



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



DOKTORA TEZİ

**ÇEŞİTLİ GÜÇLENDİRİCİ DOLGULARLA ÜRETİLEN
AHŞAP PLASTİK NANOKOMPOZİTLERİN
KARAKTERİZASYONU**

Alperen KAYMAKCI

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programı

Danışman

Prof. Dr. Nadir AYRILMIŞ

Haziran, 2015

İSTANBUL

ÖNSÖZ

“Çeşitli Güçlendirici Dolgularla Üretilen Ahşap Plastik Nanokompozitlerin Karakterizasyonu” isimli bu çalışma, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programında Doktora tezi olarak hazırlanmıştır. Doktora tezimin çalışmalarında;

İlgi ve desteğini esirgemeyen, tez çalışmamın hazırlanmasında büyük emekler sarf eden ve tezimin yönlendirilmesinde bilgi ve tecrübeleri ile her zaman yanımda olan Danışman Hocam Prof. Dr. Nadir AYRILMIŞ’ a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez jürimde bulunan ve hiçbir konuda yardımlarını benden esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Nusret AS, Prof. Dr. Turgay AKBULUT, Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU ve Doç. Dr. Mehmet Hakan AKYILDIZ’ a tüm ilgi ve alakalarından dolayı teşekkür eder, meslek hayatları boyunca başarılarının devamını temenni ederim.

Doktora çalışmam boyunca her konuda bana destek olan Sayın Prof. Dr. Öner ÜNSAL, Prof. Dr. Türker DÜNDAR, Doç. Dr. Saim ATEŞ, Doç. Dr. Zeki CANDAN ve Yard. Doç. Dr. Erkan AVCI hocalarıma ve mesai arkadaşlarım Araş. Gör. Memiş AKKUŞ, Araş. Gör. Hızır Volkan GÖRGÜN, Araş. Gör. Aslı ALP, Araş. Gör. Davut BAKIR, Araş. Gör. Dr. Emel ÖZTÜRK, Araş. Gör. Dr. Evren TERZİ, Araş. Gör. F. Diğdem TUNCER ve Araş. Gör. Yeliz EMECEN’e teşekkür ederim. Ayrıca bulguların istatistiksel analizinde yardımını esirgemeyen Araş. Gör. Servet PEHLİVAN’a teşekkür ederim.

Lisans, yüksek lisans ve doktora öğrenim süresince her zaman yanımda olan sevgili kader arkadaşım Orman Endüstri Yüksek Mühendisi doktora öğrencisi Araş. Gör. Türker GÜLEÇ’ e çok teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmam boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Yard. Doç. Dr. Kadir KARAKUŞ ve Orman Endüstri Yüksek Mühendisi Uzman Hüseyin AKKILIÇ’a teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmam süresince her türlü maddi ve manevi yardımlarını benden esirgemeyen ve her zaman yanımda olan anneme, babama ve kardeşim Emre’ye sonsuz teşekkürlerimi sunar, bu çalışmanın bilim dünyasına faydalı olmasını temenni ederim.

Haziran, 2015

Alperen KAYMAKCI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ	xii
KISALTMA LİSTESİ	xvi
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	4
2.1. KOMPOZİTLER	4
2.1.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	5
2.1.1.1. Ahşap Plastik Kompozitler	5
2.2. NANOTEKNOLOJİ.....	6
2.2.1. Nanoteknolojinin Ortaya Çıkışı.....	6
2.2.2. Nanoteknolojinin Gelişimi	7
2.3. PARÇACIK BOYUTUNUN ÖNEMİ.....	8
2.3.1. Nano Terimi.....	8
2.3.2. Nanoyapılı Materyallerin Özellikleri	9
2.4. NANOKOMPOZİTLER.....	10
2.4.1. Nanokompozitlerin Tarihsel Gelişimi	11
2.4.2. Nanokompozitlerin Sınıflandırılması	12
2.4.2.1. Ahşap Plastik Nanokompozitler	13
2.4.3. Nanokompozit sentezinde polimer kullanılmasının avantaj ve dezavantajları	14
2.4.4. Polimer Nanokompozit Üretim Metotları.....	15
2.4.4.1. Çözeltide Harmanlama.....	15
2.4.4.2. Yerinde Polimerizasyon.....	17
2.4.4.3. Eriyikte harmanlama	18
2.5. KULLANILAN BAZI HAMMADDELER İLE İLGİLİ BİLGİLER	18

2.5.1. Karbon Nanotüpler	18
2.5.1.1. Karbon Nanotüplerin Yapısı.....	18
2.5.1.2. Karbon Nanotüp Sentez Metotları.....	19
2.5.1.3. Karbon Nanotüplerin Özellikleri.....	21
2.5.1.4. Karbon Nanotüp Uygulama Alanları	23
2.5.2. Montmorillonit (MMT) Nanokil	24
2.5.2.1. Yapısı ve özellikleri.....	24
2.5.2.2. MMT Kil/Polimer Nanokompozit Morfolojisi	25
2.5.3. Hegzagonal Bor Nitrür	28
2.5.3.1. HBN'nin genel özellikleri	29
2.5.3.2. Hegzagonal Bor Nitrür Üretim Metotları	29
2.5.3.3. Hegzagonal Bor Nitrür Kullanım Alanları.....	30
2.5.4. Ahşap	31
2.5.4.1. Sarıçamın (<i>Pinus sylvestris</i>) Özellikleri	33
2.5.5. Plastik	35
2.5.5.1. Bazı Plastik Tipleri ve Özellikleri.....	35
3. MALZEME VE YÖNTEM	37
3.1. MALZEME.....	37
3.1.1. Ahşap Unu	37
3.1.2. Plastik	37
3.1.3. Yağlayıcılar	38
3.1.4. Uyum Sağlayıcı Ajan	38
3.1.5. Güçlendirici Dolgu Materyalleri	38
3.2. YÖNTEM	39
3.2.1. Ahşap Dolgu Maddesinin Hazırlanması.....	39
3.2.2. Ahşap Plastik Nanokompozitlerinin Üretilmesi	40
3.2.3. Ahşap-Plastik Nanokompozitlerin Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Testler	45
3.2.4. Yoğunluk	45
3.2.5. Su alma ve Kalınlığına Şişme Testleri	46
3.2.6. Mekanik Özellikleri Belirleme Testleri	47
3.2.7. Ahşap-Plastik Nanokompozitlerin Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Analizler	51
3.2.7.1. Termogravimetrik Analiz.....	51
3.2.7.2. Dinamik Mekanik Analiz (DMA).....	52

3.2.8. Veri Analizi	53
4. BULGULAR	54
4.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER	54
4.1.1. Yoğunluk	54
4.1.2. Kalınlığına Şişme	61
4.1.3. Su Alma	85
4.2. MEKANİK ÖZELLİKLER	110
4.2.1. Çekme Özellikleri.....	110
4.2.1.1. Çekme direnci	110
4.2.1.2. Çekmede elastikiyet modülü	117
4.2.2. Eğilme Özellikleri.....	124
4.2.2.1. Eğilme direnci	125
4.2.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	132
4.2.3. Şok Direnci	139
4.3. TERMAL ÖZELLİKLER	146
4.3.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)	146
4.3.2. Dinamik Mekanik Analiz (DMA)	156
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	166
5.1. AHŞAP PLASTİK NANOKOMPOZİTLERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ.....	166
5.1.1. Yoğunluk	166
5.1.2. Kalınlığına Şişme	168
5.1.3. Su Alma	172
5.2. AHŞAP PLASTİK NANOKOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ...	175
5.2.1. Çekme Özellikleri.....	175
5.2.1.1. Çekme Direnci	175
5.2.1.2. Çekmede Elastikiyet Modülü	179
5.2.2. Eğilme Özellikleri.....	181
5.2.2.1. Eğilme Direnci.....	181
5.2.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	184
5.2.3. Şok Direnci	187
5.3. AHŞAP PLASTİK NANOKOMPOZİTLERİN TERMAL ÖZELLİKLERİ.....	190
5.3.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)	190
5.3.2. Dinamik Mekanik Analiz (DMA)	193

KAYNAKLAR	198
ÖZGEÇMİŞ.....	213

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Nanometre boyutunun karşılaştırılması.....	9
Şekil 2.2: Nano yapılı materyallerin özellikleri.....	9
Şekil 2.3: Tek duvarlı nanotüpteki kiralitler.....	19
Şekil 2.4: Montmorillonit nanokilin basit yapısı	25
Şekil 2.5: Intercalared silikat morfolojisine ait SEM görüntüsü	26
Şekil 2.6: Exfoliated silikat morfolojisine ait SEM görüntüsü.....	27
Şekil 2.7: Floküle silikat morfolojisine ait SEM görüntüsü	28
Şekil 2.8: Selülozun kimyasal formülü (Sjostrom, 1993).....	32
Şekil 2.9: Propilen polimerizasyonu (Mead ve Baker, 2006).....	36
Şekil 3.1: Ahşap plastik nanokompozit üretim iş akış şeması.....	40
Şekil 3.2: Çift vidalı ekstruder.....	41
Şekil 3.3: Plastik kırma makinesi	41
Şekil 3.4: Enjeksiyon kalıplama makinesi.....	42
Şekil 3.5: Universal test makinesi	49
Şekil 3.6: Zwick/Roell HIT5.5P	50
Şekil 3.7: Polytest RayRan çentik açma aleti	50
Şekil 4.1: Ahşap plastik kompozitlerin yoğunluk gruplarına ait örnek	55
Şekil 4.2: Uyum sağlayıcı ajan(MAPP) kullanımının ahşap plastik kompozitlerin yoğunluğuna etkisi.....	56
Şekil 4.3: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının yoğunluk değişimi	57
Şekil 4.4: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının yoğunluk değişimi.....	57
Şekil 4.5: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının yoğunluk değişimi	58

Şekil 4.6: Ahşap plastik nanokompozitlerin 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine ahşap unu oranının etkisi	62
Şekil 4.7: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik nanokompozitlerin 1 günlük kalınlığına şişme oranı üzerine etkisi	63
Şekil 4.8: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 1 günlük kalınlığına şişme oranlarının değişimi	63
Şekil 4.9: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi	64
Şekil 4.10: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi	64
Şekil 4.11: Ahşap plastik kompozitlerin 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine ahşap unu oranının etkisi	68
Şekil 4.12: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik nanokompozitlerin 7 günlük kalınlığına şişme oranı üzerine etkisi	68
Şekil 4.13: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi	69
Şekil 4.14: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi	70
Şekil 4.15: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi	70
Şekil 4.16: Ahşap plastik kompozitlerin 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine ahşap unu oranının etkisi	74
Şekil 4.17: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin 14 günlük kalınlığına şişme oranı üzerine etkisi	74
Şekil 4.18: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi	75
Şekil 4.19: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi	76
Şekil 4.20: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi	76
Şekil 4.21: Ahşap plastik kompozitlerin 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine ahşap unu oranının etkisi	80
Şekil 4.22: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesi etkisi	80
Şekil 4.23: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi	81

Şekil 4.24: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi	82
Şekil 4.25: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi	82
Şekil 4.26: Ahşap plastik kompozitlerin 1 günlük su alma yüzdesi üzerine ahşap unu oranının etkisi	86
Şekil 4.27: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin 1 günlük su alma yüzdesi üzerine etkisi	87
Şekil 4.28: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 1 günlük su alma yüzdesinin değişimi	88
Şekil 4.29: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 1 günlük su alma yüzdesinin değişimi	88
Şekil 4.30: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 1 günlük su alma yüzdesinin değişimi	89
Şekil 4.31: Ahşap plastik kompozitlerin 7 günlük su alma yüzdesi üzerine ahşap unu oranının etkisi	93
Şekil 4.32: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin 7 günlük su alma yüzdesi üzerine etkisi	93
Şekil 4.33: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 7 günlük su alma değerlerinin değişimi	94
Şekil 4.34: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 7 günlük su alma yüzdesinin değişimi	95
Şekil 4.35: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 7 günlük su alma yüzdesinin değişimi	95
Şekil 4.36: Ahşap plastik kompozitlerin 14 günlük su alma yüzdesinin üzerine ahşap unu oranının etkisi	99
Şekil 4.37: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin 14 günlük su alma yüzdesi üzerine etkisi	99
Şekil 4.38: Karbon nanotüp (KNT) ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 14 günlük su alma yüzdesinin değişim	100
Şekil 4.39: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 14 günlük su alma yüzdesinin değişimi	101
Şekil 4.40: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 14 günlük su alma yüzdesinin değişimi	101
Şekil 4.41: Ahşap plastik kompozitlerin 28 günlük su alma yüzdesinin üzerine ahşap unu oranının etkisi	105

Şekil 4.42: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin 28 günlük su alma yüzdesi üzerine etkisi	105
Şekil 4.43: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 28 günlük su alma yüzdesinin değişimi	106
Şekil 4.44: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 28 günlük su alma yüzdesinin değişimi	107
Şekil 4.45: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 28 günlük su alma yüzdesinin değişimi	107
Şekil 4.46: Ahşap plastik kompozitlerin çekme direnci üzerine ahşap unu oranının etkisi	111
Şekil 4.47: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin çekme direnci üzerine etkisi	112
Şekil 4.48: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının çekme direncinin değişimi	112
Şekil 4.49: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının çekme direncinin değişimi	113
Şekil 4.50: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının çekme direncinin değişimi	113
Şekil 4.51: Ahşap plastik kompozitlerin çekmede elastikiyet modülü üzerine ahşap unu oranının etkisi	119
Şekil 4.52: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin çekmede elastikiyet modülü üzerine etkisi	119
Şekil 4.53: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının çekmede elastikiyet modülünün değişimi	120
Şekil 4.54: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının çekmede elastikiyet modülünün değişimi	121
Şekil 4.55: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının çekmede elastikiyet modülünün değişimi	121
Şekil 4.56: Ahşap plastik kompozitlerin eğilme direnci üzerine ahşap unu oranının etkisi	126
Şekil 4.57: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin eğilme direnci üzerine etkisi	127
Şekil 4.58: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının eğilme direncinde meydana gelen değişim	127
Şekil 4.59: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının eğilme direncinde meydana gelen değişim	128

Şekil 4.60: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının eğilme direncinde meydana gelen değişim	128
Şekil 4.61: Ahşap plastik nanokompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü üzerine ahşap unu oranının etkisi	134
Şekil 4.62: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisi.....	134
Şekil 4.63: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin değişimi	135
Şekil 4.64: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin değişimi.....	136
Şekil 4.65: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının eğilmede elastikiyet modülü direnci değerlerinin değişimi	136
Şekil 4.66: Ahşap plastik kompozitlerin şok direnci değerleri üzerine ahşap unu oranının etkisi	140
Şekil 4.67: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin şok direnci üzerine etkisi	141
Şekil 4.68: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının şok direncinde meydana gelen değişim	141
Şekil 4.69: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının şok direncinde meydana gelen değişim.....	142
Şekil 4.70: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının şok direncinde meydana gelen değişim	142
Şekil 4.71: Polipropilene ait TGA-DTG grafiği	146
Şekil 4.72: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin termogravimetrik analiz sonuçları	147
Şekil 4.73: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin DTG analiz sonuçları.....	147
Şekil 4.74: Karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerde TGA testi sonrası kalan madde miktarının karşılaştırılması	149
Şekil 4.75: Nano kil ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin DTG analiz sonuçları.....	150
Şekil 4.76: Nano kil ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin DTG analiz sonuçları.....	150
Şekil 4.77: Nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerde TGA testi sonrası kalan madde miktarının karşılaştırılması.....	152
Şekil 4.78: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin DTG analiz sonuçları	153

Şekil 4.79: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin DTG analiz sonuçları	153
Şekil 4.80: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerde TGA testi sonrası kalan madde miktarının karşılaştırılması	155
Şekil 4.81: Güçlendirici dolgu maddesi çeşidinin ahşap plastik nanokompozitlerin TGA testi sonrası kalan madde miktarına etkisi	155
Şekil 4.82: Polipropilene ait DMA sonucu.....	156
Şekil 4.83: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin depolama modülü	157
Şekil 4.84: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin kayıp modülü	158
Şekil 4.85: Nano kil ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin depolama modülü ...	160
Şekil 4.86: Nano kil ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin kayıp modülü	161
Şekil 4.87: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin depolama modülü.....	163
Şekil 4.88: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin kayıp modülü	164

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Karbon nanotüplerin bazı deneysel ve teorik özellikleri.	23
Tablo 2.2: Sarıçam Odunun Bazı Özellikleri.	35
Tablo 3.1: Kullanılan polimerin bazı fiziksel ve proses özellikleri	37
Tablo 3.2: Kalsiyum stearat ve çinko stearat kimyasallarının özellikleri	38
Tablo 3.3: Maleik anhidrit polipropilen özellikleri.....	38
Tablo 3.4: Endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp bazı fiziksel ve teknik özellikleri.....	39
Tablo 3.5: Endüstriyel Nano Kil bazı fiziksel ve teknik özellikleri.....	39
Tablo 3.6: Hegzagonal Bor Nitrür bazı fiziksel ve teknik özellikleri	39
Tablo 3.7: Endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit üretim dizayn	43
Tablo 3.8: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit üretim dizaynı	44
Tablo 3.9: Nano kil ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit üretim dizaynı.....	45
Tablo 4.1: Ahşap plastik nanokompozit numune gruplarına ait yoğunluk değerleri	54
Tablo 4.2: Yoğunluk değerlerine ilişkin Levene testi istatistikleri	58
Tablo 4.3: Yoğunluk değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	59
Tablo 4.4: Tamhane's T2 testine göre nanokompozit grupların yoğunluk değerlerinin gruplandırılması	60
Tablo 4.5: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait 1 günlük kalınlığına şişme oranları.....	61
Tablo 4.6: 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesine ilişkin Levene testi istatistikleri	65
Tablo 4.7: 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesine ilişkin Varyans analizi sonuçları.....	65
Tablo 4.8: Duncan testine göre 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin gruplandırılması	66
Tablo 4.9: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait 7 günlük kalınlığına şişme oranları.....	67

Tablo 4.10: 7 günlük kalınlığına şişme oranına ilişkin Levene testi istatistikleri	71
Tablo 4.11: 7 günlük kalınlığına şişme oranına ilişkin Varyans analizi sonuçları.....	71
Tablo 4.12: Duncan testine göre nanokompozit grupların 7 günlük kalınlığına şişme yüzdelерinin gruplandırılması.....	72
Tablo 4.13: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesi	73
Tablo 4.14: 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesine ilişkin Levene testi istatistikleri.....	77
Tablo 4.15: 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesine ilişkin Varyans analizi sonuçları.....	77
Tablo 4.16: Duncan testine göre nanokompozit grupların 14 günlük kalınlığına şişme yüzdelерinin gruplandırılması.....	78
Tablo 4.17: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait 28 günlük kalınlığına şişme yüzdeleri	79
Tablo 4.18: 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesine ilişkin Levene testi istatistikleri.....	83
Tablo 4.19: 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesine ilişkin Varyans analizi sonuçları.....	83
Tablo 4.20: Duncan testine göre nanokompozit grupların 28 günlük kalınlığına şişme yüzdelерinin gruplandırılması.....	84
Tablo 4.21: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait 1 günlük su alma değerleri...	85
Tablo 4.22: 1 günlük su alma yüzdesine ilişkin Levene testi istatistikleri.....	89
Tablo 4.23: 1 günlük su alma yüzdesine ilişkin Varyans analizi sonuçları	90
Tablo 4.24: Duncan testine göre nanokompozit grupların 1 günlük su alma yüzdesinin gruplandırılması.....	91
Tablo 4.25: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait 7 günlük su alma yüzdeleri ..	92
Tablo 4.26: 7 günlük su alma yüzdesine ilişkin Levene testi istatistikleri.....	96
Tablo 4.27: 7 günlük su alma yüzdesine ilişkin Varyans analizi sonuçları	96
Tablo 4.28: Duncan testine göre nanokompozit grupların 7 günlük su alma yüzdelерinin gruplandırılması.....	97
Tablo 4.29: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait 14 günlük su alma yüzdeleri	98
Tablo 4.30: 14 günlük su alma yüzdesine ilişkin Levene testi istatistikleri.....	102
Tablo 4.31: 14 günlük su alma yüzdesine ilişkin Varyans analizi sonuçları	102
Tablo 4.32: Duncan testine göre nanokompozit grupların 14 günlük su alma yüzdesinin gruplandırılması.....	103

Tablo 4.33: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait 28 günlük su alma yüzdesi.	104
Tablo 4.34: 28 günlük su alma yüzdesine ilişkin Levene testi istatistikleri.....	108
Tablo 4.35: 28 günlük su alma yüzdesine ilişkin Varyans analizi sonuçları	108
Tablo 4.36: Duncan testine göre nanokompozit grupların 28 günlük su alma değerlerinin gruplandırılması	109
Tablo 4.37: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait çekme direnci değerleri.....	110
Tablo 4.38: Ahşap Plastik Nanokompozit çekme direncine ilişkin Levene testi istatistikleri ..	114
Tablo 4.39: Ahşap Plastik Nanokompozit çekme direncine ilişkin Varyans analizi sonuçları.	114
Tablo 4.40: Ahşap Plastik Nanokompozit çekme direnci değerlerine ilişkin Tamhane T2 testi sonuçları	116
Tablo 4.41: Ahşap plastik nanokompozitlerin çekmede elastikiyet modülü değerleri	118
Tablo 4.42: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ilişkin çekmede elastikiyet modülüne ilişkin Levene testi istatistikleri	122
Tablo 4.43: Ahşap Plastik Nanokompozit çekmede elastikiyet modülüne ilişkin Varyans analizi sonuçları.....	122
Tablo 4.44: Ahşap Plastik Nanokompozit çekmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin Tamhane T2 testi sonuçları.....	123
Tablo 4.45: Ahşap Plastik Nanokompozit çekme direnci değerlerine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	124
Tablo 4.46: Ahşap Plastik Nanokompozit gruplarına ait eğilme direnci değerleri	125
Tablo 4.47: Ahşap Plastik Nanokompozitlerin eğilme direncine ilişkin Levene testi istatistikleri	129
Tablo 4.48: Ahşap Plastik Nanokompozitlerin eğilme direncine ilişkin Varyans analizi sonuçları.....	129
Tablo 4.49: Ahşap Plastik Nanokompozit eğilme direnci değerlerine ilişkin Tamhane T2 testi sonuçları	131
Tablo 4.50: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait eğilmede elastikiyet modülü değerleri.....	133
Tablo 4.51: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin Levene testi istatistikleri	137
Tablo 4.52: Ahşap Plastik Nanokompozit eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin Varyans analizi sonuçları.....	137
Tablo 4.53: Duncan testine göre nanokompozit grupların eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin gruplandırılması.....	138

Tablo 4.54: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait şok direnci değerleri.....	139
Tablo 4.55: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait şok direnci değerlerine ilişkin Levene testi istatistikleri	143
Tablo 4.56: Ahşap Plastik Nanokompozit şok direnci değerlerine ilişkin Varyans analizi sonuçları.....	143
Tablo 4.57: Ahşap Plastik Nanokompozit şok direnci değerlerine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	144
Tablo 4.58: Ahşap Plastik Nanokompozit şok direnci değerlerine ilişkin Tamhane T2 testi sonuçları.....	145
Tablo 4.59: Karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlere ait bazı TGA sonuçları.....	148
Tablo 4.60: Nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin bazı TGA sonuçları .	151
Tablo 4.61: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin bazı TGA sonuçları	154
Tablo 4.62: Karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak depolama modülünde meydana gelen değişim	157
Tablo 4.63: Karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak kayıp modülünde meydana gelen değişim.....	159
Tablo 4.64: Nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak depolama modülünde meydana gelen değişim	160
Tablo 4.65: Nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak kayıp modülünde meydana gelen değişim.....	162
Tablo 4.66: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak depolama modülünde meydana gelen değişim	163
Tablo 4.67: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak kayıp modülünde meydana gelen değişim.....	165

KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
----------	----------

m	: Metre
mm	: Milimetre
nm	: Nanometre
cm	: Santimetre
g	: Gram
N	: Newton
KN	: Kilonewton
TPa	: Terapascal
He	: Helyum
Ar	: Argon
Ne	: Neon
Kr	: Kripton
Xe	: Ksenon

Kısaltmalar	Açıklama
-------------	----------

PP	: Polipropilen
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
AYPE	: Alçak Yoğunluklu Polietilen
NK	: Nano Kil
HBN	: Hegzagonal Bor Nitrür
KNT	: Karbon Nonotüp
DMA	: Dinamik Mekanik Analiz
TGA	: Termogravimetrik Analiz
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
DTG	: Derivative Thermogravimetric
OPK	: Odun Plastik Kompozit
XRD	: X-ray diffraction
PMMA	: Poly(methyl methacrylate)
PS	: Polistiren
TEM	: Geçirimli Elektron Mikroskobu
CVD	: Chemical Vapor Deposition
OH	: Hidroksil
MAPP	: Maleik Anhidrit Polipropilen
MAPE	: Maleik Anhidrit Polietilen
ASTM	: American Society for Testing and Materials
ISO	: International Organization for Standardization

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ÇEŞİTLİ GÜÇLENDİRİCİ DOLGULARLA ÜRETİLEN AHŞAP PLASTİK NANOKOMPOZİTLERİN KARAKTERİZASYONU

Alperen KAYMAKCI

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nadir AYRILMIŞ

Bu çalışmada, Polipropilen (PP)/çam ahşap unu/endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp, nano boyutlarda kil ve hegzagonal bor nitrür (%1.5, %3 ve %4.5 oranlarında) çift vidalı ekstruderde eriyikte harmanlama metodu kullanılarak nanokompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp, nano boyutlarda kil ve hegzagonal bor nitrür gibi güçlendirici dolgu materyalleri kullanılarak üretilen ahşap plastik nanokompozitlerin termogravimetrik analiz (TGA), dinamik mekanik analiz (DMA) ve mekanik özelliklerden eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü ve şok direnci araştırılmıştır. Bunun yanı sıra yoğunluk, kalınlığına şişme ve su alma gibi bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Yapılan denemeler sonucunda elde edilen tüm sonuçlar SPSS 17.0 paket programı yardımıyla analiz edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu şekilde nano materyal, ahşap unu ve uyum sağlayıcı ajan oranının üretilen nanokompozitlerin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

Bu tezle birlikte, değişen oranlarda endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp, nano boyutlarda kil ve hegzagonal bor nitrür nano materyalleri kullanılarak ahşap plastik nanokompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiş ve bu konuda bilgi ve ilginin oluşması sağlanmıştır. Bu türdeki çalışmaların yeni proje ve araştırmalara öncülük edeceği düşünülmektedir.

