 5,5 P darbe dayanımı test cihazı



Şekil 3.10. Devotrans DVT CDA çentik açma cihazı

### 3.2.3.Sertlik deneyi

Sert plastik malzemelerin sertlik değerleri D tipi shoremetre kullanılarak belirlenebilmektedir. Durometre de denilen bu cihazlar ile plastik numuneye 10-15s süre ile batıcı uçla belli değerlerde yük uygulanarak sertlik değeri tespit edilmektedir. Bu tez çalışmasında sertlik deneyleri, Pimar Plastik San. Tic. Ltd. Şti. bünyesinde bulunan Tronic marka Shore A-D sertlik testi cihazı kullanılarak, ISO 868'e uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.11.'de, testlerde kullanılan sertlik ölçme test cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Tronic shore A-D sertlik ölçme test cihazı

Deney numuneleri, enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilmiştir. Deneyler, kalınlığı 5 mm olan deney numunesine, 23°C oda sıcaklığında ve 5 kg yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, numuneler üzerinden en az üç ölçüm yapılmış ve bunların ortalaması alınmıştır.

### 3.2.4. Eğilme deneyi

Eğilme deneyi, malzemelerin eğmeye karşı mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında eğilme deneyleri, Pimar Plastik San. Tic. Ltd. Şti. bünyesinde bulunan Zwick Z020 çekme-eğilme cihazı kullanılarak 23°C oda sıcaklığında ve hareketli çenenin ilerleme hızı 2 mm/dk hızında ayarlanarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler ISO 178'e uygun şekilde yapılmıştır. Deney numuneleri standartlara göre hazırlanmış olup malzemeler enjeksiyon kalıplama yöntemi ile yapılmıştır. Eğilme deneylerinde her malzeme için en az üç test numunesi kullanılmış olup sonuçlarda bunların ortalaması alınmıştır. Şekil 3.12.'de eğilme deneylerinde kullanılan numunenin şekli ve boyutları gösterilmiştir. Eğilme deneyinde, cihazla birlikte cihaza bağlantılı bir bilgisayar ve cihazın test programı olan yazılım kullanılmıştır. Bu yazılım, deney yapılırken deney malzemelerinin eğilme mukavemeti ve eğilme modülü değerlerini hesaplamaktadır.



Şekil 3.12. Eğilme deneyi numunelerinin şekli ve boyutları [88]

### 3.2.5. Yoğunluk deneyi

Yoğunluk deneyi, malzemelerin fiziksel özelliklerini belirlemek için kullanılan başlıca deney yöntemlerindedir. Yoğunluğu belirlenmesi için kullanılan daldırma metodunda, önce havada daha sonra saf su ya da alkolde deney malzemelerinin ağırlıkları karşılaştırılmaktadır. Bu tez çalışmasında yoğunluk deneyleri, ISO 1183'e uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler, Pimar Plastik San. Tic. Ltd. Şti. bünyesinde bulunan And/gr 200 yoğunluk testi cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.13.'de, deneylerde kullanılan yoğunluk test cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.13. And/gr 200 yoğunluk testi cihazı

### 3.2.6. Aşınma deneyi

PP polimeri ve kompozitlerinin aşınma deneyleri Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneylerinin sonucunda, PP polimeri ve kullanılan kompozit malzemelerin tek bir disk türüne karşı sürtünme katsayıları ve aşınma oranları tespit edilmiştir. Daha sonra, deney malzemelerinin SEM ve EDS analizleri ile çelik diskin SEM analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.14.'de deneylerde kullanılan aşınma cihazı gösterilmiştir.





Şekil 3.14. Aşınma test cihazı

Ana gövde üzerinde bulunan elektrik motoru, yük kolu, yük hücresi ve düzeneğe bağlı bir bilgisayar gibi kısımlardan oluşan aşınma cihazında, elektrik motorundan aldığı hareketle, belirlenen hızlarda dönen bir disk bulunmaktadır. Bu disk, AISI 316L paslanmaz çelikten yapılmış olup 100 mm çapında ve 5 mm kalınlığındadır. Cihazda mevcut olan diskin üzerine vida yardımıyla sabitlenmiştir. Deneylerde kullanılan pim şeklinde olan numuneler ise 6 mm çap ve 50 mm boyunda, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiştir. Her deneyden önce çelik disk ortalama yüzey pürüzlülüğü  $Ra=0,25$  olacak şekilde parlatılarak alkol ile temizlenmiş ve 30 dk. süre ile kurutulmuştur. Benzer şekilde pim numuneler de alkol ile temizlenmiş ve 30 dk. süre ile kurutulmuştur. Yük kolu üzerinde pim şeklinde hazırlanan deney numunelerinin bağlanabilmesi için bir bağlama mekanizması vardır. Deney numunesi, bu mekanizma ile yük koluna bağlanarak sabitlenmiştir. Sisteme bağlı numune, deneye başlamak için dönen diskin üzerine yavaş bir şekilde bırakılmıştır. Numunenin diske sürtünmesiyle, yük kolu da diskin dönme yönünde hareket etmek istemektedir. Bunun sonucunda, kolda ileriye doğru bir hareket oluşmakta ve bu hareket, yanal kuvveti vermektedir. Yanal kuvvet değerleri, deney süresince yük hücresi ile ölçülerek elektronik göstergeden görülebilmektedir. Bu değerler, Excel programıyla kaydedilmiştir. Her deney süresinin sonunda disk ve program durdurulmuş ve yük kolu kaldırılarak deneyde kullanılan pim numune çıkarılmıştır. Eğer varsa üzerinde aşınma partikülleri ve çapak temizliği yapılmıştır. Daha sonra

deneylerde kullanılan numunelerin rutubeti alınarak Precisa marka 0,0001gr toleransında dijital hassas terazide tartımı yapılmış ve ilk ağırlıkları ile son ağırlıkları arasındaki fark hesaplanmıştır. Bu şekilde, tüm numunelerin aşınma miktarı değerleri tespit edilmiştir. Deney sürecince elde edilen yanal yük değerleri, deney yükü değerine bölünerek yanal sürtünme kuvveti değerleri Excel programı yardımı ile hesaplanmıştır. Buna ilaveten, Excel programı, sürtünme katsayısı değerleri ve grafiklerini de otomatik olarak oluşturmuş ve bu grafikler kaydedilmiştir. Sürtünme katsayısı, yanal kuvvetin normal kuvvete oranı olarak ifade edilmekte ve  $\mu = \frac{F_S}{F_N}$  eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte,  $\mu$ , sürtünme katsayısını;  $F_S$ , yanal sürtünme kuvvetini;  $F_N$  ise normal kuvveti ifade etmektedir. [89, 90]

### 3.2.7. Yanmazlık deneyi

Yanma davranışını iyileştirmek için bileşiklerin ana kategorileri, mineral, halojenlenmiş, fosfor içeren, azot içeren, silikon içeren ve nanometrik bileşiklerdir. Doğal polimerik malzemelerden alev geciktirici özelliğe sahip kompozit malzeme elde edilmesi üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Çoğu termoplastik malzeme doğal halinde yanıcı olduklarından dolayı yangın olasılığını arttırmakta ve tutuşmayla başlayan yanma söndürülemezse yayılmaktadır. Polimerik malzemeler ile kullanılan alev geciktirici katkı maddeleri yanmayı yavaşlatıp diğer bileşenlere sıçramasını engellemektedir. Bu şekilde farklı şekillerde sıcaklık artması sebebiyle başlayabilecek yangın riski minimuma indirilebilmektedir [43, 50].

Bu tez çalışmasında, kitosanın PP polimerinin yanmazlık özelliklerine olan etkisini belirlemek amacıyla IEC 60695-2-11'e uygun şekilde kızaran tel deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.15.'de, deneylerde kullanılan Federal Elektrik Şti. ait Federal KT01 kızaran tel test cihazı ve deneyin uygulanması sürecinde çekilmiş bir fotoğraf verilmiştir.

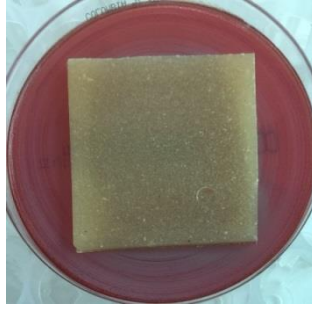


Şekil 3.15. Federal KT01 kızaran tel test cihazı

Deneyleerde, enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilen 4 mm kalınlığında plaka numuneler kullanılmış ve 23°C ortam sıcaklığında geręekleřtirilmiřtir. Deneyle numunesi elektrik akımı ile gerekli sıcaklığa getirilmiş kızgın telin üzerine dikey olarak 30s sürecince ve 1N kuvvet ile temas ettirilmiş ve kızaran telin malzeme içinde hareketi 7mm ile sınırlandırılmıştır. Deneyleler, 550°C, 650°C, 750°C, 850°C ve 960°C sıcaklıklarda kızgın tel ile geręekleřtirilmiřtir. Bu sıcaklık değerlerinde deneyle uygulanıp numune geri çekildikten sonra alev oluşup oluşmaması, oluşursa alevin sönme süresi ve deneyle numunesinde damlama olup olmadığı izlenmiştir. Deneyle numunesi kızgın telden uzaklaştırdıktan sonra alev almaz ve sönerse ya da numunenin tutuşması durumunda tel uzaklaştıktan 30 saniye içinde sönere ise malzeme deneyleyi geçmiş olmaktadır.

### 3.3. Antibakteriyel testler

Hazırlanan test numuneleri, Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda standart atmosfer şartlarında 24 saat kondisyonlanmıştır. Daha sonra, EN ISO 20645 standardına göre antibakteriyel etkinlikleri incelenmiştir. Şekil 3.16.'de, deneylelerde kullanılan bir numunene örneği verilmiştir.



Şekil 3.16. Antibakteriyel etkinliğin belirlenmesinde kullanılan deney numunesi örneği

Hastalık yapıcı gram-pozitif bir bakteri olan *Staphylococcus aureus*, hastanelerde çapraz enfeksiyonun ana nedenlerinden olup en sık değerlendirilen bakteri örneklerinden biridir. Buna ilaveten, cerrahi enfeksiyonlara önemli oranlarda *S. aureus* ve *Escherichia coli* neden olmaktadır. Bu nedenle antibakteriyel değerlendirmelerde test organizması olarak gram-pozitif *S. aureus* (ATCC 6538) ve gram-negatif *E. coli* (ATCC 35218) bakteri suşları seçilmiştir. Deney malzemelerinin antibakteriyel etkisi, agar ile numune arasındaki temas bölgesinde meydana gelecek olan bakteri gelişimi ve eğer mevcutsa numunenin etrafındaki inhibisyon bölgesini inceleyerek değerlendirilmektedir.

## **BÖLÜM 4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA**

### **4.1. Deney Malzemelerinin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi**

Deney malzemelerinin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme, darbe, eğilme deneyleri yapılmıştır. Deney numuneleri, Tablo 4.1.'de verildiği gibi numaralandırılmıştır. Numara 0 deney numunesi katkısız PP'yi ifade etmektedir. Numara 1, 2 ve 3 ise sırasıyla %10, %20 ve %30 modifiye edilmemiş kitosan katkılı PP esaslı kompozit malzemeleri ifade etmektedir. Numara 4, 5 ve 6 deney numuneleri ise sırasıyla %10, %20 ve %30 oranlarında modifiye edilmiş kitosan katkılı PP kompozit malzemeleri ifade etmektedir.

#### **4.1.1. Deney malzemelerinin çekme deneyleri**

Çekme deneyleri ISO 1183 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çekme deneylerinin sonucunda, deney malzemelerinin çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, elastiklik modülü, çekmedeki % uzama, kopmadaki % uzama değerleri tespit edilmiştir. Daha sonra, bu değerlerin kitosan katkı oranı ile ilişkileri incelenmiştir. Deney numuneleri enjeksiyon makinasında 225-260°C ısıtıcı sıcaklık aralığında ve 100 bar basınç altında basılmıştır. Çekme deneyleri 20 mm/dk çekme hızında Zwick Z020 çekme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde her malzeme için en az üç çekme test numunesi kullanılmış olup sonuçlarda bunların ortalaması alınmıştır.

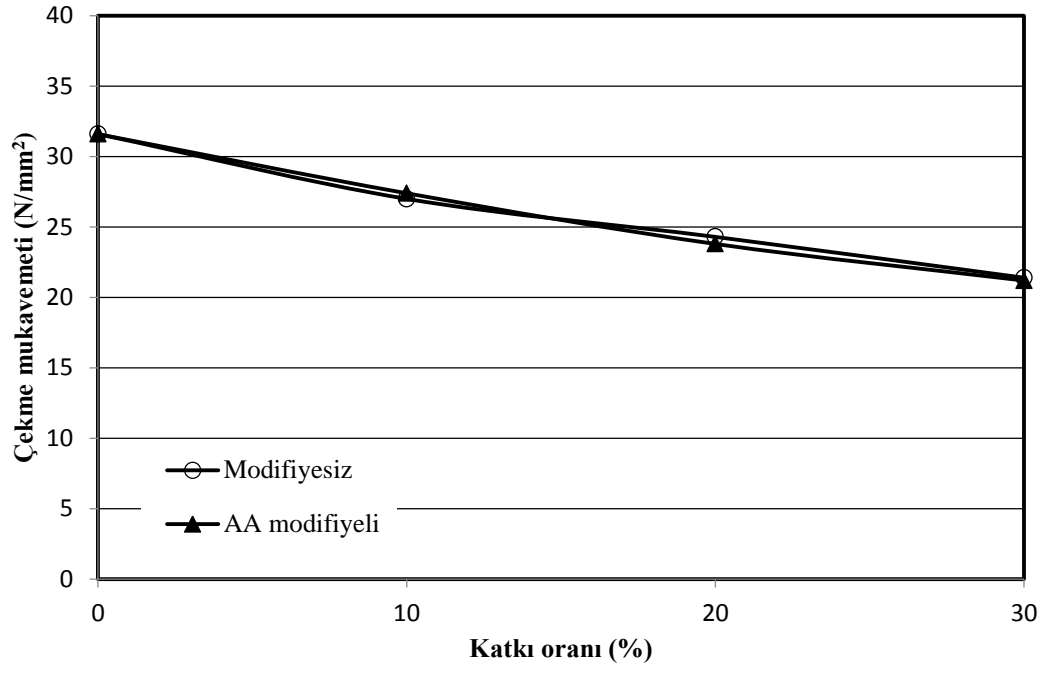
#### 4.1.1.1. Deney malzemelerinin çekme mukavemeti-kitosan katkı oranı ilişkisi

Tablo 4.1.'de, ISO 1183 standardına uygun olarak gerçekleştirilen çekme deneylerinin sonucu tespit edilmiş olan çekme mukavemeti değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Deney malzemelerinin çekme mukavemeti değerleri

Numune Numarası	Katkı Oranı (%)	Malzeme Tanımı	Test Metodu	Çekme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )
0	0	PP	ISO 1183	31,6
1	10	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	27
2	20	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	24,3
3	30	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	21,4
4	10	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	27,4
5	20	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	23,8
6	30	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	21,2

Şekil 4.1.'de ise PP polimeri numunesi ile modifiyesiz ve AA modifiyeli %10-30 oranlarında kitosan katkılı numunelerin çekme mukavemeti değerlerinin değişimini gösteren grafik verilmiştir. PP ve kompozitlerinin çekme mukavemeti ile kitosan katkı oranı ilişkisi incelendiğinde, kitosan katkı oranının artması ile çekme mukavemeti değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Benzer azalma davranışı, hem modifiyesiz hem de AA modifiyeli kitosan katkılı polipropilen kompozitlerde gözlenmiştir. PP polimerinin çekme mukavemeti 31,6 N/mm<sup>2</sup> iken, modifiyesiz %10, %20 ve %30 oranında kitosan katkılı PP kompozitlerde çekme mukavemetleri sırasıyla 27 N/mm<sup>2</sup>, 24,3 N/mm<sup>2</sup> ve 21,4 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde AA ile modifiye edilmiş kitosan katkılı numunelerde %10, %20 ve %30 oranında çekme mukavemetleri sırasıyla 27,4 N/mm<sup>2</sup>, 23,8 N/mm<sup>2</sup> ve 21,2 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Hem modifiyesiz hem de AA ile modifiye edilmiş %30 oranında kitosan ilaveli kompozitlerin çekme mukavemetinin saf PP polimerine göre azalma oranı sırasıyla %32,2 ve %32,9 oranında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. Saf PP ve modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin çekme mukavemeti-kitosan katkı oranı ilişkisi

#### 4.1.1.2. Deney malzemelerinin çekmedeki % uzama-kitosan katkı oranı ilişkisi

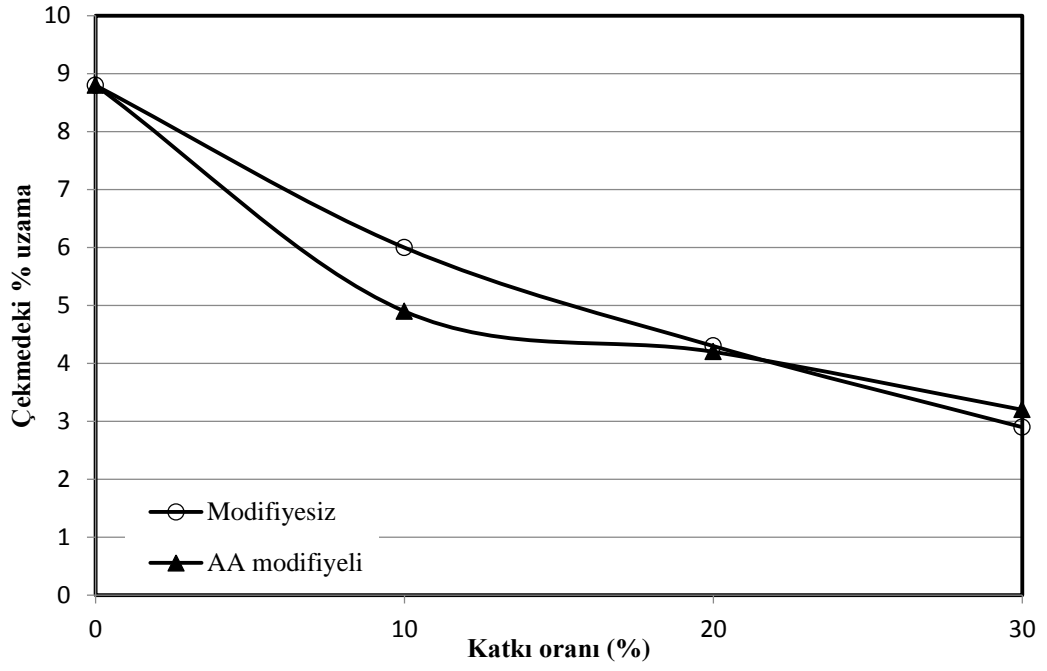
Tablo 4.2.'de, ISO 1183 standardına uygun olarak gerçekleştirilen çekme deneylerinin sonucu tespit edilmiş olan çekmedeki % uzama oranları verilmiştir.

Tablo 4.2. Deney malzemelerinin çekmedeki % uzama oranları

Numune Numarası	Katkı Oranı (%)	Malzeme Tanımı	Test Metodu	Çekmedeki Uzama (%)
0	0	PP	ISO 1183	8,8
1	10	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	6
2	20	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	4,3
3	30	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	2,9
4	10	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	4,9
5	20	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	4,2
6	30	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	3,2

Şekil 4.2.'de ise PP polimeri, modifiyesiz ve AA modifiyeli %10-30 oranlarında kitosan katkılı numunelerin çekmedeki % uzama oranı değerlerinin değişimi gösteren grafik verilmiştir. PP ve kompozitlerinin çekmedeki % uzama oranı ile kitosan katkı oranı ilişkisi incelendiğinde, kitosan katkı oranının artması ile çekmedeki % uzama oranı değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalma hem modifiyesiz hem de AA modifiyeli kitosan katkılı polipropilen kompozitlerde benzer davranış göstermiştir. Saf PP'nin çekmedeki % uzama oranı %8,8 iken, modifiyesiz %10, %20, %30 oranında kitosan katkılı PP kompozitlerde çekmedeki % uzama oranları sırasıyla %6, %4,3 ve %2,9 olduğu tespit edilmiştir. %10, %20, %30 oranında AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerinin çekmedeki % uzama oranları ise sırasıyla %4,9, %4,2, %3,2 olduğu tespit edilmiştir.





Şekil 4.2. Saf PP, modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin çekmedeki % uzama-kitosan katkı oranı ilişkisi

#### 4.1.1.3. Deney malzemelerinin elastiklik modülü-kitosan katkı oranı ilişkisi

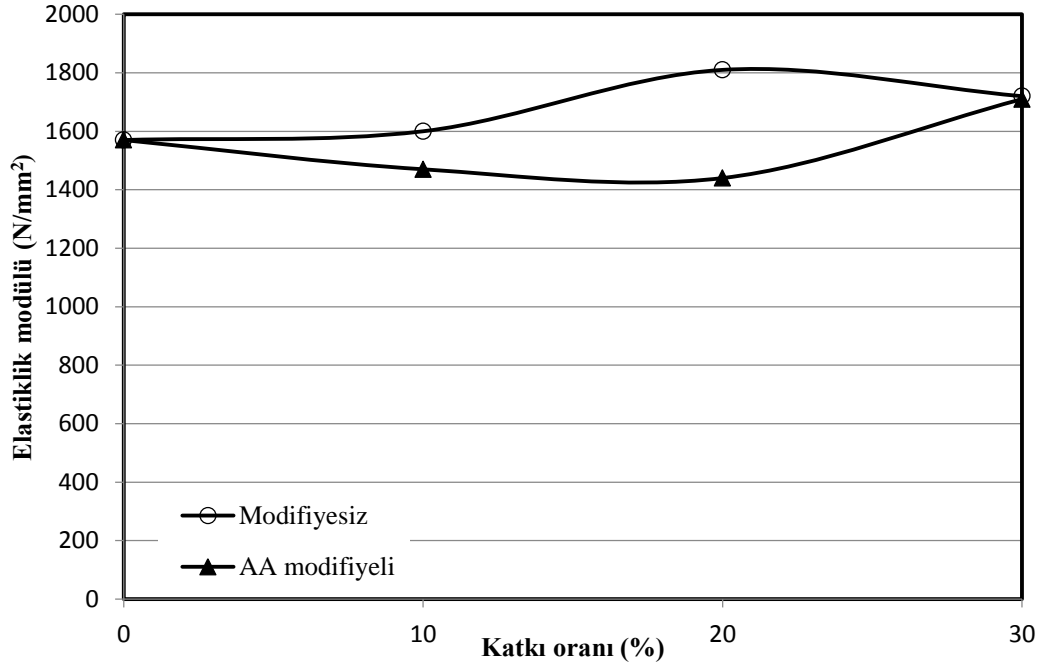
Tablo 4.3.'de, ISO 1183 standardına uygun olarak gerçekleştirilen çekme deneylerinin sonucu tespit edilmiş olan elastiklik modülü değerleri verilmiştir.