Haziran 2015, 234.

Anahtar kelimeler: Nanokompozitler, nanotüp, nano kil, bor nitrür, termogravimetrik analiz (TGA), dinamik mekanik analiz (DMA).

SUMMARY

Ph.D. THESIS

CHARACTERIZATION OF WOOD PLASTIC NANOCOMPOSITES PRODUCED BY USING VARIOUS REINFORCING FILLERS

Alperen KAYMAKCI

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Forest Industry Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Nadir AYRILMIŞ

In this study, polypropylene (PP)/pine wood flour/ industrial grade multi walled carbon nanotube, nanoclay and hexagonal boron nitride (%1.5, %3 and %4.5) nanocomposites were prepared by melt processing method in a twin screw extruder. The properties of the as-prepared wood plastic nanocomposites were investigated by using thermogravimetry analysis (TGA), dynamic mechanic analysis (DMA) and mechanical properties like MOR, MOE, tensile strength and impact strength. And also physical properties as density, water absorption and thickness swelling performance of nanocomposites were determined. All data obtained in the laboratory experiments was statistically analyzed with multiple variances. By this way, effects of nanomaterial, wood flour and coupling agent ratio on the some physical, mechanical, thermal and morphological properties of wood plastic composite materials were obtained.

Through this thesis, wood plastic nanocomposites produced by using various reinforcing fillers as industrial grade multi walled carbon nanotubes, nanoclay and hexagonal boron nitride were manufactured and knowledge about particular subject matter were produced. This type of studies might be pioneer new projects and investigations.

June 2015, 234.

Keywords: Nanocomposites, carbon nanotube, boron nitride, nano clay, thermogravimetric analysis (TGA), dynamic mechanic analysis (DMA).

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelere paralel olarak gelişen malzeme sektörü devamlı bir yenilenme içerisinde. Bunun özellikle hem yeni ve yüksek teknolojiye sahip sanayiye, hem de katma değeri yüksek, bilgiye dayalı geleneksel sanayiye önemli derecede faydaları olmaktadır. Endüstride liderliğin sağlanması ya da kendi kendine yetebilen bir formasyona kavuşabilmek için herşeyden önce rekabet edilebilirliğin artırılması ve emek yoğun sanayiden bilgi yoğun sanayiye geçişin tam anlamıyla sağlanmış olması şarttır. Bilgi yoğun sanayiye geçiş içinde bulunduğumuz bilgi ve teknoloji çağının çok iyi bir şekilde idrakiyle mümkün olmaktadır. Ülkemizde olduğu gibi tüm dünyada değişen ve yükselen yaşam standartları ve ekonomik anlamda küresel bir ortak pazar haline geldiği gerçeği; gelişmişliğin sadece ekonomi ve milli gelir gibi kavramlarla tanımlanmasını imkânsız hale getirmiştir (URL-1, 2015). Küreselleşmenin beraberinde getirdiği rekabet ortamında pazara sunulan katma değeri yüksek ürünleri arz eden ve bu ürünlerle rekabet yarışını sürdüren ve daha da ileri taşıyan gelişmiş ülkeler bu alanda alt yapısı nispeten bu ülkelere göre düşük diğer ülkelere ürün ve teknolojilerini ihraç ederek büyümektedir. Ayrıca, bu hususta alt yapısı düşük ülkeleri teknolojik olarak bağımlı hale getirip bir sömürü sistemi getirmek suretiyle mevcut sistemin avantajlarını kullanarak refah seviyesi yüksek toplumlar oluşturulmaktadır. Bu teknolojilerin devamlı olarak ihraç yoluyla karşılanması ülkelerde dış ticaret açığını da beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda ülkemizde son 10 yıldır dış ticaret dengesinde olumsuzluklar görmek mümkündür. Bundan dolayı ülkemizin bir taraftan ürün yelpazesini ve ürün birim maliyetini düşürürken diğer taraftan ürün kalitesinin ve teknolojik içeriğinin artırılması gereği zaruri olarak ortaya çıkmaktadır. Ülkemizin malzeme ve teknoloji alanında yapılan çalışmalara destek sağlaması ve bu hususta genel bir strateji belirleyerek katma değeri yüksek yeni ürünlerin tasarımına ve üretilmesine olanak sağlayacak tedbirler almasına gerek duyulmaktadır (Özcömert, 2005). Malzeme teknolojilerini geliştirme ve geliştirebilme yeteneğini kazanma hedefi ülkemizin dünyada rekabet üstünlüğünü kazanma hedefi doğrultusunda 2003-2023 strateji belgesinde yer almıştır. Bu hedef doğrultusunda TÜBİTAK, Kalkınma Bakanlığı vb

kuruluşlar tarafında son on yıldır ciddi destekler sunulmaktadır (TÜBİTAK, 2004). Malzeme teknolojileri içinde sunulan destekler arasında orman ürünleri endüstrisi faaliyet alanı içerisinde olan polimerik kompozitler hiç şüphesiz en dikkat çekici malzeme grubu içerisinde yer almaktadır.

Klasik anlamda polimer kompozit, polimer ve dolgu maddesinin kombinasyonu ile oluşan malzeme grubunu ifade etmektedir. Çünkü birleştirme konvansiyonel polimerlerin dezavantajlarını iyileştirmek için kullanılan bir tekniği belirtmektedir. Güçlendirici dolgu materyalleri, genellikle polimer kompozitlerin mekanik veya termal özelliklerini iyileştirmek için termoplastik veya termoset polimerler ile modifiye edilmektedir. Genel olarak mikron ölçüye sahip dolgu materyalleri kompozit malzemelerin özelliklerini geliştirmek için kullanılırlar. Polimer matris ve dolgu materyali birbirlerine kısmen zayıf moleküler arası kuvvetler kısmen de kimyasal bağlar oluşturan ajanlar yardımıyla bağlanırlar. Kompozit yapı içerisindeki güçlendirici materyal kimyasal bağlar yardımıyla moleküler ölçüde dağılım gösterebilirse, elde edilen materyalin mekanik özelliklerinde önemli iyileştirmeler veya beklenmeyen yeni özellikler ortaya çıkarabilir. Bu özellikler polimer nanokompozit çalışmalarının genel amaçlarını oluşturmaktadır (Kato ve Usuki, 2006).

Polimer kompozitlerin üretilmesinde kullanılan dolgu materyalleri organik veya inorganik yapıda olabilmektedir. İnorganik yapıdaki dolgu materyalleri pahalı olmaları ve makine aksamında oluşturdıkları aşınma gibi bazı dezavantajlar nedeniyle yerini kısmen de olsa organik dolgu maddelerine bırakmıştır. Odun, buğday-saman sapı ve diğer lignoselülozik yapıdaki organik dolgu maddeleri sağladığı avantajlar nedeniyle polimer kompozit üretiminde hızlı bir şekilde kabul görmüştür. Ahşap polimer kompozit, lignoselülozik malzeme ve polimerin bir araya getirilerek oluşturulan yeni malzeme grubuna verilen genel bir addır (Karakuş, 2008). Ahşap polimer kompozitler sağladığı birçok avantaja rağmen nispeten düşük modül değeri, düşük çentikli şok direnci ve sünme performansı gibi bazı eksiklikler araştırmacıları çeşitli ara yüzey yapıştırıcı görevi gören uyumlaştırıcılar veya nano partikülleri ahşap polimer kompozitlerin performansını iyileştirmek için kullanma gerekliliğine yöneltmiştir. Özellikle günümüzde nanoteknoloji çalışmaları büyük bir hızla ilerlemektedir. Nanoteknoloji ile üretilen yüksek spesifik özelliklere sahip malzemeler ile ahşap

polimer kompozitlerde başarılı sonuçlar almak mümkün görünmektedir. Bu şekilde ahşap polimer nanokompozitlerin sahip oldukları yüksek modül değeri, yüksek şok direnci ve termal kararlılık gibi avantajları ile son kullanım yeri için yüksek performanslı ve katma değeri yüksek ürünler haline geleceği beklenilmektedir.

Sonuç olarak, bu tez çalışmasında endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp, hegzagonal nano bor nitrür ve nano kil güçlendirici dolgular kullanılarak ahşap polimer nanokompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Güçlendirici dolgu maddesi ve miktarı, ahşap unu oranı ve uyum sağlayıcı ajan oranının ahşap polimer nanokompozitlerin bazı fiziksel, mekanik ve termal özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Üretilen ahşap polimer nanokompozitlerin özellikleri gerçekleştirilen testler vasıtasıyla detaylı bir şekilde ortaya konulmuştur.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. KOMPOZİTLER

Kompozit malzemeler farklı yapı ve karakteristiklere sahip iki veya daha fazla malzemenin birbiri içerisinde homojen bir şekilde dağılmasıyla elde edilen, yeni ve gelişmiş özelliklere sahip mühendislik ürünü ileri malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Kompozit malzemelerin hazırlanması, değişik tür veya fazlardan her birinin tek başına sahip olamadığı özelliklerin veya birbirlerinin zayıf yönlerinin iyileştirilmesini mümkün kılarak üstün özelliklere sahip ileri teknoloji yeni ürünlerin elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede üretilen yeni ürün, kendisini oluşturan özelliklerden farklı olarak bir sentez ürünü özelliği göstermekte ve kendisini oluşturan bileşenlerin istenmeyen özelliklerini bertaraf ederek yeni ve farklı bir malzeme gibi davranış göstermektedir. Kompozitlerin ana bileşenlerini polimerler, metaller ve seramikler oluşturmaktadır. Ana bileşenler bir üründe hep beraber veya bireysel olarak matris yapısını oluşturabilmektedir. Polimerler, düşük yoğunluğa, yüksek kimyasal dirence, ve özellikle kolay şekillendirilebilme özelliklerine sahiptir. Ancak düşük mekanik (elastikiyet modülü vs) ve ısı dayanımları kullanım alanlarını ciddi şekilde sınırlamaktadır. Seramikler de metallere nispeten düşük yoğunluğa sahiptirler. Çok yüksek sıcaklıklara dayanımlı olmaları en önemli özelliklerinden biridir. En büyük dezavantajları ise sert ve kırılgan olmaları, şekillendirilmelerinin zor olmasıdır. Metaller ise iyi mekanik özelliklerinin yanında yüksek yoğunlukları nedeniyle ağır malzemelerdir. Bu özelliklerinden dolayı farklı türdeki malzemelerin birleştirilmesi ile kompozit malzemelerin hazırlanması kullanım kolaylığı ve üstün özellikler elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

Genel olarak kompozitler üç ana bileşenden oluşmaktadır:

1. Matris bileşeni
2. Takviye edici dolgu bileşeni
3. Katkı maddeleri

Matris bileşenin üç ana görevi vardır. Bunlar uygulanan yükü takviye edici dolgu bileşene aktarmak, takviye edici bileşeni bir arada tutmak, tokluk ve süneklik sağlamak ve çevresel etkilerden korumaktır. Takviye edici dolgu bileşen, kompozit yapıya mekanik dayanıklılık vermek amacıyla kullanılır ve görevi uygulanan yükü taşımak, yapıya sertlik ve dayanıklılık kazandırmaktır. Katkı maddeleri ise son ürüne istenilen özellikleri vermek veya performans özelliklerini arttırmak amacıyla kullanılır.

2.1.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemelere genel olarak matris bileşenlerinin türüne ve dolgu materyaline göre sınıflandırılabilir (Enişçi, 2004). Bu bölümde polimer kompozitlerin çalışmaya konu olan alt dallarından ahşap plastik kompozitler hakkında bilgi verilmiştir.

2.1.1.1. Ahşap Plastik Kompozitler

Ahşap plastik kompozitler lignoselülozik malzemeyle plastiklerin karıştırılması sonucunda oluşan kompozitlere verilen genel bir addır. Buradaki “ahşap” kelimesi odun parçası gibi dar bir anlamda değil lifsel yapıya sahip bütün tarımsal atıklar ve odunsu materyali kapsamaktadır. Bu materyaller lifler ya da unlar haline getirilmiş olarak üretimde kullanılmaktadırlar. Diğer taraftan “plastik” kelimesi ise termoplastikleri kapsamaktadır. Ahşap plastik kompozitlerin popülaritesi son yirmi yıl içinde olup günlük hayatımızın birçok yerinde uygulama alanı bulmaya başlamıştır. Ahşap plastik kompozitler genel olarak yer döşemeleri, otomotiv panelleri, çit, bahçe mobilyaları, dış cephe kaplamaları, çerçeve vb. alanlarda kullanım potansiyeline sahip malzeme türüdür.

Ülkemizde ahşap plastik kompozit endüstrisi 2000’li yılların başında Avrupa’dan ithalat yoluyla başlamasına karşın yerli üretim 2000’lerin sonlarına doğru başlamıştır. Bugün, Türkiye de 10 adet yerli fabrika olmak üzere ve yaklaşık 10 adet de ithal marka olmak üzere 20 farklı ahşap plastik kompozit markası yer almaktadır. Ülkemizde ahşap plastik kompozit özellikle yapı endüstrisinde bilinen bir malzeme olup fabrika sayısı her geçen yıl artış göstermektedir. Bunda en önemli neden üretim hattının plastik üretimi yapan fabrikalara kolayca entegre olabilmesidir. Ülkemizde plastik sektörünün güçlü olması Türk ahşap plastik sektörünün Dünyanın sayılı ülkeleri arasında yer almasında önemli bir avantaj sağlayacaktır.

2.2. NANOTEKNOLOJİ

Nanobilim ve nanoteknoloji genel görüşe göre 1-100 nanometre boyutlarındaki maddelerin anlaşılması, kontrol edilmesi ve atomsal seviyede değiştirilip, işlevsel hale getirilmesidir. Yığın malzemeler (Çevremizde görebildiğimiz büyük cisimler) makroskobik fiziksel özelliklere sahiptir. Buna benzer örnekler mikron ölçekteki malzemelere de verilebilir. Ancak bu durumu nano ölçekteki boyutlara sahip ürünlere indirgediğimizde klasik fizik kurallarının yerine kuantum mekaniğinin prensiplerini değerlendirmek daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Nano ölçekteki boyutlara sahip herhangi bir malzemenin fiziksel, mekanik, termal ve elektrik özellikleri makro veya mikro ölçekteki boyutlara sahip malzemelerden oldukça farklı olacaktır. Nanoteknoloji; fizik, kimya, biyoloji ve mühendislik gibi disiplinler arası bir konuma sahip olmasının yanı sıra, endüstri, uzay, ilaç, elektronik, tarım ve sağlık gibi bütün alanlarda etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler tarafından, en kritik araştırma alanı olarak desteklenmekte ve ciddi miktarda ar-ge destekleri ayrılmaktadır (Çıracı ve diğ., 2005; Saçaklı, 2015).

2.2.1. Nanoteknolojinin Ortaya Çıkışı

20. yy. başlarında maddeyi oluşturan parçacıklardan olan elektronların hem parçacık hem de dalga gibi davrandığını ortaya çıkaran kuantum mekaniği sayesinde atom ve moleküller doğru olarak algılanıp anlaşıldı. Kuantum mekaniği temel bilimler ve ilgili teknolojiler hızla gelişti. Kuantum mekaniği sayesinde, atomun enerji durumlarının neden kesikli olduğu, katıların klasik parçacık kuramı kullanarak hesaplanan bazı temel elektronik ve manyetik özelliklerinin neden gözlemlerden büyük sapmalar gösterdiği, artık bir bilmece olarak kalmaktan kurtuldu. Kuantum mekaniğine paralel olarak 20. yüzyılın ilk ve ikinci çeyreğinde makine imalat sanayinde de önemli gelişmeler yaşandı. Bu gelişmelerden daha sonra yeni bir sanayi devrimi ortaya çıktı. Klasik mekaniğin geçerli olduğu imalat sanayinde kullanılan malzemelerin atomsal yapısı, mekanik, elektronik ve manyetik özellikleri ancak kuantum mekanik sayesinde anlaşıldı. Bu bilgiler ışığında yeni malzemeler de geliştirildi. En önemlisi, yarıiletken malzemeler, özellikle silisyum teknolojisi önem kazanıp, mikro elektronik sanayi hızla gelişmeye başladı. Mikro elektronik, iletişim teknolojilerinden başlayıp her alanda uygulama buldu. Özellikle bilgisayarların ve bilişim teknolojilerinin yaygın kullanımı, mikro elektronik başta olmak üzere, optoelektronik, fotonik teknolojilerinin gelişmesinde itici

kuvvet rolünü üstlendi. Bilgisayar kullanımının her alanda getirdiği hız, daha hızlı ve daha küçük bilgisayarlara olan talebi canlı tuttu. Bu sayede bilgisayarlar yaklaşık her 18 ayda işlemci hızlarını ikiye katlayarak gelişimlerini sürdürmekte. Günümüzde bilgisayarlarda aygıt boyutları 50 nanometrenin altına inerken, mevcut teknolojilerin çözemeyeceği ısınma problemleri ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında daha küçük boyutlarda elektronik aygıtların işleyişindeki yarı klasik fizik kuramları geçerliliğini yitirip, kuantum olaylar önem kazanmaya başlamaktadır. Bilgisayarın, daha sonra internet in yaygın kullanımı, yaşam tarzımızı da çeşitli yönlerden etkiledi ve zamanla kullanılan teknolojiler yetersiz kalmaya başlamıştır. Yaşantımızı ve sağlığımızı yakından ilgilendiren, fakat daha önce hayal bile edilemeyen birçok gelişmenin kişisel kullanıma sunulması gündeme gelmiştir (Çıracı ve diğ., 2005; Saçaklı, 2015).

2.2.2. Nanoteknolojinin Gelişimi

Ekonomistler nanoteknolojinin yeni bir sanayi ve bilgi devrimi olarak 21. yüzyıla damgasını vuracağına inanmaktadırlar. Yakın bir gelecekte, bir ülkenin nanoteknolojideki seviyesi o ülkenin sosyal ve ekonomik gücünün bir göstergesi olacaktır. Nanoteknolojinin öncelikle malzeme ve biyoteknoloji alanlarında gelişeceği, ancak 10-15 yıl sonra elektronik ve spintronikte, özellikle moleküler elektronikte ağırlığını hissettireceği beklenmektedir. Nano malzemelerin olağanüstü özellikleri hemen hemen her alanda; savunma sanayinde, tekstilde, otomotiv sanayinde, inşaat, yeni tedavi yöntemlerinde ve ilaç sanayinde önemli atılımların yapılmasını sağlayacaktır. Sürtünmesiz yüzeyler sayesinde taşıtlarda motor yağı değiştirme sorunu ortadan kalkabilecek, kir tutmayan kumaşlar belki çamaşır makinalarını ortadan kaldıracaktır. Binalardaki betonarme kolonların kesitleri küçülüp elastik özellikler kazanacak; bu sayede depremler binalarımıza daha az tahribat yapabilecek. Nanoelektronik alanında milyonlarca aygıtı içeren bütünleşik devre yapımında ve aygıtların iletkenlerle birbirlerine bağlanmalarında sorunlar bulunmaktadır. Nanobilim ve nanoteknoloji araştırmaları için gelişmiş ülkelerde ciddi yatırımlar yapılmaktadır. Son yıllarda ABD, Japonya, AB Ülkeleri, Kore, İsrail, Güney Afrika Birliği, Kanada gibi ülkelerde her biri 100 milyon Doların üzerinde harcama yapılarak, çok sayıda Ulusal Araştırma merkezleri kurulmuştur. ABD’de Stanford, Harvard, Cornell gibi tanınmış 13 üniversitede kamu tarafından nanoteknoloji merkezleri kurulmuştur. Benzer şekilde 2005 yılında Argonne, ONRL, Lawrence-Berkeley, Sandia, Brookhaven Ulusal

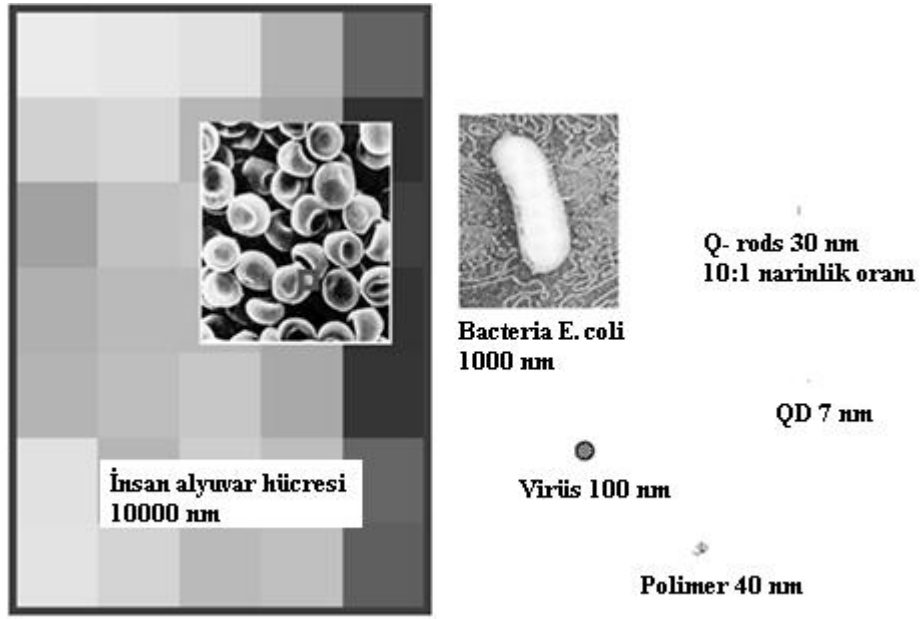
merkezlerde de dev Nanoteknoloji Araştırma Laboratuvarları Enerji Bakanlığı tarafından kurulmuş; devlet ve özel üniversitelerin yönetimine bırakılmıştır. Nanoteknolojiye bu kadar yatırım yapan ABD’de 2015’lerde nanoteknoloji ürünlerinin satışlarının 3 trilyon Dolara erişmesi beklenmektedir. İran’da Sharif Üniversitesi’nde 2005 yılında kurulan ulusal Nanobilim ve Nanoteknoloji Enstitüsü’nde, disiplinlerarası doktora programıyla birlikte bilimsel araştırmalar da yürütülmektedir. Çeşitli konularda ellinin üzerinde nanoteknoloji şirketinin kurulduğu İsrail’de, hükümet nanoteknolojiye yapacağı desteği 230 milyon Dolara çıkarmıştır. Bu teknoloji devriminde yer almak ve gelişen pazardan pay kapmak için, ülkeler adeta birbirleriyle yarışmaktadır (Çıracı ve ark, 2006).