Tablo 4.3. Deney malzemelerinin elastiklik modülü değerleri

Numune Numarası	Katkı Oranı (%)	Malzeme Tanımı	Test Metodu	Elastiklik Modülü (N/mm <sup>2</sup> )
0	0	PP	ISO 1183	1570
1	10	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	1600
2	20	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	1810
3	30	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	1720
4	10	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	1470
5	20	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	1440
6	30	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	1710

Şekil 4.3.'de ise PP polimeri, modifiyesiz ve AA modifiyeli %10-30 oranlarında kitosan katkılı numunelerin elastiklik modülü değerlerinin değişimini gösteren grafik verilmiştir. PP ve kompozitlerinin elastiklik modülü ile kitosan katkı oranı ilişkisi incelendiğinde, kitosan katkı oranına göre elastiklik modülü değerlerinin artma ya da azalma şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Modifiyesiz ve AA modifiyeli %30 kitosan katkılı polipropilen kompozitlerde ise artma olduğu ve benzer davranış gösterdiği tespit edilmiştir. PP polimerinin elastiklik modülü 1570 N/mm<sup>2</sup> iken, modifiyesiz %10, %20 ve %30 oranında kitosan katkılı PP kompozitlerde elastiklik modülü sırasıyla 1600 N/mm<sup>2</sup>, 1810 N/mm<sup>2</sup> ve 1720 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde AA ile modifiye edilmiş kitosan katkılı numunelerde yani %10, %20 ve %30 oranında kitosan katkılı PP kompozitlerde elastiklik modülü sırasıyla 1470 N/mm<sup>2</sup>, 1440 N/mm<sup>2</sup> ve 1710 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Hem modifiyesiz hem de AA ile modifiye edilmiş %30 oranında kitosan ilaveli kompozitlerin elastiklik modülü

saf PP polimerine göre artma oranı sırasıyla %9,5 ve %8,9 oranında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.3. Saf PP ve modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin elastiklik modülü-kitosan katkı oranı ilişkisi

#### 4.1.1.4. Deney malzemelerinin kopma mukavemeti-kitosan katkı oranı ilişkisi

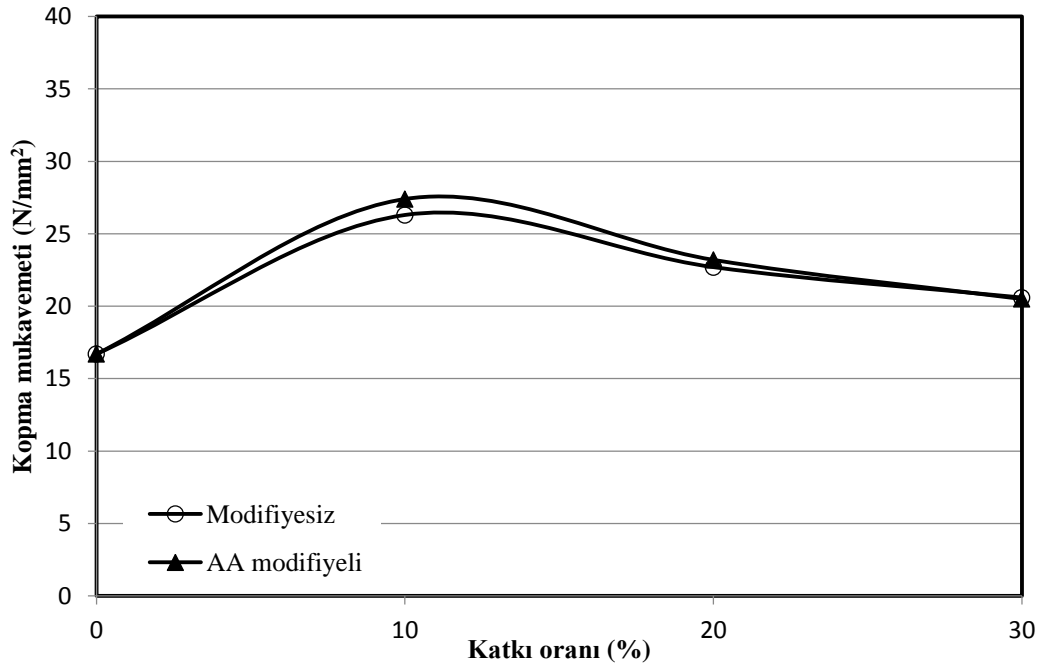
Tablo 4.4.'de, ISO 1183 standardına uygun olarak gerçekleştirilen çekme deneylerinin sonucunda tespit edilmiş olan kopma mukavemeti değerleri verilmiştir.

Tablo 4.4. Deney malzemelerinin kopma mukavemeti değerleri

Numune Numarası	Katkı Oranı (%)	Malzeme Tanımı	Test Metodu	Kopma Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )
0	0	PP	ISO 1183	16,7
1	10	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	26,3
2	20	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	22,7
3	30	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	20,6
4	10	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	27,4
5	20	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	23,2
6	30	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	20,5

Şekil 4.4.'de ise PP polimeri, modifiyesiz ve AA modifiyeli %10-30 oranlarında kitosan katkılı numunelerin kopma mukavemeti değerlerinin değişimini gösteren grafik verilmiştir. PP ve kompozitlerinin kopma mukavemeti ile kitosan katkı oranı ilişkisi incelendiğinde, saf PP polimerine göre kopma mukavemeti değerlerinin daha yüksek olduğu, %10 oranında katkılı kompozitlerin PP polimerine göre en yüksek değeri aldığı ve kitosan katkı oranı arttıkça kopma mukavemeti değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Saf PP'nin kopma mukavemeti 16,7 N/mm<sup>2</sup> iken, modifiyesiz %10, %20 ve %30 oranında kitosan katkılı PP kompozitlerde kopma mukavemetleri sırasıyla 26,3 N/mm<sup>2</sup>, 22,7 N/mm<sup>2</sup> ve 20,6 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde AA ile modifiye edilmiş kitosan katkılı numunelerde yani %10, %20 ve %30 oranında kitosan katkılı PP kompozitlerde kopma mukavemetleri sırasıyla 27,4 N/mm<sup>2</sup>, 23,2 N/mm<sup>2</sup> ve 20,5 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Hem modifiyesiz hem de AA ile modifiye edilmiş %10 oranında kitosan ilaveli kompozitlerin kopma mukavemetinin saf PP polimerine göre artma oranı sırasıyla %57,4 ve %64 oranında

olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde kopma mukavemetlerinin artma oranları, %20 oranında kitosan ilaveli kompozitlerde sırasıyla %35,9 ve %38,9 olduğu ve %30 oranında kitosan ilaveli kompozitlerde sırasıyla %23,3 ve %22,7 olduğu tespit edilmiştir.



şekil 4.4. Saf PP ve modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin kopma mukavemeti-kitosan katkı oranı ilişkisi

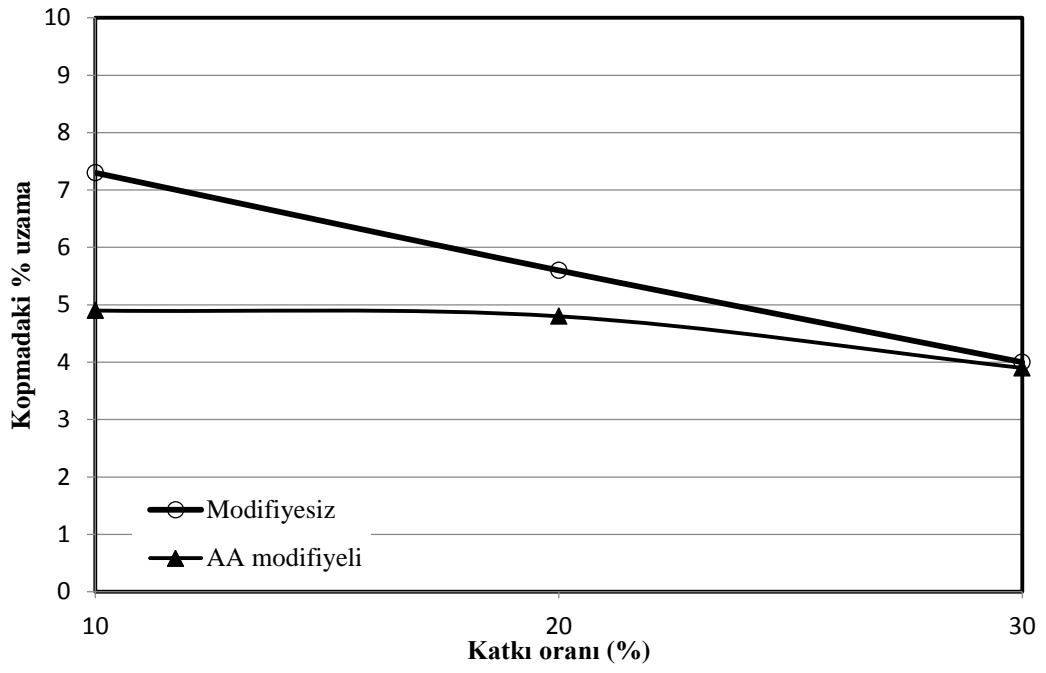
#### 4.1.1.5. Deney malzemelerinin kopmadaki % uzama-kitosan katkı oranı ilişkisi

Tablo 4.5.'de, ISO 1183 standardına uygun olarak gerçekleştirilen çekme deneylerinin sonucunda tespit edilmiş olan kopmadaki % uzama değerleri verilmiştir.

Tablo 4.5. Deney malzemelerinin kopmadaki % uzama oranları

Numune Numarası	Katkı Oranı (%)	Malzeme Tanımı	Test Metodu	Kopmadaki % Uzama
0	0	PP	ISO 1183	430
1	10	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	7,3
2	20	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	5,6
3	30	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	4
4	10	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	4,9
5	20	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	4,8
6	30	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	3,9

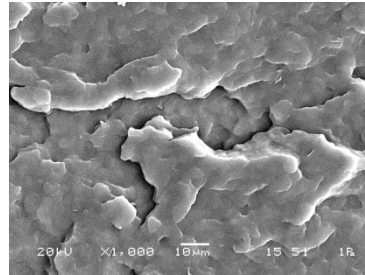
Şekil 4.5.'de, PP polimeri, modifiyesiz ve AA modifiyeli %10-30 oranlarında kitosan katkılı numunelerin kopmadaki % uzama değerlerinin değişimini gösteren grafik verilmiştir. PP ve kompozitlerinin kopmadaki % uzama değerleri ile kitosan katkı oranı ilişkisi incelendiğinde, kitosan katkı oranının artması ile kopmadaki % uzama değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalma hem modifiyesiz hem de AA modifiyeli kitosan katkılı polipropilen kompozitlerde benzer davranış göstermiştir. Saf PP'nin kopmadaki % uzama değerleri %430 iken, modifiyesiz %10, %20 ve %30 oranında kitosan katkılı PP kompozitlerde kopmadaki % uzama değerleri sırasıyla %7,3, %5,6, ve %4 olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde AA ile modifiye edilmiş kitosan katkılı numunelerde yani %10, %20 ve %30 oranında kitosan katkılı PP kompozitlerde kopmadaki % uzama değerleri sırasıyla %4,9, %4,8 ve %3,9 olarak tespit edilmiştir.



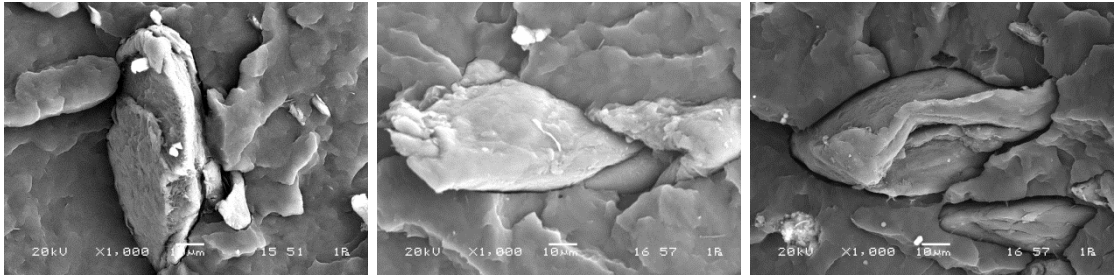
Şekil 4.5. Modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin kopmadaki % uzama-kitosan katkı oranı ilişkisi

#### 4.1.1.6. Kopma yüzeylerinin SEM mikroyapıları

Çekme deney numunelerinin kopma yüzeyleri Jeol JSM-6060 Iv marka model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntülenmiştir. Şekil 4.6.'da, PP polimerinin, Şekil 4.7.'de, %10, 20 ve 30 kitosan katkılı kompozitlerin, Şekil 4.8.'de ise %10, 20 ve 30 asetik asit modifiyeli kitosan katkılı kompozitlerin, çekme deney numunelerine ait 1000x kopma yüzey SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.6. PP polimerinin kopma yüzey SEM görüntüsü

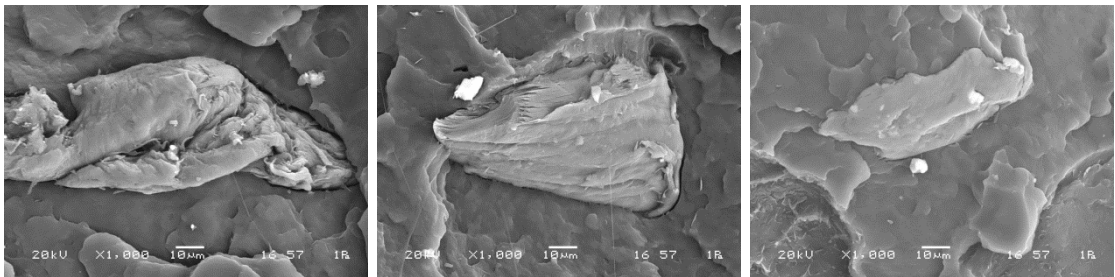


PP+%10 kitosan

PP+%20 kitosan

PP+%30 kitosan

Şekil 4.7. %10, 20 ve 30 kitosan katkılı kompozitlerin kopma yüzeyleri SEM görüntüleri



PP+%10 AA mod. kitosan

PP+%20 AA mod. kitosan

PP+%30 AA mod. kitosan

Şekil 4.8. %10, 20 ve 30 AA. modifiyeli kitosan katkılı kompozitlerin kopma yüzeyleri SEM görüntüleri

Deney numunelerinin kopma yüzeylerine ait mikroyapılardan, kitosan partiküllerinin boyut ve şekilleri arasında farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, kitosan katkısının PP polimerinin içerisinde iyi dağılım gösterdiği fakat topaklanmalar ve çatlaklar oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca, AA modifiyeli kitosan-PP arasında da



benzer bir görüntü oluştuğu tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, AA modifiyeli kitosan katkıli kompozit numunelerin çekme mukavemeti değerlerinin hafif değiştiği tespit edilmiştir. Bu durumun, modifiyesiz kitosandakine benzer bir arayüzey etkileşiminin olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Polimerler ve toz kitosan kullanılarak üretilen kompozit malzemeler üzerine yapılan bazı bilimsel çalışmalardaki çekme deneyi sonuçları ve mikroyapılarının bu tez çalışmasının sonuçlarıyla benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Salmah ve arkadaşları [1] tarafından yapılan bir çalışmada, modifiyesiz kitosan katkı oranındaki artışın kompozitin çekme mukavemeti ve kopmadaki % uzaması değerlerini düşürdüğü, fakat elastiklik modülü değerini arttırdığı belirtilmiştir. 3-APE modifiyeli kitosan katkıli kompozit, diğer kompozit ile karşılaştırıldığında çekme mukavemeti ve elastiklik modülünün daha yüksek, fakat kopmadaki % uzama değerinin daha düşük olduğu belirtilmiştir. Buna ilaveten, çekme mukavemeti değeri %10 katkı oranı kullanılmış olanında en yüksek değerine ulaştığı ve PP polimerinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. %10-%20 katkı oranları kullanıldığında da PP polimerinden daha yüksek değerinde olduğu fakat katkı oranı arttıkça buna bağlı olarak azalma olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, yapılan SEM incelemelerinde modifiyeli kitosan ve PP arasındaki arayüzey etkileşimi ve yapışmanın daha iyi olduğu belirtilmiştir. Salmah ve arkadaşları [2] tarafından yapılan diğer bir çalışmada, modifiyesiz kitosan katkı oranının artması ile PP polimer kompozitin çekme mukavemeti ve kopmadaki % uzaması değerlerinde azalma olduğu, elastiklik modülü değerlerinin ise arttığı belirtilmiştir. Asetik asit modifiyeli kitosan katkıli PP kompozitin çekme mukavemeti değeri %10 katkı oranı kullanılmış olanında en yüksek değerine ulaştığı ve PP polimerinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. %10-%30 katkı oranları kullanıldığında da PP polimerinden daha yüksek değerlerde olduğu fakat katkı oranı arttıkça buna bağlı olarak azalma olduğu belirtilmiştir. Elastiklik modülü değerlerinde ise katkı oranı artmasına bağlı olarak artma olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, asetik asitin, PP/kitosan arasında arayüzey etkileşimini arttırdığı tespit belirtilmiştir. Salmah ve arkadaşları [3] tarafından yapılan diğer bir çalışmada, modifiyesiz kompozit malzeme bünyesindeki kitosan katkı miktarının artması ile çekme mukavemeti ve kopmadaki % uzama değerlerinde azalma olduğu belirtilmiştir. Buna ilaveten, elastiklik modülü değerinde kitosan katkı miktarının artmasına bağlı olarak artma olduğu belirtilmiştir. Akrilik asit modifiyeli

PP kompozit malzemesinde ise çekme mukavemeti değerinin %10 katkı oranı kullanılmış olanında en yüksek değerine ulaştığı ve PP polimerinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Diğer katkı oranları kullanıldığında da PP polimerinden daha yüksek değerlerde olduğu fakat katkı oranı arttıkça buna bağlı olarak azalma olduğu belirtilmiştir. Buna ilaveten, modifiye kitosan katkı miktarının artmasına bağlı olarak kopmadaki % uzama değerlerinde azalma olduğu, elastiklik modülü değerinde artma olduğu belirtilmiştir. Faisal ve arkadaşları [4] tarafından yapılan bir çalışmada, modifiyesiz kitosan katkı oranının artması ile kompozit malzemelerin çekme mukavemeti ve kopmadaki % uzama değerlerinde azalma olduğu, elastiklik modülü değerlerinde ise artma olduğu belirtilmiştir. Organosolv lignin modifiyeli kitosan katkılı kompozit malzemelerde ise %10 kitosan katkı oranında en yüksek çekme mukavemeti değerinin elde edildiği ve bu değer, hem PP polimerinden hem de modifiyesiz kitosan katkılı kompozitten daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Kitosan katkı miktarının artmasına bağlı olarak her iki tip kompozitin kopmadaki % uzama değerlerinde düşme olduğu ve modifiyeli kitosan katkılı kompozitlerde ise bu düşmenin daha yüksek değerler aldığı belirtilmiştir. Bunlara ilaveten, kitosan katkı miktarının artması ile elastiklik modülü değerinde artma olduğu ve organosolv lignin modifiyeli kitosan katkılı kompozitin elastiklik modülü değerleri modifiyesiz PP kompozitten daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Benzer oranlarda, organosolv lignin modifiyeli kitosan katkı içeren kompozitin, modifiyesiz kitosan katkı içeren kompozite göre daha yüksek çekme mukavemeti, kopmadaki % uzaması ve elastiklik modülü değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir. Faisal ve arkadaşları [5] tarafından yapılan başka bir çalışmada, SDS modifiyeli kitosan katkılı kompozitlerin mekanik özellikleri, modifiyesiz kitosan katkılı kompozitlerin ki ile karşılaştırıldığında daha yüksek çekme mukavemeti ve elastiklik modülüne sahip olduğu tespit edilirken, kopmadaki % uzama değerlerinin ise daha düşük olduğunu belirtilmiştir. Bunlara ilaveten, SDS modifiyeli kitosan katkılı kompozitlerin çekme mukavemeti değerinin %10 katkı oranı kullanılmış olanında en yüksek değerine ulaştığı ve PP polimerinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Diğer katkı oranları kullanıldığında da PP polimerinden daha yüksek değerlerde olduğu fakat katkı oranı arttıkça buna bağlı olarak azalma olduğu belirtilmiştir. Faisal ve arkadaşları [6] tarafından yapılan başka bir çalışmada, modifiyesiz kitosan katkı oranının artması ile PP polimerinin çekme

mukavemetinde azalma olduğu ve elastiklik modülünde artma olduğu belirtilmiştir. İkili modifiyeli kitosan katkılı kompozitlerin ise çekme mukavemeti değerinin %10 katkı oranı kullanılmış olanda en yüksek değerine ulaştığı ve PP polimerinin değerinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Buna ilaveten, kitosan katkı miktarı artışına bağlı olarak bu değerlerinde azalma olduğu belirtilmiştir. Diğer katkı oranları kullanıldığında da PP polimerinin değerinden daha yüksek çekme mukavemeti değerlerinde olduğu fakat katkı oranı arttıkça buna bağlı olarak azalma olduğu belirtilmiştir. İkili modifiyeli kompozit malzemelerin elastiklik modülü değerinde de kitosan katkı miktarı artışına bağlı olarak artma olduğu belirtilmiştir. Aynı katkı oranları kullanılarak ikili modifiyeli kitosan katkılı kompozit, modifiyesiz kitosan katkılı kompozit malzeme ile kıyaslandığında ise daha yüksek bir çekme mukavemeti ve young modülüne sahip olduğu tespit edilmiştir. Kitosan ve çeşitli polimerler kullanılarak yapılan bazı bilimsel çalışmalarda, üçüncü bir bileşen olarak kullanılan bazı maddelerin çekme mukavemeti gibi bazı mekanik özellikleri geliştirdiği belirtilmiştir. Jian ve Kao-Walter [8] tarafından yapılan bir çalışmada, çeşitli oranlarda kullanılarak üretilen CF/PA6/PP üçlü kompozit malzemelerin çekme mukavemetinde artmalar olduğu ve PA6 katkısının bu artmada daha etkili olduğu belirtilmiştir. Palabıyık ve Bahadır [9] tarafından yapılan bir çalışmada da, HDPE/PA6 ve HDPE/PA6/maleik anhidrid PP kompozitlerinin üretilmesinde PA6'nın %20 oranından fazla kullanılması durumunda çekme mukavemeti değerlerinde artma olduğu belirtilmiştir. Kitosanın lif olarak kullanıldığı bilimsel araştırmalar da yapılmıştır. Khan ve arkadaşları [7] tarafından yapılan bir çalışmada, kitosan lifler ve PP levhalarla katmanlı olarak ve ısıtılıp sıkıştırılarak üretilen kompozit malzemelerin çekme mukavemeti, çekme modülü, eğilme mukavemeti, eğilme modülünün önemli derecede arttığı, fakat kopmadaki % uzama değerinin ciddi oranda düştüğü belirtilmiştir. Bu tez çalışmasının çekme deneyi sonuçlarında gözlenen farklı davranışların, kitosanın modifiye edilmesi, kompozit malzemelerin üretilmesi, numunelerin hazırlanması süreçlerindeki parametrelerden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Bu parametrelerden biri, daha homojen bir karışım elde edebilmek amacıyla kullanılan kekik yağının kullanılmasıdır. Kekik yağının kullanılması kitosanın modifiye edilmesinin etkisini azaltmış olabileceği düşünülmektedir.

#### **4.1.2. Deney malzemelerinin darbe deneyleri**

Darbe deneyleri ISO 180 standardına uygun olarak ZWICK–ROELL HIT 5,5P marka model darbe dayanımı testi cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde her malzeme için en az üç test numunesi kullanılmış olup sonuçlarda bunların ortalaması alınmıştır. Gerçekleştirilen darbe deneylerinin sonucu, deney malzemelerinin darbe mukavemeti değerleri tespit edilerek kitosan katkı oranı ile ilişkisi incelenmiştir. Çentikli izod darbe deneyi için numuneye Devontrans DVT CDA marka çentik açma cihazı ile çentik açılmıştır.

#### 4.1.2.1. Deney malzemelerinin çentikli izod darbe deneyine göre darbe mukavemeti–kitosan katkı oranı ilişkisi

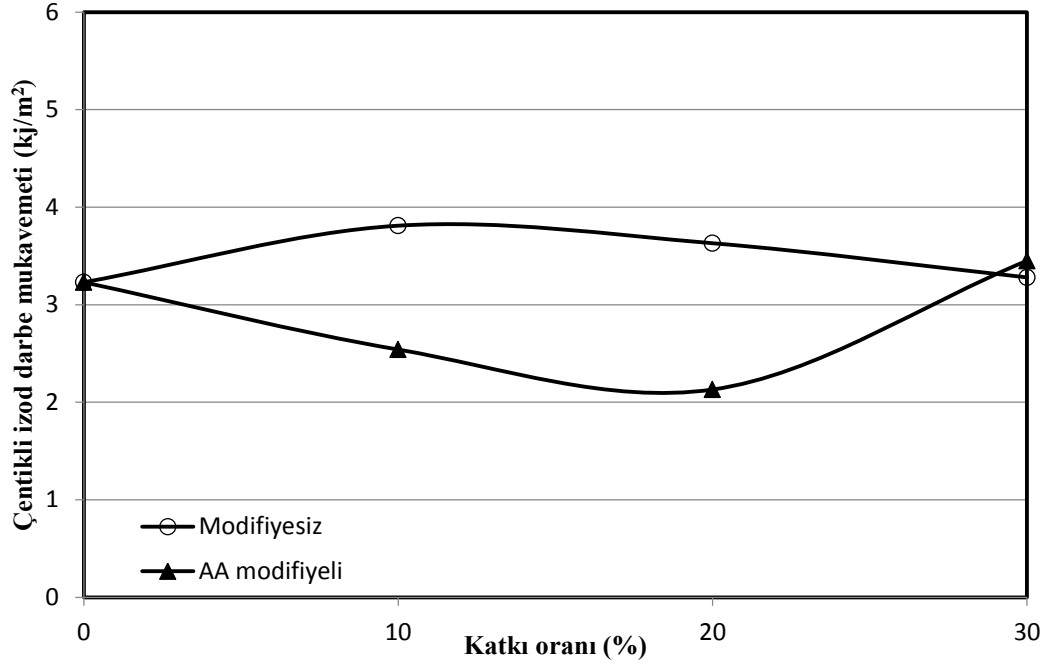
Tablo 4.6.'da, ISO 180 standardına uygun olarak gerçekleştirilen çentikli izod darbe deneylerinin sonucunda tespit edilmiş olan darbe mukavemeti değerleri verilmiştir.

Tablo 4.6. Deney malzemelerinin ISO 180 standardına göre çentikli izod darbe mukavemeti değerleri

Numune Numarası	Katkı Oranı (%)	Malzeme Tanımı	ISO 180/1A Çentikli Izod Darbe (kJ/m <sup>2</sup> )
0	0	PP	3,23
1	10	Kitosan katkılı PP kompozit	3,81
2	20	Kitosan katkılı PP kompozit	3,63
3	30	Kitosan katkılı PP kompozit	3,28
4	10	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	2,54
5	20	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	2,13
6	30	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	3,45

Şekil 4.9.'da, PP polimeri, modifiyesiz ve AA modifiyeli %10-30 oranlarında kitosan katkılı numunelerin çentikli izod darbe mukavemeti değerlerinin değişimini gösteren grafik verilmiştir. PP ve kompozitlerinin çentikli izod darbe mukavemeti değerleri ile kitosan katkı oranı ilişkisi incelendiğinde, kitosan katkı oranına göre çentikli izod darbe mukavemeti değerlerinin artma ya da azalma şeklinde olabildiği tespit edilmiştir. Modifiyesiz ve AA modifiyeli %30 kitosan katkılı polipropilen kompozitlerde ise artma olarak benzer davranış göstermiştir. Saf PP'nin çentikli izod darbe mukavemeti değeri 3,23 kJ/m<sup>2</sup> iken, modifiyesiz %10, %20 ve %30 oranında kitosan katkılı PP kompozitlerin çentikli izod darbe mukavemeti değerlerinin sırasıyla 3,81 kJ/m<sup>2</sup>, 3,63 kJ/m<sup>2</sup> ve 3,28 kJ/m<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir. AA modifiyeli %10, %20 ve %30 oranlarında kitosan katkılı kompozitlerin çentikli izod darbe mukavemeti değerleri ise sırasıyla 2,54 kJ/m<sup>2</sup>, 2,13 kJ/m<sup>2</sup> ve 3,45 kJ/m<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir. Hem modifiyesiz hem de AA modifiyeli %30 oranında kitosan katkılı

kompozitlerin çentikli izod darbe mukavemeti değerlerinin PP polimerine göre artma oranı sırasıyla %1,5 ve %6,8 oranında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.9. Saf PP ve modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin iso 180 çentikli izod darbe deneyine göre darbe mukavemeti–kitosan katkı oranı ilişkisi

#### 4.1.2.2. Deney malzemelerinin çentiksiz izod darbe deneyine göre darbe mukavemeti –kitosan katkı oranı ilişkisi

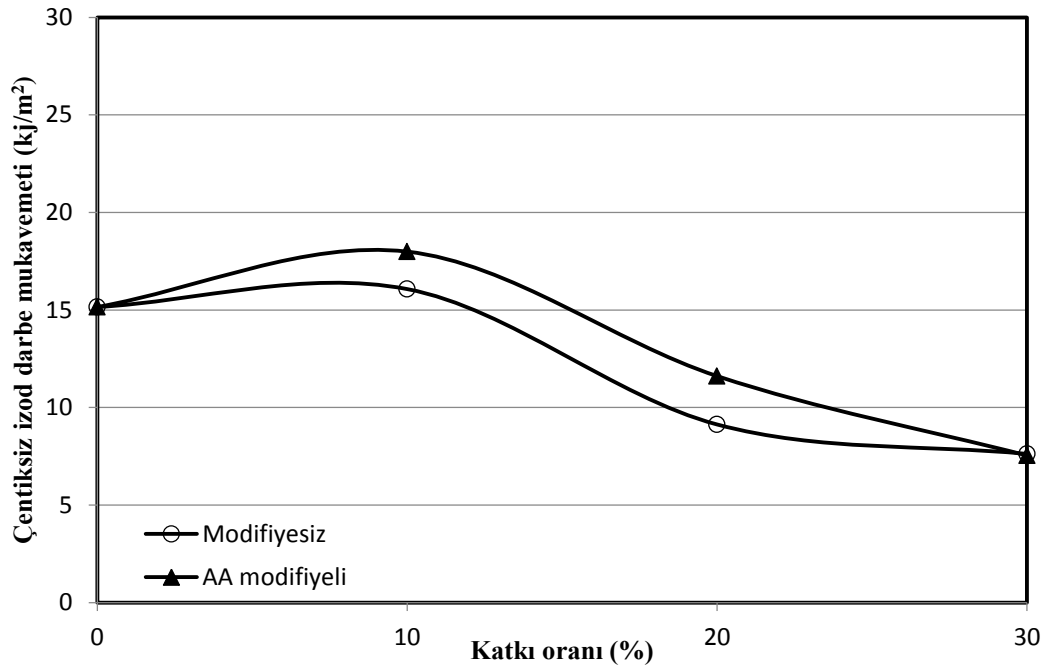
Tablo 4.7.'de, deneylerde kullanılan malzemelerinin ISO 180 standardına uygun olarak yapılan deneylerden elde edilen çentiksiz izod darbe mukavemeti değerleri verilmiştir.

Tablo 4.7. Deney malzemelerinin ISO 180'e göre çentiksiz izod darbe değerleri

Numune Numarası	Katkı Oranı (%)	Malzeme Tanımı	ISO 180/U Çentiksiz Izod Darbe (kJ/m <sup>2</sup> )
0	0	PP	15,15
1	10	Kitosan katkılı PP kompozit	16,07
2	20	Kitosan katkılı PP kompozit	9,13
3	30	Kitosan katkılı PP kompozit	7,62
4	10	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	17,99
5	20	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	11,61
6	30	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	7,54

Şekil 4.10.'da, farklı oranlarda (%10-%30) kitosan katkılı numunelerin modifiyesiz ve AA modifiyeli olarak çentiksiz izod darbe mukavemeti değerlerinin değişimi verilmiştir. Şekil 4.7.'de PP ve kompozitlerinin çentiksiz izod darbe mukavemeti değerleri ile kitosan katkı oranı ilişkisi incelendiğinde, %10 oranında katkılı kompozitlerin saf PP polimerine göre çentiksiz izod darbe mukavemeti değerlerinin daha yüksek olduğu ve en yüksek değerleri aldığı, kitosan katkı oranı arttıkça bu değerlerin azalarak PP polimerinin değerinin altına düştüğü tespit edilmiştir. PP polimerinin çentiksiz izod darbe mukavemeti değeri 15,15 kJ/m<sup>2</sup> iken, modifiyesiz %10, %20 ve %30 oranında kitosan katkılı PP kompozitlerin çentiksiz izod darbe mukavemeti değerleri sırasıyla 16,07 kJ/m<sup>2</sup>, 9,13 kJ/m<sup>2</sup> ve 7,62 kJ/m<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir. AA ile modifiye edilmiş kitosan katkılı kompozitlerin ise bu değerlerinin sırasıyla 17,99 kJ/m<sup>2</sup>, 11,61 kJ/m<sup>2</sup> ve 7,54 kJ/m<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir. Hem

modifiyesiz hem de AA ile modifiye edilmiş %10 oranında kitosan ilaveli kompozitlerin çentiksiz izod darbe mukavemeti değerleri saf PP polimerine göre artma oranı sırasıyla %6 ve %18,7 oranında olduğu tespit edilmiştir. %20 oranında kitosan ilaveli kompozitlerde çentiksiz izod darbe mukavemeti değerlerinde azalma oranlarının sırasıyla %39,7 ve %23,3 olduğu ve %30 oranında kitosan ilaveli kompozitlerde çentiksiz izod darbe mukavemeti değerlerinde azalma oranlarının ise %49,7 ve %50,2 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.10. Saf PP ve modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkı PP kompozitlerin iso 180 çentiksiz izod darbe deneyine göre darbe mukavemeti–kitosan katkı oranı ilişkisi

Çeşitli polimer ve katkı maddeleri kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinden darbe mukavemetinin araştırıldığı bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların bazılarında benzer sonuçlara varılmıştır. Faisal ve arkadaşları [4] tarafından yapılan bir çalışmada, kitosan katkı oranı %30 oranına ulaştığında her iki tip kompozitin de darbe mukavemeti değerinin maksimum değerine ulaştığı belirtilmiştir. Benzer oranlarda, organosolv lignin modifiyeli kitosan katkı içeren kompozitin, modifiyesiz kitosan katkı içeren kompozite göre daha yüksek darbe dayanımı değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir. Faisal ve arkadaşları [6] tarafından yapılan başka bir çalışmada, katkı oranı olarak %10-30



aralığında modifiyesiz kitosan ve PP polimeri kullanılan kompozit malzemelerin darbe dayanımında artma olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, darbe dayanımının maksimum değerine %30 katkı oranlı kompozit malzemelerde ulaşıldığı belirtilmiştir. Buna ilaveten, kitosan katkı oranı %10-%30 aralığında kullanıldığında bu oranın artışına bağlı olarak darbe dayanımında artma olduğu, %40 oranında ise azalma olduğu belirtilmiştir. Aynı katkı oranları kullanılarak ikili modifiyeli kitosan katkıli kompozit, modifiyesiz kitosan katkıli kompozit malzeme ile kıyaslandığında ise daha yüksek bir darbe dayanımına sahip olduğu belirtilmiştir. Khan ve arkadaşları [7] tarafından yapılan bir çalışmada ise kitosan lifler ve PP levhalarla katmanlı olarak ve ısıtılıp sıkıştırılarak üretilen kompozit malzemelerin PP polimeri ile karşılaştırıldığında, kompozit malzemenin darbe direncinin önemli derecede arttığı belirtilmiştir. Ünal ve Mimaroglu [10] tarafından yapılan bir çalışmada, poliamid 6 polimerine cam elyaf ve mika dolgusu eklenmesinin bazı oranlarda kompozit malzemenin darbe dayanımını düşürdüğü ifade edilmiştir. Ahmad ve arkadaşları [52] tarafından yapılan bir çalışmada, kitosan-epoksi kompozit malzemelerin darbe mukavemeti değerlerinde kitosan katkı oranına bağlı olarak azalma olduğu tespit edilmiştir. Yao ve arkadaşları [54] tarafından yapılan bir çalışmada, furfural modifiyeli istiridye kabuğu katkıli kompozitlere modifiyeli toz katkısı eklenmesinin darbe mukavemetini önemli ölçüde artırabildiği belirtilmiştir. Bu tez çalışmasında ise kompozit malzemelerin üretim sürecinde kekik yağı kullanılmasının darbe mukavemeti üzerine etkisi olduğu düşünülmektedir. Buna ilaveten, kompozit malzemelerin üretilmesinde kullanılan yöntem ve parametreler, polimer özellikleri, katkı maddeleri ve oranları, malzemelerin uyumu, katkı maddesinin modifiye edilmesi, modifiye yöntemleri ve kullanılan ilave yeni bileşenlerin malzemelerin mekanik davranışlarının üzerine etkili olduğu yapılan bir çok çalışmadan anlaşılabilmektedir [1-10].

### 4.1.3. Deneysel malzemelerin eğilme deneyleri

Eğilme deneyleri, ISO 178 standardına uygun olarak, Zwick-Roell Z020 TN marka çekme-eğilme test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde her malzeme için en az üç test numunesi kullanılmış olup sonuçlarda bunların ortalaması alınmıştır. Gerçekleştirilen eğilme deneylerinin sonucu, deneysel malzemelerin eğilme mukavemeti ve eğilme modülü değerleri tespit edilerek kitosan katkı oranı ile ilişkileri incelenmiştir.

#### 4.1.3.1. Deneysel malzemelerin eğilme mukavemeti-kitosan katkı oranı ilişkisi

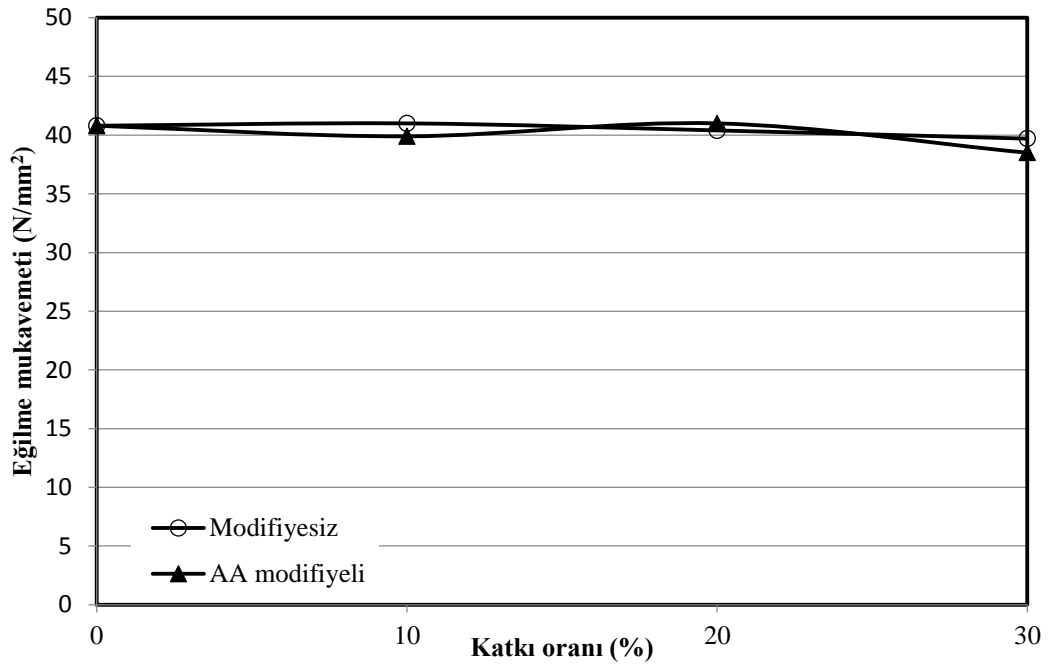
Tablo 4.8.'de, ISO 178 standardına uygun olarak gerçekleştirilen eğilme deneylerinin sonucunda tespit edilmiş olan eğilme mukavemeti değerleri verilmiştir.

Tablo 4.8. Deneysel malzemelerin eğilme mukavemeti değerleri

Numune Numarası	Katkı Oranı (%)	Malzeme Tanımı	Test Metodu	Eğilme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )
0	0	PP	ISO 178	40,8
1	10	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 178	41
2	20	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 178	40,4
3	30	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 178	39,7
4	10	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 178	39,9
5	20	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 178	41
6	30	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 178	38,5

Şekil 4.11.'de ise PP polimeri numunesi ile modifiyesiz ve AA modifiyeli %10-30 oranlarında kitosan katkılı numunelerin eğilme mukavemeti değerlerinin değişimi gösteren grafik verilmiştir. PP ve kompozitlerinin eğilme mukavemeti değerleri ile kitosan katkı oranı ilişkisi incelendiğinde, kitosan katkı oranının artması ile eğilme mukavemeti değerlerinin artma ya da azalma şeklinde olabildiği tespit edilmiştir.

%30 modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkıli PP kompozitleri ise azalma şeklinde benzer davranış göstermiştir. PP polimerinin eğilme mukavemeti değeri  $40,8 \text{ N/mm}^2$  iken, modifiyesiz %10, %20 ve %30 oranında kitosan katkıli PP kompozitlerde eğilme mukavemeti değerleri sırasıyla  $41 \text{ N/mm}^2$ ,  $40,4 \text{ N/mm}^2$  ve  $39,7 \text{ N/mm}^2$  olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde AA ile modifiye edilmiş kitosan katkıli PP kompozitlerinin eğilme mukavemeti değerleri sırasıyla  $39,9 \text{ N/mm}^2$ ,  $41 \text{ N/mm}^2$  ve  $38,5 \text{ N/mm}^2$  olduğu tespit edilmiştir. %30 modifiyesiz ve %30 AA modifiyeli kitosan katkıli kompozitlerin eğilme mukavemeti değerlerinin saf PP polimerine göre azalma oranı sırasıyla %2,6 ve %5,6 oranında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.11. Saf PP ve modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkıli PP kompozitlerin eğilme mukavemeti-kitosan katkı oranı ilişkisi

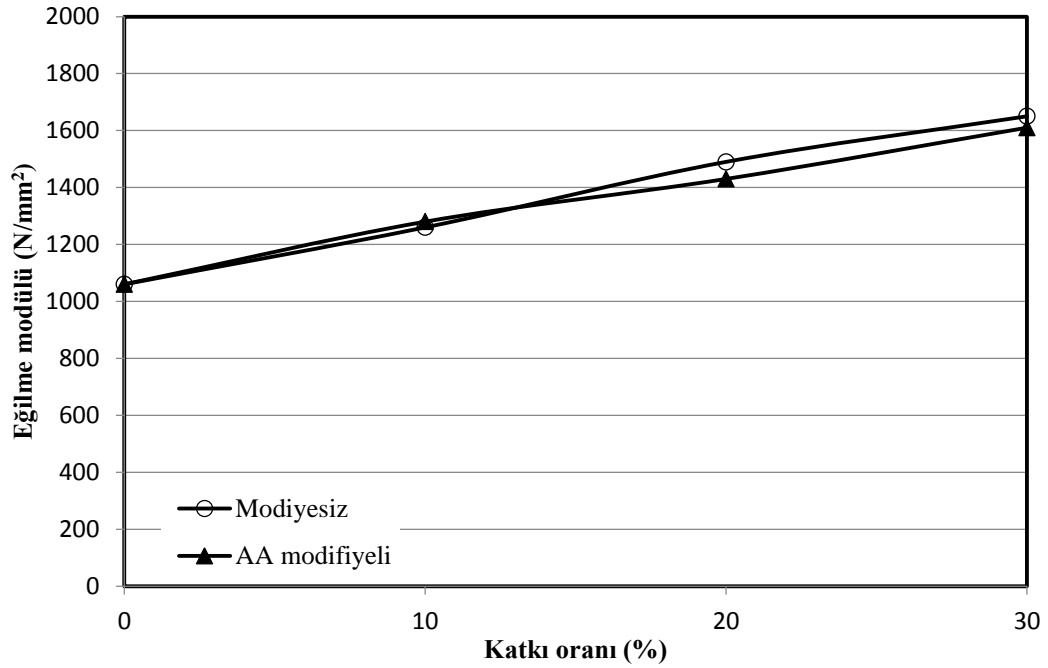
#### 4.1.3.2. Deney malzemelerinin eğilme modülü-kitosan katkı oranı ilişkisi

Tablo 4.9.'da, ISO 178 standardına uygun olarak gerçekleştirilen eğilme deneylerinin sonucunda tespit edilmiş olan eğilme modülü değerleri verilmiştir.

Tablo 4.9. Deney malzemelerinin eğilme modülü değerleri

Numune Numarası	Katkı Oranı (%)	Malzeme Tanımı	Test Metodu	Eğilme Modülü (N/mm <sup>2</sup> )
0	0	PP	ISO 178	1060
1	10	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 178	1260
2	20	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 178	1490
3	30	Kitosan katkılı PP kompozit	ISO 178	1650
4	10	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 178	1280
5	20	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 178	1430
6	30	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 178	1610

Şekil 4.12.'de ise PP polimeri ile modifiyesiz ve AA modifiyeli %10-30 oranlarında kitosan katkılı PP kompozitlerin eğilme modülü değerlerinin değişimini gösteren grafik verilmiştir. PP ve kompozitlerinin eğilme modülü değerleri ile kitosan katkı oranı ilişkisi incelendiğinde, kitosan katkı oranının artması ile eğilme modülü değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu artma hem modifiyesiz hem de AA modifiyeli kitosan katkılı polipropilen kompozitlerde benzer davranış göstermiştir. Saf PP'nin eğilme modülü değeri 1060 N/mm<sup>2</sup> iken, modifiyesiz %10, %20 ve %30 oranında kitosan katkılı PP kompozitlerde eğilme modülü değerleri sırasıyla 1260 N/mm<sup>2</sup>, 1490 N/mm<sup>2</sup> ve 1650 N/mm<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde AA ile modifiye edilmiş kitosan katkılı numunelerin eğilme modülü değerleri sırasıyla 1280 N/mm<sup>2</sup>, 1430 N/mm<sup>2</sup> ve 1610 N/mm<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir. %30 modifiyesiz ve %30 AA modifiyeli kitosan katkılı kompozitlerin eğilme modülü değerlerinin PP polimerine göre artma oranı sırasıyla %55,6 ve %51,8 oranında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.12. Saf PP ve modiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkı PP kompozitlerin eğilme modülü-kitosan katkı oranı ilişkisi

Çeşitli polimer ve katkı maddeleri kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için eğilme deneylerinin gerçekleştirildiği bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların bazılarında, bu tez çalışmasındakine benzer sonuçlara varılmıştır. Syed ve Syed [38] tarafından yapılan bir çalışmada, zerdeçal takviyesi, polipropilen ve maleik anhidrid aşılı PP kullanarak üretilen kompozit malzemenin eğilme mukavemeti ve eğilme modülü değerleri, %10-%40 katkı oranları kullanıldığında arttığı ifade edilmiştir. Ahmad ve arkadaşları [52] tarafından yapılan bir çalışmada, kitosan-epoksi kompozit malzemelerin eğilme mukavemeti değerlerinde kitosan katkı oranına bağlı olarak azalma olduğu belirtilmiştir. Sivarao ve Vijayaram [53] tarafından yapılan bir çalışmada, yumurta kabuğu/polipropilen kompozitlerinin eğilme modülü değerinde iyileşmeler olduğu ancak eğilme mukavemeti değerinde artma olmadığı belirtilmiştir. En yüksek eğilme modülü değerinin ise %10 katkılı kompozit malzeme olduğu belirtilmiştir. Yao ve arkadaşları [54] tarafından yapılan bir çalışmada, furfural modifiyeli istiridye kabuğu katkılı kompozitlere modifiyeli toz katkısı eklenmesinin eğilme modülünü önemli ölçüde artırabildiği belirtilmiştir. Khan ve arkadaşları [7] tarafından yapılan bir

çalışmada ise kitosan lif olarak kullanılmıştır. Kitosan lifler ve PP levhalar katmanlı bir şekilde ısıtılıp sıkıştırılarak üretilen kompozit malzemelerin eğilme mukavemeti ve eğilmedeki elastiklik modülü değerlerinin PP polimerine göre önemli derecede arttığı belirtilmiştir.

#### 4.1.4. Deney malzemelerinin sertlik deneyleri

Sertlik deneyleri ISO 868 standardına uygun olarak, TRONİC marka Shore-A-D sertlik testi cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, her malzeme için numuneler üzerinden çoklu ölçüm yapılmış ve bunların ortalaması alınmıştır. Gerçekleştirilen sertlik deneylerinin sonucu, deney malzemelerinin Shore-D sertlik değerleri tespit edilerek kitosan katkı oranı ile ilişkileri incelenmiştir.

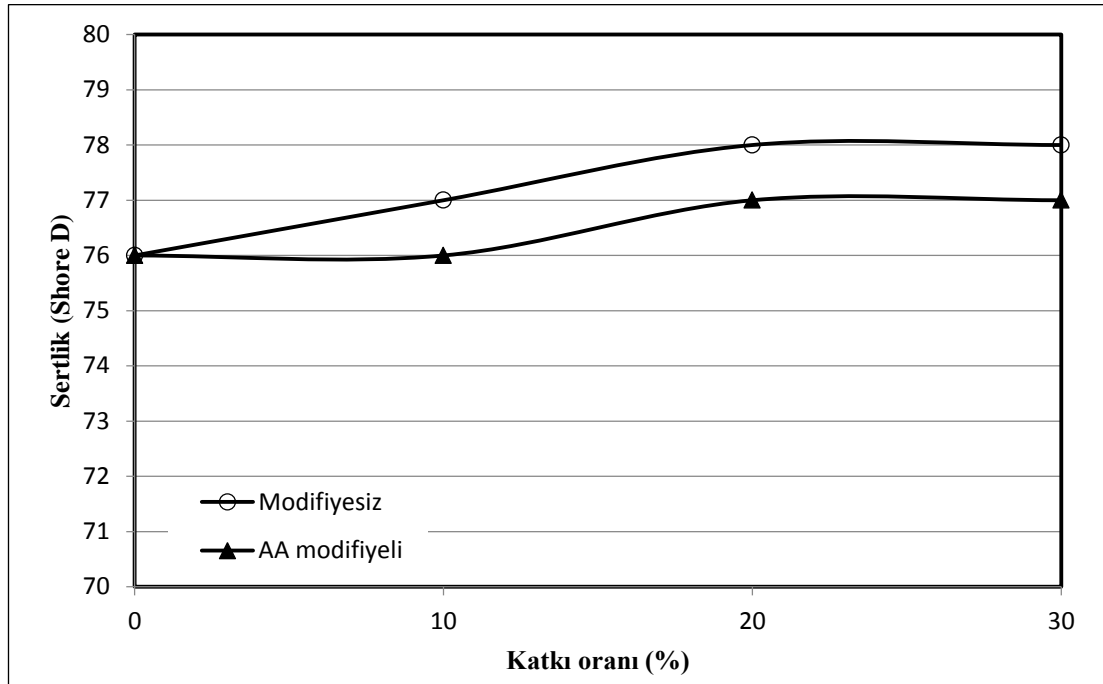
##### 4.1.4.1. Deney malzemelerinin sertlik-kitosan katkı oranı ilişkisi

Tablo 4.10.'da, ISO 868 standardına uygun olarak gerçekleştirilen sertlik deneylerinin sonucunda tespit edilmiş olan Shore-D sertlik değerleri verilmiştir.