2.3. PARÇACIK BOYUTUNUN ÖNEMİ

Atomik etkileşimler ve madde içerisindeki elektronların dalgalı özellikleri (kuantum mekaniği) nanometre ölçeğinde malzeme değişkenlerini etkilemektedir. Nanometrik ölçekte yapıların oluşturulmasıyla birlikte, malzemelerin erime sıcaklığı, manyetik özellikleri, şarj kapasitesi ve hatta renkleri, materyalin kimyasal yapısında değişikliğe gerek duymaksızın değiştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu potansiyelin kullanılmasıyla geçmişte mümkün olmayan yeni ve yüksek performanslı ürünler ve teknolojilerin hayata geçirilmesini sağlayacaktır. Nanopartikül ve nano katman gibi nano ölçekteki yapıların çok yüksek yüzey hacim ve narinlik oranı polimerik materyaller ile birlikte kullanılması için ideal birim durum oluşturmaktadır (Koo, 2006).

2.3.1. Nano Terimi

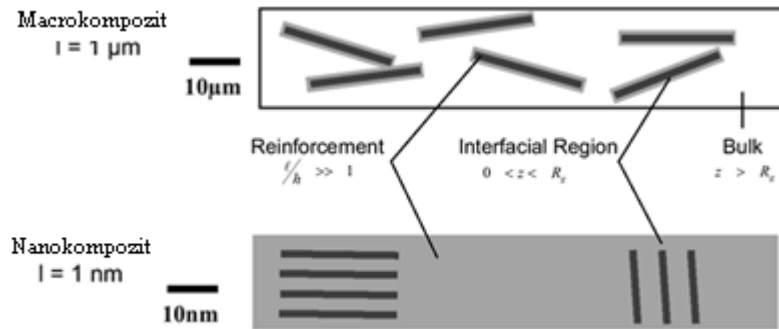
Bir nanometre, 1 metrenin milyarda biri (10^{-9} m), atomun çapının yaklaşık dört katıdır. Şekil 2.1’de bazı ilgi çekici materyallerin çaplarını gösterilmektedir: bir insanın alyuvar hücresi 10000 nm; E coli bakterisinin bir hücresi 1000nm; virüs hücresi 100 nm; polimer spirali 40 nm; q- rod 30 nm ve quantum dotu 7 nm çapındadır (Koo, 2006).



Şekil 2.1: Nanometre boyutunun karşılaştırılması

2.3.2. Nanoyapılı Materyallerin Özellikleri

Uzun yıllar boyunca güçlendirilmiş polimerler gibi makrokompozitlerle ilgili çalışmalar yapılmıştır. Mikrometre düzeyinde bahsi geçen polimer dolgularının uzunluk ölçeği Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Nano yapılı materyallerin özellikleri

Güçlendirici materyalin uzunluk ölçüsü mikrometre düzeyinde ve ara yüzeyi polimer matrise yakındır. Nanokompozitlerde ise güçlendirici mekanizması nanometre ölçeğindedir (Şekil 2.2). Nanokompozitlerde birim hacim alanı başına oldukça yüksek ara yüzey bağlanması mevcuttur. Bundan dolayı polimer ve güçlendirici dolgu materyali arasındaki mesafe nanokompozit yapılarda oldukça kısadır. Polimer yığınları 40 nm çapındadır. Benzer şekilde aynı büyüklüğe sahip nanopartiküllerden üretilen nanokompozitlerin moleküler olarak ara yüzey bağlanması plastiklere kıyasla oldukça yüksektir. Nano bilim ve teknoloji devrim niteliğinde materyalleri geliştirmek için önemli fırsatlar sunmaktadır. Malzeme araştırmalarında yeni bir dal olan nano faz ve nano yapı malzemeler, potansiyel kullanım alanları (elektronik, optik, kataliz, manyetik bilgi bankaları ve polimer nanokompozitler) nedeniyle oldukça büyük ilgi uyandırmaktadır. Nano malzemelerin özellikleri ve performansını boyutları, yüzey yapıları ve parçacıklar arasındaki etkileşimler belirlemektedir. (Koo, 2006).

2.4. NANOKOMPOZİTLER

Nanokompozit terimi 1950'li yıllarda ortaya çıkan bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yönde ilk ciddi çalışma 1985 yılında Toyota araştırma grubu tarafından gerçekleştirilmiştir. Toyota araştırma grubu poliamid-kil karışımı ile oluşturdukları nanokompozit çalışmalarıyla bu alanda ciddi ilerlemeler sağlamışlardır. Toyota araştırma grubunun amacı otomobil aksamalarında kullanmak üzere metalden daha hafif ve dayanıklı ileri bir malzeme elde etmektir. Toyota araştırma grubu tarafından gerçekleştirilen çalışmalardan (naylon 6/kil nanokompozitleri) sonra birçok araştırmacı tarafından diğer polimerler kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Bu bağlamda polipropilen (Liu ve Wu, 2001; Nam ve diğ., 2001; Oya, 2000; Zhang, 2000; Garces ve diğ., 2000; Zanetti ve diğ., 2001; Manias, 2001; Sun ve Garces, 2001), polietilen (Jeon ve diğ., 1998; Privalko ve diğ., 1999; Bergman ve diğ., 1999; Rong ve diğ., 2001; Gopakumar ve diğ., 2002), polistiren (Vaia ve diğ., 1993; Moet ve Akelah, 1993; Hackett ve diğ., 2000), polikaprolakton (Lan ve diğ., 1994; Messersmith ve Giannelis, 1995), poliamidler (Yano ve diğ., 1991; Lan ve diğ., 1994), poliüretan (Zilg ve diğ., 1999) ve epoksi reçineleri (Kelly ve diğ., 1994) üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Günümüzde ise nanokompozitler birçok alanda uygulama alanı bulmaktadır. Nanokompozitler özellikle polimer sanayisinin hemen her kesiminden ilgi görmektedir. Polimer nanokompozitler otomotiv, paketleme, elektronik ekipmanlar, ev aletleri ve

aleve dayanıklı her çeşit üründe yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Kaya, 2003). Nanoteknolojinin özü, moleküler boyutta çalışarak, moleküler yapısı yenilenmiş büyük yapılar elde etmektir. Malzemelerin nanometrik boyuttaki özellikleri, aynı malzemenin makro boyuttaki özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Nano kompozitler, bir matris içerisinde nanometre büyüklüğünde parçacıkların dağılması ile oluşan malzemelerdir. Bir taneciğin nano olarak isimlendirilmesi için en az bir boyutunun nanometre düzeyinde olması gerekmektedir. Nano kompozitlerin malzemeye getirdiği önemli üstünlükler; modülü arttırması, direncinin arttırması, termal stabilitesini arttırması ve yanmaya karşı direncinin artması ve boyut stabilizasyonunun iyileştirmesi olarak sıralanabilir (Anon, 2011).

2.4.1. Nanokompozitlerin Tarihsel Gelişimi

Polimerler çok sayıda monomerin bir araya gelerek oluşturdukları mühendislik ürünü malzemelerdir. Polimerlerin gösterdikleri bazı dezavantajlar nedeniyle inorganik katkı (parçacık, fiber ve tabakalı katkılar) ile kuvvetlendirilen polimer kompozitlerinin araştırılmasına büyük önem verilmektedir. Tabakalı inorganik dolgulardan talk ve mika bu anlamda üzerinde en çok araştırma yapılan dolguların başında gelmektedir. Bu çalışmalarda genellikle inorganik dolgunun polimer içerisinde tamamen dağılması ile polimerin en yüksek performansına erişmesi beklenmektedir. Uzun zamandır polimerlerin uygun şekilde modifiye edilmiş mineral ve sentetik killer ile karıştırılabildiği bilinmesine rağmen polimer/kil nanokompozitleri üzerine çalışmalar son zamanlarda büyük ivme kazanmıştır. Bu malzemenin gelişiminde iki öncü çalışma çok büyük önem taşımaktadır. Birincisi, Toyota Ar-Ge'sinin yayımladığı naylon-6/montmorillonit malzemesi ile ilgili rapordur. Burada çok az bir inorganik katkı ile malzemenin termal ve mekanik özellikleri belirgin bir şekilde iyileştirilmiştir. İkincisi ise Giannelis'in (1996) organik çözücü kullanmadan inorganik maddeyi, polimerin eriyiğine karıştırma yöntemidir. Endüstriyel gelişim vaat eden bu çalışmalar diğer malzemeler üzerinde tabakalı inorganik dolguların disperse edilmesine yönelik sayısız yeni çalışmanın ilki olmuştur. Nanokompozit yapısından kaynaklanan bu iyileştirmeler, genellikle çok geniş bir yelpazede polimer için uygun görülmektedir (Giannelis ve diğ., 1999).

2.4.2. Nanokompozitlerin Sınıflandırılması

Matris yapısına göre, nanokompozitleri polimerik, seramik ve metalik nanokompozitler olarak değerlendirebiliriz. Bu kısımda polimerik nanokompozitler ve polimer kompozitlerin bir alt dalı çalışmamıza konu olan ahşap polimer nanokompozitler hakkında bilgi verilecektir.

Atomik ölçekteki malzemelerin sentezi ve karakterizasyonundaki gelişmeler nano boyutlu materyallere olan ilgiyi arttırmıştır. Kompozitler ile nano boyutlu materyallerin kombinasyonu ile oluşan yeni malzemeler polimer nanokompozit olarak adlandırılmaktadır.

Polimer esaslı nanokompozitler mikro ve makro ölçekli kompozitlere kıyasla gösterdikleri yüksek gaz ve solvent bariyer özellikleri, mekanik direnç, yanmaya karşı dayanıklılık ve sertlik gibi üstünleri dolayısıyla birçok endüstri alanında büyük ilgi uyandırmıştır (La Baron ve diğ., 1999; Novak, 1993; Alexandre ve Dubois, 2000; Krishnamoorti ve Vaia, 2000; Ray ve Okamoto, 2003; Nalwa, 2003; Leuteritz ve diğ., 2007; Richard ve diğ., 2007). Bu özelliklerin gelişmesinin arkasında yatan ana sebepler güçlendirici dolgu materyallerinin küçük boyutta olması, polimerik matris içerisinde nano ölçekteki dağılım homojen bir özellik göstermesi ve nano ölçekteki malzeme ile polimer arasındaki yüzeyler arası bağlanmanın iyi olması gösterilebilir. Ayrıca partiküllerin küçük boyutta olması nedeniyle oluşan yüksek yüzeyler arası bağlanma beraberinde yüksek spesifik özellikleri getirmektedir (Davis ve diğ., 2003). Bu yüzden küçük bir miktar (%2) nano dolgu ilavesi bile polimerin özelliklerini birkaç kat arttırabilmektedir. Yüzeyler arasındaki segmentlerin moleküler hareketliliği ve/veya yoğunluğu bu yapıyı polimer matristen oldukça farklı kılmaktadır (Fragiadakis ve diğ., 2005; Hooper ve Schweizer, 2005; Böhning, 2005). Bundan dolayı polimer ve nano dolgu materyali arasındaki ara yüzey bağlanma alanı kompozitlerin özellikleri için oldukça önemlidir. Bunu kısmi olarak polimer nanokompozitlerin kompleks yapısına kısmi olarak da deneysel data eksikliğine bağlayabiliriz. Buna ek olarak polimer matrisin moleküler yapısı ile ilgili detaylı bilgi eksikliği, mevcut teorinin partikül dağılımını tanımlamada yetersiz oluşu, kendi kendine oluşan olaylar ve polimer-zincir arası etkileşim ve nanokompozit üretim prosesi nanokompozitlerde meydana gelen bu değişimin önündeki büyük engeller olarak gösterilebilir (Jancar ve diğ., 2010). Polimer

nanokompozitlerin bu yapısını anlayabilmek için birçok derleme makale hazırlanmıştır. Bu özellikler, nano materyal ve kompoziti oluşturan diğer bileşenlerin kimyasal yapısı ile ilgili olmayıp aynı zamanda sistemin sinerjisinin de dâhil olduğu bir öngörüü düşünerek hareket etmek gerekmektedir (Hussain ve diğ., 2006; Giannelis ve diğ., 1999; Pielichowski ve diğ., 2006).

2.4.2.1. Ahşap Plastik Nanokompozitler

Ahşap plastik kompozitler sağladığı avantajlar dolayısıyla başta döşeme, cephe kaplama, pergola, kamelya ve cephe kaplama malzemesi olmak üzere birçok uygulama alanı bulmuştur (Turku ve Karki, 2014; Kaymakci ve diğ., 2014). Ahşap plastik kompozitler kendisini oluşturan bileşenlerden daha üstün özellikler göstermesi sağladığı en büyük avantajların başında gelmektedir. Bunun yanı sıra ahşap plastik kompozit üretimi, üretiminde geri dönüşüm plastik ve atık lignoselülozik materyaller kullanılması nedeniyle “yeşil teknoloji” (green technology) olarak sınıflandırılmaktadır (Turku ve Karki, 2014). Bu yönüyle de incelendiğinde ürünün üretiminde ve kullanımında sosyal baskıların oluşmayacağı ve kullanımının özendirileceği aşikârdır. Ancak sağladığı bu avantajlara rağmen hidrofilik ahşap ile hidrofobik plastik arasındaki uyumsuzluk dolayısıyla meydana gelen matris ve ahşap partikülleri arasındaki zayıf dağılım, son ürün kullanımında düşük mekanik ve nem ve gaz bariyer özellikleri göstermesine neden olmaktadır. Nanokompozitler en az bir bileşenin nanometre boyutunda olduğu multifaz yapılar olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak kompozit üretiminde değerlendirilen nano dolguların boyutu 1-500 nm arasında değişirken, bu durum geleneksel dolgularda 10 µm den 1 cm’ye kadar artabilmektedir. Genellikle ağırlıkça %3-5 oranındaki nano materyal ilavesinin kompozit özelliklerine sağladığı iyileştirme %30 oranındaki geleneksel mikron ölçekteki dolgu materyali ile desteklenmiş kompozit yapılardan daha yüksektir (Hetzer ve Kee, 2008). Bu durum nano materyallerin yüksek narinlik oranı ve spesifik yüzey alanı ile açıklanmaktadır. Günümüzde nanokompozitlerin üretimi için çoğunlukla doğal nanokil ve sentetik karbon nanotüpler kullanılmaktadır. Sentetik karbon nanotüpler nano kil ile kıyaslandığında daha pahalı materyaller olarak bilinmektedirler. Karbon nanotüp ve nano kil haricinde nanokompozitlerin üretiminde TiO₂ ve SiO₂ gibi nano boyutlardaki oksitlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu kimyasallar ucuz, kolaylıkla elde edilebilir, termal olarak kararlı olmaları ve çevre dostu olmaları dolayısıyla hızlı bir şekilde kabul görmüşlerdir.

Lignoselülozik liflerin sahip oldukları yüksek spesifik direnç ve elastiklik, nispeten düşük yoğunluk, düşük fiyatı, yenilenebilir olması ve biyolojik bozunabilirlik gibi birçok avantajı nedeniyle nano dolgulu plastik nanokompozit üretiminde güçlendirici dolgu materyali olarak kullanılması oldukça ilgi çekmektedir. Ahşap plastik nanokompozitlerin tanımı nanokompozitlerin tanımından yola çıkarak şu şekilde yapılabilir: Nano materyal, plastik ve lignoselülozik dolgu maddesinin geleneksel ahşap plastik kompozit yöntemleri kullanılarak karıştırılmasıyla elde edilen malzeme grubunu ifade etmektedir. Burada “nano materyal” kelimesi boyutu 1-500 nm arasında değişen yüksek narinlik oranı ve yüksek yüzey alanına sahip materyalleri tanımlamaktadır. Ahşap plastik nanokompozitler geleneksel ahşap plastik kompozitlere nazaran katma değeri yüksek özel kullanım alanlarına sahip materyallerdir. Ahşap plastik nanokompozit üretiminde kullanılan nano materyaller kompozitlerin fiziksel, mekanik ve termal özelliklerini büyük ölçüde iyileştirmektedir. Ancak ahşap plastik nanokompozit üretiminin önündeki en büyük engel nano materyalin homojen bir şekilde dağıtılamamasıdır. Farklı yüzey kimyasalları ile nano materyallerin modifikasyonu ve nanokompozit üretim tekniklerinin gelişmesi için harcanan birçok çabaya rağmen halen nanokompozitlerin özellikleri beklenen seviyeye ulaşamamıştır. Bu yüzden ahşap plastik nanokompozitlerin ticari olarak değer kazanabilmesi ve pazarda tutunabilmesi için nano materyallerin etki mekanizmasının açık bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir (Turku ve Karki, 2014).

2.4.3. Nanokompozit sentezinde polimer kullanılmasının avantaj ve dezavantajları

Nanokompozit sentezinde matris malzeme olarak kullanılabilecek polimer, seramik ve metallerin birbirlerine göre belirli avantaj ve dezavantajları mevcuttur.

Polimerlerin zayıf yönleri

- Düşük mekanik dayanım,
- Yumuşaklık,
- Sınırlı sıcaklık aralıklarında kullanılabilme,
- Uzun süreli yüklemde boy uzaması gibi bazı özelliklerin zamana bağlı olması.

Polimerlerin yukarıda belirtilen zayıf yönlerine karşın zaman içerisinde tüketimlerinin hızla artmasının nedeni, aşağıda sıralanan üstün özellikleridir. Polimerler bu üstün özellikleri nedeniyle çoğu alanda metal ve seramiklerin yerlerini almışlardır (Saçak, 2005; Arpacı, 2014).

Polimerlerin seramik ve metallere göre üstün özellikleri

- Kolay şekillenme,
- Düşük yoğunluk (Hafiflik),
- Kimyasal maddelere dayanım,
- Düşük ısı iletimi (ısı yalıtımı)
- Ucuzluk,
- Korozyona uğramama,
- Estetik görünüm
- Düşük elektrik iletimi,
- Esneklik (kauçuklar için elastikiyet) (Saçak, 2005; Arpacı, 2014).

2.4.4. Polimer Nanokompozit Üretim Metotları

Polimer nanokompozit malzemelerin özellikleri büyük ölçüde üretim metoduna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Üretim metoduna bağlı olarak polimer matris içerisindeki nanopartiküllerin morfolojisi, dağılımı ve yönlendirilmesinde farklılıklar görülebilmektedir. Üretim yöntemi kullanılan polimer türünü ve üretilebilecek kompozit materyal hacmini sınırlandırabilmektedir. Çözeltide harmanlama, yerinde polimerizasyon ve eriyikte harmanlama yöntemi nanopartiküllerle güçlendirilmiş kompozit üretim metotlarından en yaygın olarak kullanılanlardır (Chen, 2011).

2.4.4.1. Çözeltide Harmanlama

Çözeltide harmanlama Karbon nanotüp (KNT)/polimer ve nanokil/polimer nanokompozitlerinin hazırlanması için kullanılan en yaygın metottur. Bu yöntemin esası, nanopartikül ve çözücü arasındaki etkileşim sonucu nanopartiküller arasındaki

Van der Waals kuvvetlerinin zayıflaması ve bu durumun polimer zincirlerinin nanopartiküller arasındaki difüzyonunu kolaylaştırmasıdır. Polimer çözeltisinin konsantrasyonu, viskozitesi, karıştırma şartları, materyalin çözücüye karşı davranışı gibi parametreler ve dispersiyon elde edilen nanokompozitin fiziksel özellikleri üzerinde etkilidir. Üretim sürecini başlatmak için küçük bir miktar materyal gerekmektedir. Bu metotta üç ana basamak bulunmaktadır: 1) nanopartiküllerin uygun bir solvent ve polimer çözeltisinde dağıtılması, 2) Çözelti içerisinde polimerin ve nanopartiküllerin karıştırılması ve 3) kompozitin bir film şeklinde kalıplanarak veya çökeltiyle geri kazanılmasıdır (Chen, 2011; Arı, 2009).

Shaffer ve Windle (1999) yaptıkları araştırmada sabit bir harman oluşturmak için bileşenleri karıştırarak karbon nanotüp/polivinil alkol kompozitleri üretmişlerdir. Bu amaç doğrultusunda her bir nanotüp önemli sayıdaki diğer nanotüplerle etkileşiminin sağlanması amacıyla polimerin yüzey tabakalarına %60' ın üzerindeki oranda KNT ile kaplanmıştır.

Diğer bir çalışmada Krishnamoorti ve diğ. (1996) solvent olarak toluen kullanarak polistiren- poliizopren blok kopolimer-nanokil kompozitlerinin üretiminde çözelti harmanlama metodunu kullanmışlardır. Solvent olarak kullanılan toluen kapsamlı bir kurutma ile ortadan kaldırılmıştır. Elde edilen nanokompozitin morfolojik yapısı XRD (X-ray diffraction) ile incelendiğinde karışım halinde tabakalanmış (intercalated) ve dağılmış (exfoliated) bölgelerin olduğu gözlemlenmiştir. Nanokil ve KNT nanokompozitlerin üretiminde kullanılan bu üretim yönteminin en büyük sınırlayıcı etmeni uygun polimer/solvent gereksinimi ve çözelti içerisinde nanopartiküllerin iyi bir şekilde dağıtılma gerekliliğidir. Burada kullanılan solvent nanopartiküllerin aralıklarını genişletebilmeli ve bunun yanı sıra polimer zincirini eritebilmelidir.

Polimerlerin çözelti ortamında organokil ile karıştırılmaları kil tabakaları arasında polimer zincirlerinin difüzyonu ve kil tabakalarının polimer içinde dağılımı için termodinamik açıdan en uygun prosestir. Ancak, Ticari polimer şekillendirme yöntemlerine göre oldukça zor ve fazla miktarda organik çözücü kullanımı gerektirdiğinden ekonomik olmaması nedeniyle fazla tercih edilmemektedir. Bu yöntem, daha çok lateks ve boya formülasyonlarına katılan kil katkıların

dispersiyonunda önemli bir kullanım alanı bulmaktadır (Varghese ve Karger-Kocsis, 2003; Durmuş, 2006).

2.4.4.2. Yerinde Polimerizasyon

İlk nanokil/polimer (Naylon-6 /MMT) nanokompozitleri yerinde polimerizasyon yöntemi kullanılarak Toyota Araştırma grubu tarafından hazırlandığında oldukça dikkat çekmiştir (Kojima ve diğ., 1993; Usuki ve diğ., 1995; Usuki ve diğ., 1993). Bu metot kullanılarak üretilen KNT nanokompozit ile ilgili çalışmalar özellikle geçtiğimiz son birkaç yılda yoğunlaşmıştır (Liu ve diğ., 2009; Qin ve diğ., 2004; Saeed ve Park, 2004; Viswanathan ve diğ., 2003). Yerinde polimerizasyon ile polimer nanokompozit hazırlama, polimer zincirinin büyümesi ile yerinde olarak nanopartiküllerin dağılması esasına dayanır (Shen, 2006). Nanokompozitlerin hazırlanma stratejisi 2 ana kısımdan oluşmaktadır. Birinci aşamada monomer içerisinde nanopartiküller dağıtmakta, ikinci aşamada ise monomerlerin polimerizasyon reaksiyonu (ısı, radyasyon veya başlatıcı etkisi) gerçekleşmektedir. Böylece büyüyen polimer zincirleri arasında nanopartiküller dağılmaktadır. Bu yöntemin avantajlarından birisi, polimer eriyiği veya polimer çözeltisine nazaran daha düşük viskoziteye sahip monomer çözeltisi içerisinde bulunan nanopartikül agregatlarının ultrasound veya yüksek kesme karıştırması (high shear mixing) etkisi ile kırılmasına olanak sağlamasıdır. Yerinde polimerizasyon, polimerizasyonun tabakalar arasında gerçekleşmesi dolayısıyla tabakalar arası mesafelerin artmasını ve oluşan tabakaların polimer matris içerisinde dağıtılmasını mümkün kılmaktadır. Böylece büyüyen polimer zincirleri arasında nanopartiküller dağılmaktadır. Özetle, yerinde polimerizasyon içerisinde nanopartiküllerin moleküler ölçekte dağıldığı polimer nanokompozitlerin hazırlanmasında kullanılmaktadır. Yerinde polimerizasyon yöntemi termoset nanokompozitlerin hazırlanmasında uygulanabilen tek yöntemdir (Ying ve diğ., 2002; Sandler ve diğ., 1999; Gong ve diğ., 2000). PMMA, PS, poliimid gibi termoplastiklerin nanokompozitlerinin hazırlanmasında, partikül dağılımını kolaylaştırması ve partikül-polimer ıslanabilirliğini iyileştirmesi gibi büyük avantajlar sağlamaktadır. Bu metodun en büyük dezavantajı proses zamanının uzun olmasıdır. Bunun yanısıra polimerin bir solvent yardımıyla polimerizasyonunun sağlanmasının gerekliliğidir. Bu sakıncalarından dolayı yerinde polimerizasyon yöntemi endüstriyel uygulamalar için sınırlı uygulama alanı sunar (Chen, 2011).