Tablo 4.10. Deney malzemelerinin belirlenen sertlik değerleri

Numune Numarası	Katkı Oranı (%)	Malzeme Tanımı	ISO 868 Sertlik (Shore D)
0	0	PP	76
1	10	Kitosan katkılı PP kompozit	77
2	20	Kitosan katkılı PP kompozit	78
3	30	Kitosan katkılı PP kompozit	78
4	10	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	76
5	20	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	77
6	30	Modifiye kitosan katkılı PP kompozit	77

Şekil 4.13.'de ise PP polimeri numunesi ile modifiyesiz ve AA modifiyeli %10-30 oranlarında kitosan katkılı numunelerin sertlik değerlerinin değişimini gösteren grafik verilmiştir. PP ve kompozitlerinin Shore-D sertlik değerleri ile kitosan katkı oranı ilişkisi incelendiğinde, kitosan katkı oranının artması ile Shore-D sertlik değerlerinin artma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı polipropilen kompozitlerde sertlik değerleri benzer davranış göstermiştir.



Şekil 4.13. Saf PP ve modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin Shore-D sertlik değerleri- kitosan katkı oranı ilişkisi

Saf PP'nin Shore-D sertlik değeri 76 iken, modifiyesiz %10, %20 ve %30 oranında kitosan katkılı PP kompozitlerde Shore-D sertlik değerleri sırasıyla 77, 78 ve 78 olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin Shore-D sertlik değerleri sırasıyla 76, 77 ve 77 olduğu tespit edilmiştir. Hem modifiyesiz hem de AA ile modifiye edilmiş kitosan ilaveli kompozitlerin sertlik değerlerinin hafif değişiklikler olduğu ve genel olarak arttığı tespit edilmiştir. PP/kitosan kompozitlerine ait sertlik değerlerinin bu tez çalışmasındaki benzer şekilde değiştiği bazı çalışmalar yapılmıştır. Salmah ve arkadaşlarının [1, 2,

3] yaptığı bu çalışmalarda, modifiyesiz ve farklı maddelerle modifiye edilmiş olan kitosan katkısının, PP polimerinin sertlik değerini arttırdığı belirtilmiştir.

## **4.2. Deney Malzemelerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi**

Deneylerde kullanılan malzemelerin fiziksel özelliklerinden yoğunluğunu belirlemek amacıyla yoğunluk deneyleri gerçekleştirilmiştir.

### **4.2.1. Deney malzemelerinin yoğunluk deneyleri**

Yoğunluk deneyleri, ISO 1183 standardına uygun şekilde ve AND/GR 200 marka test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde her malzeme için en az üç test numunesi kullanılmış olup sonuçlarda bunların ortalaması alınmıştır. Gerçekleştirilen bu deneylerin sonucu yoğunluk değerleri tespit edilmiştir. Daha sonra, bu değerlerin kitosan katkı oranı ile ilişkisi incelenmiştir.

#### **4.2.1.1. Deney malzemelerinin yoğunluk-kitosan katkı oranı ilişkisi**

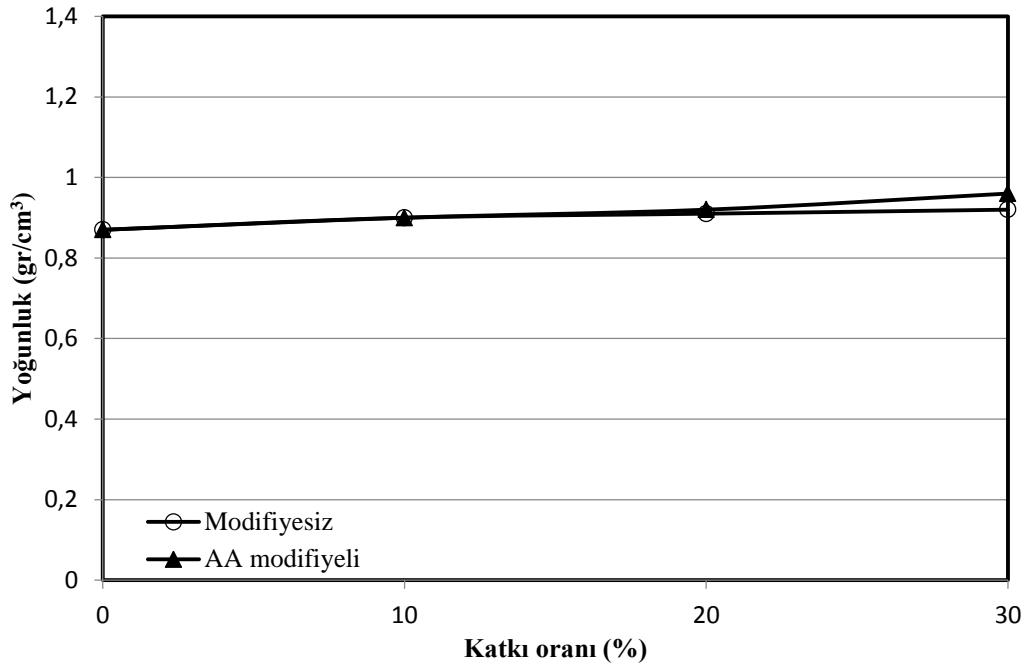
Tablo 4.11.'de, ISO 1183 standardına uygun olarak gerçekleştirilen yoğunluk deneylerinin sonucunda tespit edilmiş olan değerler verilmiştir.



Tablo 4.11. Deney malzemelerinin yoğunluk değerleri

Numune Numarası	Malzeme Tanımı	Test Metodu	Yoğunluk Değeri (gr/cm <sup>3</sup> )
0	PP	ISO 1183	0,87
1	%10 kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	0,9
2	%20 kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	0,91
3	%30 kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	0,92
4	% 10 modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	0,9
5	%20 modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	0,92
6	%30 modifiye kitosan katkılı PP kompozit	ISO 1183	0,96

Şekil 4.14.'de ise PP polimeri numunesi ile modifiyesiz ve AA modifiyeli %10-30 oranlarında kitosan katkılı numunelerin yoğunluk değerlerinin değişimini gösteren grafik verilmiştir. PP ve kompozitlerinin yoğunluk değerleri ile kitosan katkı oranı ilişkisi incelendiğinde, kitosan katkı oranının artması ile yoğunluk değerlerinin hafif arttığı tespit edilmiştir. Bu artma hem modifiyesiz hem de AA modifiyeli kitosan katkılı polipropilen kompozitlerde benzer davranış göstermiştir. Saf PP'nin yoğunluk değeri 0,87 gr/cm<sup>3</sup> iken, modifiyesiz %10, %20 ve %30 oranında kitosan katkılı PP kompozitlerde yoğunluk değerleri sırasıyla 0,9 gr/cm<sup>3</sup>, 0,91 gr/cm<sup>3</sup> ve 0,92 gr/cm<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde AA ile modifiye edilmiş kitosan katkılı numunelerde yani %10, %20 ve %30 oranında kitosan katkılı PP kompozitlerde yoğunluk değerleri sırasıyla 0,9 gr/cm<sup>3</sup>, 0,92 gr/cm<sup>3</sup> ve 0,96 gr/cm<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Hem modifiyesiz hem de AA ile modifiye edilmiş %30 oranında kitosan ilaveli kompozitlerin yoğunluk değerlerinin saf PP polimerine göre artma oranı sırasıyla %5,7 ve %10,3 oranında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.14. Saf PP, modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı PP kompozitlerin yoğunluk-kitosan katkı oranı ilişkisi

### 4.3. Deneysel Malzemelerin Sürtünme ve Aşınma Özelliklerinin Belirlenmesi

PP ve kompozitlerinin çelik diske karşı yapılan aşınma deneylerinin sonucunda farklı hızlarda ve farklı yüklerde sürtünme katsayısı değerleri ve aşınma oranları tespit edilmiştir. Daha sonra, sürtünme katsayıları ve aşınma oranlarına farklı değerlerde hız ve yük uygulanmasının etkileri incelenmiştir. Aşınma deneyleri kuru atmosferik koşullarda, 20-30-40N yük altında, 1-2m/s kayma hızı ve 2000m kayma mesafesi boyunca polimer pim-çelik disk düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel numuneleri enjeksiyon makinasında 225-260°C ısıtıcı sıcaklık aralığında ve 100 bar basınç altında üretilmiş olup, 6 mm çapında ve 50 mm boyunda pim şeklindedir. Deneyselarda kullanılan disk, 100 mm çapında ve 5 mm kalınlığında AISI 316L paslanmaz çelik malzemeden yapılmıştır.

PP, PP+%10-20-30 kitosan katkılı kompozit ve PP+%10-20-30 AA modifiyeli kitosan katkılı kompozit malzemeler üzerinde gerçekleştirilen aşınma deneylerinden sonra numunelerin sürtünme yüzeyleri SEM cihazı ile analiz edilmiştir. İlâveten, PP+%30 kitosan katkılı kompozit ve PP+%30 AA modifiyeli kitosan katkılı

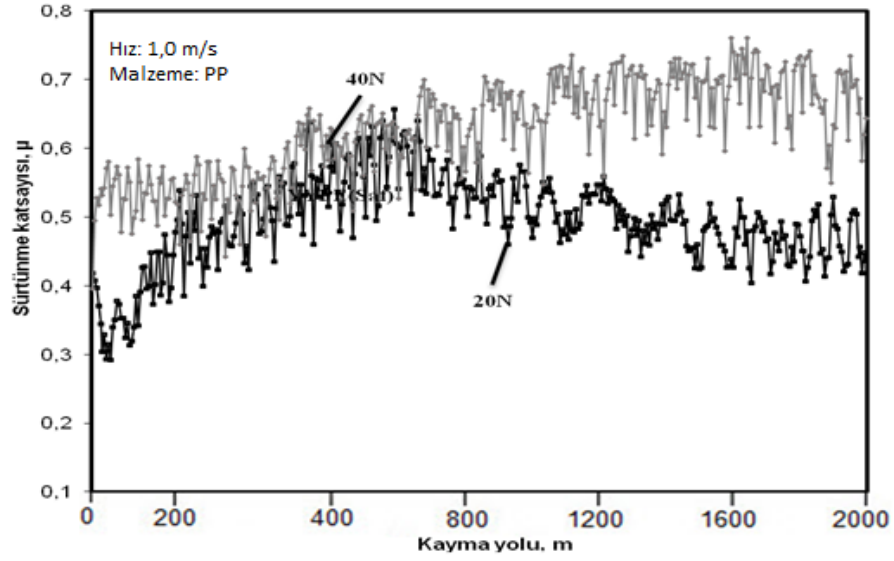
kompozit malzemelerin EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, aşınma deneylerinde kullanılmış olan AISI 316L paslanmaz çelik diskin mikroyapı görüntüleri incelenmiştir.

#### **4.3.1. Deney malzemelerinin sürtünme katsayılarına uygulanan hızın etkisi**

PP, PP+%10-20-30 kitosan kompozit ve PP+%10-20-30 AA modifiyeli kitosan kompozit malzemelerin AISI 316L paslanmaz çelik diske karşı aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde ilk olarak, her bir numuneye 2000m. kayma yolu boyunca 1,0m/s kayma hızı ve 20N yük uygulanarak sürtünme katsayıları tespit edilmiştir. Buna ilaveten, her bir numuneye 40N yük uygulanarak sürtünme katsayıları da tespit edilmiştir. Daha sonra, benzer şartlar altında olmak üzere kayma hızı 2,0m/s değerine yükseltilerek deneyler tekrarlanmış ve bu şartlar altındaki sürtünme katsayıları da tespit edilmiştir. Yapılan bu deneylerin sonucunda tespit edilen sürtünme katsayılarına, uygulanan hızların etkilerini göstermek amacıyla farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini gösteren grafikler oluşturulmuştur. Ayrıca, kayma yolunun hangi mesafelerdeyken sürtünme katsayısı değerlerinin stabil olduğu belirlenmiştir.

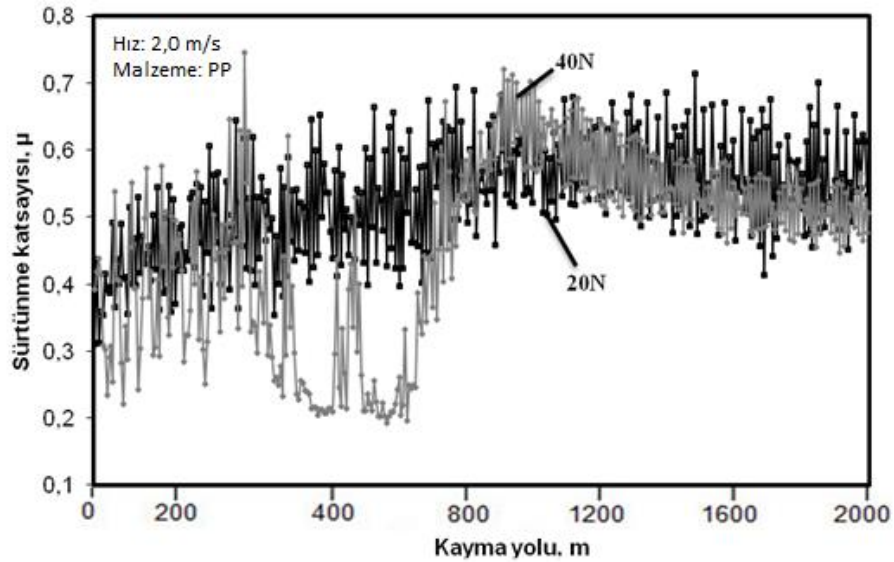
##### **4.3.1.1. PP polimerinin farklı hızlarda sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi**

Şekil 4.15.'de, PP polimerine 20 ve 40N değerlerinde yük ve 1,0m/s değerinde hız uygulanarak elde edilmiş olan sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini gösteren grafik verilmiştir. PP polimerinin 1,0m/s hızla ve 20N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,29-0,65 aralığında olduğu tespit edilmiştir. 1,0m/s hızla ve 40N yük altında ise sürtünme katsayısı değeri 0,44-0,76 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, 1,0m/s hız ve 20N yük uygulandığında PP polimerinin sürtünme katsayısı değerinin ortalama 800m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir. Aynı hızda 40N yük uygulandığında ise 350m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.15. PP Polimerinin 1,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi

Şekil 4.16.'da, PP polimerine 20-40N değerlerinde yük ve 2,0m/s değerinde hız uygulanarak elde edilmiş olan sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini gösteren grafik verilmiştir.



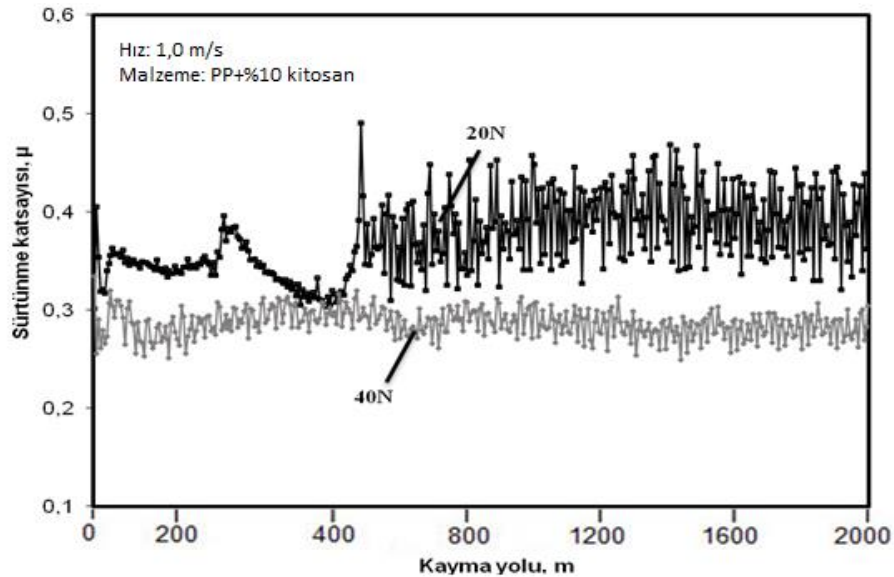
Şekil 4.16. PP polimerinin 2,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi

PP polimerinin 2,0m/s hızla ve 20N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,30-0,69 aralığında olduğu tespit edilmiştir. 1,0m/s hızla ve 40N yük altında ise sürtünme katsayısı değeri 0,20-0,74 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten,

1,0m/s hız ve 20N yük uygulandığında PP polimerinin sürtünme katsayısı değerinin ortalama 1000m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir. Aynı hızda 40N yük uygulandığında da 1000m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.3.1.2. PP+%10 kitosan kompozitinin farklı hızlarda sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

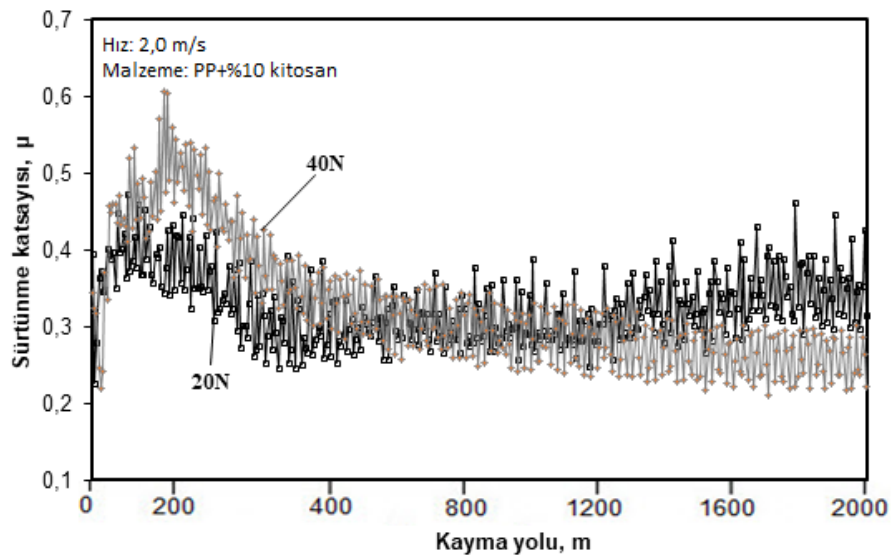
Şekil 4.17.'de, PP+%10 kitosan katkılı kompozit malzemesine 20 ve 40N değerlerinde yük ve 1,0m/s değerinde hız uygulanarak elde edilmiş olan sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini gösteren grafik verilmiştir. PP+%10 kitosan katkılı kompozitinin 1,0m/s hızla ve 20N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,29-0,49 aralığında olduğu tespit edilmiştir. 1,0m/s hızla ve 40N yük altında ise sürtünme katsayısı değeri 0,26-0,33 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, 1,0m/s hız ve 20N yük uygulandığında PP+%10 kitosan katkılı kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı değerinin ortalama 420m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir. Aynı hızda 40N yük uygulandığında ise 150m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.17. PP+%10 kitosan kompozitinin 1,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi

Şekil 4.18.'de ise PP+%10 kitosan katkılı kompozit malzemesine 20-40N değerlerinde yük ve 2,0m/s değerinde hız uygulanarak elde edilmiş olan sürtünme

katsayısı-kayma yolu ilişkisini gösteren grafik verilmiştir. PP+%10 kitosan katkılı kompozitinin 2,0m/s hızla ve 20N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,21-0,46 aralığında olduğu tespit edilmiştir. 1,0m/s hızla ve 40N yük altında ise sürtünme katsayısı değeri 0,20-0,60 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, 2,0m/s hız ve 20N yük uygulandığında PP+%10 kitosan katkılı kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı değerinin ortalama 650m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir. Aynı hızda 40N yük uygulandığında da benzer şekilde 6500m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir.

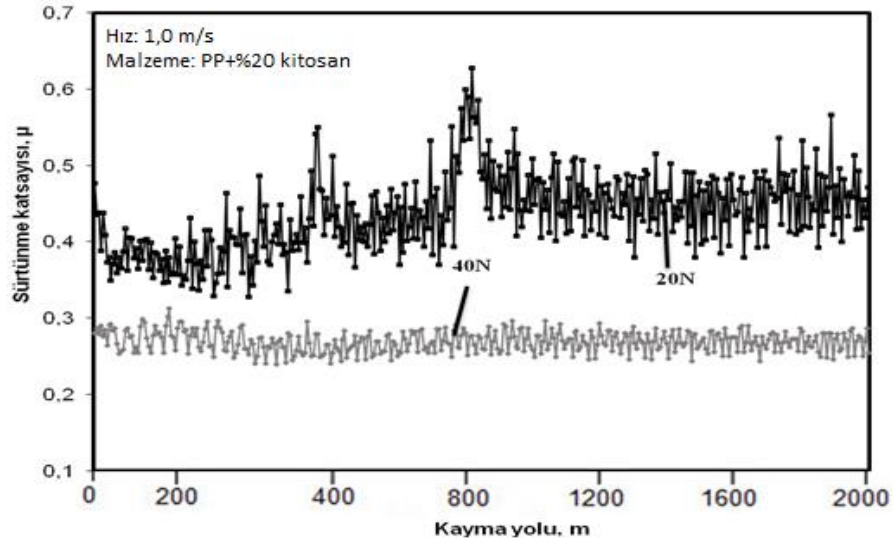


Şekil 4.18. PP+%10 kitosan kompozitinin 2,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi

#### 4.3.1.3. PP+%20 kitosan kompozitinin farklı hızlarda sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

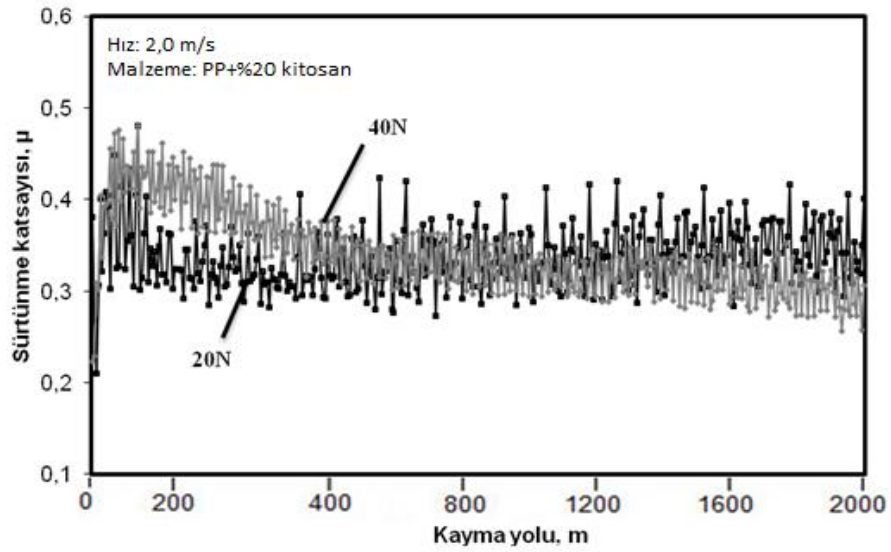
Şekil 4.19.'da, PP+%20 kitosan katkılı kompozit malzemesine 20 ve 40N değerlerinde yük ve 1,0m/s değerinde hız uygulanarak elde edilmiş olan sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini gösteren grafik verilmiştir. PP+%20 kitosan katkılı kompozitinin 1,0m/s hızla ve 20N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,33-0,62 aralığında olduğu tespit edilmiştir. 1,0m/s hızla ve 40N yük altında ise sürtünme katsayısı değeri 0,24-0,29 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, 1,0m/s hız ve 20N yük uygulandığında PP+%20 kitosan katkılı kompozit

malzemesinin sürtünme katsayısı değerinin ortalama 390m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir. Aynı hızda 40N yük uygulandığında ise 0-2000 mesafe boyunca stabil olarak aşınmanın devam ettiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.19. PP+%20 kitosan kompozitinin 1,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi

Şekil 4.20.'de, PP+%20 kitosan katkıli kompozit malzemesine 20-40N değerlerinde yük ve 2,0m/s değerinde hız uygulanarak elde edilmiş olan sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini gösteren grafik verilmiştir. PP+%20 kitosan katkıli kompozitinin 2,0m/s hızla ve 20N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,27-0,42 aralığında olduğu tespit edilmiştir. 2,0m/s hızla ve 40N yük altında ise sürtünme katsayısı değeri 0,29-0,48 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, 2,0m/s hız ve 20N yük uygulandığında PP+%20 kitosan katkıli kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı değerinin ortalama 50m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir. Aynı hızda 40N yük uygulandığında ise 400m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir.

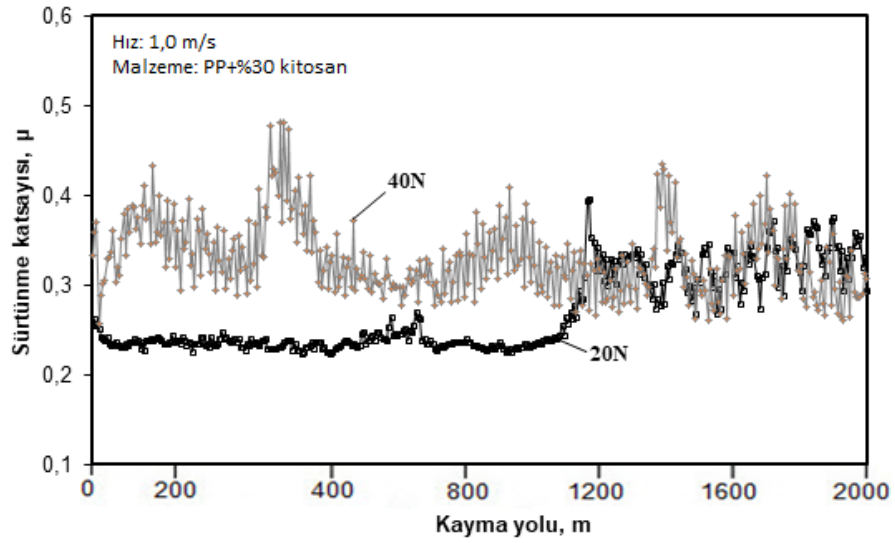


Şekil 4.20. PP+%20 kitosan kompozitinin 2,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi

#### 4.3.1.4. PP+%30 kitosan kompozitinin farklı hızlarda sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

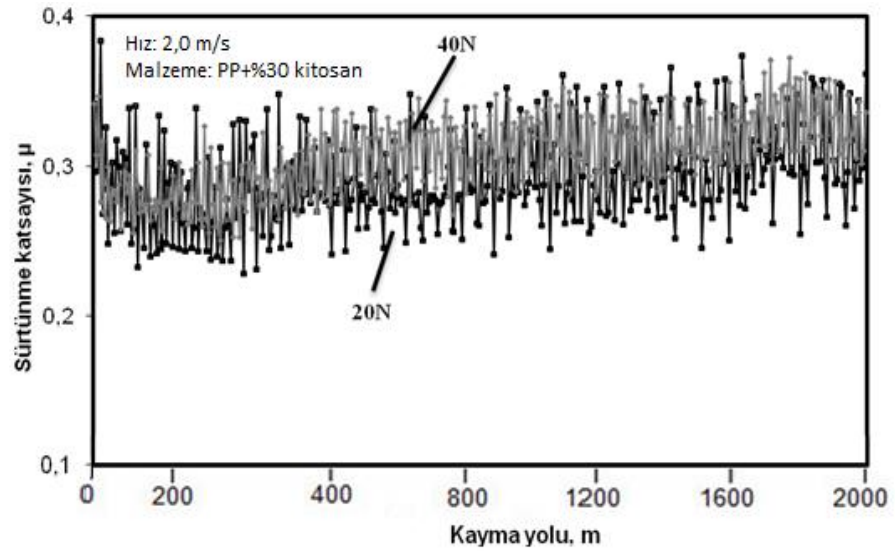
Şekil 4.21.'de, PP+%30 kitosan katkılı kompozit malzemesine 20 ve 40N değerlerinde yük ve 1,0m/s değerinde hız uygulanarak elde edilmiş olan sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini gösteren grafik verilmiştir. PP+%30 kitosan katkılı kompozitinin 1,0m/s hızla ve 20N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,22-0,39 aralığında olduğu tespit edilmiştir. 1,0m/s hızla ve 40N yük altında ise sürtünme katsayısı değeri 0,25-0,47 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, 1,0m/s hız ve 20N yük uygulandığında PP+%30 kitosan katkılı kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı değerinin ortalama 1200m. mesafeye kadar stabil olarak devam ettiği fakat sonrasında sıcaklık artmasına bağlı olarak sürtünme katsayısının da yükseldiği tespit edilmiştir. Aynı hızda 40N yük uygulandığında ise 1200m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir.





Şekil 4.21. PP+%30 kitosan kompozitin 1,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi

Şekil 4.22.'de, PP+%30 kitosan katkıli kompozit malzemesine 20 ve 40N değerlerinde yük ve 1,0m/s değerinde hız uygulanarak elde edilmiş olan sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini gösteren grafik verilmiştir.



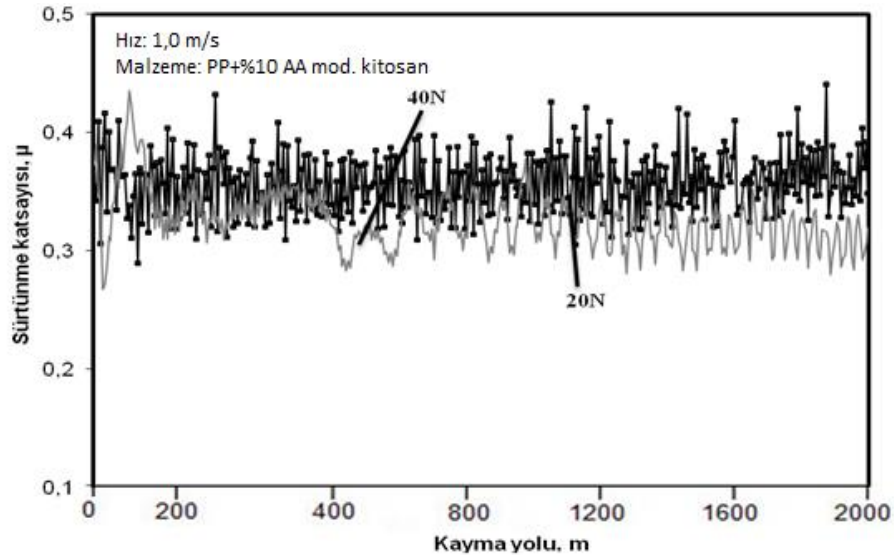
Şekil 4.22. PP+%30 kitosan kompozitin 2,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi

PP+%30 kitosan katkıli kompozitinin 1,0m/s hızla ve 20N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,22-0,35 aralığında olduğu tespit edilmiştir. 1,0m/s hızla ve 40N yük altında ise sürtünme katsayısı değeri 0,24-0,37 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, 1,0m/s hız ve 20N yük uygulandığında PP+%30 kitosan

katkılı kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı değerinin ortalama 350m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir. Aynı hızda 40N yük uygulandığında da 350m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.3.1.5. PP+%10 asetik asit modifiyeli kitosan kompozitinin farklı hızlarda sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

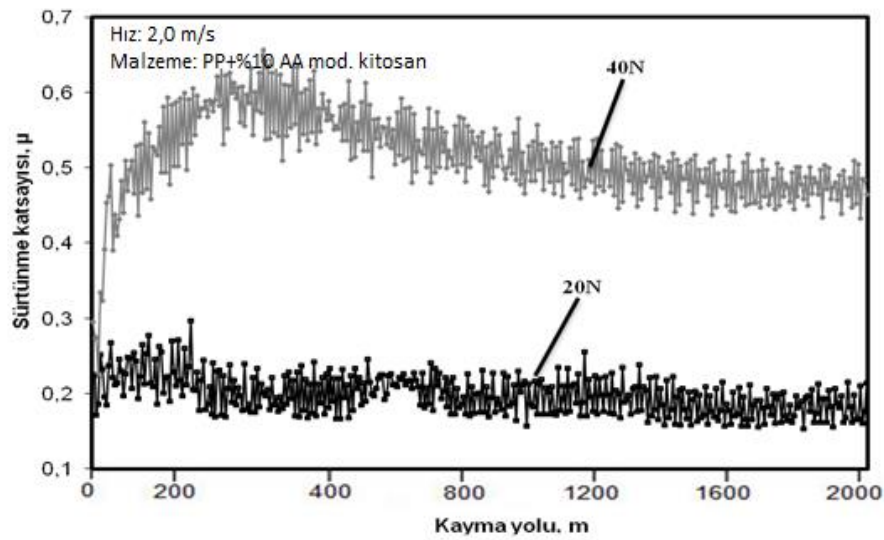
Şekil 4.23.'de, PP+%10 AA modifiyeli kitosan kompozit malzemesine 20 ve 40N değerlerinde yük ve 1,0m/s değerinde hız uygulanarak elde edilmiş olan sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini gösteren grafik verilmiştir. PP+%10 AA modifiyeli kitosan kompozitinin 1,0m/s hızla ve 20N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,28-0,43 aralığında olduğu tespit edilmiştir. 1,0m/s hızla ve 40N yük altında ise sürtünme katsayısı değeri 0,26-0,43 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, 1,0m/s hız ve 20N yük uygulandığında PP+%10 AA modifiyeli kitosan kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı değerinin ortalama 150m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir. Aynı hızda 40N yük uygulandığında da benzer şekilde 150m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.23. PP+%10 AA modifiyeli kitosan kompozitinin 1,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi

Şekil 4.24.'de, PP+%10 AA modifiyeli kitosan kompozit malzemesine 20 ve 40N değerlerinde yük ve 2,0m/s değerinde hız uygulanarak elde edilmiş olan sürtünme

katsayısı-kayma yolu ilişkisini gösteren grafik verilmiştir. PP+%10 AA modifiyeli kitosan kompozitinin 2,0m/s hızla ve 20N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,16-0,27 aralığında olduğu tespit edilmiştir. 2,0m/s hızla ve 40N yük altında ise sürtünme katsayısı değeri 0,46-0,63 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, 2,0m/s hız ve 20N yük uygulandığında PP+%10 AA modifiyeli kitosan kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı değerinin ortalama 300m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir. Aynı hızda 40N yük uygulandığında ise 950m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir.

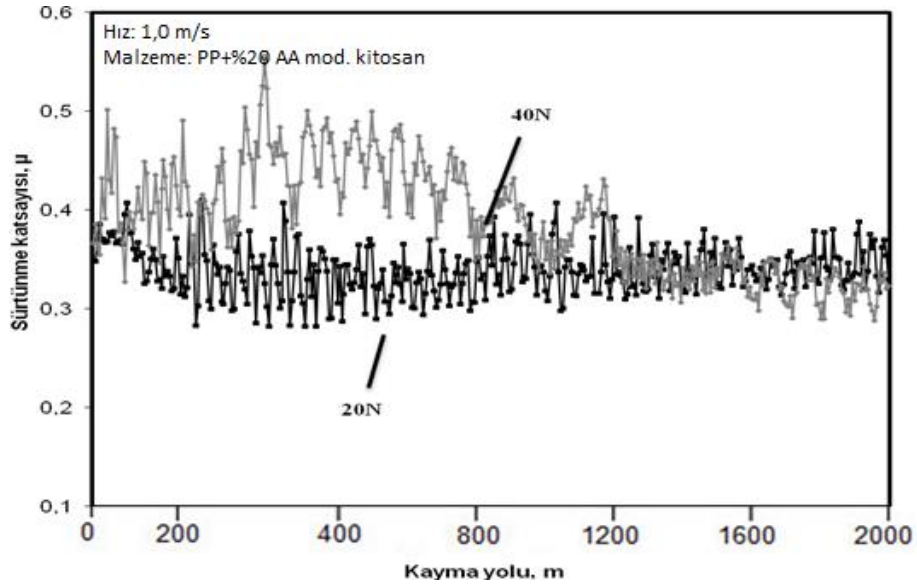


Şekil 4.24. PP+%10 AA modifiyeli kitosan kompozitinin 2,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi

#### 4.3.1.6. PP+%20 asetik asit modifiyeli kitosan kompozitinin farklı hızlarda sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

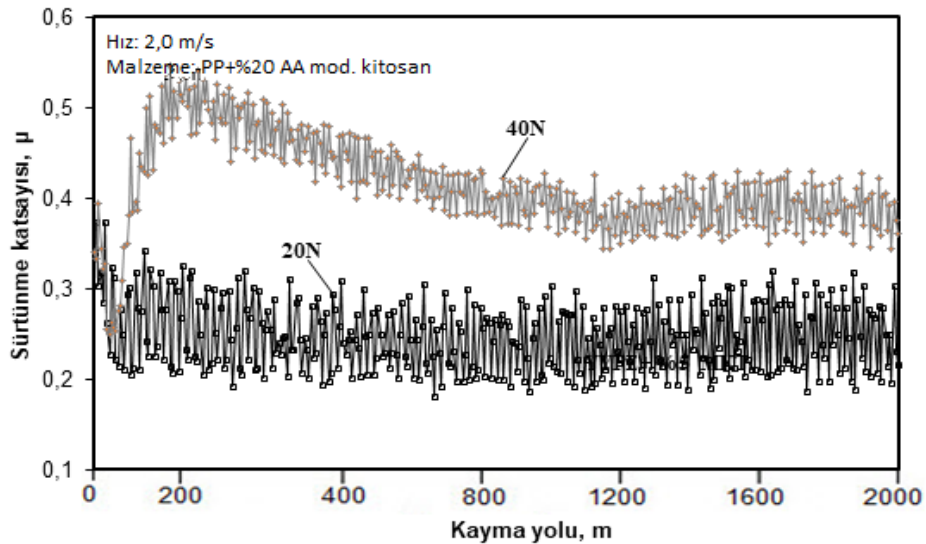
Şekil 4.25.'de, PP+%20 AA modifiyeli kitosan kompozit malzemesine 20 ve 40N değerlerinde yük ve 1,0m/s değerinde hız uygulanarak elde edilmiş olan sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini gösteren grafik verilmiştir. PP+%20 AA modifiyeli kitosan kompozitinin 1,0m/s hızla ve 20N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,28-0,40 aralığında olduğu tespit edilmiştir. 1,0m/s hızla ve 40N yük altında ise sürtünme katsayısı değeri 0,29-0,50 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, 1,0m/s hız ve 20N yük uygulandığında PP+%10 AA modifiyeli kitosan kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı değerinin ortalama 1000m. mesafede

stabilize olduğu tespit edilmiştir. Aynı hızda 40N yük uygulandığında da benzer şekilde 1000m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.25. PP+%20 AA modifiyeli kitosan kompozitin 1,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi

Şekil 4.26.'da, PP+%20 AA modifiyeli kitosan kompozit malzemesine 20 ve 40N değerlerinde yük ve 2,0m/s değerinde hız uygulanarak elde edilmiş olan sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini gösteren grafik verilmiştir.

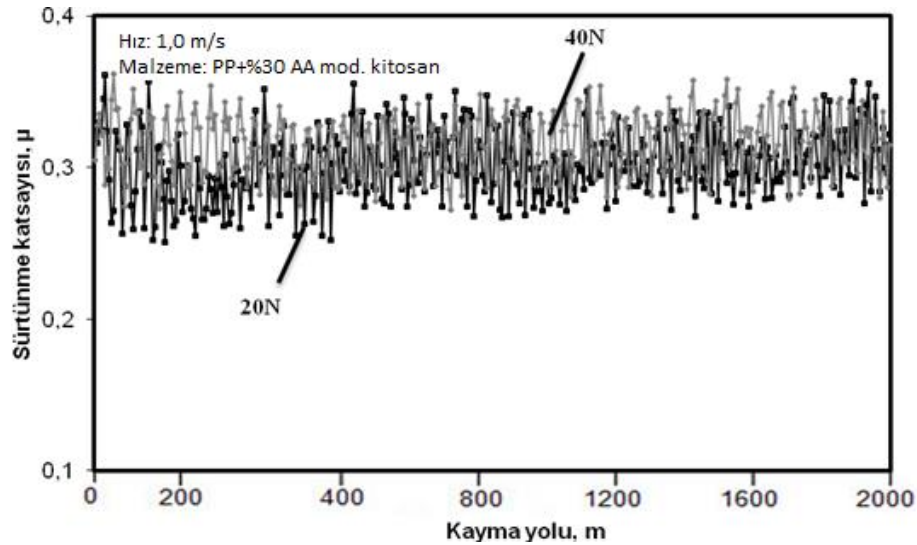


Şekil 4.26. PP+%20 AA modifiyeli kitosan kompozitin 2,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi

PP+%20 AA modifiyeli kitosan kompozitinin 2,0m/s hızla ve 20N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,18-0,34 aralığında olduğu tespit edilmiştir. 2,0m/s hızla ve 40N yük altında ise sürtünme katsayısı değeri 0,38-0,54 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, 2,0m/s hız ve 20N yük uygulandığında PP+%10 AA modifiyeli kitosan kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı değerinin ortalama 200m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir. Aynı hızda 40N yük uygulandığında ise 1100m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.3.1.7. PP+%30 asetik asit modifiyeli kitosan kompozitinin farklı hızlarda sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

Şekil 4.27.'de, PP+%30 AA modifiyeli kitosan kompozit malzemesine 20 ve 40N değerlerinde yük ve 1,0m/s değerinde hız uygulanarak elde edilmiş olan sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini gösteren grafik verilmiştir.

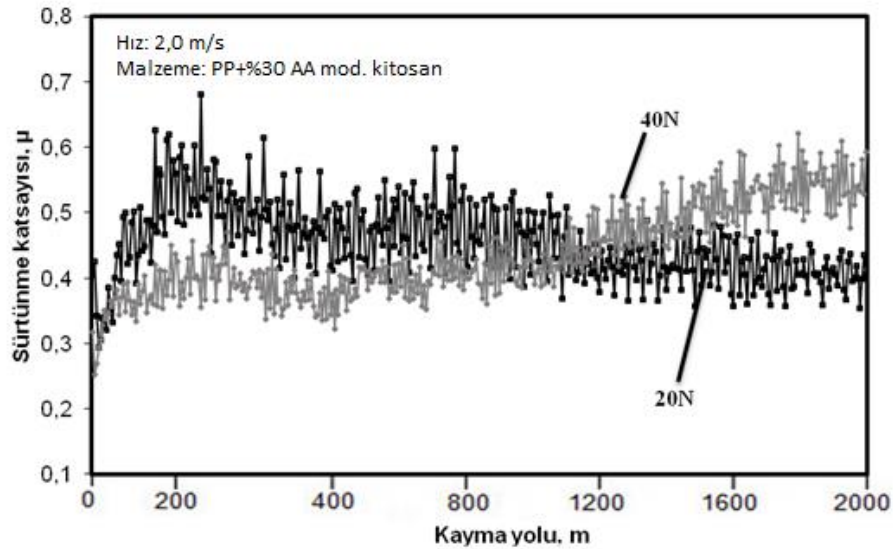


Şekil 4.27. PP+%30 AA modifiyeli kitosan kompozitinin 1,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi

PP+%30 AA modifiyeli kitosan kompozitinin 1,0m/s hızla ve 20N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,25-0,49 aralığında olduğu tespit edilmiştir. 1,0m/s hızla ve 40N yük altında ise sürtünme katsayısı değeri 0,26-0,33 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, 1,0m/s hız ve 20N yük uygulandığında PP+%30 AA modifiyeli kitosan kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı değerinin ortalama

200m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir. Aynı hızda 40N yük uygulandığında da benzer şekilde 200m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.28.'de, PP+%30 AA modifiyeli kitosan kompozit malzemesine 20 ve 40N değerlerinde yük ve 2,0m/s değerinde hız uygulanarak elde edilmiş olan sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini gösteren grafik verilmiştir. PP+%30 AA modifiyeli kitosan kompozitinin 2,0m/s hızla ve 20N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,22-0,34 aralığında olduğu tespit edilmiştir. 2,0m/s hızla ve 40N yük altında ise sürtünme katsayısı değeri 0,26-0,33 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, 2,0m/s hız ve 20N yük uygulandığında PP+%30 AA modifiyeli kitosan kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı değerinin ortalama 400m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir. Aynı hızda 40N yük uygulandığında da yakın bir değerde 420m. mesafede stabilize olduğu tespit edilmiştir.



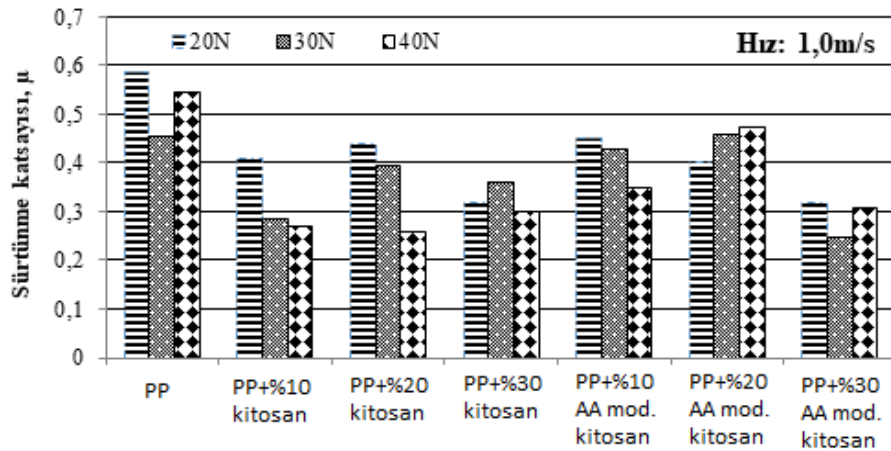
Şekil 4.28. PP+%30 AA modifiyeli kitosan kompozitinin 2,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi

#### 4.3.2. Deney malzemelerinin sürtünme katsayısı ve aşınma sonuçlarına uygulanan yükün etkisi

Şekil 4.29.'da, PP ve PP kompozitlerinin 1,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-yük ilişkisini gösteren grafik verilmiştir. Deneyler, 20N, 30N ve 40N yük altında gerçekleştirilmiştir. PP polimerinin 1,0 m/s hızda ve 20N yük altında sürtünme



katsayısı değeri 0,58 olduğu, benzer koşullarda modifiyesiz %10-20-30 kitosan katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinin sırasıyla 0,41, 0,44 ve 0,30 olduğu, benzer koşullarda AA modifiyeli %10-20-30 kitosan katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinin sırasıyla 0,45, 0,40 ve 0,32 olduğu tespit edilmiştir. PP polimerinin 1,0 m/s hızda ve 30N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,45 olduğu, benzer koşullarda modifiyesiz %10-20-30 kitosan katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinin sırasıyla 0,28, 0,39 ve 0,36 olduğu, benzer koşullarda AA modifiyeli %10-20-30 kitosan katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinin sırasıyla 0,43, 0,46 ve 0,25 olduğu tespit edilmiştir. PP polimerinin 1,0 m/s hızda ve 40N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,54 olduğu, benzer koşullarda modifiyesiz %10-20-30 kitosan katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinin sırasıyla 0,27, 0,26 ve 0,30 olduğu, benzer koşullarda AA modifiyeli %10-20-30 kitosan katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinin sırasıyla 0,35, 0,47 ve 0,30 olduğu tespit edilmiştir.

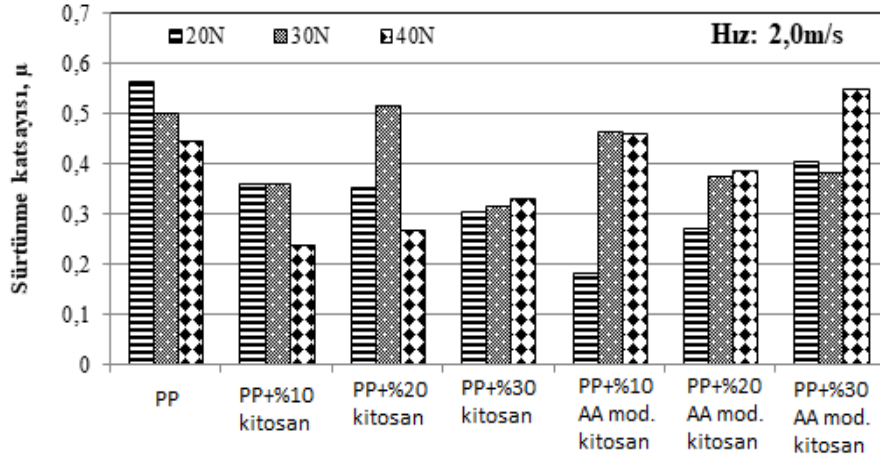


Şekil 4.29. PP ve kompozitlerinin 1.0 m/s hızda sürtünme katsayısı-yük ilişkisi

PP polimerinin ve kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinin, bazı numunelerde hafif davranış değişikliği gözlenirse de, uygulanan yükün artmasına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, PP polimerinde 40N yük uygulandığında ve %20 AA modifiyeli kitosan katkıli kompozitte ise 30N ve 40N yük uygulandığında artma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, benzer yükler altındayken, kompozitlerin içeriğinde bulunan hem modifiyesiz hem de AA

modifiyeli kitosan katkı oranlarının artmasına bağlı olarak PP polimerinin sürtünme katsayısı değerine göre genel olarak azalma olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.30.'da, PP ve PP kompozitlerinin 2,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-yük ilişkisini gösteren grafik verilmiştir. Deneyler, 20N, 30N ve 40N yük altında gerçekleştirilmiştir.