2.4.4.3. Eriyikte harmanlama

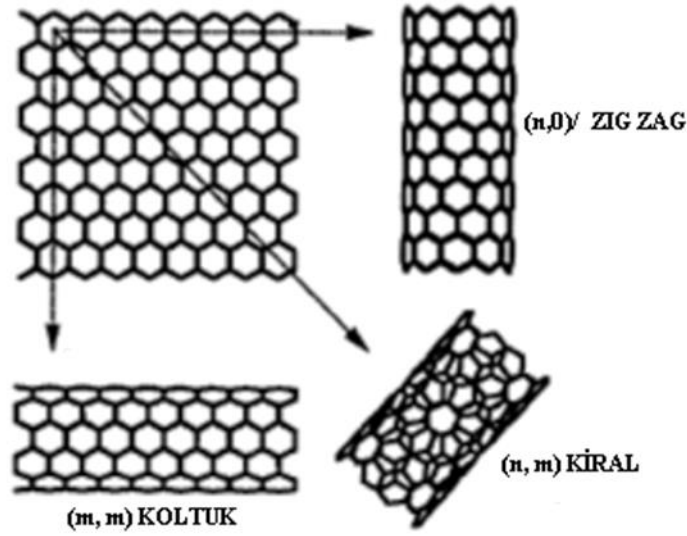
Nanopartikül ile polimerin doğrudan karıştırılarak ısıtılması veya nanopartiküllerin polimer eriyiğe katılması esasına dayanan eriyikte harmanlama yöntemi kompozit ve nanokompozit hazırlamada en çok kullanılan yöntemdir. Diğer iki yönteme göre bazı avantajları vardır. Bunlardan ilki; çözücüye ihtiyaç duyulmamasıdır. Bu durum hem ekonomik açıdan hem de çevre açısından daha temiz bir yöntem olmasını sağlamaktadır. Diğer bir avantajı ise; hali hazırda ekstruder ve enjeksiyon gibi polimer şekillendirme için kullanılan ticari proseslerde gerçekleştirilebilmesidir. Çift vidalı ekstruderler polimer ve nanopartikül harmanlamada kullanılan en yaygın procestir. Vida tasarımı ve ekstruderde kalma süresi nanopartikülün dağılımını etkileyen parametrelerdir. Ancak sürekli bir sistem olan ekstruderlerde kalma süresinin azaltılması durumunda nanopartiküllerin dağılımının istenilen düzeyde sağlanamaması sorunu mevcuttur. Yüksek molekül ağırlıklı polimerler ve nanopartikül konsantrasyonunun yüksek olduğu nanokompozitlerde dağılım iyi olmadığından uygun tercih edilen bir yöntem değildir. Ticari olarak nylon-6 (Usuki ve diğ., 1993), PS (Kato ve diğ., 1981; Vaia ve Giannelis, 1997) , PP (Liu ve diğ., 2001) nanokompozitlerinin hazırlanmasında kullanılan bir yöntemdir.

2.5. KULLANILAN BAZI HAMMADDELER İLE İLGİLİ BİLGİLER

2.5.1. Karbon Nanotüpler

2.5.1.1. Karbon Nanotüplerin Yapısı

Karbon nanotüpler silindirik yapıda içi boş grafit tabakalardır. Esas itibariyle iki ana grup altında toplanabilir: Tek duvarlı nanotüpler (single walled nanotubes) ve çok duvarlı nanotüpler (multi walled nanotubes). Tek duvarlı nanotüpler yuvarlanmış grafit tabakalar şeklinde, çok duvarlı nanotüpler ise eşmerkezli sıralandırılmış grafit tabakalı silindirler şeklinde modellendirilebilmektedir (Iijima, 1991). Nanotüplerin yapısında çok fazla sayıda potansiyel sarmallar ve kiralitler mevcuttur. Tek duvarlı karbon nanotüplerdeki kiralitler Şekil 2.3' de gösterildiği gibi zig-zag, koltuk ve kiral olarak belirtilmiştir.



Şekil 2.3: Tek duvarlı nanotüpteki kiralitler

Karbon nanotüplerin özellikleri üzerine kiralitesinin çok büyük etkisi bulunmaktadır. Çok duvarlı karbon nanotüplerde değişen sayıda tüp kiralitler mevcuttur, bundan dolayı özelliklerini tahmin etmek oldukça güçtür. Çok duvarlı nanotüpler ilk olarak 1991 yılında Iijima tarafından yüksek çözünürlüklü transmisyon mikroskobu kullanarak bulunmuştur (Iijima, 1991). Bu aşamadan sonra karbon nanotüplerin yapısının belirlenmesi amacıyla çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Karbon nanotüplerin yapısı STM, TEM, nötron kırınımı, X-ray kırınım, X-ray fotoelektron spektroskopisi, kızılötesi ve Raman spektroskopisi gibi yüksek çözünürlüklü transmisyon mikroskop ve elektron kırınımı teknikleri ile araştırılabilir (O'Connell, 2006; Chen ve diğ., 2009). Her bir metodun kendi içinde avantajları mevcuttur ve bu yöntemler birbirini tamamlayıcı metotlar olarak kullanılmalıdır (Chen, 2011).

2.5.1.2. Karbon Nanotüp Sentez Metotları

Karbon nanotüplerin sentez metotları çok geniş bir şekilde araştırılmış ve bu araştırmalar neticesinde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiş ve farklı üretim metotları türetilmiştir. Karbon nanotüplerin sentezi üzerine çok fazla sayıda çalışma yapılmış ve

bu değerli bilgiler detaylı bir şekilde yayınlanmıştır. Bu bölümde karbon nanotüp sentezinde yoğun bir şekilde kullanılan ark deşarjı (arc discharge), lazer ablasyon (laser ablation) ve kimyasal buhar çökeltme (chemical vapor deposition) yöntemleri kısaca açıklanacaktır (Chen, 2011).

Çok duvarlı karbon nanotüp ilk olarak ark deşarjı yöntemi kullanılarak üretilmiştir (Iijima, 1991). Bu Kratschmer-Huffman tarafından fullerenes üretmek için kullanılan yöntemle benzerlikler taşımaktadır (Kroto ve diğ., 1996). Bu metotta, düşük voltaj (~12-25 V) ve yüksek akım (50-120 A) üretebilen güç ünitesi kullanılmıştır. Reaksiyon He veya Ar gazı atmosferinde, 100-1000 torr basınçta gerçekleştirilmiştir. Çok duvarlı ve tek duvarlı nanotüpler bu yöntem kullanılarak üretilmiştir. Ancak tek duvarlı nanotüpler sadece belli tip metal anot katalizör eklenerek üretilmektedir. Kullanılan anot türüne bağlı olarak atmosferde de değişiklikler yapmak gerekmektedir. Örneğin Fe:C anodu kullanılacaksa metan atmosferinde, Co:C anodu kullanılacaksa Helyum atmosferinde işlemlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Iijima ve Ichihashi, 1993; Bethune ve diğ., 1993). Günümüzde tek duvarlı karbon nanotüp üretmek için kullanılan yöntemde Y:Ni karışımı kullanılmakta ve bu şekilde ürün verimi %90'lara kadar ulaşabilmektedir (Journet ve diğ., 1997). Bu metot tek duvarlı karbon nanotüp üretmek için geliştirilen en ekonomik yöntemdir. Ancak bu yöntemle elde edilen karbon nanotüplerin uygulama öncesi saflaştırma işlemine ihtiyacı bulunmaktadır.

Karbon nanotüp sentezi için kullanılan ikinci yöntem ise lazer ablasyondur. 1995 yılında Smalley araştırma grubu tarafından bu yöntem kullanılarak tek duvarlı karbon nanotüplerin üretimi gerçekleştirilmiştir (Guo ve diğ., 1995). Takip eden yıllarda, tek duvarlı karbon nanotüplerin ilk büyük ölçekli üretimi yine bu yöntemin geliştirilmesiyle elde edilmiştir (Thess ve diğ., 1996). Bu yöntemde üretilen tek duvarlı karbon nanotüplerin çap dağılımı kabaca 1- 1.6 nm aralığındaydı (O'Connell, 2006). Yine bu metotta da karbon nanotüplerin uygulama öncesi saflaştırma işlemine ihtiyacı bulunmaktadır. Lazer ablasyon prosesi kullanılarak karbon nanotüp sentezi, ark deşarj yöntemiyle benzer özellikler göstermektedir. Her iki yöntemde de tek duvarlı karbon nanotüp üretmek için metal emdirilmiş grafit hedef (veya anot) kullanılmaktadır. Çok duvarlı karbon nanotüp üretiminde ise bunun yerine saf grafit kullanılmaktadır (Meyyappan, 2005).

Kimyasal buhar çökeltme (Chemical Vapor Deposition (CVD)) ve ilgili diğer metodlar büyük miktarlarda karbon nanotüp üretmek için uygulanan yöntemlerdir. CVD yöntemi ilk olarak Endo ve diğ. (1993) tarafından çok duvarlı karbon nanotüp üretimi için kullanılmış ve kısmen başarısız sonuçlar elde edilmiştir. Dal ve diğ. (1996) CVD yöntemi kullanarak kobalt esaslı tek duvarlı karbon nanotüplerin başarıyla üretilmesini sağlamışlardır. CVD ve ilgili diğer metotlar enerji kaynaklarına göre kategorize edilmektedir. IR lambası veya fırın, endüktif veya dirençli ısıtıcı gibi konvansiyonel ısı sistemleri kullanıldığında termal CVD tekniği veya sadece CVD tekniği olarak adlandırılmaktadır. Plasma geliştirilmiş yöntemde ise plasma kaynağı akkor deşarjı oluşturmak için kullanılmaktadır. CVD ve PECVD yöntemlerinin her ikisinden de karbon nanotüplerde çeşitliliği arttırmak maksadıyla büyük ölçüde yararlanılmıştır (Meyyappan, 2005).

2.5.1.3. Karbon Nanotüplerin Özellikleri

Karbon nanotüplerin bugüne kadar keşfedilmiş en güçlü ve en elastik materyallerden biri olduğu yaygın olarak kabul görmektedir. Karbon nanotüplerin elastikiyet modülü (Yaklaşık 1 TPa) çelikten yaklaşık olarak 5 kat daha yüksektir. Yine karbon nanotüplerin çekme direnci (63 GPa kadar çıkabilmektedir) çelikten yaklaşık olarak 50 kat daha yüksektir. Karbon nanotüplerin bu özellikleri düşük yoğunluğu ile kombine edildiğinde daha cazip bir hale gelmektedir (Chen, 2011). Karbon nanotüplere ait mekanik özelliklerin teorik hesaplamaları çeşitli yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Tek duvarlı karbon nanotüplerin ampirik kuvvet katsayısı modeli (empirical force-constant model), teorik hesaplamaların en eskilerinde biridir. Yapılan bu çalışmada çapı 0,34 ile 13,5 nm arasında değişen tek duvarlı karbon nanotüplerin elastikiyet modülü değeri 970 GPa bulunmuştur (Lu, 1997). Küçük tüplerin rijitliği daha büyük tüplere göre daha az olma eğilimindedir. Kırılma mekaniği çalışmaları, kırılmanın başlangıç safhalarında karbon nanotüp duvarlarında bulunan hegzagonal karbon ağlarının yerine karbon atomlarının yeniden düzenlenmesi taş-duvar kusurunu (Stone-wall defect) içerdiğini göstermiştir. Nanotüplerin gevrek kırılma simülasyonunda, araştırmacılar kusurların 0.24 deformasyonunda oluştuğunu belirlemişlerdir. Deformasyon arttıkça, daha fazla kusur oluşmaktadır. Deformasyon 0.256 değerini aştığında iki bağ, iki deliğe dönüşerek kırılmaktadır. Artan deformasyonlar daha fazla sayıda bağın kırılmasına ve

tüp kırılıncaya kadar deliklerin daha da büyümesine yol açmaktadır (Liew ve diğ., 2004).

Karbon nano tüplerin mekanik özelliklerinin deneysel metotlarla belirlenmesi boyutları nedeniyle oldukça güçtür. İlk kantitatif ölçüm 1996 yılında TEM kullanılarak yapılmıştır (Treacy ve diğ., 1996). Bu teknikte, bireysel ve tamamen titreşimli haldeki bir dizi karbon nanotüp 800°C üzerindeki sıcaklıklarda TEM kullanılarak kaydedilmiştir. Buradan elastikiyet modülü sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ortalama karesel titreşim analizi kullanılarak elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen değerler 410 GPa - 4.15 TPa arasında olmakla beraber ortalama olarak elastikiyet modülü 1.8 TPa olarak belirlenmiştir. Taramalı prob mikroskobu karbon nanotüplerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla 1997 yılında geliştirilmiştir, Geliştirilen bu metot kullanılarak yapılan ölçümlerde karbon nanotüplerin elastikiyet modülü 1.28 TPa olduğu belirlenmiştir (Wong ve diğ., 1997). 3 noktalı eğilme yöntemi (Salvetat ve diğ., 1996) ve Raman spektroskopisini (Lourie ve Wagner, 1998) içine alan karbon nanotüplerin mekanik özelliklerini ölçümlerine ait sonraki çalışmalar nanotüplerin direnç ve rijitliği üzerine önemli bilgiler sunmaktadır.

Karbon nanotüplerin elektrik özelliklerine ilişkin ilk teorik hesaplamalar 1992 yılında gerçekleştirilmiştir (Mintmire ve diğ., 1992). Nanotüplerin yüzeyine dik yöndeki bağlı ve bağlı olamayan π bağları nanotüplerin elektronik özellikleri üzerine çok önemli rolleri bulunmaktadır. Nanotüplerin iletkenliği nanotüplerin yapısına bağlı olmaktadır.

Karbon nanotüpler yüksek termal iletkenlik gösteren materyal grubu olduğu tahmin edilmektedir. Fakat mevcut bulunan teorik tahminler birkaç düzineden 9500 W/(m·K)'e kadar değişebilmektedir. İzole edilmiş karbon nanotüplerin mevcut moleküler dinamik simülasyon sonuçları birkaç yüzden 6600 W/(m·K)'e kadar değişebilmektedir (Lukes ve Zhong, 2007). Karbon nanotüplerin deneysel ölçüm sonuçları çok fazla değişiklik gösterebilmektedir. Karbon nanotüp demetlerin termal özellikleri hakkında ilk deneysel çalışmaları Hone ve diğ. (1999) tarafından yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda karbon nanotüp sicimlerinin iletkenliklerinin 2-35 W/(m·K) arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Bu değerler oldukça düşüktür çünkü sicimlerin grift yapısı iletkenlik üzerinde çok önemli etkisi bulunmaktadır (Hone ve diğ., 1999). Her bir sicim için bu değerler termal iletkenliğe dönüştürülürse, değerler 1750-5800 W/(m·K) civarına kadar

düşebilmektedir. Kim ve diğ. (2001) yaptıkları çalışmada çok duvarlı karbon nanotüplere ait termal iletkenlik değerlerinin oda sıcaklığında $3000 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ daha yüksek olması gerektiğini belirtmişlerdir. Li ve diğ. (2009) yaptıkları çalışmada çok duvarlı ve tek duvarlı karbon nanotüplerin termal iletkenlik katsayısını sırasıyla $2400 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ve $1400 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ olarak belirlemişlerdir. Tablo 2.1’de karbon nanotüplerin teorik ve deneysel özellikleri kısaca özetlenmiştir.

Tablo 2.1: Karbon nanotüplerin bazı deneysel ve teorik özellikleri (Xie ve diğ., 2005).

Özellik	Karbon nanotüpler	Grafit
Özgül Ağırlık	$0.8 \text{ g}/\text{cm}^3$ (Tek duvarlı KNT) $1.8 \text{ g}/\text{cm}^3$ (Çok duvarlı KNT) (Teorik sonuçlar)	$2.26 \text{ g}/\text{cm}^3$
Elastikiyet Modülü	$\sim 1 \text{ TPa}$ (Tek duvarlı KNT) $\sim 0.3\text{-}1 \text{ TPa}$ (Çok duvarlı KNT)	1 TPa (Düz durumda)
Direnç	$50\text{-}500 \text{ GPa}$ (Tek duvarlı KNT) $10\text{-}60 \text{ GPa}$ (Çok duvarlı KNT)	
Öz direnç	$5\text{-}50 \mu\Omega \text{ cm}$	$50 \mu\Omega \text{ cm}$ (Düz durumda)
Isıl İletkenlik	$3000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (Teorik sonuçlar)	$3000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (Düz durumda) $6 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (c- eksen)
Manyetik duyarlılık	$22 \times 10^6 \text{ EMU/g}$ (Düzlem ile dik konumda), $0.5 \times 10^6 \text{ EMU/g}$ (Düzlem ile paralel konumda)	
Isıl Genişleme	İhmal edilebilir (Deneysel sonuçlar)	$-1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (Düz durumda) $29 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (c- eksen)
Isıl Kararlılık	$>700^\circ\text{C}$ (Hava ortamında) 2800°C (Vakum ortamında)	$450\text{-}650^\circ\text{C}$ (Hava ortamında)
Spesifik Yüzey Alanı	$10\text{-}20 \text{ m}^2/\text{g}$	

2.5.1.4. Karbon Nanotüp Uygulama Alanları

Küçük çapları, yüksek narinlik oranı ve tersinirlik özellikleri nedeniyle, karbon nanotüpler algılama, ölçme ve görüntüleme alanlarında prob olarak büyük bir potansiyele sahiptir. 1996’da Dai ve diğ. (1996) taramalı prob mikroskopunda nanotüpleri nanoprob olarak kullanılmışlardır. Yapılan çalışmada geleneksel atomik güç mikroskopunun ucuna bireysel çok duvarlı karbon nanotüpler eklemişler ve yüzey topografyasında keskin yüzey çöküntülerine ilişkin görüntüler elde etmişlerdir. Buna rağmen, bu metot zaman israfı ve nanotüp seçimindeki sınırlamalar nedeniyle geri planda kalmıştır.

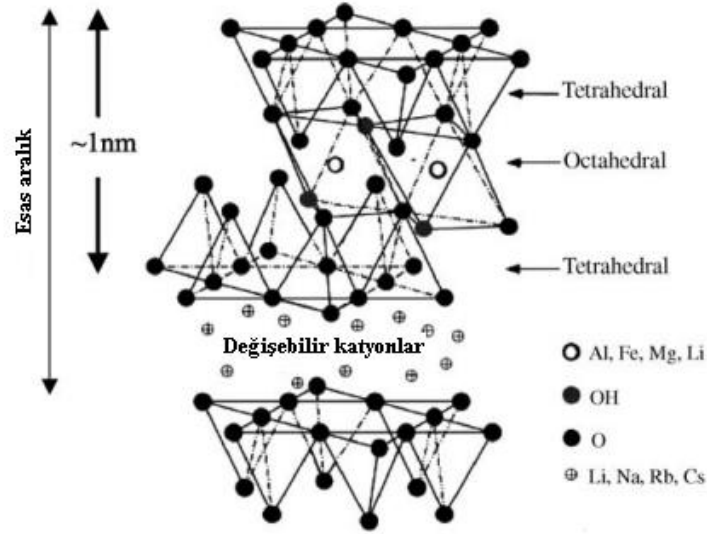
Karbon nanotüplerin olağanüstü potansiyel uygulamaları arasında kimyasal, fiziksel ve biyosensörler gösterilebilir. Araştırmacılar metalik tek duvarlı karbon nanotüplerin He, Ar, Ne, Kr, Xe ve N₂ içeren küçük moleküllere veya inert gaz atomlarıyla oluşan elektronik taşıma sonucu oluşan çarpışmalara karşı hassas olduğu belirlenmiştir. Romero ve diğ. (2005) ve Burlon ve diğ. (2007) yaptıkları çalışmada karbon nanotüplerin iletkenliğinin akış hızına bağlı olarak değişiklik gösterdiğini belirlemişlerdir. Karbon nanotüp biyosensörler üzerindeki çalışmaların büyük kısmı DNA, enzimler, proteinler ve glikoz üzerine yoğunlaşmıştır (Cai ve diğ., 2007; Arvinte ve diğ., 2007; Gooding ve diğ., 2003; Luque ve diğ., 2006).

Kompozitlerin üretiminde karbon nanotüplerin uygulama alanı oldukça geniştir. Bu konuda geniş çapta araştırmalar yapılmıştır. Düşük yoğunluğu, yüksek narinlik oranı, elektriksel ve termal özellikleri ile kombine edilmiş mekanik özellikleri karbon nanotüpleri kompozit materyallerin üretiminde en önemli aday konumuna getirmektedir. Yapılan çalışmaların çoğunda matris elemanı olarak polimerler değerlendirilmiş olup bazı çalışmalarda matris elemanı olarak seramikler ve metaller kullanılmıştır (Chen, 2011).

2.5.2. Montmorillonit (MMT) Nanokil

2.5.2.1. Yapısı ve özellikleri

Montmorillonit nanokilin nominal bileşimi $\text{Na}_{1/3}(\text{Al}_{5/3}\text{Mg}_{1/3})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ 'dir. Nanosilikatlar farklı türlerde yapı, katyon ve yüzey yüklerine sahiptirler (Lusis ve diğ., 1973). Montmorillonit nanokil nanokompozit üretiminde sık kullanılan dolgu materyallerinden birisidir (Zanetti ve diğ., 2000; Pinnavaia ve Beall, 2000). Montmorillonit nanokilin kristal yapısı Şekil 2.4 (Ray ve Okamoto, 2003)'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Montmorillonit nanokilin basit yapısı

Tek bir alüminyum hidroksit oktohedral tabaka iki silikon oksit tetrahedral tabaka arasında sıkıştırılmıştır (Yalçın ve Çakmak, 2004). Her bir levhaların katman kalınlığı yaklaşık 1 nm ve yanal boyutu ortalama olarak 200 nm'dir. Bu kil levhaların bireysel tabakaları birbirlerine Van der Waals kuvvetleriyle birbirine bağlanmaktadır. Tabakalar arasındaki boşluk ortalama olarak 1 nm civarındadır (Zanetti ve diğ., 2000). Montmorillonit nanokillerin boşlukları hidratlaştırılmış Na^+ ve K^+ katyonları ile doldurulmuştur (Ray ve Okamoto, 2003).

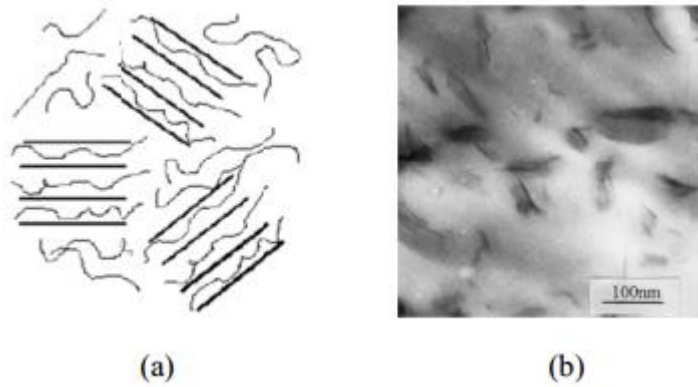
Montmorillonit nanokillerin fiziksel boyutları nedeniyle, dolgu maddesi olarak kendine has özellikleri bulunmaktadır. Bunlardan birincisi yüksek narinlik oranı dolayısıyla sağladığı geniş yüzey alanı olarak belirtilmektedir. Polimer- kil etkileşimi için muazzam yüzey alanı gerilimlerin polimer zincirlerinden dolgu partiküllerine doğru etkin transferine izin vermektedir (Shi ve diğ., 1996). İkincisi ise yüksek narinlik oranına sahip partiküller materyalin kıvrımlılık özelliğini arttırmak suretiyle bariyer özelliklerini geliştirmektedir (Messersmith ve Giannelis, 1995).

2.5.2.2. MMT Kil/Polimer Nanokompozit Morfolojisi

Polimer/nanokil nanokompozitlerinin özellikleri büyük oranda polimer matris içerisindeki silikat tabakalarının morfolojisi ile ilgilidir. Bu yüzden, her tip nanokompozit yapısını anlamak son derece önemlidir. 4 farklı tipte morfoloji

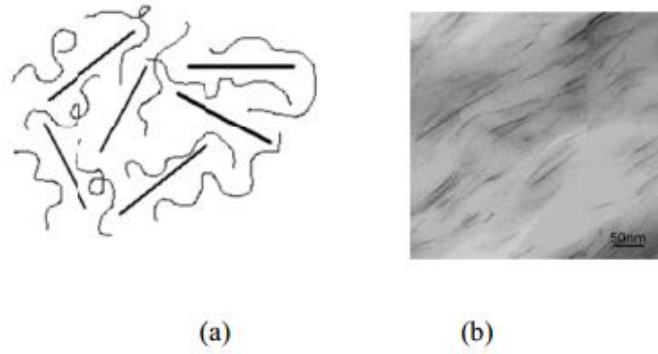
tanımlanmıştır. Bunlar; dağılmış yada dağıtılmış morfoloji (pul pul dökülmüş (exfoliated)), tabakalar arası yada aralanmış tabakalı morfoloji (intercalated), yumağımsı morfoloji (flocculated) ve aynı nanokompozit içerisinde hem dağılmış hem de aralanmış tabakalı şekilde bulunan bir karışım morfolojisidir (Chen, 2011).

Tabakalar arası ya da aralanmış tabakalı (İntercalated); tabakalar arası ya da aralanmış tabakalı kil morfolojisi katmanlı yapılarıdaki galeri boşlukları içerisinde dağılan polimer zincirleri olduğu durumlarda meydana gelmektedir. Polimer zincirlerinden biri veya birkaçı değişmez silikat katmanları arasına yerleşmiştir. Galerinin uzunlukları genellikle birkaç nanometre civarındadır. Adından da anlaşılacağı üzere, silikatların ikinci sınıfı polimer matris içerisinde tamamen dağılmış ve tabakaları halinde dizilmiş bulunmaktadır. Temel yapı (a) ve dağılmış silikat morfolojisine ait bir SEM görüntüsü (b) Şekil 2.5'te sırasıyla gösterilmiştir. Kompozit özellikleri genel olarak seramik materyallere benzemektedir (Chen, 2011).



Şekil 2.5: Intercalared silikat morfolojisine ait SEM görüntüsü

Dağılmış yada dağıtılmış morfoloji (Exfoliated); Dağılmış(eksfolie) nanokompozit yapı, polimer-kil ara yüzey etkileşimlerinin yüksek olduğu ve kil tabakalarının polimer fazı içinde, düzenli yığılma yapısının tamamen bozularak maksimum dağılım gösterdikleri durumdur. Bu dağılım uniform veya değişken düzendedir. Temel yapı (a) ve dağılmış silikat morfolojisine ait bir SEM görüntüsü (b) Şekil 2.6'da sırasıyla gösterilmiştir



Şekil 2.6: Exfoliated silikat morfolojisine ait SEM görüntüsü

Dağılmış morfoloji tabakalar arası ya da aralanmış tabakalı (intercalated) morfolojiye göre daha çok tercih edilmektedir. Çünkü dağılmış morfoloji nanokompozit özelliklerini olumlu yönde iyileştirmektedir. Dağılmış yapının avantajı bireysel silikat katmanlarının yüksek narinlik oranı sağlamasından ileri gelmektedir.(Chen, 2011) Ancak dağılmış yapıdaki polimer nanokompozitlerin eriyik şekillendirme süreçleri ile şekillendirilmesi üzerine yapılan çalışmalarda, bazı şekillendirme prosesleri ve şartlarının kil tabakalarının yönlenmesine yol açtığı ve bu yönlenmenin malzemenin mekanik özelliklerinde kayıplara sebep olduğu bildirilmiştir (Durmuş, 2006). Dağılmış-aralanmış karma nanokompozit yapı; yukarıda bahsedilen iki kil morfolojisine ek olarak kısmen daha az görülen bir yapıda yumaksı (flokülasyon) morforlojidir. Flokülasyon, silikat katman kenarlarının uç uca eklenmesiyle meydana gelmektedir. Kavramsal olarak, tabakalı (Intercalated) nanokompozitlere benzemektedir. Temel yapı (a) ve floküle silikat morfolojisine ait bir SEM görüntüsü (b) Şekil 2.7’de sırasıyla gösterilmiştir.

nitrür (HBN) grafit benzeri bir yapıdadır. Yumuşak ve kaygan özelliktedir (Lipp ve diğ., 1989; Engler ve diğ., 2007).

Birçok özellikleri bir arada bulundurması nedeniyle HBN kullanımı her geçen gün artmaktadır. Diğer malzemelere göre yoğunluğu çok düşüktür, yüksek termal kararlılığı, kimyasallara karşı dayanım (asitlere ve ergimiş metallere karşı korozyon direnci), ısıl şoklara karşı kararlı oluşunun yanı sıra kolay işlenebilirliği, yüksek elektrik yalıtkanlığı ve yüksek ısıl iletkenlik özelliği bulunmaktadır (Rudolph, 2002; Hagiwara ve diğ., 1986).

2.5.3.1. HBN'nin genel özellikleri

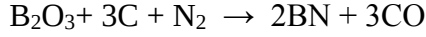
- h(BN) yapısal yönden grafitte, görünüm olarak alüminaya benzeyen, beyaz renkte, zehirsiz, geçirimsiz ve kaygan bir malzemedir.
- Çok yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. (inert atmosferde 3000°C'ye kadar, hava ortamında 1400°C'ye kadar).
- Isıl şok direnci oldukça yüksektir. 0-2000 °C arasındaki ısı şoklarına karşıdayanıklıdır.
- Birçok ergimiş metal veya cüruflar ve ergimiş camlar tarafından ıslatılma özelliği düşüktür.
- Mükemmel elektrik yalıtım özelliğine ve ısıl direncine sahiptir (Anon, 2003).

2.5.3.2. Hegzagonal Bor Nitrür Üretim Metotları

Bor nitrür endüstriyel alanda aşağıda açıklanan dört yolla üretilmektedir. Bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

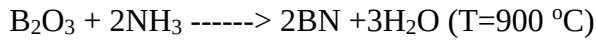
- a- Bor nitrür üretiminde kullanılan birinci metod; karbon, bor oksit ve azot gazının 1450-1650 °C arasında reaksiyona sokulmasıdır. Bu reaksiyon aşağıda görülmektedir. Literatürden edinilen bilgiye göre bu metod, dünyada bor nitrür üretiminde en yaygın olan prosesdir. Bu prosesinde önce B₂O₃ ve kömür tozlarıkarıştırılıp bir peletleme diskinde peletlenmektedir. Bu peletler elektrik ısıtmalibir fırına yüklendikten sonra azot gazı ortamında yaklaşık 2 saat süreyle 1450-1650 °C de ısıtılmaktadır. Böylece, aşağıda verilen reaksiyona göre bor

oksit, karbon tarafından redüklenmekte ve açığa çıkan B ise derhal azot ile reaksiyona girerek bor nitrür oluşturmaktadır.



Üretilen Bor nitrür yaklaşık olarak %92 BN içermektedir, İçinde emprüte olarak B_2O_3 ve kül vardır. Fırından alınan ürün, içindeki emprütelerin uzaklaştırılması için, 1/1 oranında karıştırılmış hidroklorik asit / su çözeltisinde liç edilmektedir. Liç çözeltisi disk filtreden geçirilmek suretiyle, bor nitrür filtrede tutulmaktadır. Buradan elde edilen bor nitrür refrakter ve seramik kalitelerde olmaktadır.

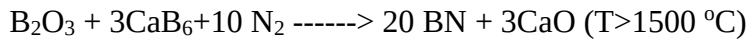
- b- Bor oksit'in Amonyak gazı ile inert bir dolgu malzemesinin (genellikle trikalsiyum fosfat) varlığında 900 °C' de nitrülenmesi ve reaksiyon sonrası saflaştırma ve kristalizasyon amacıyla ısıtma işlem uygulanması.



- c- Bor oksit veya boraks'ın, üre ve melamin gibi azot içeren organik bileşikler ile 1000 °C nin üzerinde nitrülenmesi.



- d) Kalsiyum Hekzaborür ve bor oksit'in, azot gazı ile 1500 °C nin üzerinde nitrülenmesi.



Yukarıdaki yollarla üretilen bor nitrür grafit gibi tabakalı bir yapıda , beyaz renkte, pudra halindedir (Anon, 2003).

2.5.3.3. Hegzagonal Bor Nitrür Kullanım Alanları

- Sıcak ve ergimiş metallerle temas eden yüzeylerde kaplama olarak kullanılır. Bor nitrür kaplama, korozyonu ve kimyasal olarak malzemenin reaksiyona girmesini önler. Bu nedenle kalıpların yüzeyinin kaplanmasında kullanılır.
- Aynı amaçlarla cam ve plastik endüstrisinde de kullanılır.
- Kompozit üretiminde bor nitrür kaplamalar kalıbın oksitlenmesini önler.

- Yüksek sıcaklıklarda yağlayıcı olarak kullanılır.
- Yüksek ısıl şok direncinin ve yüksek tokluğun istendiği uygulamalarda kullanılır (potalar ve refrakter astar uygulamaları dahil).
- Yüksek dielektrik dayanımı, düşük dielektrik sabiti ve yüksek ısıl iletkenliğine haiz olması sebebiyle, dielektrik malzeme olarak elektronik ve elektroteknik endüstrisinde kullanım alanına sahiptir.
- Bor nitrür, belli oranlarda silisyum nitrür ile karıştırılarak (60:40, 50:50 veya 40:60) nozül pota, termokupul kılıf ve cam kalıplarla ilgili refrakter malzeme olarak kullanılır.
- Diğer seramik malzemelerle birlikte kompozit yapımında kullanılır (Örneğin; $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{BN}$, AlN/BN , $3\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2.x\text{ZrO}_2/\text{BN}$).
- Kozmetik endüstrisinde kullanılır.
- Seramik ve cam endüstrisinde kullanılır (Anon, 2003).

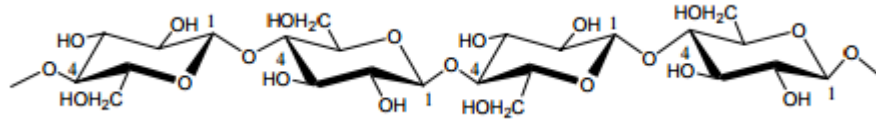
2.5.4. Ahşap

Kompleks bir materyal olan odun hammaddesi hücrelerden oluşmakta, hücrelerin özellikleri ve yapısı, çeşitli polimerlerden meydana gelen hücre çeperinin kimyasal bileşiminden etkilenmektedir. Polimerler, tekrarlayan küçük yapısal birimlerin kombinasyonuyla oluşmuş büyük moleküller olarak tanımlanmaktadır. Bitkiler tarafından hücre çeperi ve diğer yapısal elemanların oluşumunda kullanılırlar. Bu kimyasal maddeler ahşabın fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri üzerinde de etkilidir. Ayrıca, ekstraktif maddeler adı altında toplanan birçok organik ve inorganik maddeler hem çeper üzerine, hem de hücre lümenine yerleşmektedir. İnorganik maddeler odunun yanması ile meydana gelen kül içerisinde az miktarda görülürler. Hücre çeperinin kimyasal bileşimini meydana getiren maddeleri primer ve sekonder maddeler olmak üzere iki kısımda toplamak mümkündür. Primer maddeler, holoselülozlar ve ligninden oluşur. Holoselülozlar çeperde %60-85 oranları arasında bulunan polisakkaritlerdir. Bunlar uzun zincir yapısındaki polimerler olup, selüloz (%40-50) ve selülozik olayan polisakkaritlerden (hemiselüloz) meydana gelir. Bir polisakkarit olmayan lignin oranı ise %15-25 arasında değişmektedir. Sekonder maddeler ise tanen, uçucu yağlar, yağlar, sakız, reçine, lateks, alkaloidler ve boyar ve

renkli maddeler, nişasta, polifenoller vb. İçeren kompleks organik bileşikler ile %1'den az miktarda bulunan inorganik maddelerdir (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Primer maddeler hücre çeperinin fiziksel ve kimyasal yapısını oluşturmada ve çeperin hacminin artmasında etkilidir. Bu maddeler içersinde en önemlisi, ahşabın fiziksel özellikleri üzerinde etkili olan selülozdur. Hemiselülozlar ve lignin de ahşabın hacmi ve karakteristikleri üzerinde önemli etkilere sahiptir (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Selüloz, hücre çeper hacmi içersinde en fazla miktarda bulunan ve ahşabın karakteristikleri üzerinde etkili olan en önemli bileşiktir. Çeperdeki maddelerin yaklaşık yarısı oranındadır. Hem iğne yapraklı hem de yapraklı ağaçlarda ahşabın kuru ağırlığına oranla hücre çeperinde 42 ± 2 oranında selüloz bulunmaktadır. Selüloz linear bir yapıda olup, anhidrit glukozlardan oluşur. Her anhidrit glukoz birimi uzun bir zincir polimer oluşturmak üzere 180° dönerek, diğer bir anhidrit glukoz ile bağlanarak selüloz $(C_6H_{10}O_5)_n$ meydana gelir (Şekil 2.8) (Sjostrom, 1993).



Şekil 2.8: Selülozun kimyasal formülü (Sjostrom, 1993)

Selüloz üzerindeki hidroksil gruplarına hidrojen köprüleri yardımıyla su bağlanabilir. Böylece su, bitişik zincirler arasına girerek onları birbirinden ayırır. Bu durumda hücre çeperinde daralma veya genişlemeler meydana gelir. Ahşap hücre çeperindeki selüloz moleküllerinin karakteristik yapısının bir sonucu olarak, moleküler üzerinde kristal ve amorf zonlar oluşur. Kristalin bölgede: (1) Selüloz zincir molekülü, düzgün şerit şeklinde bir yapıdadır. (2) Karbon- karbon bağı zincire sertlik verir ve birbirini tutma özelliği kazandırır. (3) Çok sayıdaki hidroksil grupları, molekül boyunca diğer selüloz zincirlerine yan bağlarla bağlanmayı sağlar. Selüloz zincir molekülleri hücre çeperini oluştururken yaklaşık 37-42 tanesi birbirine paralel şeritler halinde bir araya toplanırla, bunlara fibril adı verilmektedir. Çok sayıda fibrilin birleşmesine ise, mikrofibril denilmektedir. Ahşapta çekme direncini sağlayan selüloz mikrofibrillerinin amorf

zonlarında bulunan çok sayıdaki hidroksil grupları ise, selülozun higroskopik bir özellik kazanmasına ve su absorbe etmesine neden olmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Hemisüloz selüloza benzer yapıda olmakla beraber oldukça değişik moleküler farklılıklar göstermektedir. Hemiselüloz genellikle 200 den az sayıda anhidrit glukoz ihtiva eden ve molekül ağırlığı daha düşük bir polisakkarittir. Hemiselülozları ligninleşmemiş materyalden su veya sulandırılmış bazlar yardımıyla ayırmak mümkündür (Bozkurt ve Göker, 1996). Hemiselülozlar, yapraklı ağaçlarda ksilanlar, iğne yapraklı ağaçlarda galaktaglukomannanlar olarak iki değişik yapıdadır. Hemiselülozlar yapraklı ağaçlarda %15-35, iğne yapraklı ağaçlarda %30-32 oranında bulunmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Ligninler ise üç boyutlu fenilpropan ünitelerinden oluşmuş, yüksek molekül ağırlığında, kompleks organik polimerler olup, termoplastik özelliktedir. Karbon, hidrojen ve oksijenden oluşmalarına rağmen, bir karbonhidrat ya da bu sınıfa giren bir bileşik değildir. Esas itibariyle fenolik yapıda bir madde olan lignin, oldukça stabil olduğundan, güç izole edilmektedir. Ahşap dokusunu oluşturan hücrelerin arasında ve çeperinde bulunurlar. Hücre çeperinde ise, hücreye sertlik verme, basınç direncini artırma ve hidrofobik özellik kazandırma konularında etkin rol oynamaktadır. Lignin, basıncı stabilize eden, rutubet karşısında şişmeyi ve boyutsal değişmeyi azaltan bir maddedir. Ahşap içerisindeki lignin oranı ağaç türüne göre değişmekle beraber, yaklaşık olarak %25 kadardır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Ekstraktif maddeler, hem hücre çeperinde hem de lümeninde bulunan ve organik çözücülerde çözünen bileşiklerdir. Genellikle ağaçlarda patojen saldırıları önlemek ya da yavaşlatmak için biyosentez edildikleri düşünülmektedir. Ekstraktif maddeler, sekonder metabolitler olarak sınıflandırılırlar. Ağacın fizyolojik işlemlerinde esas rolü üstlenmediklerinden, ikincil elemanlar olarak düşünülmektedir. Yani, hücre çeper yapısını oluşturan esas kimyasal maddelerle ilgileri yoktur (Bozkurt ve Erdin, 2000).

2.5.4.1. Sarıçamın (*Pinus sylvestris*) Özellikleri

Sarıçam, Gymnospermilerin sınıfının, *Pinacea* familyasının *Pinus* cinsinin bir türüdür (Davis, 1965). Mevcut çam türleri içerisinde en geniş coğrafi yayılımı olan sarıçam, Avrupa ve Asya'da takriben 3700 km eninde ve 14700 km uzunluğunda (37°-70° N ve

7°-137° E) çok geniş bir doğal yayılış alanına sahiptir. Kuzey sınırı, İskoçya, Norveç, İsveç ve Finlandiya'nın kuzeyinde 70 inci enlem derecesine kadar olan yerlerde, Sibirya steplerinde Sibirya Melezi ile birlikte iğne yapraklıların orman sınırını teşkil eder. Güney sınırı ise İspanya'da Pirene Dağları'nın yüksek kesimlerinde, Alppler'de, Karpatlar'da, serpilmiş durumda Yugoslavya ve Bulgaristan'da, Anadolu'da, Kırım ve Kafkaslar'da bulunmaktadır (Alemdağ, 1967; Anon, 1994). Sarıçamın dünyada en güney yayılışı Kayseri-Pınarbaşı mıntıkasında 38°34' kuzey enlemidir (Demirci, 2006; Pehlivan, 2010).

Yetişme muhitine göre 20-40 m. 'ye kadar boylanan narin gövdeli, sivri tepeli ve ince dallı, veya dolgun gövdeli, yayvan tepeli ve kalın dallı bir ağaçtır. Genç gövdelerde, yaşlı ağaçların yukarı kısımlarında ve kalın dallarda tilki sarısı rengindeki kabuk gayet ince levhalar halince ayrılır. Yaşlı gövdelerde ise gri-kahverengi, kalın ve çatlaklıdır (Kayacık, 1965).

Sarıçam iyi kaliteli gövdeler oluşturmaları ve kolay işlenebilir odunun oldukça geniş bir kullanım alanı olması açısından ekonomik olarak ülkemiz için oldukça önemli bir ağaç türüdür. Mantarlara karşı dayanma bakımından diğer ağaç türlerine göre üstünlük gösteren sarıçam odununu, eğilme ve basınç dirençlerinin oldukça yüksek, haber verme özelliğinin iyi ve geniş bir özodununa sahip olması nedenleriyle; elektrik, telefon ve maden direği, çit ve iskele kazığı yapımında kullanılmaktadır (Bozkurt, 1971; Anon, 1994).

Tablo 2.2: Sarıçam Odunun Bazı Özellikleri (Anon, 1994; Dündar, 2005).

Fiziksel Özellikler	Değer	Birim
Hava Kuru Yoğunluk	0.502	g/cm ³
Tam Kuru Yoğunluk	0.469	g/cm ³
Radyal daralma oranı	4.9	%
Teğet daralma oranı	8.3	%
Hacmen daralma oranı	13.4	%
Mekanik Özellikler	Değer	Birim
Liflere paralel basınç direnci	50.69	N/mm ²
Liflere dik çekme direnci	2.12	N/mm ²
Statik eğilme direnci	86.67	N/mm ²
Eğilmede elastikiyet modülü	8900.9	N/mm ²
Dinamik eğilme direnci	4.64	N/mm ²
Kimyasal Özellikler	Değer	Birim
Selüloz	41.9	%
Heksozan	12.8	%
Pentozan	8.7	%
Lignin	29.5	%
Kül	1.3	%

2.5.5. Plastik

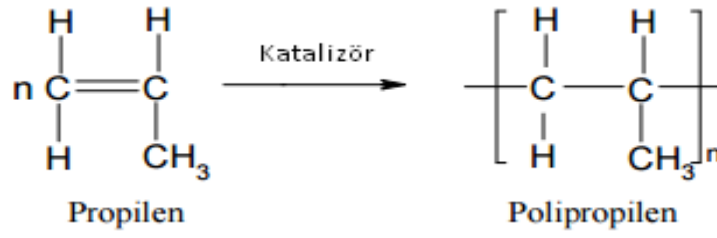
Plastikler, normal sıcaklıkta genellikle katı halde bulunan, basınç ve ısı kullanılarak çeşitli yöntemlerle şekillendirilebilen veya kalıplanabilen maddelerdir. Polimerizasyon, polimer zincirini oluşturan benzer moleküllerin bağlanması anlamına gelmektedir. Bir polimerizasyon ürünü olan plastiklerin ana kaynağı doğal gaz, petrol ve kömürden oluşmaktadır (Anon, 2001).

2.5.5.1. Bazı Plastik Tipleri ve Özellikleri

Plastikler, karbonun hidrojen, oksijen, azot ve diğer organik ve inorganik elementlerle oluşturduğu monomerler olarak adlandırılmaktadır. En küçük ve basit molekülü gruplardaki çift bağın, koparılarak polimerler diye adlandırılan uzun zincirli yapıya dönüştürülmesi ile elde edilmektedir. Plastikler termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Fried, 1995).

Polipropilen

Polipropilen, yüksek saflıktaki propilen gazının basınç altında katalizörler yardımıyla polimerizasyonu sonucu elde edilir. Polipropilenin genel polimerleşme tepkimesi Şekil 2.9'da gösterilmektedir (Anon, 2009).



Şekil 2.9: Propilen polimerizasyonu (Mead ve Baker, 2006)

Polipropilenin yoğunluğu 0.90- 0.92 g/cm³ arasında değişen kristal yapıdaki bir polimerdir. Erime sıcaklığı 160-170°C, bozunma sıcaklığı ise 380-410°C arasında değişmektedir. Polipropilenin homo polimerleri, enjeksiyon, şişirme ve kalıplamaya elverişlidir. Bunlar plastik koli bandı, film kutusu, elektrik süpürgesi parçaları, oyuncak, mutfak eşyaları, elektrik anahtarı ve prizleri, televizyon kasası, araba parçaları (tampon, ön panel vb.), tüfek ve tabanca kabzası, steril enjektör, şişe kapağı gibi malzemelerin üretiminde kullanılmaktadırlar. Polipropilen kopolimeri ise meşrubat, meyve, ekmek, sebze ve balık kasası, gaz ve benzin bidonları, otomobil farı ve tamponu, su boruları, banyo küveti, kova, leğen, çamaşır makinesi kazanı, plastik dişli, akü kutuları, televizyon kasası, buz dolabı aksamı, vakumlu ve oluklu levha, boru ve profil üretiminde kullanılırlar (Anon, 2009).