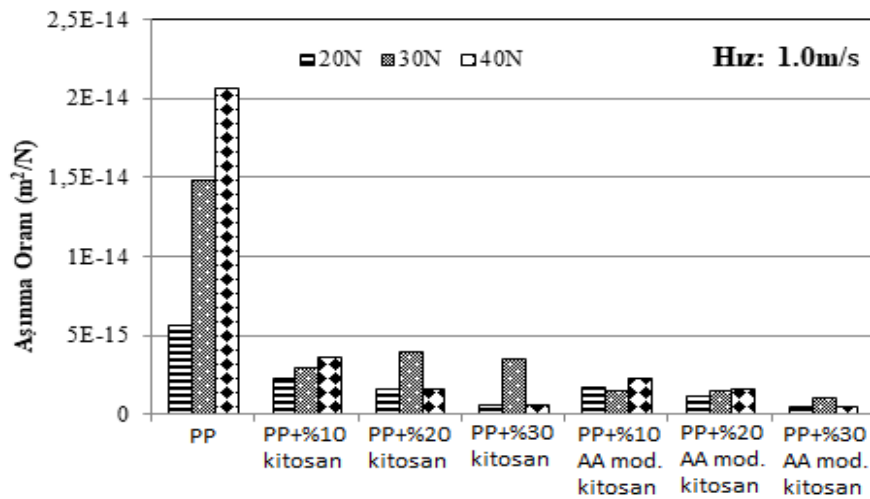
Şekil 4.30. PP ve kompozitlerinin 2,0 m/s hızda sürtünme katsayısı-yük ilişkisi

PP polimerinin 2,0 m/s hızda ve 20N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,56 olduğu, benzer koşullarda modifiyesiz %10-20-30 kitosan katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinin sırasıyla 0,36, 0,35 ve 0,31 olduğu, benzer koşullarda AA modifiyeli %10-20-30 kitosan katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinin sırasıyla 0,18, 0,27 ve 0,40 olduğu tespit edilmiştir. PP polimerinin 2,0 m/s hızda ve 30N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,50 olduğu, benzer koşullarda modifiyesiz %10-20-30 kitosan katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinin sırasıyla 0,36, 0,52 ve 0,32 olduğu, benzer koşullarda AA modifiyeli %10-20-30 kitosan katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinin sırasıyla 0,47, 0,38 ve 0,38 olduğu tespit edilmiştir. PP polimerinin 2,0 m/s hızda ve 40N yük altında sürtünme katsayısı değeri 0,45 olduğu, benzer koşullarda modifiyesiz %10-20-30 kitosan katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinin sırasıyla 0,24, 0,27 ve 0,33 olduğu, benzer koşullarda AA modifiyeli %10-20-30 kitosan katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinin sırasıyla 0,46, 0,39 ve 0,55 olduğu tespit edilmiştir.



PP polimerinin ve modifiyesiz kitosan katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinin, bazı numunelerde hafif davranış değişikliği gözlenirse de uygulanan yükün artmasına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. AA modifiyeli kitosan katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinin ise bazı numunelerde hafif davranış değişikliği gözlenirse de uygulanan yükün artmasına bağlı olarak artma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, modifiyesiz kitosan katkılı kompozitlerin de sürtünme katsayısı değerlerinin genel olarak PP'nin değerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, kompozitlerin içeriğinde bulunan modifiyesiz kitosan katkı oranlarının artmasına bağlı olarak sürtünme katsayısı değerlerinde azalma eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Diğer tip kompozit malzemedede ise AA modifiyeli kitosan katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinin de genel olarak PP'nin değerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, AA modifiyeli kitosan katkı oranlarının artmasına bağlı olarak sürtünme katsayısı değerlerindeki değişimin azalma ya da artma şeklinde olup, PP polimerinin sürtünme katsayısı değerinden daha yüksek değerler alabildiği gözlenmiştir.

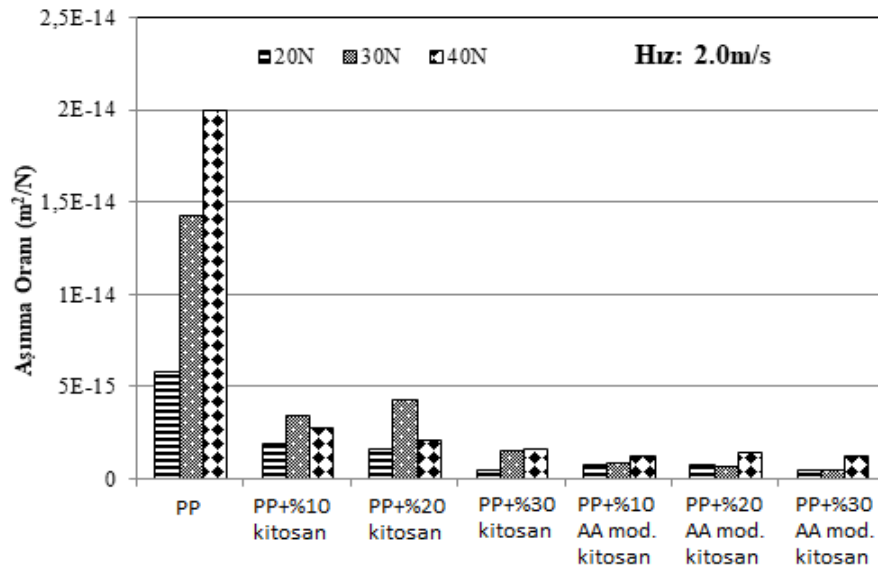
Şekil 4.31.'de, PP ve PP kompozitlerinin 1,0 m/s hızda aşınma oranı-yük ilişkisini gösteren grafik verilmiştir. Deneyler, 20N, 30N ve 40N yük altında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.31. PP ve kompozitlerinin 1,0 m/s hızda aşınma oranı-yük ilişkisi

Modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkıli bütün kompozitlerin 1,0 m/s hızda ve 20N, 30N ve 40N yük altında belirlenen tüm aşınma oranı değerlerinin benzer yükler uygulandığında PP'nin değerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, uygulanan yükün 20N'dan 30N'a yükselmesine bağlı olarak aşınma oranlarındaki gözlenen değişimin PP polimerinde ve modifiyesiz kitosan katkıli kompozitlerde artma eğilimde olduğu tespit edilmiştir. AA modifiyeli kitosan katkıli kompozitlerin aşınma oranlarında %10 katkıli olanında azalma gözlenirken diğerlerinde yine artma olduğu tespit edilmiştir. Uygulanan yükün 30N'dan 40N'a yükselmesi durumunda ise aşınma oranlarındaki gözlenen değişimin PP polimeri, modifiyesiz %10, AA modifiyeli %10 ve %20 katkıli kompozitlerde artma diğer kompozitlerde ise azalma şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, 1,0 m/s hızda ve benzer yükler uygulandığında katkı oranı artmasına bağlı olarak aşınma oranlarında genel olarak azalma olduğu, fakat %20 modifiyesiz kitosan katkıli kompozitin 40N yük altındayken aşınma oranlarında hafif artışlar olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.32.'de, PP ve PP kompozitlerinin 2,0 m/s hızda aşınma oranı-yük ilişkisini gösteren grafik verilmiştir. Deneyler, 20N, 30N ve 40N yük altında gerçekleştirilmiştir.



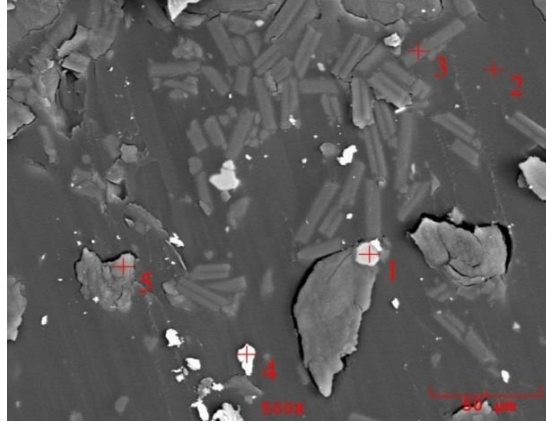
Şekil 4.32. PP ve kompozitlerinin 2,0 m/s hızda aşınma oranı-yük ilişkisi

Modifiyesiz ve AA modifiyeli kitosan katkılı bütün kompozitlere 2,0 m/s hızda ve benzer yükler uygulandığında belirlenen tüm aşınma oranı değerlerinin PP'nin değerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, uygulanan yükün 20N'dan 30N'a yükselmesine bağlı olarak aşınma oranlarındaki gözlenen değişimin PP polimerinde ve modifiyesiz kitosan katkılı kompozitlerde genel olarak artma olduğu tespit edilmiştir. AA modifiyeli kitosan katkılı kompozitlerin aşınma oranlarının %20 katkılı olanlarda azalma olduğu, %30 katkılı olanlarda değişme olmadığı gözlenirken %10 katkılı olanında yine artma olduğu tespit edilmiştir. Uygulanan yükün 30N'dan 40N'a yükselmesi durumunda ise PP polimerinin aşınma oranının arttığı tespit edilmiştir. %10 ve %20 modifiyesiz kitosan katkılı kompozitlerin aşınma oranı değerlerinde azalma diğer bütün kompozitlerde ise yine artma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, 2,0 m/s hızda ve benzer yükler uygulandığında katkı oranı artmasına bağlı olarak aşınma oranlarında genel olarak azalma olduğu, fakat %20 modifiyesiz kitosan katkılı kompozitin 30N yük altındayken, %20 AA modifiyeli kitosan katkılı kompozitin 40N yük altındayken aşınma oranlarında hafif artışlar olduğu tespit edilmiştir.

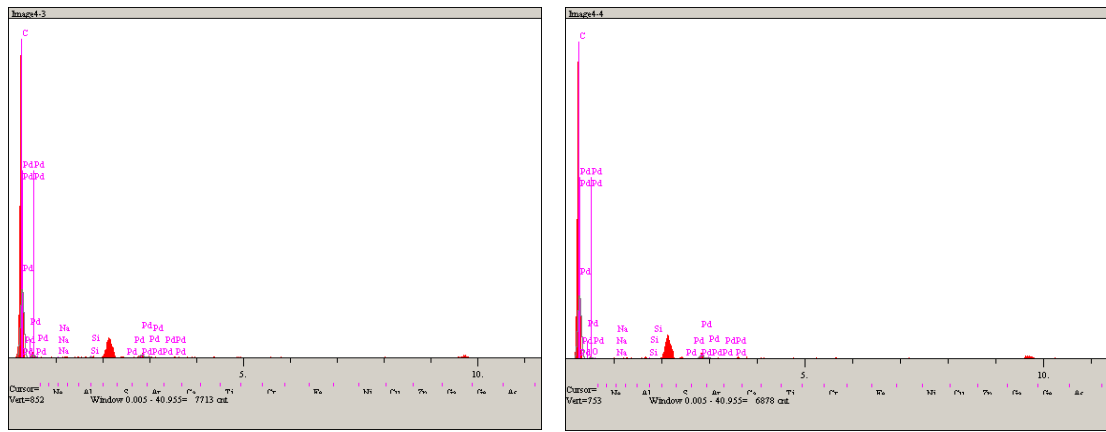
#### **4.3.3. Aşınma deney numunelerinin SEM/EDS analizi ve çelik diskin mikroyapıları**

Deney numunelerinin yıpranmış yüzey SEM/EDS analizi ve çelik disk sürtünme yüzeylerinin mikroyapısının görüntülenmesi, Sakarya Üniversitesi Laboratuvarlarında bulunan Jeol JSM-6060 lv marka model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gerçekleştirilmiştir. PP+%30 kitosan katkılı kompozitin EDS analizinde belirlenmiş olan noktalar Şekil 4.33.'de ve EDS analiz sonuç grafikleri Şekil 4.34.'de, PP+%30 AA modifiyeli kitosan katkılı kompozitin EDS analizinde belirlenmiş olan noktalar Şekil 4.35.'de ve EDS analiz sonuç grafikleri Şekil 4.36.'de verilmiştir. Yıpranmış yüzey 500x SEM görüntüleri ise PP polimerinin Şekil 4.37.'de, %10, 20 ve 30 kitosan katkılı kompozit numunelerin Şekil 4.38.'de ve %10, 20 ve 30 AA modifiyeli kitosan katkılı kompozit numunelerin Şekil 4.39.'da verilmiştir. Ayrıca, AISI 316L paslanmaz çelik diskin 500x sürtünme yüzey SEM görüntüleri, PP polimeri ile olanı Şekil 4.40.'da, %10, 20 ve 30 kitosan katkılı

kompozitler ile olanları Şekil 4.41.'de, %10, 20 ve 30 AA modifiyeli kitosan katkıli kompozitler ile olanları ise Şekil 4.42.'de verilmiştir.



Şekil 4.33. %30 kitosan katkıli PP kompozitin EDS analizinde kullanılmış olan noktalar

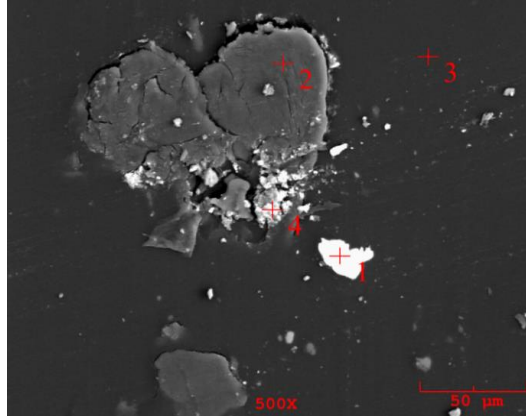


EDS analiz sonuç grafiği 1

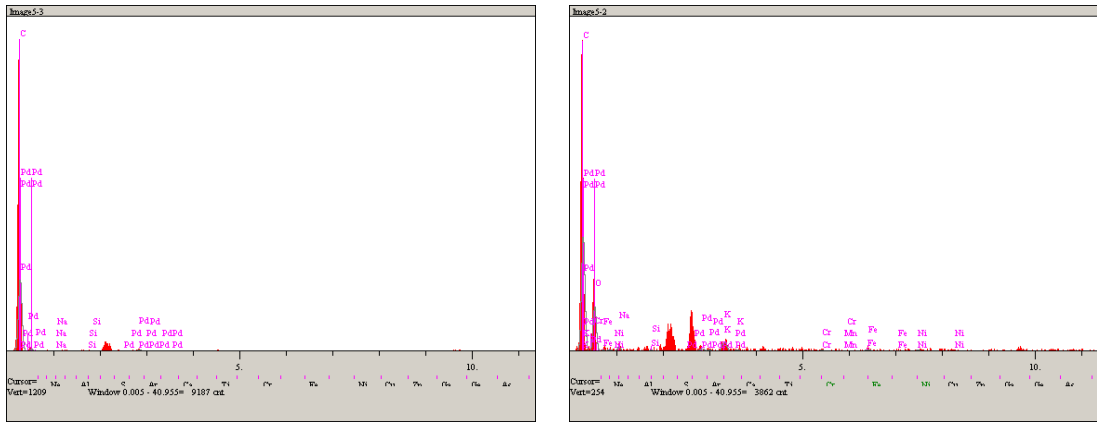
EDS analiz sonuç grafiği 2

Şekil 4.34. %30 kitosan katkıli PP kompozitin EDS analizi sonuç grafikleri

Tablo 4.12.'de belirtilen noktalarda tespit edilen elementlerin ağırlıkça oranlarının %84,75-89,13 aralığındaki oranlarda karbon (C), %9,32-13,95 aralığındaki oranlarda oksijen (O), %0,30-0,35 aralığındaki oranlarda silisyum (Si), %0,24-0,29 aralığındaki oranlarda sodyum (Na) ve %0,70-0,96 aralığındaki oranlarda paladyum (Pd) olduğu tespit edilmiştir. Paladyum elementinin varlığı, EDS analizinin gerçekleştirildiği SEM cihazında kullanılmış olan altın-paladyum kaplama malzemedен kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir. Bu sonuçlara göre, %30 kitosan katkıli PP kompozit malzemesinin yapısında yüksek oranda karbon elementinin ve daha az oranda oksijen elementinin bulunduğu tespit edilmiştir. Diğer elementlerin ise çok küçük oranlarda olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.35. %30 AA modifiyeli kitosan katkı PP kompozitin EDS analizi görüntüsü

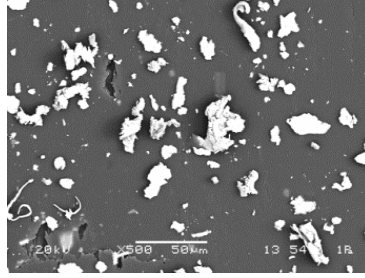


EDS analizi sonuç grafiği 1

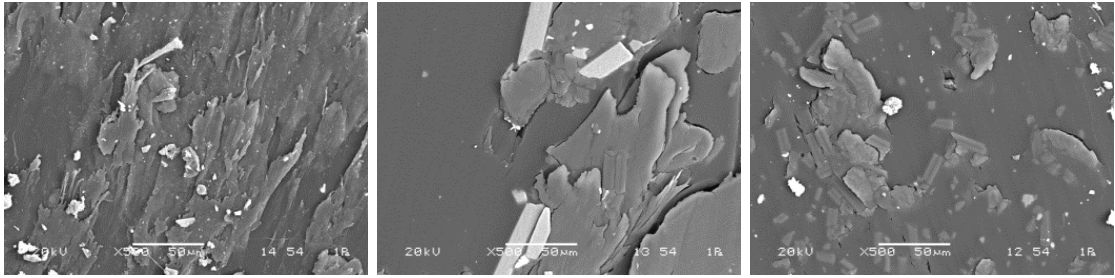
EDS analizi sonuç grafiği 2

Şekil 4.36. %30 AA modifiyeli kitosan katkı PP kompozitin EDS analizi sonuç grafikleri

Tablo 4.13.'de belirtilen noktalarda tespit edilen elementlerin ağırlıkça oranlarının %58,59-88,93 aralığındaki oranlarda karbon (C), %10,39-38,92 aralığındaki oranlarda oksijen (O), %0,07-0,19 aralığındaki oranlarda silisyum (Si), %0,18-0,83 aralığındaki oranlarda sodyum (Na) ve %0,18-0,29 aralığındaki oranlarda paladyum (Pd) ve çok küçük oranlarda potasyum (K), krom (Cr), Manganez (Mn), Demir (Fe), Nikel (Ni) olduğu tespit edilmiştir. Paladyum elementinin EDS analizinin gerçekleştirildiği SEM cihazında kullanılmış olan altın-paladyum kaplama malzemeden, diğer küçük oranlı elementlerin ise disk ve çevresel nedenlerden malzemeye geçtiği düşünülmektedir. Bu sonuçlara göre %30 modifiyeli kitosan katkı PP kompozit malzemesinin yapısında yüksek oranda karbon elementinin, daha az oranda oksijen elementlerinin bulunduğu ve diğer bazı elementlerin ise çok küçük oranlarda olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.37. PP polimeri yıpranmış yüzey SEM görüntüsü

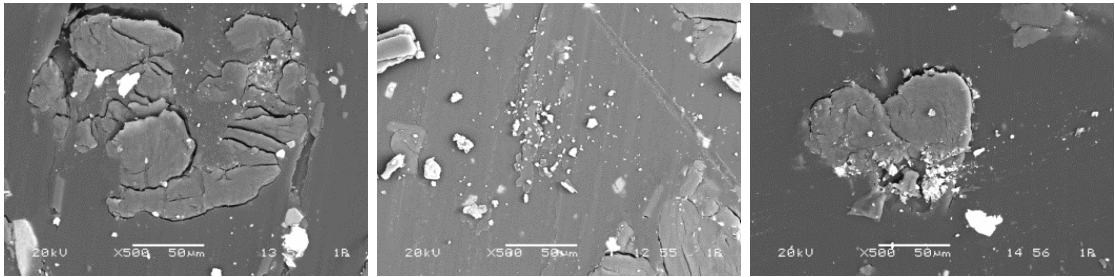


PP+%10 kitosan

PP+%20

PP+%30

Şekil 4.38. %10, 20 ve 30 kitosan katkıli kompozitlerin yıpranmış yüzey SEM görüntüleri



PP+%10 AA mod. kitosan

PP+%20 AA mod. kitosan

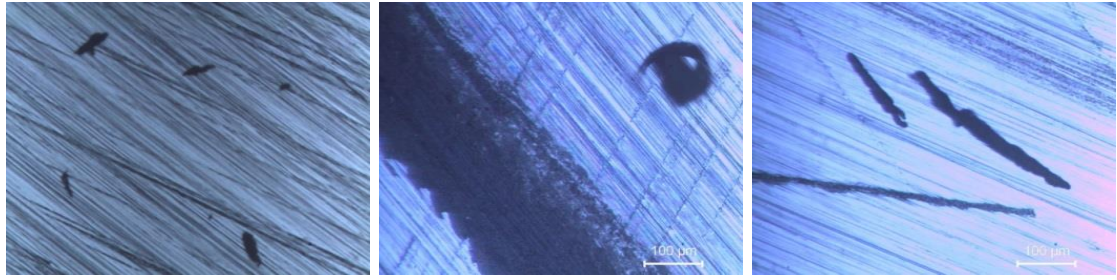
PP+%30 AA mod. kitosan

Şekil 4.39. %10, 20 ve 30 AA modifiyeli kitosan katkıli kompozitlerin yıpranmış yüzey SEM görüntüleri



Şekil 4.40. Çelik diskin PP polimeri ile sürtünme yüzeyinin SEM görüntüsü



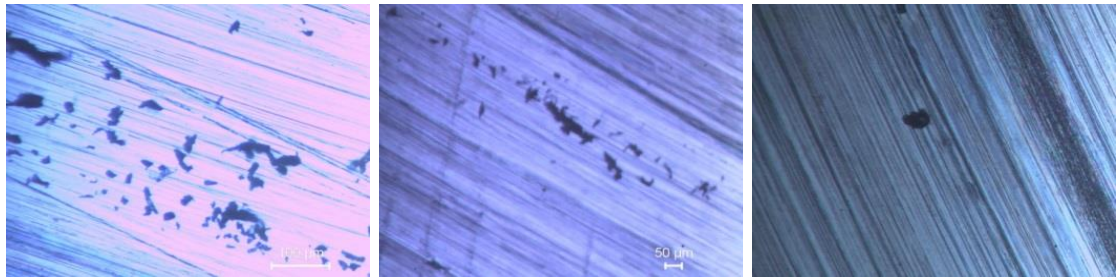


PP+%10 kitosan

PP+%20

PP+%30

Şekil 4.41. Çelik diskin %10, 20 ve 30 kitosan katkıli kompozitler ile sürtünme yüzeylerinin SEM görüntüleri



PP+%10 AA mod. kitosan

PP+%20 AA mod. kitosan

PP+%30 AA mod. kitosan

Şekil 4.42. Çelik diskin %10, 20 ve 30 AA modifiyeli kitosan katkıli kompozitler ile sürtünme yüzeylerinin SEM görüntüleri

Deney numunelerine ait mikroyapılardan kitosan partiküllerinin boyut ve şekillerinde farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, kitosan katkısının PP polimerinin içerisinde iyi dağılım gösterdiği fakat topaklanmalar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, modifiyesiz kitosan-PP arayüzeyinde özellikle topaklanma olan bölgelerde çatlaklar oluştuğu tespit edilmiştir. AA modifiyeli kitosan-PP arasında da benzer şekilde çatlaklar oluşmuştur. Bunlara ilaveten, PP ve PP kompozitlerinin aşınma yüzeyleri ve çelik diskin yüzey görüntülerinin sonucunda yüzeylerin transfer filmi, deformasyon ve yapışma içerdiği ve hem adhesiv hem de abrasiv aşınma mekanizmasının oluştuğu tespit edilmiştir.

Deney malzemelerinin sürtünme katsayılarına uygulanan hız ve yükün etkisi göz önünde tutulduğunda, kullanılan PP polimerine ait sürtünme katsayısı değerinin hem düşük hem de yüksek hızlarda yükün artması ile genel olarak azaldığı tespit edilmiştir. PP polimeri ile birlikte kitosan katkısı kullanılmasının ise sürtünme katsayısı değerlerinin azalmasında oldukça etkili olabildiği tespit edilmiştir. Sürtünme katsayılarındaki bu azalma, sürtünme yüzeylerinde gözlenen sıcaklık artması ile oluşan transfer filminin bir sonucu oluşan olarak açıklanabilir. Bunlara

ilaveten, PP polimerine ait aşınma oranı değerlerinin hem düşük hem de yüksek hızlarda yükün artmasına bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. PP polimeri ile birlikte kitosan katkısı kullanılmasının ise aşınma oranı değerlerinin azalmasında etkili olduğu tespit edilmiştir. Bunlara göre, kitosan katkılı PP kompozitlerin aşınmaya karşı performansının PP polimerine göre daha iyi gelişme gösterdiği tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, deney malzemeleri ve çelik disk üzerinde gerçekleştirilen mikroyapı incelemelerinin sonucunda, kitosanın PP polimerinin aşınma direncini arttırmak amacıyla katkı maddesi olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Çeşitli polimer ve katkı maddeleri kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin aşınma özelliklerinin araştırıldığı bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Bazı çalışmalarda ise kitosan ve kitosan gibi doğal katkı maddeleri kullanılarak polimerlerin aşınma özelliklerine etkisi araştırılmış ve benzer sonuçlara varılmıştır. Aigbodion ve arkadaşları [40] tarafından yapılan bir çalışmada, RLDPE polimeri ve RLDPE+Bap kompozitlerine uygulanan aşınma testlerinin sonucunda uygulanan yük miktarı ve kayma hızının aşınma oranı üzerine etkisi yüksek iki parametre olduğu belirtilmiştir. Ünal ve Mimaroglu [30] tarafından yapılan bir çalışmada, PTFE, POM ve PEI polimerlerine uygulanan aşınma testlerinin sonucunda yükün artması ile sürtünme katsayısının arttığı belirtilmiştir. Yallem ve arkadaşları [41] tarafından yapılan bir çalışmada ise PP+jüt kompozit malzemelerine yapılan aşınma testlerinin sonucunda jüt katkısının sürtünme katsayısı değerlerini azalttığı belirtilmiştir. Syed ve Syed [38] tarafından yapılan bir çalışmada, PP+zerdaçal kompozit malzemesi üzerinde yapılan aşınma testlerinin sonucunda sürtünme mesafesi ve uygulanan yük değerlerinin artmasına bağlı olarak aşınma miktarının da arttığı belirtilmiştir. Asuke ve arkadaşları [39] tarafından yapılan bir çalışmada, polipropilen + kömürleşmiş kemik partikülleri (PP+CBp) kompozit malzemelerine uygulanan yükün artmasına bağlı olarak aşınma oranında artma olduğu ve katkı oranının artmasına bağlı olarak ise aşınma oranında azalma olduğu belirtilmiştir. Kasten ve arkadaşları [31] tarafından yapılan bir çalışmada, HDPE polimerine eklenen %1 nanokilin aşınma üzerinde olumlu etkisi olduğu ve katkı oranının artmasına bağlı olarak aşınmanın da arttığı belirtilmiştir. Kumar ve Srinivasan [32] tarafından yapılan bir çalışmada, kullanılmış olan bazalt ve kitosan katkı oranı artışının PLA polimerinin aşınma direncinin artmasında çok etkili bir rol oynadığını belirtilmiştir. Ünal ve Mimaroglu [33]



tarafından yapılan bir çalışmada, polioksümetilen (POM), ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE), poliamid 6 (PA 6) saf polimerleri ile %10 grafit ve %6 wax katkılı PA 6 kompozit malzemelerinin hız ve yük kombine olarak değerlerinin artması ile birlikte polimerlerin tribolojik performansının hafif değiştiği belirtilmiştir. Subli ve arkadaşları [34] tarafından yapılan bir çalışmada, ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE) polimerine ilave edilmiş olan ZnO ve ZnO/kitosan katkılarının, bu polimerin aşınmaya karşı direncini arttırdığı belirtilmiştir. Ünal ve arkadaşları [35] tarafından yapılan bir çalışmada, PTFE+%35CF ve PTFE+%17GF kompozit malzemelerin her birinde, uygulanan yükün artmasına bağlı olarak sürtünme katsayısı değerinin azaldığı belirtilmiştir.