Polipropilen kimyasal direnci iyi olup, asitlerin, bazların ve tuzların sulu çözeltilerinden etkilenmemektedir. Alkol ve deterjanlara karşı da dayanıklıdır. Yüksek sıcaklıklarda yağlarda, aromatik hidrokarbonlarda, halojenli hidrokarbonlarda şişme yapar. Isı, ışık ve yükseltgenlerden polietilene göre daha fazla etkilenir. Bu yüzden polipropilen üretim aşamasında antioksidanlar ve ultraviyole ışık absorblayıcılarla stabilize edilmektedir. (Anon, 2009).

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu kısım iki ana başlık altında değerlendirilmiş olup ilk kısımda kullanılan lignoselülozik madde, plastik, yağlayıcılar, uyumsuzluk giderici ajan ve güçlendirici dolgu materyalleri tanıtılmıştır. İkinci kısımda ise ahşap plastik nanokompozitlerin üretimi ve özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler ile yapılan analizler hakkında bilgi verilmiştir.

3.1. MALZEME

3.1.1. Ahşap Unu

Lignoselülozik dolgu maddesi olarak sarıçam ahşap unu kullanılmıştır. Lignoselülozik dolgu maddesi olarak kullanılan sarıçam ahşap unu Tekirdağ ilinde faaliyet gösteren ahşap plastik kompozit deck üretimi yapan bir işletmeden hibe yoluyla temin edilmiştir. Bu çalışmada 40 mesh sarıçam ahşap unu kullanılmıştır.

3.1.2. Plastik

Tez kapsamında matris polimer olarak polipropilen (PP) (Borealis Company, Avusturya) homopolimer kullanılmıştır. Polipropilene ilişkin bazı detaylar Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Kullanılan polimerin bazı fiziksel ve proses özellikleri

Özellikler	Değer
Görünüş	Beyaz pellet
Yoğunluk	910 (kg/m ³)
Erime akış hızı (230°C/ 2.16 kg)	25 kg/10 dk
Çekme modülü	1750 MPa
Isıl erime sıcaklığı (0.45 N/mm ²)	115 °C
Darbe direnci (Çentikli)	3.5 kJ/m ²
Sertlik, Rockwell (R-scale)	98
Erime sıcaklığı	220-206 °C

3.1.3. Yağlayıcılar

Ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama işlemleri esnasında üretimi kolaylaştırmak amacıyla iç kaydırıcı olarak kalsiyum stearat ve dış kaydırıcı olarak çinko stearat kullanılmıştır. Bu malzemelere ilişkin bilgiler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2: Kalsiyum stearat ve çinko stearat kimyasallarının özellikleri

Özellikler	Kalsiyum Stearat	Çinko Stearat
Görünüş	Beyaz Toz	Beyaz Toz
Ergime Noktası	155 °C	120 °C
Kalsiyum oranı	%7± 0.5	%11
Serbest yağ asidi	< 0.5	< 0.5
Kül miktarı	%10±0.5	%13.5
Yoğunluk	1.01 g/cm ³	1.09 g/cm ³

3.1.4. Uyum Sağlayıcı Ajan

Polipropilen ile çam ahşap unu arasındaki uyumsuzluğun giderilebilmesi ve bağlanmanın artırılabilmesi amacıyla Maleik Anhidrit Polipropilen (MAPP) (Optim-425/ Pluss Polymers Pvt. Ltd) kullanılmıştır. Uyum sağlayıcı ajana ilişkin veriler Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3: Maleik anhidrit polipropilen özellikleri

Özellikler	Maleik Anhidrit Polipropilen (MAPP)
Görünüş	Beyaz şeffaf pellet
Erime Akış Hızı (190°C/ 2.16 kg)	120 g/ 10 dk
Yoğunluk	0.91 g/cm ³

3.1.5. Güçlendirici Dolgu Materyalleri

Güçlendirici dolgu materyali olarak endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp, endüstriyel nano kil ve hegzagonal bor nitrür (Grafen Company, Ankara) kullanılmıştır. Güçlendirici dolgu materyallerine ilişkin fiziksel ve teknik özellikler sırasıyla Tablo 3.4, 3.5 ve 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.4: Endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp bazı fiziksel ve teknik özellikleri

Özellik	Endüstriyel Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
Görünüş	Siyah toz
Ortalama çap	10- 30 nm
Uzunluk	10- 30 μm
Saflık	> 90%
Yüzey alanı	> 200 m^2/g

Tablo 3.5: Endüstriyel Nano Kil bazı fiziksel ve teknik özellikleri

Özellik	Endüstriyel Nano kil
Görünüş	Sarı toz
Kristalite	%52.8
Ortalama çap	< 5 μm
Spesifik mesopor hacmi	0.14 cm^3/g
Spesifik yüzey alanı	43.6 m^2/g
Yüzey modifikasyonu	Dimetil dodesil amonyum

Tablo 3.6: Hegzagonal Bor Nitrür bazı fiziksel ve teknik özellikleri

Özellik	Hegzagonal Bor Nitrür
Görünüş	Beyaz toz
Ortalama partikül büyüklüğü	200 nm
Yoğunluk	2.29 g/cm^3
Saflık	% 99.8

3.2. YÖNTEM

Tez kapsamında kullanılan hammaddelerden plastik granül, ahşap unu, güçlendirici dolgu materyalleri, uyumsuzluk giderici ajan ve yağlayıcılar üreticiden satın alındığı haliyle kullanılmışlardır. Ahşap plastik nanokompozit üretimi aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

3.2.1. Ahşap Dolgu Maddesinin Hazırlanması

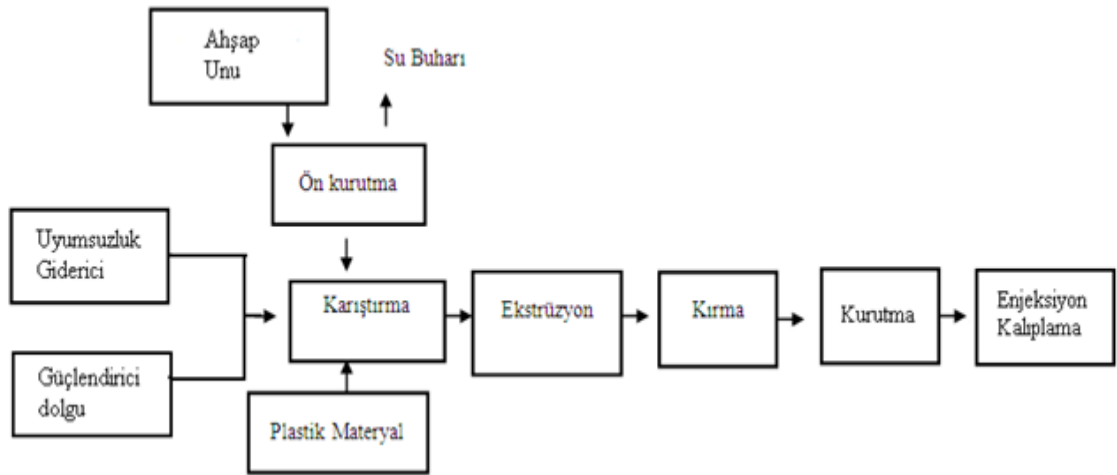
Lignoselülozik dolgu maddesi olarak kullanılacak olan sarıçam ahşap unu üreticiden satın alınma yoluyla temin edilmiştir. Hazır olarak temin edilen ahşap unu ekstrüzyon işlemi öncesi ahşap unu 24 saatlik kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Bu amaçla sıcaklık değerleri 103 ± 2 °C olacak şekilde ayarlanmış etüv kullanılmıştır. Ahşap plastik nanokompozitlerin üretiminde ahşap ununun kurutulmasının önemli bir yeri vardır. Lignoselülozik dolgu maddesi bünyesindeki rutubet ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama

prosesleri esnasında kabarcıkların oluşmasına ve dolayısıyla performans kaybına sebep olmaktadır.

3.2.2. Ahşap Plastik Nanokompozitlerinin Üretilmesi

Ahşap plastik nanokompozitlerin üretimi; pellet üretilmesi ve nanokompozit üretimi olmak üzere iki safhada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada pellet üretimi gerçekleştirilirken ikinci aşamada enjeksiyon kalıplama yöntemiyle numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir.

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür katılarak üretilen ahşap plastik nanokompozit peletlerin üretimi iş akışı Şekil 3.1’de verilen şemaya göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1: Ahşap plastik nanokompozit üretim iş akış şeması

Ahşap plastik nanokompozit üretimi aşağıdaki şekilde özetlenebilir; üretim öncesinde ahşap unu kurutma işlemine tabi tutularak rutubet %1’in altına indirilmiştir. Bir sonraki aşamada kurutma işlemine tabi tutulmuş ahşap unu üretim reçetesine göre plastik granül, güçlendirici nano dolgu materyali ve diğer katkı maddeleri ile birlikte ön karışım yapılarak Şekil 3.2’de gösterilen ekstruder içerisinde eritilmiş ve çift vidalı ekstruder içerisindeki vida ile çıkışa (die) doğru itilmiştir.



Şekil 3.2: Çift vidalı ekstruder

Ekstruderun ucunda bulunan kalıptan (Die) çıkan eriyik malzeme soğuk su ile soğutulduktan sonra kuruma işlemine bırakılmıştır. 80°C’de 3 saat boyunca kurutulan ince çubuk şeklindeki kompozit numuneler Şekil 3.3’de gösterilen plastik kırıcı yardımıyla küçük granüller (pelet) haline getirilmiştir.



Şekil 3.3: Plastik kırma makinesi

Granüller daha sonra enjeksiyon kalıplama prosesi öncesi %1-2 rutubet derecesine ulaşmaya kadar kurutma fırınında kurutulmuştur. Bu şekilde enjeksiyon kalıplama prosesindeki rutubet kaynaklı problemler ortadan kaldırılmış olmaktadır. Kurutulan

granüller enjeksiyon kalıplama yöntemiyle test numunesi haline getirilmiştir. Enjeksiyon kalıplama işlemi Şekil 3.4’de gösterilen TSP TSPX 60 model enjeksiyon makinesinde gerçekleştirilmiştir. Bu üretim esnasında 40 rpm vida hızı, 185-200 °C sıcaklık kullanılmıştır. Enjeksiyon basıncı 5-6 MPa enjeksiyon hızı 80 mm/sn ve soğuma hızı 30 sn olarak ayarlanmıştır.



Şekil 3.4: Enjeksiyon kalıplama makinesi

Bu çalışmada kullanılan enjeksiyon kalıplama makinesi ile granüller homojen bir şekilde eritilip karıştırıldığından uniform yapıda deney numuneleri elde edilmiştir.

Ahşap plastik nanokompozitlerin üretiminde her bir güçlendirici nano materyal için bir üretim reçetesi hazırlanmıştır. Ahşap plastik nanokompozitlerin üretim dizaynı Tablo 3.7, 3.8, ve 3.9’da verilmiştir

Tablo 3.7: Endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit üretim dizayn*

Kompozit grup no	Ahşap unu (%)	Plastik (PP) (%)	Nano materyal	Nano materyal oranı (%)	Uyum sağlayıcı oranı (%)	Çinko stearat (%)	Kalsiyum stearat (%)
1	30	70	Kontrol	0	0	1	1
2	30	70	Kontrol	0	3	1	1
3	30	70	Karbon nanotüp	1.5	0	1	1
4	30	70	Karbon nanotüp	3	0	1	1
5	30	70	Karbon nanotüp	4.5	0	1	1
6	30	70	Karbon nanotüp	1.5	3	1	1
7	30	70	Karbon nanotüp	3	3	1	1
8	30	70	Karbon nanotüp	4.5	3	1	1
9	40	60	Kontrol	0	0	1	1
10	40	60	Kontrol	0	3	1	1
11	40	60	Karbon nanotüp	1.5	0	1	1
12	40	60	Karbon nanotüp	3	0	1	1
13	40	60	Karbon nanotüp	4.5	0	1	1
14	40	60	Karbon nanotüp	1.5	3	1	1
15	40	60	Karbon nanotüp	3	3	1	1
16	40	60	Karbon nanotüp	4.5	3	1	1
17	50	50	Kontrol	0	0	1	1
18	50	50	Kontrol	0	3	1	1
19	50	50	Karbon nanotüp	1.5	0	1	1
20	50	50	Karbon nanotüp	3	0	1	1
21	50	50	Karbon nanotüp	4.5	0	1	1
22	50	50	Karbon nanotüp	1.5	3	1	1
23	50	50	Karbon nanotüp	3	3	1	1
24	50	50	Karbon nanotüp	4.5	3	1	1

* Hesaplamalar ağırlıkça yapılmıştır.

Tablo 3.8: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit üretim dizaynı*

Kompozit grup no	Ahşap unu (%)	Plastik (PP) (%)	Nano materyal	Nano materyal oranı (%)	Uyum sağlayıcı oranı (%)	Çinko stearat (%)	Kalsiyum stearat (%)
1	30	70	Kontrol	0	0	1	1
2	30	70	Kontrol	0	3	1	1
3	30	70	Hegzagonal Bor nitrür	1.5	0	1	1
4	30	70	Hegzagonal Bor nitrür	3	0	1	1
5	30	70	Hegzagonal Bor nitrür	4.5	0	1	1
6	30	70	Hegzagonal Bor nitrür	1.5	3	1	1
7	30	70	Hegzagonal Bor nitrür	3	3	1	1
8	30	70	Hegzagonal Bor nitrür	4.5	3	1	1
9	40	60	Kontrol	0	0	1	1
10	40	60	Kontrol	0	3	1	1
11	40	60	Hegzagonal Bor nitrür	1.5	0	1	1
12	40	60	Hegzagonal Bor nitrür	3	0	1	1
13	40	60	Hegzagonal Bor nitrür	4.5	0	1	1
14	40	60	Hegzagonal Bor nitrür	1.5	3	1	1
15	40	60	Hegzagonal Bor nitrür	3	3	1	1
16	40	60	Hegzagonal Bor nitrür	4.5	3	1	1
17	50	50	Kontrol	0	0	1	1
18	50	50	Kontrol	0	3	1	1
19	50	50	Hegzagonal Bor nitrür	1.5	0	1	1
20	50	50	Hegzagonal Bor nitrür	3	0	1	1
21	50	50	Hegzagonal Bor nitrür	4.5	0	1	1
22	50	50	Hegzagonal Bor nitrür	1.5	3	1	1
23	50	50	Hegzagonal Bor nitrür	3	3	1	1
24	50	50	Hegzagonal Bor nitrür	4.5	3	1	1

* Hesaplamalar ağırlıkça yapılmıştır.

Tablo 3.9: Nano kil ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit üretim dizaynı*

Kompozit grup no	Ahşap unu (%)	Plastik (PP) (%)	Nano materyal	Nano materyal oranı (%)	Uyum sağlayıcı oranı (%)	Çinko stearat (%)	Kalsiyum stearat (%)
1	30	70	Kontrol	0	0	1	1
2	30	70	Kontrol	0	3	1	1
3	30	70	Nanokil	1.5	0	1	1
4	30	70	Nanokil	3	0	1	1
5	30	70	Nanokil	4.5	0	1	1
6	30	70	Nanokil	1.5	3	1	1
7	30	70	Nanokil	3	3	1	1
8	30	70	Nanokil	4.5	3	1	1
9	40	60	Kontrol	0	0	1	1
10	40	60	Kontrol	0	3	1	1
11	40	60	Nanokil	1.5	0	1	1
12	40	60	Nanokil	3	0	1	1
13	40	60	Nanokil	4.5	0	1	1
14	40	60	Nanokil	1.5	3	1	1
15	40	60	Nanokil	3	3	1	1
16	40	60	Nanokil	4.5	3	1	1
17	50	50	Kontrol	0	0	1	1
18	50	50	Kontrol	0	3	1	1
19	50	50	Nanokil	1.5	0	1	1
20	50	50	Nanokil	3	0	1	1
21	50	50	Nanokil	4.5	0	1	1
22	50	50	Nanokil	1.5	3	1	1
23	50	50	Nanokil	3	3	1	1
24	50	50	Nanokil	4.5	3	1	1

* Hesaplamalar ağırlıkça yapılmıştır.

3.2.3. Ahşap-Plastik Nanokompozitlerin Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Testler

Tez kapsamında üretilen Ahşap plastik nanokompozitlerin fiziksel özelliklerinden yoğunluk, su alma ve kalınlığına şişme oranları, mekanik özelliklerinden eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü ve çentikli şok direnci testleri ve DMA (Dynamic mechanical analysis) analizleri, termal özelliklerden ise TGA (thermogravimetric analysis) yapılarak ahşap plastik nanokompozitlerin performansı değerlendirilmiştir.

3.2.4. Yoğunluk

Yoğunluk denemeleri ASTM D 570- 98'e göre 50 mm x 50 mm x 4 mm boyutlarındaki kare örneklerle uygulanmıştır. ASTM D 618'de belirtilen esaslara göre 23 ±2 °C ve % 50 ±5 bağıl nemde denge rutubetine ulaşınca kadar kondisyonlanmıştır. Yapılan tartılarda, birbirini izleyen iki ölçüm arasındaki ağırlık farkının, deney parçası ağırlığının %0.1'inden fazla olmaması durumuna gelindiğinde bu ağırlık değişmez

kabul edilmiştir. Ağırlıklar hassas terazide (± 0.01 g), boyutları ise dijital kumpas (± 0.01 mm) ve mikrometre (± 0.001 mm) ile ölçülmüştür. Buna göre yoğunluk değerleri ASTM 570-98 belirtilen esaslara göre; formül (1) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$d = m/v \quad (1)$$

Burada;

d: Yoğunluk (g/cm^3)

m: Örnek ağırlığı (g)

v: Örnek hacmi (cm^3)

formülü yardımıyla tespit edilmiştir.

3.2.5. Su alma ve Kalınlığına Şişme Testleri

Su alma ve kalınlığına şişme testleri ISO 62'ye göre yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda 5x5 mm boyutundaki numuneler kullanılmıştır. 23 ± 2 °C ve $\%50 \pm 5$ kondisyonlanan örnekler 1 gün, 7 gün, 14 gün ve 28 gün suda bekletilmek suretiyle ölçümler yapılmıştır. Her ölçüm periyodunun sonunda numunelerin kalınlıkları 0.001 mm hassasiyete sahip dijital mikrometre ile ağırlıkları ise 0.01 gr hassasiyete sahip analitik terazilerde sudan çıkarmaya müteakip hızlıca belirlenmiştir. Her test için toplam 10'ar numune üzerinden çalışılmıştır. Su alma (SA) ve kalınlığına şişme (KŞ) testleri aşağıdaki formül (sırasıyla 2 ve 3) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$SA = \frac{W(t) - W_o}{W_o} \times 100 \quad (2)$$

Burada;

SA: Su alma oranı (%)

W(t): Suda bekledikten sonraki ağırlığı (gr)

W_o: İlk ağırlık (gr)

$$KŞ = \frac{T(t) - T_o}{T_o} \times 100 \quad (3)$$

Burada;

KŞ: Kalınlığına şişme oranı (%)

T(t): Suda bekledikten sonraki kalınlığı (mm)

T_o: İlk kalınlık (mm)

3.2.6. Mekanik Özellikleri Belirleme Testleri

Bu çalışmada üretilen ahşap plastik nanokompozitlerin mekanik özellikleri “Malzemelerin Test Edilmesi için kullanılan Uluslararası Standardizasyon Örgütünün Standartları (ISO)’na uygun olarak yapılmıştır. Nanokompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan testler ve kullanılan standartlar aşağıdaki gibidir;

Eğilme direnci testi (ISO 178),

Çekme direnci testi (ISO 527),

Darbe direnci testi (ISO 180).

Eğilme direnci ve çekme direnci testleri Şekil 3.5’te gösterilen 10 KN’ lik Lloyd LS 100 Universal Test Makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin belirlenmesi için 10 örnek test edilmiştir. Deney numunelerinin boyutları 0,01 mm duyarlıkta ölçülerek belirlenmiştir. Deney parçasının yerleştirildiği silindirik mesnetlerin merkezleri arasındaki uzaklık 80 mm olarak ayarlanmıştır. Yük deney parçasının yüzeyine değişmez bir hızla yeknesak olarak yüklenmiş ve deney hızı 2 mm/dak olacak şekilde ayarlanmıştır. Kırılma anındaki kuvvet (P_{max}) okunup eğilme direnci (ED) aşağıdaki eşitliğe (4) göre hesaplanmıştır.

$$ED = \frac{3.P_{max}.L}{2.b.h^2} \quad (4)$$

Burada,

ED: Eğilme direnci (N/mm²)

Pmax: Kırılma anında uygulanan maksimum yük (N)

L: Silindirik mesnetlerin merkezleri arasındaki uzaklık (mm)

b: Deney parçasının eni (mm)

h: Deney parçasının kalınlığı (mm)

Elastikiyet modülünün belirlenmesinde eğilme direnci numuneleri kullanılmıştır. Elastik deformasyon bölgesinde uygulanan kuvvet farkı (ΔF) ve örnekteki sehimlere ait sonuçların aritmetik ortalamaları arasındaki fark (Δf) kullanılarak, elastikiyet modülü (EM), aşağıdaki eşitlikten (5) yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$EM = \frac{\Delta F \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta f} \quad (5)$$

Burada,

EM: Elastikiyet modülü (N/mm²)

ΔF : Elastik deformasyon bölgesinde yüklemenin alt ve üst limitlerinin aritmetik ortalamaları arasındaki farka eşit kuvvet (N)

L: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

Δf : Net eğilme alanındaki sehim, yüklemenin alt ve üst limitlerinde ölçülen sehimlere ait sonuçların aritmetik ortalamaları arasındaki fark (mm)

b: Deney parçasının en kesit genişliği (mm)

h: Deney parçasının en kesit kalınlığı (mm)

Çekme direncinin tayini 5 mm/dak. test hızında gerçekleştirilmiştir. Deneyden önce, kuvvetin uygulandığı enine kesit alanı 0,01 duyarlıkta (axb) ölçülmüş, kırılma anındaki

maksimum kuvvet (Pmax) belirlenerek çekme dirençleri (ÇD) aşağıdaki eşitlikle (6) hesaplanmıştır.

$$\text{ÇD} = \frac{P_{\max}}{a.b} \quad (6)$$

Burada;

ÇD: Çekme direnci (N/mm²)

Pmax = Maksimum yük (N)

a ve b = Deney parçasının en kesitsel boyutları (mm²)



Şekil 3.5: Universal test makinesi

Şok direncinin tayini 10 adet numune kullanılarak, Zwick Roel HIT5.5P şok direnci test makinesinde yapılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Zwick/Roell HIT5.5P

Test öncesi örneklere Şekil 3.7’de gösterilen Polyttest Rayran çentik açma cihazı ile çentik açılmıştır.



Şekil 3.7: Polyttest RayRan çentik açma aleti

Deney numunelerinin 0,01 mm duyarlılıkta ölçüleri belirlenmiştir. Hazırlanan deney numuneleri darbe direnci test makinesine yerleştirilerek deneye başlanmış numunenin kırılması için gerekli enerji (Q) belirlenmiştir. Şok direnci aşağıdaki eşitliğe (7) göre hesaplanmıştır.

$$DE = \frac{Q}{b} \quad (5)$$

Burada;

DE= Dinamik eğilme direnci (J/m)

Q = Deney parçasının kırılması için gerekli enerji (j)

b = Deney parçasının radyal ve teğet yönlerdeki boyutları (m)

3.2.7. Ahşap-Plastik Nanokompozitlerin Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Analizler

Ahşap plastik nanokompozitlerin üretim şartlarının belirlenmesi ve üretilen nanokompozit malzemelerin özelliklerinin tayin edilmesi amacıyla kullanılan analizler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

3.2.7.1. Termogravimetrik Analiz

Termogravimetrik analiz (TGA) analizlerinin sağlıklı sonuçlar vermesinde örnek büyüklüğü son derece önemli olup daha küçük boyutlu örneklerle daha sağlıklı sonuçlar alınabilmektedir. Bu nedenle analiz öncesi kullanılacak örnekler öğütücü yardımıyla 1 mm boyutuna kadar öğütülmüştür.

TGA analizleri için Seiko SII Exstar 6200 kullanılmıştır. Örnek miktarlarının 5–10 mg olarak alındığı bu testlerde TGA analizi için 20 mL/min akış hızında azot gazı kullanılmıştır. Bu test esnasındaki sıcaklık oda sıcaklığından 500 °C' ye kadar 10 °C/dak.'lık ısıtma oranında arttırılmıştır. Sonucun elde edilmesi için, termal bozunma sıcaklıkları, ve artık madde miktarı göz önüne alınmıştır.