Şeğlak ve arkadaşları [36] tarafından yapılan bir çalışmada, kolza yağı, dişli yağı ve motor yağı emprenye edilmiş PP polimerler üzerinde gerçekleştirilen aşınma testlerine göre PP'nin yağlar ile emprenye edilmesinin aşınma oranı ve sürtünme katsayısını etkilediği ifade edilmiştir. Aurrekoetxea ve arkadaşları [37] tarafından yapılan bir çalışmada, ahşap katkılı PP kompozitin sürtünme katsayısı ve aşınma değerlerinin hem ahşap hem de saf PP polimerine göre çok daha fazla azaldığı belirtilmiştir.

#### **4.4. Deney Malzemelerinin Yanmazlık Özelliklerinin Belirlenmesi**

Kitosanın, PP polimerinin yanmazlık özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla malzemelerin yanmazlık deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler, IEC 60695-2-11'e uygun şekilde kızgın tel test yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

##### **4.4.1. Deney malzemelerinin yanmazlık deneyleri**

Deney numuneleri, elektrik akımı ile gerekli sıcaklığa getirilmiş olan kızgın telin üzerine dikey olarak 30s sürecince ve 1N kuvvet ile temas ettirilmiş ve kızgın telin malzeme içinde hareketi 7mm ile sınırlandırılmıştır. Deneylerde kullanılan numunelerin kalınlığı 4mm ve kızgın tel sıcakları ise 550°C, 650°C, 750°C, 850°C ve 960°C'dir. Kızgın tel bu sıcaklık değerlerindeyken numune temas ettirilip geri çekildikten sonra alev oluşup oluşmaması, oluşursa alevin sönme süresi ve deney

numunesinde damlama olup olmadığı tespit edilmiştir. Deney numunesi kızgın telden sonra alev almaz ve sönerse ya da numunenin tutuşması durumunda tel uzaklaştıktan 30 saniye içinde söner ise malzeme deneyi geçmiş olmaktadır. Aksi durumda da kalmış olmaktadır.

Tablo 4.12.'de, PP ve PP kompozitlerinin IEC 60695-2-11'e uygun olarak gerçekleştirilen kızgın tel deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.12. PP ve kompozitlerinin yanmazlık deney sonuçları

Numune	Kızaran Tel Deneyinde Gözlenenler	550°C, 30s	650°C, 30s	750°C, 30s	850°C, 30s	960°C, 30s
<b>PP</b>	Alev alma süresi (s)	Alev almadı	Alev almadı	7	Hemen alev aldı	Hemen alev aldı
	*Alevin sönme süresi (s)	-	-	Alev sönmedi	Alev sönmedi	Alev sönmedi
	**Damlamanın başladığı süre (s)	20	20	13	9 (numune parçalandı)	10 (numune parçalandı)
	Sonuç	Geçti	Geçti	Kaldı	Kaldı	Kaldı
<b>PP+%10 kitosan kompozit</b>	Alev alma süresi (s)	Alev almadı	Alev almadı	Alev almadı	Hemen alev aldı	Hemen alev aldı
	*Alevin sönme süresi (s)	-	-	-	Alev sönmedi	Alev sönmedi
	**Damlamanın başladığı süre (s)	20	19	14	9 (numune parçalandı)	17 (numune parçalandı)
	Sonuç	Geçti	Geçti	Geçti	Kaldı	Kaldı
<b>PP+%20 kitosan kompozit</b>	Alev alma süresi (s)	Alev almadı	Alev almadı	Alev almadı	Hemen alev aldı	Hemen alev aldı
	*Alevin sönme süresi (s)	-	-	-	Alev sönmedi	Alev sönmedi
	**Damlamanın başladığı süre (s)	26	Damlama olmadı	17	9 (numune parçalandı)	30 (numune parçalandı)
	Sonuç		Geçti	Geçti	Kaldı	Kaldı
<b>PP+%30 kitosan kompozit</b>	Alev alma süresi (s)	Alev almadı	Alev almadı	Alev almadı	Hemen alev aldı	Hemen alev aldı
	*Alevin sönme süresi (s)	-	-	-	Alev sönmedi	Alev sönmedi
	**Damlamanın başladığı süre (s)	24	22	15	7 (numune parçalandı)	15 (numune parçalandı)
	Sonuç	Geçti	Geçti	Geçti	Kaldı	Kaldı

\* 30 s içinde sönmeli \*\* Altındaki ipek kağıt tutuşmamalı

Tablo 4.12. (Devamı)

Numune	Kızaran Tel Deneyinde Gözlenenler	550°C, 30s	650°C, 30s	750°C, 30s	850°C, 30s	960°C, 30s
<b>PP+% 10 AA modifiyeli kitosan kompozit</b>	Alev alma süresi (s)	Alev almadı	Alev almadı	4	Hemen alev aldı	Hemen alev aldı
	*Alevin sönme süresi (s)	-	-	Alev sönmedi	Alev sönmedi	Alev sönmedi
	**Damlamanın başladığı süre (s)	20	15	23	7 (numune parçalandı)	17 (numune parçalandı)
	Sonuç	Geçti	Geçti	Kaldı	Kaldı	Kaldı
<b>PP+% 20 AA modifiyeli kitosan kompozit</b>	Alev alma süresi (s)	Alev almadı	Alev almadı	8	Hemen alev aldı	Hemen alev aldı
	*Alevin sönme süresi (s)	-	-	Alev sönmedi	Alev sönmedi	Alev sönmedi
	**Damlamanın başladığı süre (s)	16	Damlama olmadı	15	9 (numune parçalandı)	25 (numune parçalandı)
	Sonuç	Geçti	Geçti	Kaldı	Kaldı	Kaldı
<b>PP+% 30 AA modifiyeli kitosan kompozit</b>	Alev alma süresi (s)	Alev almadı	Alev almadı	Hemen alev aldı	Hemen alev aldı	Hemen alev aldı
	*Alevin sönme süresi (s)	-	-	Alev sönmedi	Alev sönmedi	Alev sönmedi
	**Damlamanın başladığı süre (s)	17	25	19 (numune parçalandı)	10 (numune parçalandı)	24 (numune parçalandı)
	Sonuç	Geçti	Geçti	Kaldı	Kaldı	Kaldı

\* 30 s içinde sönmeli \*\* Altındaki ipek kağıt tutuşmamalı

PP ve kompozitlerinin 550°C ve 650°C sıcaklıklarda kızgın tel deneyinin sonucunda alev almayarak testi geçtiği tespit edilmiştir. PP polimerinin 750°C sıcaklıktaki test sonucu testten kaldığı fakat %10-20-30 kitosan katkılı kompozitlerin aynı sıcaklıktaki sonuçlarından testi geçtiği tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, 550°C, 650°C ve 750°C sıcaklıklarda yapılan testlerde PP polimerine kıyasla kitosan katkılı PP kompozitlerin damlamaya başladığı süreyi geciktirdiği tespit edilmiştir. %10-20 AA modifiyeli kitosan katkılı kompozitlerin alev alma süresinde gecikme olduğu gözlenirken %30 katkılı olan numunenin hemen alev aldığı ve bu malzemelerin test sonucu kaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, 850°C ve 960°C sıcaklıklardaki yapılan testlerden, PP ve kompozitlerin hemen alev aldığı, 30s içinde sönmediği, damlama sürelerinin değişkenlik gösterdiği, malzemelerin parçalandığı ve test sonuçlarından kaldıkları tespit edilmiştir. Bunların sonucunda, kitosan katkısının PP polimerinin yanmaya karşı olan performansını geliştirdiği sonucuna varılmıştır. Katkı olarak kitosan ya da kitosanlı bileşikler kullanılarak elde edilen polimer esaslı kompozitlerin yanmazlık özelliklerinin araştırıldığı bazı bilimsel çalışmalar, kitosanın, PP ve diğer bazı polimerlerin alev almasını geciktirdiğini ve yanmazlık özelliğini geliştirdiğini desteklemektedir. Costes ve arkadaşları [43] tarafından yapılan bir çalışmada, birçok alev geciktirici maddenin insan sağlığı ve çevre için zararlı olmasından dolayı, bunların yerine doğal ve yenilebilir olan bazı katkı maddeleri ve biyolojik bazlı bileşiklerin üstün kömürleşme özellikleri sayesinde etkili alev geciktirici olarak kullanılabilceği belirtilmiştir. Xiao ve arkadaşları [44] tarafından yapılan bir çalışmada, kitosan bazlı olarak üretilen bir bileşiğin eklenmesi sonucu IFR-PP kompozitinin yanmaya karşı performansı üzerine iyi bir etkisinin olduğu belirtilmiştir. Hirschler [46] tarafından yapılan bir çalışmada, kitosan, montmorillonit kili ve polilaktik asit kullanılarak hazırlanan bir kaplama malzemesinin etkili bir alev geciktirici özelliği gösterdiği ifade edilmiştir. Hassan ve arkadaşları [47] tarafından yapılan bir çalışmada, kitosan içeren bir bileşiğin eklenmesi sonucu LLDPE polimerinin yangın riskini belirgin bir şekilde azalttığı belirtilmiştir. Hu ve arkadaşları [48] tarafından yapılan bir çalışmada, kitosan içeren bir bileşiğin eklenmesi sonucu polivinil alkol (PVA) esaslı bir kompozit malzemenin alev geciktirici özelliğini geliştirdiği belirtilmiştir. Chen ve arkadaşları [45] tarafından yapılan bir çalışmada, kitosan-amonyum polifosfat kombinasyonunun

eklenmesi sonucu polilaktik asitin alev geciktirici özelliğinin gelişmesinde yüksek etki gösterdiği tespit edilmiştir. Buna ilaveten, kitosanın çevre dostu özellikleri nedeniyle diğer polimerler ile alev geciktirici uygulamalarda kullanılabilceği belirtilmiştir. Laufer ve arkadaşları [42] tarafından yapılan bir araştırmada, kitosan ve kilin yanmaya karşı gösterdiği direnç nedeniyle bina izolasyonu ve mobilya dolgu uygulamalarında kullanılabilceği belirtilmiştir. Laoutid ve arkadaşları [50] tarafından yapılan bir çalışmada, plastik malzemelerin çok fazla çeşitlilik göstermesi nedeniyle alev geciktirici sistemlerin de çeşitlilik gösterdiği vurgulanmıştır. Kurt ve arkadaşları [49] tarafından yapılan bir çalışmada, ahşap unu katkı PP kompozitlerine amonyum polifosfat ile birlikte bor bileşiklerinin kullanılmasının ucuz ve halojensiz bir alev geciktirici olarak iyi bir potansiyele sahip olduğu ifade edilmiştir. Hu ve arkadaşları [51] tarafından yapılan bir çalışmada, iki aşamalı olarak modifiye edilen kitosanı, epoksi akrilat reçinesine ekleyerek elde ettikleri kompozitin, katkı oranındaki artışa bağlı olarak yanmaya karşı performansının iyileştiği belirtilmiştir.

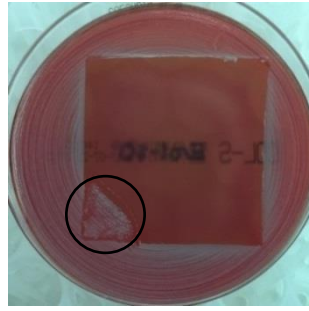
#### **4.5. Deney Malzemelerinin Antibakteriyel Özelliklerinin Belirlenmesi**

Hastalık yapıcı gram-pozitif bir bakteri olan *Staphylococcus aureus* deneylerde yaygın olarak değerlendirilen bakteri örneklerinden biridir. Genellikle cerrahi enfeksiyonlara neden olduklarından antibakteriyel değerlendirmelerde test organizması olarak gram-pozitif *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538) ve gram-negatif *Escherichia coli* (ATCC 35218) bakteri suşları seçilmiştir. Deney numuneleri standart atmosfer şartlarında 24 saat kondisyonlandıktan sonra EN ISO 20645 standardına göre antibakteriyel etkinlikleri incelenmiştir.

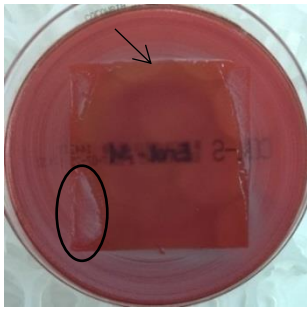
##### **4.5.1. Deney malzemelerinin ATCC 6538 *Staphylococcus Aureus*'a karşı antibakteriyel etkisinin belirlenmesi**

Deney numunelerinin ATCC 6538 *Staphylococcus aureus*'a karşı antibakteriyel etkisi EN ISO 20645 standardı referans alınarak incelenmiştir. Bu yöntemde test edilecek malzemenin numuneleri iki katmanlı agar plakalarına yerleştirilir. Alt

tabaka, bakteri içermeyen bir kültür ortamından oluşur ve üst katman seçilen bakterilerle inoküle edilir. Antibakteriyel etkinlik durumu, agar ile numune arasındaki temas bölgesinde meydana gelecek olan bakteri gelişimi ve eğer mevcutsa numunenin etrafındaki inhibisyon bölgesini inceleyerek değerlendirilmektedir. Şekil 4.43.'de antibakteriyel özelliklerin belirlenmesinde kullanılan numune fotoğrafları yer almaktadır. Kullanılan yöntemle göre kabul edilebilir antibakteriyel etkinlik elde edebilmek için bakteri ile doğrudan temas eden numunenin altında ve çevresinde herhangi bir bakteri üremesi olmamalıdır.



Numune 0



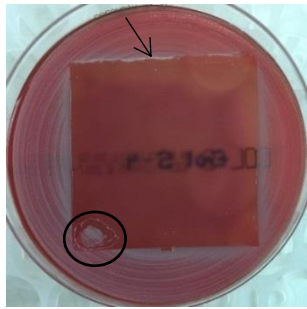
Numune 1



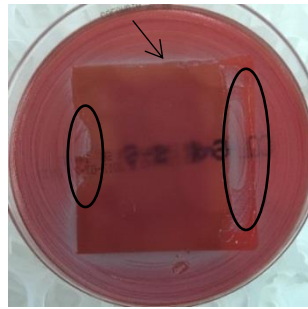
Numune 2



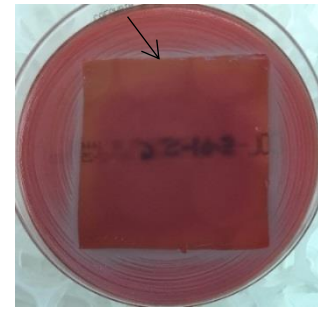
Numune 3



Numune 4



Numune 5



Numune 6

Şekil 4.43. Deney numunelerinin *S. Aureus*'a karşı antibakteriyel etkinliğinin incelenmesi

Şekil 4.43.'de gösterilen numune 1, 2, 3, 4 ve 5'de bakteri gelişimlerinin olduğu gözlenmiştir. Bu kısımlar numune fotoğrafları üzerinde dairesel olarak işaretlenmiştir. Numunelerin etrafında inhibisyon bölgeleri oluşmamış ya da 1mm'nin altında küçük boyutlarda olduğu görülmüştür. Bu kısımlar numune fotoğrafları üzerinde oklarla işaretlenmiştir. Bu nedenlerle bakteri gelişimleri görülen numune 1, 2, 3, 4 ve 5'in ATCC 6538 *S. Aureus*'a karşı yetersiz antibakteriyel etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Numune 6'da ise bakteri gelişimi olmamıştır. Bu



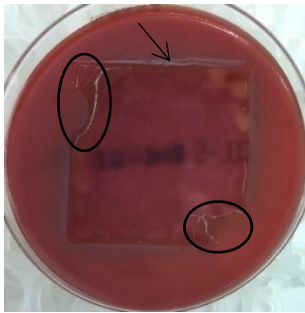
nedenle ATCC 6538 S. aureus'a karşı iyi antibakteriyel etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

#### **4.5.2. Deney malzemelerinin ATCC 35218 Escherichia Coli'ye karşı antibakteriyel etkisinin belirlenmesi**

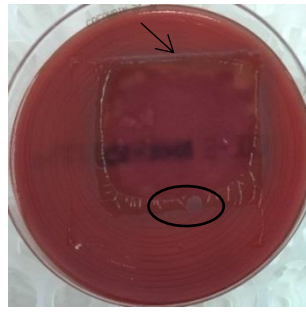
Deney numunelerinin ATCC 35218 Escherichia Coli'ye karşı antibakteriyel etkisi EN ISO 20645 standardı referans alınarak incelenmiştir. Bu yöntemde test edilecek malzemenin numuneleri iki katmanlı agar plakalarına yerleştirilir. Alt tabaka, bakteri içermeyen bir kültür ortamından oluşur ve üst katman seçilen bakterilerle inoküle edilir. Antibakteriyel etkinlik durumu, agar ile numune arasındaki temas bölgesinde meydana gelecek olan bakteri gelişimi ve eğer mevcutsa numunenin etrafındaki inhibisyon bölgesini inceleyerek değerlendirilmektedir. Şekil 4.44.'de antibakteriyel özelliklerin belirlenmesinde kullanılan numune fotoğrafları yer almaktadır. Kullanılan yöntemde göre kabul edilebilir antibakteriyel etkinlik elde edebilmek için bakteri ile doğrudan temas eden numunenin altında ve çevresinde herhangi bir bakteri üremesi olmamalıdır.



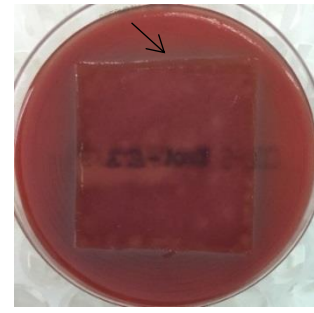
Numune 0



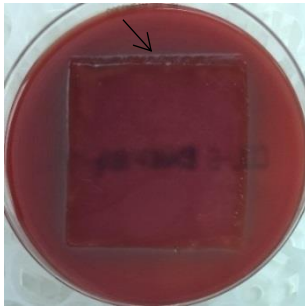
Numune 1



Numune 2



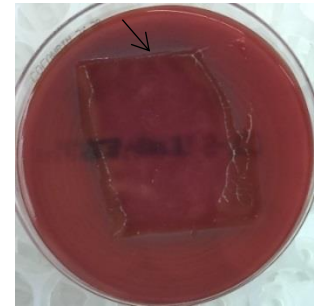
Numune3



Numune 4



Numune 5



Numune 6

Şekil 4.44. Deney numunelerinin E. Coli'ye karşı antibakteriyel etkisinin incelenmesi

Şekil 4.44.'de gösterilen numune 1 ve 2' de bakteri gelişimlerinin olduğu gözlenmiştir. Bu kısımlar numune fotoğrafları üzerinde dairesel olarak işaretlenmiştir. Numunelerin etrafında inhibisyon bölgeleri oluşmamış ya da 1mm'nin altında küçük boyutlarda olduğu görülmüştür. Bu kısımlar numune fotoğrafları üzerinde oklarla işaretlenmiştir. Bu nedenlerle bakteri gelişimleri görülen numune 1 ve 2'nin ATCC 35218 Escherichia Coli'ye karşı yetersiz antibakteriyel etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Numune 3, 4, 5 ve 6'da ise bakteri gelişimi

olmamıştır. Bu nedenle ATCC 35218 Escherichia Coli'ye karşı iyi antibakteriyel etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kitosan ya da kitosanlı bileşikler kullanılarak elde edilen polimer esaslı kompozitlerin araştırıldığı bazı bilimsel çalışmalar kitosanın antibakteriyel özellik gösterdiğini desteklemektedir. Zheng ve Zhu [24] tarafından yapılan bir çalışmada, farklı konsantrasyonlarda bulunan kitosanın, E. coli ve S. aureus bakteri türü için etkilerinin farklı olduğunu belirtilmiştir. Çalışmada, kitosan konsantrasyonu artması ile her iki bakteri türüne karşı antibakteriyel etkisinin güçlendiği belirtilmiştir. Wu [37], akrilik asit ile modifiye edilmiş bir polimere eklenen kitosan katkısının antibakteriyel etkisi, modifiyesiz polimerin kullanılmasından daha etkili olduğu belirtilmiştir. Chung ve arkadaşları [14], Xie ve arkadaşları [18] ve Sanpui ve arkadaşları [25] tarafından yapılan çalışmalarda bazı kitosan türevlerinin kitosandan daha etkili olabildiği belirtilmiştir. Kong ve arkadaşları [29] tarafından yapılan bir çalışmada, kitosanın antibakteriyel etkisinin yapılan bir çok araştırmada doğrulandığı fakat etki mekanizması ve moleküler ayrıntılar üzerine daha fazla araştırma yapılması gerektiği belirtilmiştir. Kitosanın antimikrobiyel aktivitesi ve etki şekli üzerine bulgu ve sonuçları değerlendirmek için kullanılması gereken yöntem ve teknolojilerin, biyolojik anlayışın ötesinde kimya, fizik, bilişim, nanoteknoloji ve genetik mühendisliği gibi disiplinlerin birleşimini içerdiği belirtilmiştir. Sekiguchi ve arkadaşları [19] tarafından yapılan bir çalışmada da benzer şekilde kitosanın molekül ağırlığı ve deasetilasyon derecesinin antimikrobiyel aktivitesini etkilediğini ve genel anlamda kitosanın antibakteriyel aktivite mekanizmasının henüz yeterince netleşmediği belirtilmiştir. Helander ve arkadaşları [23] tarafından yapılan bir çalışmada ise, kitosanın, gram-negatif bakterilerin hücre zarına damar gibi ağlarla bağlanarak zayıflattığı ve hücrenin dış yüzeyine hasar vererek etkilediğini belirtilmiştir. Bostan ve arkadaşları [21] tarafından yapılan bir çalışmada, kitosanın antibakteriyel etkisinin moleküler ağırlığı, asetilasyon derecesi, sıcaklık, pH gibi faktörlerden etkilendiğini gösteren çalışmaların yapıldığı ifade edilmiştir. Takahashi ve arkadaşları [16], kitosanın morfolojisi ve partikül büyüklüğünün antibakteriyel özelliklerinde farklı sonuçlara sebep olduğunu ve S. Aureus'e karşı, E. coli'ye karşı olandan daha fazla antibakteriyel etkisinin olduğu ve kitosanın deasetilasyon

derecesinin yüksek olmasının antibakteriyel etkisini arttırdığı ifade edilmiştir. Kong ve arkadaşları [17] tarafından yapılan bir çalışmada, katı halde iken kitosanın *E. coli*'ye karşı antibakteriyel aktivitesinin düşük pH değeri, morfolojisi ve yüzeyin hidrofobik ya da hidrofilik olma karakteristik özelliklerinden etkilendiği belirtilmiştir. Sadeghi ve arkadaşları [15] tarafından yapılan bir çalışmada, kitosanın zeta potansiyelinin *S. aureus*'e karşı antibakteriyel etkisini arttırdığı belirtilmiştir. Lee ve arkadaşları [20] tarafından yapılan bir çalışmada, kitosan katkılı kompozit malzeme ile kaplanmış karton gıda ambalajının antimikrobiyel etkisinin düşük sıcaklarda daha iyi olduğu belirtilmiştir. Yıldız ve Yangılar [22] tarafından yapılan bir çalışmada, kitosanın antibakteriyel etkisi sayesinde gıda maddelerinin raf ömrünü uzattığı ve insan sağlığına bir yan etkisinin olmadığı ifade edilmiştir. Atay ve Çelik [27], polimer esaslı ve kitosan katkılı bir kompozit ile kaplanmış cam yüzeylerde kitosanın etkili bir antibakteriyel madde olarak kabul edilebileceği sonucuna varıldığı ifade edilmiştir. Prakash ve arkadaşları [28], üçlü bileşen kullanarak elde ettikleri kompozitin üretilmesinde kullanılan kitosan katkısının antimikrobiyel aktivite gösterdiği ve farmasötik bir ajan olarak kullanılabileceği sonucuna varıldığı ifade edilmiştir.

## BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Gerçekleştirilmiş olan deneylerin sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlara varılmıştır.

- Kitosan katkı oranının artmasına bağlı olarak PP kompozitlerinin yoğunluk ve sertlik değerlerinde hafif artma olduğu tespit edilmiştir.
- Deney malzemelerine ait çekme mukavemeti, kopma mukavemeti ve çekmedeki % uzama oranlarının katkı oranının artmasına bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir.
- KatkıSIZ PP polimerine kıyasla kitosan katkılı PP kompozitlerin kopma mukavemeti değerlerinin biraz daha yüksek olduğu ve %10 katkılı olan kompozitlerde en yüksek değerlere ulaştığı tespit edilmiştir.
- Hem modifiyesiz hem de AA ile modifiyeli %30 kitosan ilaveli kompozitlerin çentikli izod darbe mukavemeti değerlerinin saf PP polimerinin değerlerine göre artma olduğu tespit edilmiştir. Diğer kompozitlerde bu değişimin hafif azalma ya da artış şeklinde olabildiği tespit edilmiştir.
- PP polimerine kıyasla %10 katkılı olan PP kompozitlerine ait olan çentiksiz izod darbe mukavemeti değerlerinin daha yüksek olduğu ve bu oranda en yüksek değerlere ulaştığı tespit edilmiştir.
- PP kompozitlerine ait olan çentiksiz izod darbe mukavemeti değerlerinde katkı oranının artmasına bağlı olarak azalma olduğu tespit edilmiştir.
- Kompozit malzemelerin eğilme mukavemeti değerlerinin kullanılan kitosan katkı oranlarından hafif etkilenirken eğmedeki elastiklik modülü değerlerinde kitosan katkı oranının artmasına bağlı olarak artma olduğu tespit edilmiştir.

- PP polimerine ait sürtünme katsayısı değerlerinin hem düşük hem de yüksek hızlar uygulandığında yükün artmasına bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir.
- PP polimerine kitosan katkısı eklenmesinin sürtünme katsayısı değerlerinin azalmasında etkili olduğu tespit edilmiştir.
- Kitosan katkısının, PP polimerinin aşınma performansını arttırmak amacıyla kullanılabileceği tespit edilmiştir.
- Deney malzemelerinin sürtünme yüzeyleri üzerinde yapılan incelemelerin sonucunda abrasiv ve adhesiv aşınma mekanizmalarının olduğu ve yüzeylerin transfer filmi, deformasyon ve yapışma içerdiği tespit edilmiştir.
- PP ve kompozitlerinin 550°C ve 650°C sıcaklıklarda gerçekleştirilen kızgın tel yanmazlık deneyinden testi geçtiği tespit edilmiştir.
- PP polimerinin 750°C sıcaklıkta gerçekleştirilen kızgın tel yanmazlık deneyinin sonucu testten kaldığı fakat %10-20-30 kitosan katkılı kompozitlerin aynı sıcaklıktaki sonuçlarından testi geçtiği tespit edilmiştir.
- PP ve kompozitlerinin 850°C ve 960°C sıcaklıklarda gerçekleştirilen kızgın tel yanmazlık deneyinin sonucundan testten kaldığı tespit edilmiştir.
- Kitosan katkısının PP polimerinin alev alma süresi ve damlamaya başladığı süreyi geciktirebildiği tespit edilmiştir.
- Kitosan katkısının PP polimerinin yanmaya karşı direncinin artmasında etkili olduğu sonucu elde edilmiştir.
- Gerçekleştirilen deneylerin sonucunda, üretilen bazı kitosan katkılı PP kompozit numunelerin *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* bakterilerine karşı etkili olabildiği tespit edilmiştir.

## 5.2. Öneriler

- Kitosanın modifiye edilmesi amacıyla diğer madde ve yöntemler araştırılabilir.
- Kitosan katkısının partikül boyutu değiştirilerek, PP polimer kompozitin veya diğer polimer bazlı kompozitlerin mekanik, fiziksel, aşınma, yanma ve antibakteriyel özelliklerine etkileri araştırılabilir.

- PP/kitosan ikilisine, yeni katkılar (bileşenler) eklenerek malzemenin mekanik, fiziksel, aşınma, yanma ve antibakteriyel davranışlarına etkileri araştırılabilir.
- Kitosanın, yaygın kullanılan diğer polietilen gibi film malzemelerin mekanik, fiziksel, yanma ve antibakteriyel özelliklerine etkileri araştırılabilir.
- Kitosan katkılı PP kompozitlerinin farklı ortam şartları altındaki aşınma performansları araştırılabilir.
- Kitosan katkılı PP kompozit malzemelerin talaşlı üretim yöntemleri ile üretimi konusunda malzemenin göstereceği performanslar araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Salmah, H., Faisal, A., Kamarudin, H., Chemical Modification of Chitosan-Filled Polypropylene (PP) Composites: The Effect of 3-Aminopropyltriethoxysilane on Mechanical and Thermal Properties. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 60,7, 429-440, 2011.
- [2] Salmah, H., Faisal, A., Kamarudin, H., Properties of Chitosan-Filled Polypropylene (PP) Composites: The Effect of Acetic Acid. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 51,1, 86-91, 2012.
- [3] Salmah, H., Faisal, A., Kamarudin, H., Hanafi, I., Mechanical and Thermal Properties of Chitosan-Filled Polypropylene Composites: The Effect of Acrylic Acid. *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 17,2, 125-131, 2011.
- [4] Faisal, A., Salmah, H., Kamarudin, H., Chitosan-filled polypropylene composites: The effect of filler loading and Organosolv lignin on mechanical, morphological and thermal properties. *Fibers and Polymers*, 15, 4, 800–808, 2014.
- [5] Faisal, A., Salmah, H., Kamarudin, H., Effect of Sodium Dodecyl Sulfate on Mechanical and Thermal Properties of Polypropylene/Chitosan Composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 26, 7, 878-892, 2013.
- [6] Faisal, A., Salmah, H., Kamarudin, H., Mechanical, morphological and thermal properties of chitosan filled polypropylene composites: The effect of binary modifying agents. *Composites: Part A* 46, 89–95, 2013.
- [7] Khan, R. A., Sharmin, N., Sarker, B., Khan, M. A., Saha, S., Debnath, K. K., Dey, K., Rahman, M., Das Anjan, K., Kabir, F., Das, A. K., Mechanical, Degradation and Interfacial Properties of Chitosan Fiber-Reinforced Polypropylene Composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 50,2, 141-146, 2011.
- [8] Jian, L., Kao-Walter, S., The friction and wear properties of polypropylene composite filled with carbon fiber and polyamide 6. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27,8,1037-1044, 2014.



- [9] Palabiyık, M., Bahadur, S., Mechanical and Tribological Properties of Polyamide 6 and High Density Polyethylene Polyblends with and without Compatibilizer. *Wear*, 246, 149–158, 2000.
- [10] Unal, H; Mimaroglu, A., Mechanical and Morphological Properties of Mica and Short Glass Fiber Reinforced Polyamide 6 Composites. *International Journal of Polymeric Materials*, 61, 834-846, 2012.
- [11] Faisal, A., Kamarudin, H., Salmah, H., Improved Thermal Properties of Chitosan Filled Polypropylene (PP) Composites by Chemical Modification with Acetic Acid. *Proceedings of the Third International Conference on Mathematics and Natural Sciences-ICMNS*, 794-804, 2010.
- [12] Onnongpong, W., Lertsutthiwong, P., Srikulkit, K., Preparation of Polypropylene / Polypropylene Grafted Chitosan Composite. *18th International Conference on Composite Materials*, 1-5, 2011.
- [13] Huang, H., Yuan, Q., Yang, X., Preparation and Characterization of Metal–Chitosan Nanocomposites. *Colloids and Surfaces B:Biointerfaces* 39, 31–37, 2004.
- [14] Chung, Y. C., Kuo, C. L., Chen, C. C., Preparation and Important Functional Properties of Water-Soluble Chitosan Produced Through Maillard Reaction. *Bioresource Technology*, 96, 1473–1482, 2005.
- [15] Sadeghi, A.M.M., Dorkoosh, F.A., Avadi, M.R., Saadat, P., Rafiee-Tehrani, M., Junginger, H.E., Preparation, characterization and antibacterial activities of chitosan, N-trimethyl chitosan (TMC) and N-diethylmethyl chitosan (DEMC) nanoparticles loaded with insulin using both the ionotropic gelation and polyelectrolyte complexation methods. *International Journal of Pharmaceutics*, 355, 299-306, 2008.
- [16] Takahashia, T., Imaia, M., Suzukia, I., Sawai, J., Growth inhibitory effect on bacteria of chitosan membranes regulated by the deacetylation degree. *Biochemical Engineering Journal*, 40, 485–491, 2008.
- [17] Kong, M., Chen, X.G., Liu, C.S., Liu, C.G., Meng, X.H., Yu, L.J., Antibacterial Mechanism of Chitosan Microspheres in a Solid Dispersing System Against *E. Coli*. *Colloids and Surfaces B:Biointerfaces*, 65, 197–202, 2008.
- [18] Xie, Y.J., Liu, X.F., Chen, Q., Synthesis and Characterization of Water-Soluble Chitosan Derivate and Its Antibacterial Activity. *Carbohydrate Polymers*, 69, 142–147, 2007.
- [19] Sekiguchi, S.; Miura, Y.; Kaneko, H.; Nishimura, S. I.; Nishi, N.; Iwase, M. & Tokura, S., Molecular weight dependency of antimicrobial activity by chitosan oligomers. *Food Hydrocolloids: Structures, Properties and Functions*, 71-76, 1994.

- [20] Lee, C.H., Park, H.J., Kee, D.S., Influence of antimicrobial packaging on kinetics of spoilage microbial growth in milk and orange juice. *J. Food Eng.*, 65, 527-531, 2004.
- [21] Bostan, K., Aldemir, T., Aydın, A., Kitosan ve Antimikrobiyal Aktivitesi. *Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi*, 37,2, 118-127, 2007.
- [22] Yıldız, O. P., Yangılar, F., Gıda Endüstrisinde Kitosanın Kullanımı, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 30,3, 198-206, 2014.
- [23] Helander, I. M., Nurmiäho-Lassila, E. L., Ahvenainen, R., Rhoades J., Roller S., Chitosan disrupts the barrier properties of the outer membrane of Gram-negative bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 71, 235–244, 2001.
- [24] Zheng, LY., Zhu, JF., Study on antimicrobial activity of chitosan with different molecular weights. *Carbonhy Polym.*, 54, 527-530, 2003.
- [25] Sanpui, P., Murugadoss, A., Durga Prasad P.V., Ghosh S.S., Chattopadhyay A., The antibacterial properties of a novel chitosan–Ag-nanoparticle composite. *International Journal of Food Microbiology*, 124, 142-146, 2008.
- [26] Wu, C.S., Characterization and antibacterial activity of chitosan-based composites with polyester. *Polymers for Advanced Technologies*, 23, 463–469, 2012.
- [27] Atay, H. Y., Çelik, E., Investigations of antibacterial activity of chitosan in the polymeric composite coatings. *Progress in Organic Coatings*, 102, Part B, 194-200, 2017.
- [28] Prakash, N., Rajkumar, E., Sudha, P.N., Udaya Prakash, N.K., Antimicrobial Activity of Binary And Ternary Composites of Chitosan Amended with Nylon 6 and Montmorillonite Clay, *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6, 6, 2014.
- [29] Kong, M., Chen, X. G., Xing, K., Park, H. J., Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: A state of the art review. *International Journal of Food Microbiology*, 144, 51–63, 2010.
- [30] Unal, H., Mimaroglu, A., Influence of test conditions on the tribological properties of polymers. *Industrial Lubrication and Tribology*, 55, 178-183, 2003.
- [31] Kastan, A., Yalcin, Y., Unal, H., Wear Behavior of Polyamide 6/ High Density Polyethylene/Nanoclay Composites. *Revista Romana De Materiale - Romanian Journal Of Materials*, 47, 2, 237-243, 2017.
- [32] Kumar, A. A. J., Srinivasan, V., Wear Behavior of Chitosan-Filled Polylactic Acid/Basalt Fiber Hybrid Composites. *Advances in Polymer Technology*, 37, 3, 21735, 1-8, 2018.

- [33] Ünal, H; Mimaroglu, A., Comparison of tribological performance of some neat polymer and polymers composites. *Surface Engineering*, 29,455-461, 2013.
- [34] Subli, M. H., Omar, M. F., Sandu I. .G., Zulkepli, N. R., Abdullah M. M. A. B., Sandu A. V., Effects of Hybrid Fillers on the Wear, Tensile and Morphology Properties of UHMWPE/Chitosan-ZnO Composites. *Materiale Plastice*, 51,4, 391-395, 2014.
- [35] Ünal, H., Yetgin, SH., Mimaroglu, A., Sümer, M., The Effect of Test Parameters on Friction and Wear Performance of PTFE and PTFE Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29, 1978-1986, 2010.
- [36] Sędlak P., Białobrzeska B. Stawicki T., Friction coefficient and wear resistance of a modified polypropylene impregnated with different oils. *Iranian Polymer Journal*, 25, 3, 263–275, 2016.
- [37] Aurrekoetxea, J., Sarrionandia, M., G´omez, X., Effects of microstructure on wear behaviour of wood reinforced polypropylene composite. *Wear*, 265, 5–6, 606-611, 2008.
- [38] Syed, M. A., Syed, A. A., Development of a new inexpensive green thermoplastic composite and evaluation of its physico-mechanical and wear properties. *Materials and Design*, 36, 421-427, 2012.
- [39] Asuke, F., Abdulwahab M., Aigbodion V. S., Fayomi O. S. I., Aponbiede O., Effect of load on the wear behaviour of polypropylene/carbonized bone ash particulate composite. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1, 1, 67-70, 2014.
- [40] Aigbodion, V. S., Hassan, S. B., Agunsoye, J. O., Effect of bagasse ash reinforcement on dry sliding wear behaviour of polymer matrix composites. *Materials and Design*, 33, 322–327, 2012.
- [41] Yallew, T. B., Kumar, P., Singh, I., Sliding Wear Properties of Jute Fabric Reinforced Polypropylene Composites. *Procedia Engineering*, 97, 402-411, 2014.
- [42] Laufer, G., Kirkland, C., Cain, A. A., Grunlan, J.C., Clay-Chitosan Nanobrick Walls: Completely Renewable Gas Barrier and Flame-Retardant Nanocoatings, *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 4, 1643-1649, 2012.
- [43] Costes, L., Laoutid, F., Brohez, S., Dubois, P., Bio-based flame retardants: When nature meets fire protection. *Materials Science and Engineering*, 117, 1-25, 2017.

- [44] Xiao, Y., Zheng, Y., Wang, X., Chen, Z., Xu, Z., Preparation of a chitosan-based flame-retardant synergist and its application in flame-retardant polypropylene. *J. of Applied Polymer Science*, 131, 19, 40845, 1-8, 2014.
- [45] Chen, C., Gu, X., Jin, X., Sun, J., Zhang, S., The effect of chitosan on the flammability and thermal stability of polylactic acid/ammonium polyphosphate biocomposites. *Carbohydrate Poly.*, 157, 1586–1593, 2017.
- [46] Hirschler, M. M., Polyurethane foam and fire safety. *Polymers For Advanced Technologies*, 19, 521-529, 2008.
- [47] Hassan, M., Nour, M., Abdelmonem, Y., Makhlof, G., Abdelkhalik, A., Synergistic effect of chitosan-based flame retardant and modified clay on the flammability properties of LLDPE. *Polymer Degradation and Stability*, 133, 8-15, 2016.
- [48] Hu, S., Song, L., Hu, Y., Preparation and Characterization of Chitosan-Based Flame Retardant and Its Thermal and Combustible Behavior on Polyvinyl Alcohol. *Polymer-Plastics Tech. and Engineering*, 52, 4, 393-399, 2013.
- [49] Kurt R., Mengeloğlu F., Utilization of boron compounds as synergists with ammonium polyphosphate for flame retardant wood-polymer composites. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35, 155-163, 2011.
- [50] Laoutid, F., Bonnaud, L., Alexandre, M., Lopez-Cuesta, J.M., Dubois, P., New prospects in flame retardant polymer materials: From fundamentals to nanocomposites. *Materials Science and Engineering*, 63, 3, 100-125, 2009.
- [51] Hu, S., Song, L., Pan, H., Hu, Y., Gong, X., Thermal properties and combustion behaviors of flame retarded epoxy acrylate with a chitosan based flame retardant containing phosphorus and acrylate structure. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 97, 109-115, 2012.
- [52] Ahmad, B., Ashfaq, M., Joy, A., Carlos, Z. A., Sudheer, M., Fabrication and Characterization of an Eco-friendly Biodegradable Epoxy / Chitosan Composites. *American Journal of Materials Science*, 7, 5, 166-169, 2017.
- [53] Sivarao, M.A., Vijayaram, T.R., Determination of tensile, flexural properties and microstructural characterization of calcium carbonate filler reinforced polypropylene matrix composites. *Transactions of The Indian Institute of Metals*, 62, 3, 245-248, 2009.
- [54] Yao, Z.T., Chen, T., Li, H.Y., Xia, M.S., Ye, Y., Zheng, H., Mechanical and thermal properties of polypropylene (PP) composites filled with modified shell waste. *Journal of Hazardous Materials*, 262, 212– 217, 2013.
- [55] Alsan, M., Isıl İşlem Görmüş Odunun Polipropilen Kompozitlerin Özellikleri Üzerine Etkileri. *Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2016.

- [56] Deniz, S., Polimer Malzemelerin Enjeksiyonda Birleşme İzlerinin Mekanik Davranışlara Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [57] Şeker, C., Termoplastiklerin Şekillendirilmesinde Kullanılan Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1999.
- [58] Yelkenci Ş., Plastik Enjeksiyon Kalıplama Teknikleri ve Özel Uygulamalar. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [59] Yiğit, F. C., Plastik Enjeksiyon Makinelerinde ve Ürünlerde Arıza Tespiti ve Giderilmesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [60] Uzun, İ., Erişkin, Y., Hacim Kalıpcılığı. MEB Yayınları, 1984.
- [61] Can C., Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Termoplastik Malzemelerin Modelleme ve Analizleri. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [62] www.bilgiustam.com, Erişim Tarihi: 17 Ocak 2018.
- [63] Ataşımşek, S., Plastik ve Metal Kalıpcılık Teknikleri. Birsen Yayınevi, 2006.
- [64] Demir, A., Seventekin N., Kitin, Kitosan ve Genel Kullanım Alanları. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3, 2, 92-103, 2009.
- [65] Guang, W.Y., The Effect of Chitosan and Its Derivatives on the Dyeability of Silk. Ph.D. Thesis, Hong Kong Polytechnic University, 2002
- [66] Karaton Kuzgun N., Gürel İnanlı A., Kitosan Üretimi ve Özellikleri ile Kitosanın Kullanım Alanları. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 6, 2, 16-21, 2013.
- [67] Varlık, C., Erkan, N., Özden, Ö., Mol, S., Baygar, T., Su Ürünleri İşleme Teknolojisi. İstanbul Üniversitesi Yayınları, 473-474, 2004.
- [68] <http://www.vanderbilt.edu>, Erişim Tarihi: 13.03.2017.
- [69] El-tahlawy, K. F., El-bendary, M. A., Elhendawy, A. G., Hudson, S.M., The Antimicrobial Activity of Cotton Fabrics Treated with Different Crosslinking Agents and Chitosan. Carbohydrate Polymers, 60, 421-430, 2005.
- [70] Çaklı, S., Kılınç, B., Kabuklu Su Ürünleri İşleme Artıklarının Endüstriyel Alanda Değerlendirilmesi. Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Dergisi, 21,1-2, 145-152, 2004.
- [71] Honarkar, H., Barikani, M., Applications of Biopolymers I: Chitosan. Monatshefte für Chemie, 140, 1403-1420, 2009.

- [72] Prashanth, K. V. H., Tharanathan, R. N., Chitin / chitosan: modifications and their unlimited application potential - an overview. *Trends in Food Science & Technology*, 18, 117 - 131, 2007.
- [73] Koç, B., E., Özkan, M., Gıda Endüstrisinde Kitosanın Kullanımı. Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Gıda, 36, 3, 161-168, 2011.
- [74] Ersus Bilek, S., Yılmaz F. M., Arslan E., Cesur S., Meyve ve Sebzelerin Ambalajlanmasında Antibakteriyel ve Biyobozunur Plastiklerin Kullanımı. *Plastik & Ambalaj Teknolojisi*, 19, 196, 54-60, 2014.
- [75] Shahidi, F., Arachchi, J. K. V., Jeon, Y., Food Applications of Chitin and Chitosans. *Trends in Food Science & Technology*, 10, 37-51, 1999.
- [76] Altan, M., Yıldırım, H., Nano ZnO Takviyeli Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Antibakteriyel ve Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesinde Nano Partikül Modifikasyonun Etkisi. *Mühendis ve Makina*, 55, 649, 2014.
- [77] Hashimoto, M., Takadama, H., Mizuno, M., Kokuba, T., Mechanical Properties and Apatite Forming Ability of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles/High Density Polyethylene Composite: Effect of Filler Content. *Journal of Materials Science, Materials in Medicine*, 18, 661-668, 2007.
- [78] Huang, C.K., Chen, S.W., Wei, W.C.J., Processing and Property Improvement of Polymeric Composites with Added ZnO Nanoparticles Through Microinjection Molding. *Journal of Applied Polymer Science*, 102, 6009-6016, 2006.
- [79] Garcia, M., Vliet, G.V., Jain, S., Schrauwen, B.A.G., Sarkissov, A., Boukamp, B. 2000. Polypropylene / SiO<sub>2</sub> Nano Composites with Improved Mechanical Properties. *Reviews on Advanced Materials Science*, 6, 169-175, 2000.
- [80] Sauvet, G., Dupond, S., Kazmierski, K., Biocidal Polymers Active by Contact Synthesis of Polysiloxanes with Biocidal Activity. *Journal of Applied Polymer Science*, 75, 1005-1012, 2000.
- [81] Zhang, L., Ding, Y., Povey, M., York, D., ZnO Nanofluids-A Potential Antibacterial Agent. *Progress in Natural Science*, 18, 939-944, 2008.
- [82] Doğan, A., Pekşen, C., Metal İyon Katkılı Antimikrobiyal Malzemelerin Hastane İnfeksiyonlarını Önlemede Katkıları ve Uygulamaları. *Anadolu Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü*, 4. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi, 59-68, 2005.
- [83] Akdur, R., Çöl, M., Işık, A., İdil, A., Durmuşoğlu, M. Tunçbilek, A., Halk Sağlığı kitabı, Antıp AŞ Tıp Kitapları ve Bilimsel Yayınlar, 26, 1998.

- [84] Phaechamud, T., Hydrophobically modified chitosans and their pharmaceutical applications. *Journal of Pharmaceutical Science and Technology* 1, 2–9, 2008.
- [85] Kurita, K., Kamiya, M., Nishimura, S.I., Solubilization of a rigid polysaccharide: controlled partial n-acetylation of chitosan to develop solubility. *Carbohydrate Polymers*, 16, 83-92, 1991.
- [86] Qi, L.F., Xu, Z.R., Jiang, X., Hu, C.H., Zou, X.F., Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles. *Carbohydrate Research*, 339, 2693–2700, 2004.
- [87] Kurtuluş E., Bazı Termoplastik Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [88] <http://www.eurotec-ep.com>, Erişim Tarihi: 15 Kasım 2018.
- [89] Hatipoğlu, G., Polifitalamid Kompozitlerin Mekanik, Termal ve Tribolojik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [90] Kurt, M., Yüksek Performanslı Endüstriyel Termoplastiklerin Yüksek Sıcaklardaki Tribolojik Davranışları, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2014.

## ÖZGEÇMİŞ

Erol Kılık, 01.06.1980 de Bursa'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kütahya'da tamamladı. 1998 yılında Tavşanlı Teknik Lisesi, Makine Bölümünden mezun oldu. 1998 yılında başladığı Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi bölümünü 2002 yılında bitirdi. 2002-2008 yılları arasında Uludağ Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Endüstriyel Kalıpcılık Programında Uzman olarak görev yaptı. 2008 yılından sonra Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler MYO'da Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.