TGA eğrisinde sıcaklık etkisiyle numune ağırlığındaki değişimin yüzde olarak gösterilmesi haricinde ayrıca diferansiyal termogravimetrik analizde (DTGA) yapılabilmektedir. Numunelerdeki sıcaklık etkisiyle meydana gelen ağırlık kaybının yüzdesinin zamana göre birinci türevi alınarak elde edilen bu değer bozunma

sıcaklığının daha kolay tespitine imkân vermekte ve eğrinin altında kalan alan gerçekleşen toplam ağırlık kaybını ifade etmektedir.

3.2.7.2. *Dinamik Mekanik Analiz (DMA)*

Seiko tarafından üretilen SII Exstar 6100 DMS dinamik mekanik analiz (DMA) gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 2 mm (kalınlık) x 10 mm (genişlik) x 20 mm (uzunluk) boyutunda örnekler enjeksiyon kalıplama yöntemiyle direkt olarak test materyali olarak üretilmiştir. Test 5 °C artışla 0 ile 150 °C aralıktaki sıcaklıkta ve 1 Mhz frekansta örneklerin test edilmesiyle Storage Modulus (Depolama modülü) (E') ve Loss Modulus (Kayıp modülü) faktörü (E'') hesaplanmıştır. DMA ve TGA analizlerinde nano partikül tipi ve oranının etkisinin araştırılması maksadıyla sadece sabit bir ahşap unu oranı (% 50) seçilerek gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda grafiklerde kullanılmak üzere üretim reçetesine ilişkin bazı kısaltmalar kullanılmıştır. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlere ilişkin kısaltmalar aşağıdaki gibidir.

C5150: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %1.5 Karbon nanotüp
 C5153: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %1.5 Karbon nanotüp+ %3 MAPP
 C5300: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %3 Karbon nanotüp
 C5303: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %3 Karbon nanotüp+ %3 MAPP
 C5450: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %4.5 Karbon nanotüp
 C5453: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %4.5 Karbon nanotüp+ %3 MAPP

N5150: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %1.5 Nano kil
 N5153: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %1.5 Nano kil + %3 MAPP
 N5300: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %3 Nano kil
 N5303: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %3 Nano kil + %3 MAPP
 N5450: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %4.5 Nano kil
 N5453: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %4.5 Nano kil + %3 MAPP

B5150: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %1.5 Hegzagonal bor nitrür
 B5153: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %1.5 Hegzagonal bor nitrür + %3 MAPP
 B5300: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %3 Hegzagonal bor nitrür
 B5303: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %3 Hegzagonal bor nitrür + %3 MAPP
 B5450: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %4.5 Hegzagonal bor nitrür
 B5453: %50 Ahşap unu+ %50 PP+ %4.5 Hegzagonal bor nitrür + %3 MAPP

3.2.8. Veri Analizi

Tez kapsamında üretilen deneme gruplarına ait her türlü veri analizleri SPSS 17.0 istatistik paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Faktörlerin etkilerini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve Levene testi ile varyansların homojenliği denetlenmiştir. Gruplar arasındaki farklılığın önemli çıkması halinde varyanslar eşit ise Tamhane T2, varyanslar eşit değil ise Duncan testi ile gruplar karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER

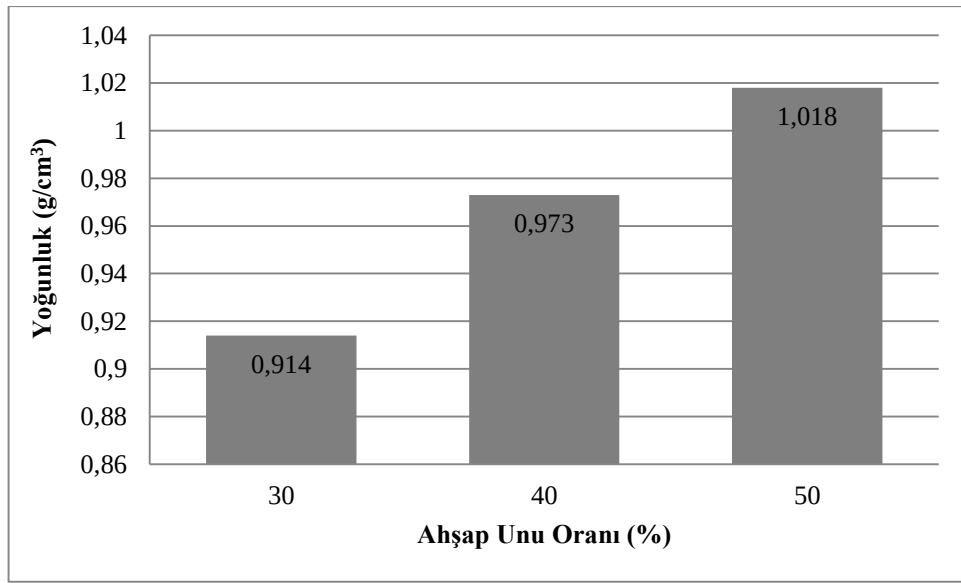
4.1.1. Yoğunluk

Bu kısımda güçlendirici nano materyallerin ve ahşap unu miktarının ahşap plastik nanokompozitlerin yoğunluğu üzerine etkisi incelenmiştir. Bu değerlere ilişkin ortalama ve standart sapma değerleri (parantez içinde) Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Ahşap plastik nanokompozit numune gruplarına ait yoğunluk değerleri

Kompozit Grup	Ahşap unu (%)	Nano materyal oranı (%)	MAPP (%)	Karbon Nanotüp	Nanokil	Hegzagonal Bor Nitrür
				g/cm ³		
Saf PP	0	0	0	0.841(0.01)	0.841(0.01)	0.841(0.01)
1	30	0	0	0.914(0.06)	0.914(0.06)	0.914(0.06)
2	30	0	3	0.931(0.02)	0.931(0.02)	0.931(0.02)
3	30	1.5	0	0.939(0.05)	0.935(0.03)	0.939(0.03)
4	30	3	0	0.948(0.02)	0.939(0.04)	0.939(0.02)
5	30	4.5	0	0.950(0.02)	0.940(0.01)	0.941(0.01)
6	30	1.5	3	0.962(0.01)	0.948(0.01)	0.943(0.01)
7	30	3	3	0.963(0.03)	0.962(0.04)	0.948(0.02)
8	30	4.5	3	0.965(0.01)	0.965(0.02)	0.959(0.02)
9	40	0	0	0.973(0.02)	0.973(0.02)	0.973(0.02)
10	40	0	3	0.988(0.02)	0.988(0.02)	0.988(0.02)
11	40	1.5	0	0.991(0.01)	0.977(0.01)	0.967(0.02)
12	40	3	0	0.992(0.01)	0.987(0.01)	0.988(0.01)
13	40	4.5	0	0.999(0.02)	0.994(0.01)	0.997(0.01)
14	40	1.5	3	1.003(0.01)	0.995(0.02)	0.997(0.03)
15	40	3	3	1.005(0.01)	0.998(0.01)	1.001(0.02)
16	40	4.5	3	1.008(0.04)	1.000(0.01)	1.005(0.01)
17	50	0	0	1.018(0.01)	1.018(0.01)	1.018(0.01)
18	50	0	3	1.025(0.02)	1.025(0.02)	1.025(0.02)
19	50	1.5	0	1.027(0.01)	1.027(0.01)	1.025(0.04)
20	50	3	0	1.032(0.01)	1.028(0.01)	1.031(0.04)
21	50	4.5	0	1.043(0.03)	1.032(0.01)	1.032(0.01)
22	50	1.5	3	1.043(0.01)	1.032(0.01)	1.037(0.07)
23	50	3	3	1.048(0.03)	1.042(0.01)	1.049(0.01)
24	50	4.5	3	1.071(0.01)	1.042(0.01)	1.071(0.01)

Tablo 4.1 incelendiğinde en düşük yoğunluk değerlerinin ahşap unu miktarının % 30 olduğu gruplarda olduğu görülmektedir. Ahşap plastik nanokompozitlerin yoğunluk değerlerinin ahşap unu miktarı arttıkça arttığı yine Tablo 4.1’den rahatlıkla görülebilmektedir. Bu duruma güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan kontrol numunesi statüsündeki 1, 9 ve 17. gruplar örnek olarak seçildiğinde grafik yoluyla daha net anlaşılabilecektir. Güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu miktarının artmasına bağlı olarak yoğunlukta meydana gelen değişim Şekil 4.1’de gösterilmektedir.

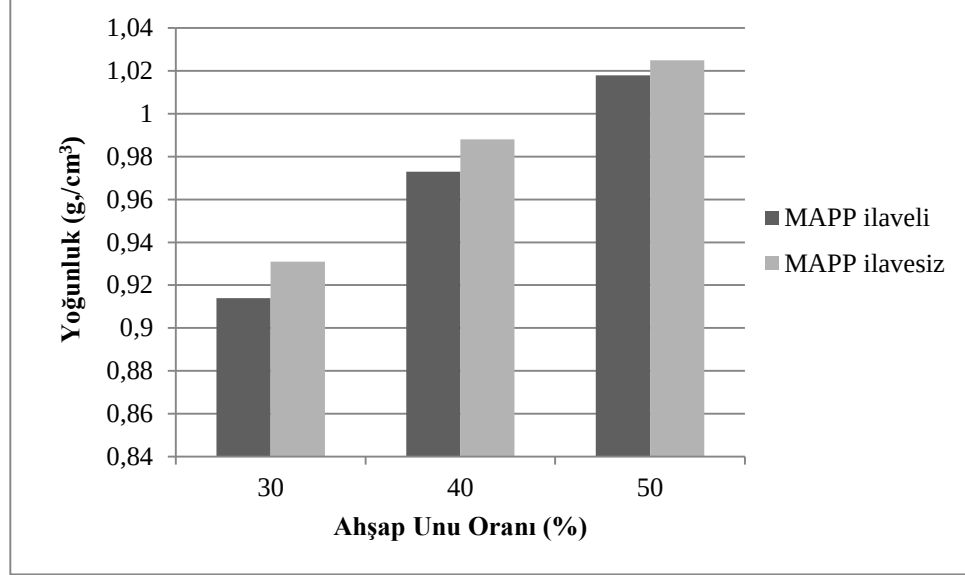


Şekil 4.1: Ahşap plastik kompozitlerin yoğunluk gruplarına ait örnek

Şekil 4.1 incelendiğinde ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına paralel olarak kompozit gruplarının yoğunluk değerinde ciddi artışlar olduğu görülebilmektedir. Ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu miktarı %30 dan %50’ye yükseldiğinde yoğunlukta %11 oranında bir artma sağlanmıştır.

Ahşap plastik nanokompozit üretim reçetesine dâhil edilen uyum sağlayıcı ajan (MAPP) hidrofobik plastik ile hidrofilik yapıdaki ahşap unu arasındaki bağlanma problemini ortadan kaldırmak için kullanılmıştır. Uyum sağlayıcı ajan bir yandan hidrofilik ahşap unu ile kimyasal bir bağ kurup, diğer taraftan hidrofobik polimer zincirini ısıtıp ikisinin birbirine karışmasını sağlamaktadır. Bu sayede ahşap plastik nanokompozitlerin performans özellikleri gelişmektedir. Şekil 4.2’de uyum sağlayıcı ajanın yoğunluk

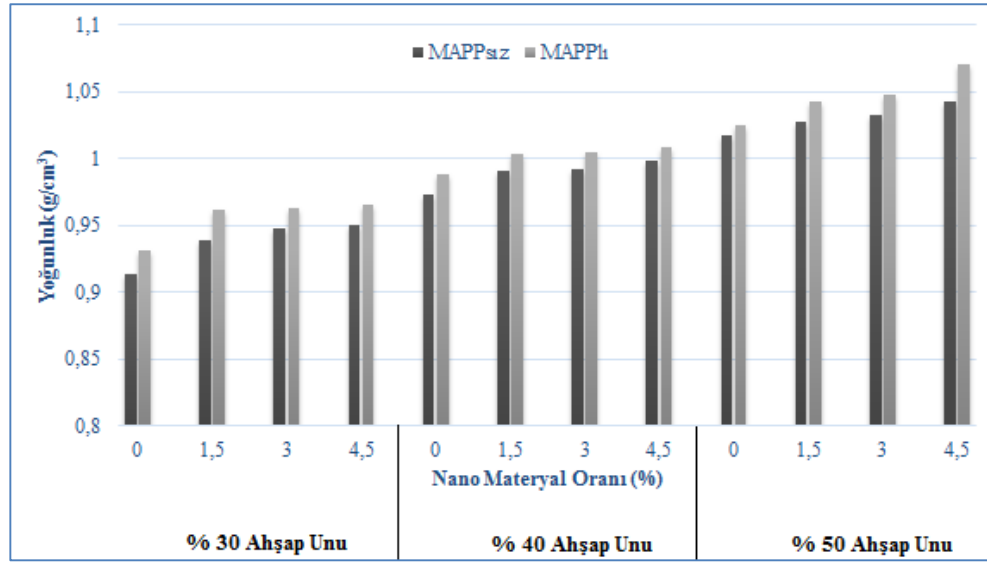
üzerine etkisi güçlendirici dolgu takviyesi olmayan 1-2, 9,10 ve 17,18 numaralı gruplar kullanılarak gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Uyum sağlayıcı ajan(MAPP) kullanımının ahşap plastik kompozitlerin yoğunluğuna etkisi

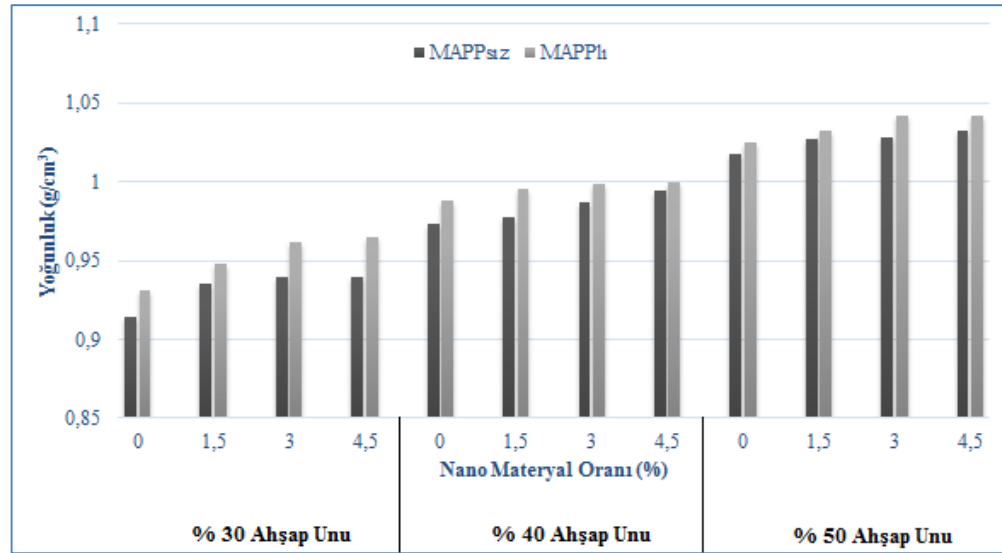
Şekil 4.2’de gösterildiği üzere ahşap plastik kompozit gruplarının yoğunluk değerleri %3’lük uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte artış göstermiştir. Her üç ahşap unu yükleme oranında da aynı durumu görmek mümkün olmaktadır.

Ahşap plastik nanokompozitler içerisinde katılan güçlendirici dolgu materyali oranı arttıkça nanokompozit gruplarının yoğunluk değerlerinde artış görülmektedir. Her bir nano materyal için artan yoğunluk değerleri Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5’te özetlenerek gösterilmiştir.



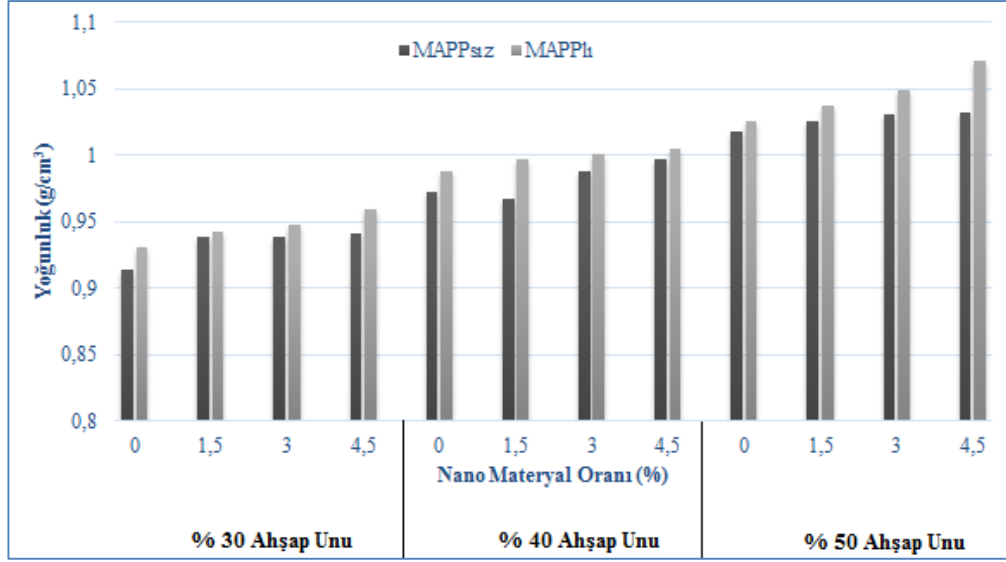
Şekil 4.3: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının yoğunluk değişimi

Şekil 4.3'ten de görüldüğü üzere karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının yoğunluk değerleri artan karbon nanotüp ve ahşap unu oranına bağlı olarak tüm gruplarda artış göstermiştir.



Şekil 4.4: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının yoğunluk değişimi

Yine benzer şekilde aynı durumu Şekil 4,4'te de görmek mümkündür. Nanokil ve ahşap unu oranına bağlı olarak tüm nanokompozit gruplarının yoğunluk değerinde artış görülmüştür.



Şekil 4.5: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının yoğunluk değişimi

Karbon nanotüp ve nanokilde de görülen benzer tabloyu hegzagonal bor nitrürde de görmek mümkündür. Aynı şekilde artan hegzagonal bor nitrür ve ahşap unu oranına bağlı olarak tüm nanokompozit grupların yoğunluk değerinde artış tespit edilmiştir.

Karbon nanotüp, nanokil ve hegzagonal bor nitrür, uyum sağlayıcı ajanın etkisi ve ahşap unu oranının ahşap plastik nanokompozitlerin yoğunluğu üzerine etkisi Levene ve iki yönlü Anova kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.2 ve 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.2: Yoğunluk değerlerine ilişkin Levene testi istatistikleri

Karbon Nanotüp				Nanokil				Hegzagonal Bor Nitrür			
F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.
2.183	23	216	.002	2.373	23	216	.001	3.892	23	216	.000

Levene testi sonuçlarına göre karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit gruplarının varyanslarının homojen olmadığı tespit edilmiştir. Benzer

şekilde nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen grupların varyanslarının homojen olmadığı Tablo 4.2’de görülebilmektedir.

Tablo 4.3: Yoğunluk değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

	Karbon Nanotüp		Nano Kil		Hegzagonal Nitrür	Bor
Kaynak	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Corrected Model	17.873	.000	33.958	.000	17.873	.000
Intercept	233491.920	.000	525869.209	.000	233491.920	.000
ahşapunu	182.156	.000	356.697	.000	182.156	.000
mapp	15.934	.000	24.885	.000	15.934	.000
nano	7.320	.000	10.873	.000	7.320	.000
ahşapunu * mapp	.384	.682	1.299	.275	.384	.682
ahşapunu * nano	.410	.872	.870	.518	.410	.872
mapp * nano	.383	.766	.101	.959	.383	.766
ahşapunu * mapp * nano	.748	.612	.335	.918	.748	.612
Error						
Total						
Corrected Total						

Varyans analizi sonuçlarına göre tüm gruplarda güçlendirici dolgu materyalinin, uyum sağlayıcı ajanın ve ahşap unu oranının nanokompozitlerin yoğunluk değerine %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Ancak faktörlerin birbiri ile etkileşiminden elde edilen etki tüm gruplarda %95 güven düzeyinde anlamlı bulunmamıştır. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Tamhane T2 testi ile belirlenmiştir. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının yoğunluk değerlerinin gruplandırılmasına ilişkin Tamhane T2 testi sonuçları Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tamhane T2 testi sonuçlarına göre karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının yoğunluk değerine üzerine ahşap unu miktarının tüm gruplarda farklılık oluşturduğu belirlenmiştir. Güçlendirici nano materyal miktarının nanokompozit grupların yoğunluk değeri üzerinde bir farklılık oluşturmadığı yine Tamhane T2 testi sonuçlarından tespit edilebilir. Ancak hegzagonal bor nitrür güçlendirici dolgu maddesinin yalnızca %4.5 oranına sahip nanokompozit grubunda kontrol grubuna kıyasla farklılık tespit edildiği söylenebilir.

Tablo 4.4: Tamhane's T2 testine göre nanokompozit grupların yoğunluk değerlerinin gruplandırılması

Tamhane		(I) Grup	(J) Grup	I-J	Std. Hata	Önem Düzeyi
KNT	Ahşap Unu	30.0	40.0	-.0483(*)	.00463	.000
			50.0	-.0921(*)	.00465	.000
		40.0	30.0	.0483(*)	.00463	.000
			50.0	-.0439(*)	.00349	.000
		50.0	30.0	.0921(*)	.00465	.000
			40.0	.0439(*)	.00349	.000
	Nano	.0	1.5	-.0190	.00858	.161
			3.0	-.0227(*)	.00829	.043
			4.5	-.0312(*)	.00895	.004
		1.5	.0	.0190	.00858	.161
			3.0	-.0037	.00751	.997
			4.5	-.0122	.00823	.601
		3.0	.0	.0227(*)	.00829	.043
			1.5	.0037	.00751	.997
			4.5	-.0085	.00792	.867
		4.5	.0	.0312(*)	.00895	.004
			1.5	.0122	.00823	.601
			3.0	.0085	.00792	.867
NK	Ahşap Unu	30.0	40.0	2.236(*)	.2326	.000
			50.0	5.387(*)	.2158	.000
		40.0	30.0	-2.236(*)	.2326	.000
			50.0	3.151(*)	.2145	.000
		50.0	30.0	-5.387(*)	.2158	.000
			40.0	-3.151(*)	.2145	.000
	Nano	.0	1.5	-.0105	.00853	.776
			3.0	-.0168	.00828	.239
			4.5	-.0205	.00812	.076
		1.5	.0	.0105	.00853	.776
			3.0	-.0063	.00743	.951
			4.5	-.0100	.00725	.675
		3.0	.0	.0168	.00828	.239
			1.5	.0063	.00743	.951
			4.5	-.0037	.00696	.996
		4.5	.0	.0205	.00812	.076
HBN	Ahşap Unu		1.5	.0100	.00725	.675
			3.0	.0037	.00696	.996
	Nano	30.0	40.0	-.0498(*)	.00419	.000
			50.0	-.0956(*)	.00601	.000
		40.0	30.0	.0498(*)	.00419	.000
			50.0	-.0459(*)	.00547	.000
		50.0	30.0	.0956(*)	.00601	.000
			40.0	.0459(*)	.00547	.000
		.0	1.5	-.0093	.00942	.905
			3.0	-.0180	.00887	.240
			4.5	-.0257(*)	.00950	.047
		1.5	.0	.0093	.00942	.905
			3.0	-.0087	.00903	.917
			4.5	-.0163	.00964	.443
		3.0	.0	.0180	.00887	.240
			1.5	.0087	.00903	.917
			4.5	-.0077	.00911	.954
		4.5	.0	.0257(*)	.00950	.047

4.1.2. Kalınlığına Şişme

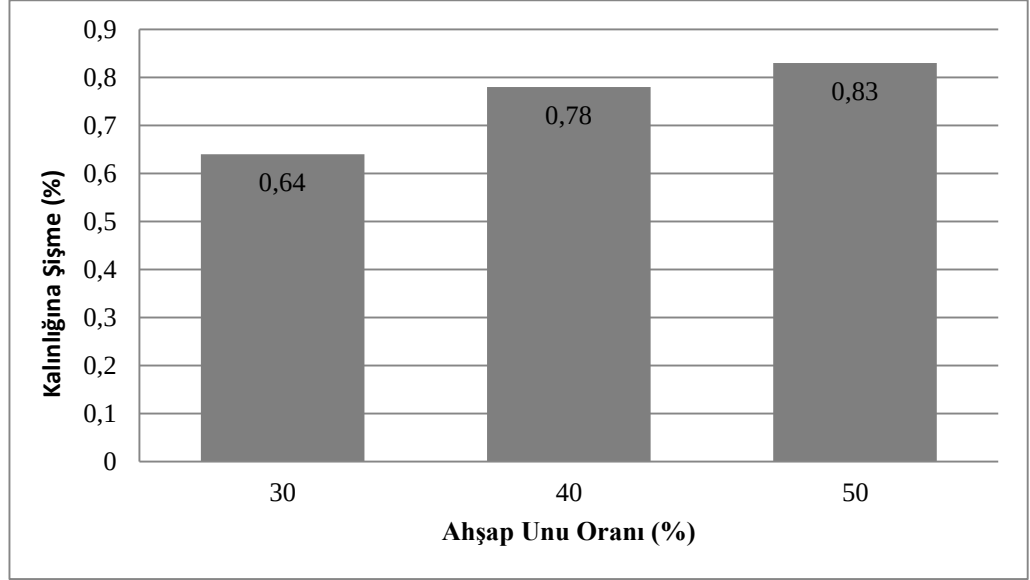
Bu kısımda güçlendirici materyal, ahşap unu oranı ve uyum sağlayıcı ajan varlığının ahşap plastik nanokompozitlerin kalınlığına şişme yüzdesi üzerine etkisi incelenmiştir. Bağımsız değişkenlere ait kalınlığına şişme oranı 1 gün, 7 gün, 14 gün ve 28 gün süreler dâhilinde 4 grup halinde incelenmiştir. 1 günlük kalınlığına şişme oranlarına ilişkin ortalama ve standart sapma (parantez içinde) değerleri Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait 1 günlük kalınlığına şişme oranları

Kompozit grup no	Ahşap unu (%)	Nano materyal oranı (%)	MAPP (%)	Karbon Nanotüp	Nanokil	Hegzagonal Bor Nitrür
				%		
Saf PP				0	0	0
1	30	0	0	0.64(0.08)	0.64(0.08)	0.64(0.08)
2	30	0	3	0.58(0.04)	0.58(0.04)	0.58(0.04)
3	30	1.5	0	0.63(0.11)	0.63(0.13)	0.60(0.04)
4	30	3	0	0.62(0.06)	0.62(0.09)	0.58(0.14)
5	30	4.5	0	0.60(0.14)	0.59(0.23)	0.57(0.04)
6	30	1.5	3	0.61(0.22)	0.62(0.04)	0.56(0.04)
7	30	3	3	0.59(0.06)	0.60(0.11)	0.55(0.05)
8	30	4.5	3	0.56(0.20)	0.58(0.14)	0.52(0.08)
9	40	0	0	0.78(0.05)	0.78(0.05)	0.78(0.05)
10	40	0	3	0.75(0.08)	0.75(0.08)	0.75(0.08)
11	40	1.5	0	0.76(0.06)	0.77(0.07)	0.76(0.08)
12	40	3	0	0.75(0.09)	0.75(0.06)	0.74(0.11)
13	40	4.5	0	0.73(0.07)	0.74(0.06)	0.71(0.11)
14	40	1.5	3	0.73(0.07)	0.74(0.04)	0.72(0.05)
15	40	3	3	0.70(0.04)	0.72(0.20)	0.68(0.08)
16	40	4.5	3	0.68(0.03)	0.69(0.13)	0.66(0.15)
17	50	0	0	0.83(0.10)	0.83(0.10)	0.83(0.10)
18	50	0	3	0.80(0.12)	0.80(0.12)	0.80(0.12)
19	50	1.5	0	0.81(0.07)	0.82(0.11)	0.78(0.04)
20	50	3	0	0.81(0.04)	0.81(0.11)	0.74(0.05)
21	50	4.5	0	0.79(0.05)	0.78(0.29)	0.71(0.03)
22	50	1.5	3	0.78(0.07)	0.78(0.15)	0.76(0.10)
23	50	3	3	0.77(0.07)	0.76(0.12)	0.73(0.10)
24	50	4.5	3	0.75(0.14)	0.75(0.05)	0.69(0.06)

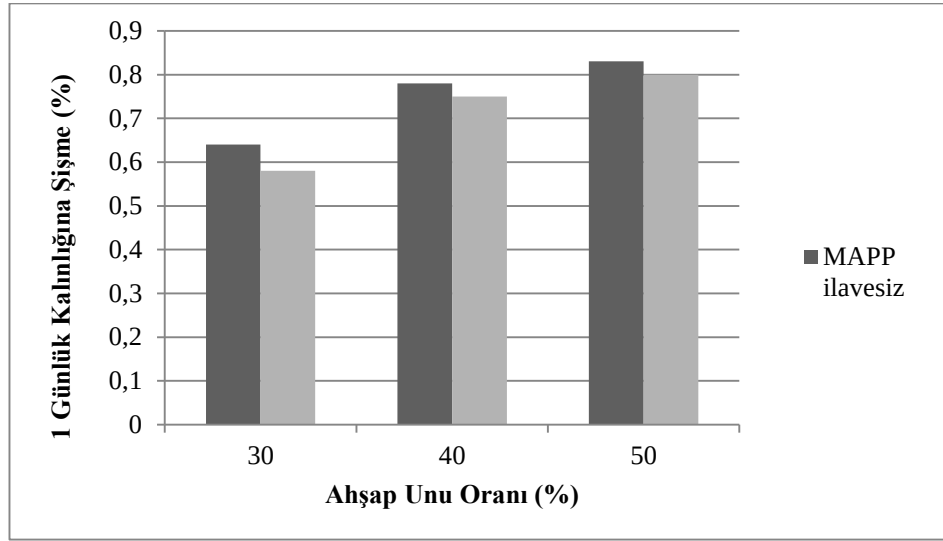
Tablo 4.5 incelendiğinde en düşük 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin ahşap unu oranının %30 olduğu gruplarda olduğu görülmektedir. Ahşap plastik nanokompozitlerin 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin ahşap unu oranı arttıkça arttığı yine Tablo 4.5’den görülebilmektedir. Bu durum güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan kontrol

numunesi statüsündeki 1, 9 ve 17. gruplar örnek olarak seçildiğinde grafik yoluyla daha net anlaşılabacaktır. Güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesinde meydana gelen değişim Şekil 4.6’de gösterilmektedir.



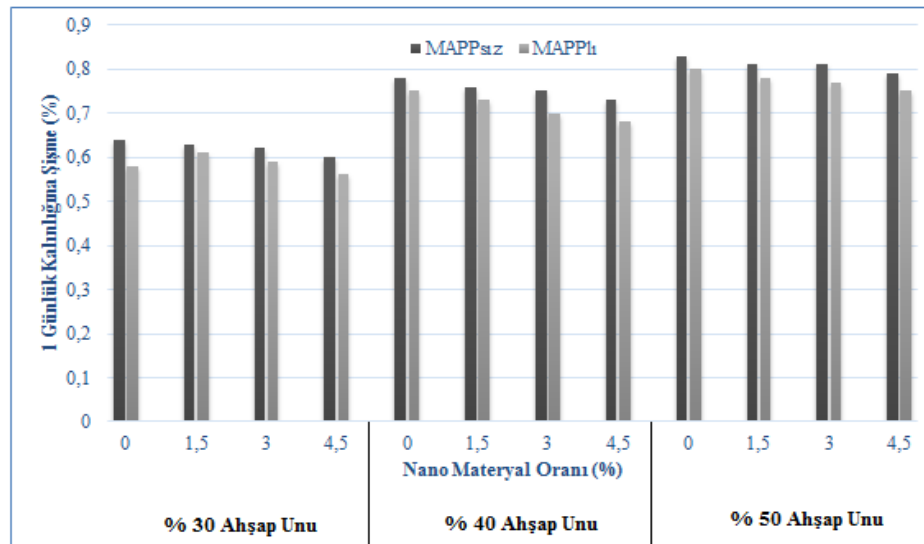
Şekil 4.6: Ahşap plastik nanokompozitlerin 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine ahşap unu oranının etkisi

Şekil 4.6 incelendiğinde ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına paralel olarak kompozit gruplarının 1 günlük kalınlığına şişme oranında artışlar olduğu görülebilmektedir. Ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu miktarı %30’dan %50’ye yükseldiğinde 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesinde %29.68 oranında bir artış görülmüştür. Şekil 4.7’de uyum sağlayıcı ajanın 1 günlük kalınlığına şişme oranı üzerine etkisi gösterilmektedir.



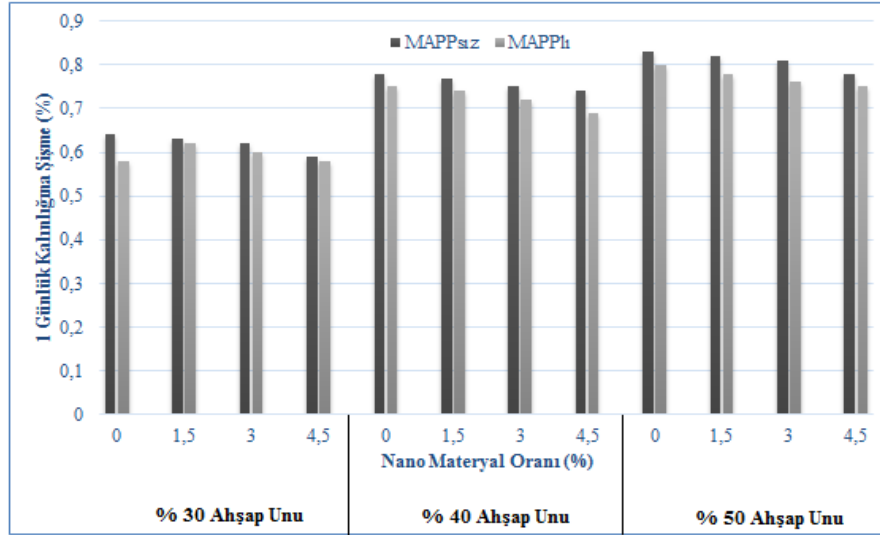
Şekil 4.7: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik nanokompozitlerin 1 günlük kalınlığına şişme oranı üzerine etkisi

Şekil 4.7’de gösterildiği üzere ahşap plastik kompozit gruplarının 1 günlük kalınlığına şişme oranları %3’lük uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte azalış göstermiştir. Uyum sağlayıcı ajan ilavesi kalınlığına şişme özelliklerini iyileştirmiştir. Her üç ahşap unu yükleme oranında da aynı durumu görmek mümkün olmaktadır.

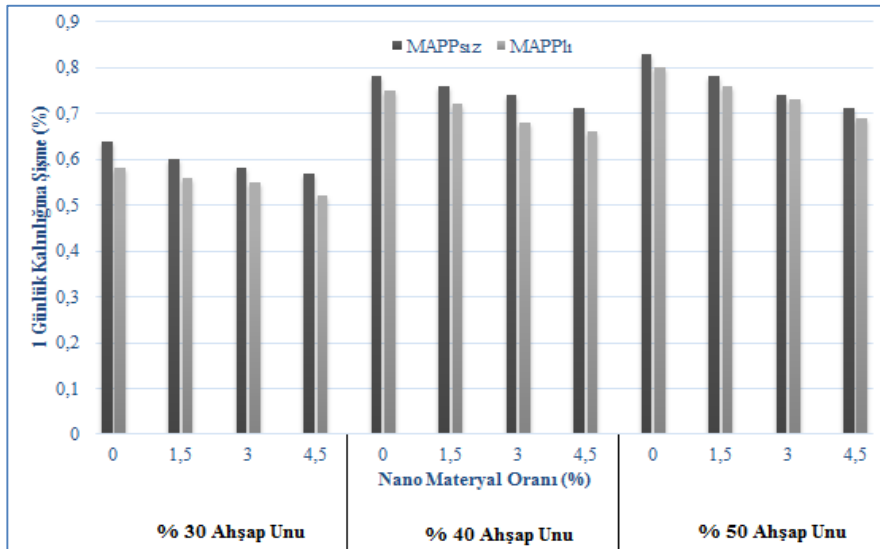


Şekil 4.8: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 1 günlük kalınlığına şişme oranlarının değişimi

Karbon nanotüp (KNT) ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimine (Şekil 4.8) bakıldığında, karbon nanotüp oranının artmasına bağlı olarak kalınlığına şişme yüzdesinin azaldığını görebilmekteyiz. Kalınlığına şişme deneyine ilişkin sonuçlar nanokil ve hegzagonal bor nitrür için de benzer özellikler taşımaktadır. Şekil 4.9 ve 4.10 bu amaç doğrultusunda hazırlanmıştır.



Şekil 4.9: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi



Şekil 4.10: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi

Karbon nanotüp, nanokil ve hegzagonal bor nitrür, uyum sağlayıcı ajanın etkisi ve ahşap unu oranının ahşap plastik nanokompozitlerin 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine etkisi Levene ve iki yönlü Anova kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.6 ve 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.6: 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesine ilişkin Levene testi istatistikleri

Karbon Nanotüp				Nanokil				Hegzagonal Bor Nitrür			
F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.
3.588	23	216	.000	5.574	23	216	.000	2.643	23	216	.000

Tablo 4.7: 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesine ilişkin Varyans analizi sonuçları

	Karbon Nanotüp		Nano Kil		Hegzagonal Bor Nitrür	
Kaynak	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Corrected Model	11.936	.000	4.452	.000	11.936	.000
Intercept	16656.789	.000	7639.564	.000	16656.789	.000
ahşapunu	111.439	.000	46.492	.000	111.439	.000
mapp	10.652	.001	3.862	.051	10.652	.001
nano	12.180	.000	1.398	.244	12.180	.000
ahşapunu *	.582	.560	.051	.950	.582	.560
mapp						
ahşapunu *	.405	.875	.082	.998	.405	.875
nano						
mapp * nano	.033	.992	.015	.998	.033	.992
ahşapunu *	.125	.993	.119	.994	.125	.993
mapp * nano						
Error						
Total						
Corrected Total						

Levene testi sonuçlarına göre karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit gruplarının varyanslarının homojen olmadığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen grupların varyanslarının homojen olmadığı Tablo 4.7’de görülebilmektedir.

Varyans analizi sonuçlarına göre tüm gruplarda güçlendirici dolgu materyalinin, uyum sağlayıcı ajanın ve ahşap unu oranının nanokompozitlerin 1 günlük kalınlığına şişme

yüzdesine %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Ancak faktörlerin birbiri ile etkileşiminden elde edilen etki tüm gruplarda %95 güven düzeyinde anlamlı bulunmamıştır. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8: Duncan testine göre 1 günlük kalınlığına şişme yüzdelерinin gruplandırılması

	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
KNT	30.0	80	.6023			.0	60	.7288		
	40.0	80		.7344		1.5	60	.7195	.7195	
	50.0	80			.7933	3.0	60	.7073	.7073	
						4.5	60		.6842	
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		.267	.066	
	Ahşap unu					Nano				
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
NK	30.0	80	.6059			.0	60	.7288		
	40.0	80		.7425		1.5	60	.7270		
	50.0	80			.7920	3.0	60	.7108		
						4.5	60	.6872		
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		.101		
	Ahşap unu					Nano				
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
HBN	30.0	80	.5746			.0	60	.7288		
	40.0	80		.7259		1.5	60		.6985	
	50.0	80			.7557	3.0	60		.6725	
						4.5	60			.6418
	Sig		1.000	1.000	1.000	Sig		.1000	.085	1.000

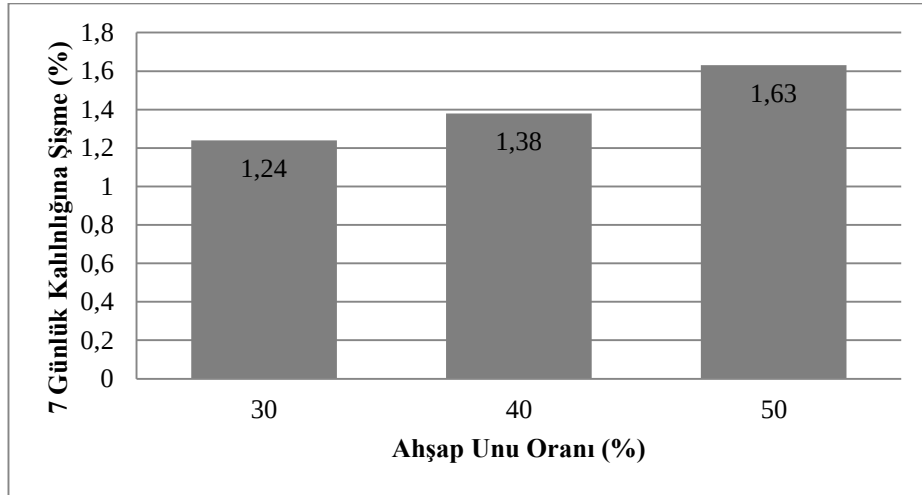
Duncan testi sonuçlarına göre karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine ahşap unu miktarının tüm gruplarda farklılık oluşturduğu belirlenmiştir. Güçlendirici nano materyal miktarının nanokompozit grupların 1 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine bir farklılık oluşturmadığı yine Duncan testi sonuçlarında gösterilmiştir.

Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesi Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait 7 günlük kalınlığına şişme oranları

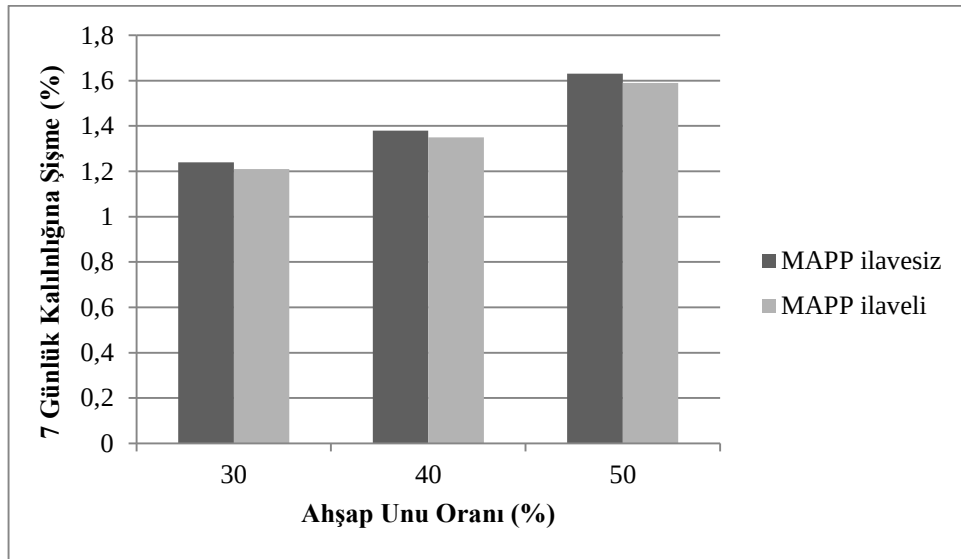
Kompozit grup no	Ahşap unu (%)	Nano materyal oranı (%)	MAPP (%)	Karbon Nanotüp	Nanokil	Hegzagonal Bor Nitrür
				%		
1	30	0	0	1.24(0.09)	1.24(0.09)	1.24(0.09)
2	30	0	3	1.21(0.13)	1.21(0.13)	1.21(0.13)
3	30	1.5	0	1.21(0.11)	1.23(0.07)	1.19(0.08)
4	30	3	0	1.17(0.08)	1.20(0.09)	1.16(0.11)
5	30	4.5	0	1.14(0.06)	1.16(0.08)	1.13(0.05)
6	30	1.5	3	1.19(0.10)	1.20(0.06)	1.17(0.08)
7	30	3	3	1.16(0.09)	1.17(0.08)	1.15(0.07)
8	30	4.5	3	1.14(0.08)	1.15(0.10)	1.12(0.05)
9	40	0	0	1.38(0.13)	1.38(0.13)	1.38(0.13)
10	40	0	3	1.35(0.11)	1.35(0.11)	1.35(0.11)
11	40	1.5	0	1.37(0.10)	1.38(0.08)	1.37(0.07)
12	40	3	0	1.33(0.09)	1.36(0.09)	1.35(0.04)
13	40	4.5	0	1.31(0.05)	1.33(0.05)	1.32(0.05)
14	40	1.5	3	1.33(0.10)	1.35(0.03)	1.33(0.06)
15	40	3	3	1.32(0.09)	1.32(0.06)	1.31(0.07)
16	40	4.5	3	1.27(0.08)	1.29(0.09)	1.27(0.07)
17	50	0	0	1.63(0.12)	1.63(0.12)	1.63(0.12)
18	50	0	3	1.59(0.08)	1.59(0.08)	1.59(0.08)
19	50	1.5	0	1.62(0.08)	1.63(0.10)	1.60(0.07)
20	50	3	0	1.59(0.06)	1.61(0.08)	1.57(0.06)
21	50	4.5	0	1.56(0.08)	1.60(0.08)	1.54(0.05)
22	50	1.5	3	1.59(0.08)	1.62(0.08)	1.57(0.06)
23	50	3	3	1.56(0.10)	1.58(0.07)	1.54(0.05)
24	50	4.5	3	1.52(0.05)	1.54(0.10)	1.50(0.07)

Tablo 4.9 incelendiğinde en düşük 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin ahşap unu miktarının %30 olduğu gruplarda olduğu görülmektedir. Ahşap plastik nanokompozitlerin 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin ahşap unu miktarı arttıkça arttığı yine Tablo 4.9’dan görülebilmektedir. Bu durum güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan kontrol numunesi statüsündeki 1, 9 ve 17. gruplar örnek olarak seçildiğinde grafik yoluyla daha net anlaşılabilecektir. Güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu miktarının artmasına bağlı olarak 7 günlük kalınlığına şişme oranlarında meydana gelen değişim Şekil 4.11’de gösterilmektedir.



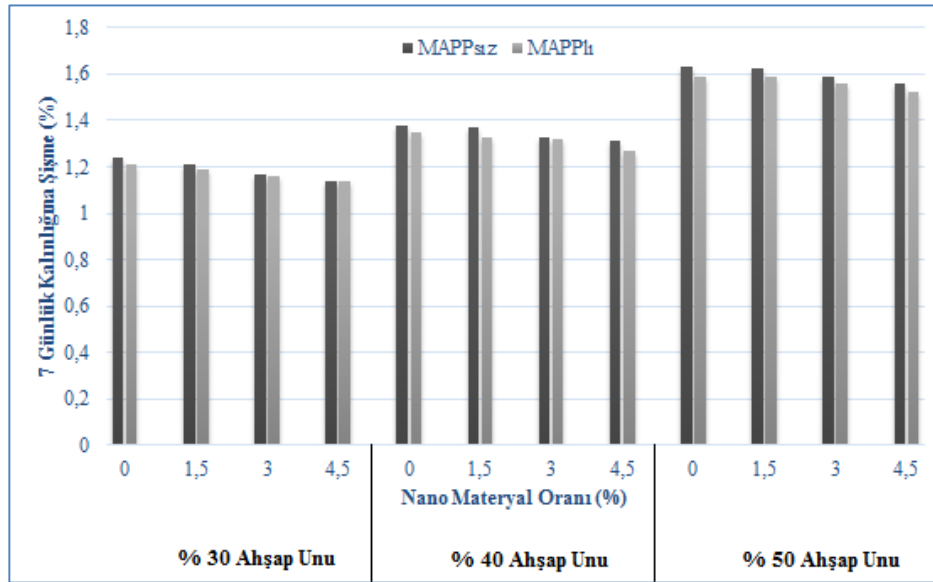
Şekil 4.11: Ahşap plastik kompozitlerin 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine ahşap unu oranının etkisi

Şekil 4.11 incelendiğinde ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına paralel olarak kompozit gruplarının 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesinde artışlar olduğu görülebilmektedir. Ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu miktarı %30 dan %50'ye yükseldiğinde 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesinde 31.45 oranında bir artış görülmüştür. Şekil 4.12'de uyum sağlayıcı ajanın 7 günlük kalınlığına şişme oranı üzerine etkisi gösterilmektedir.



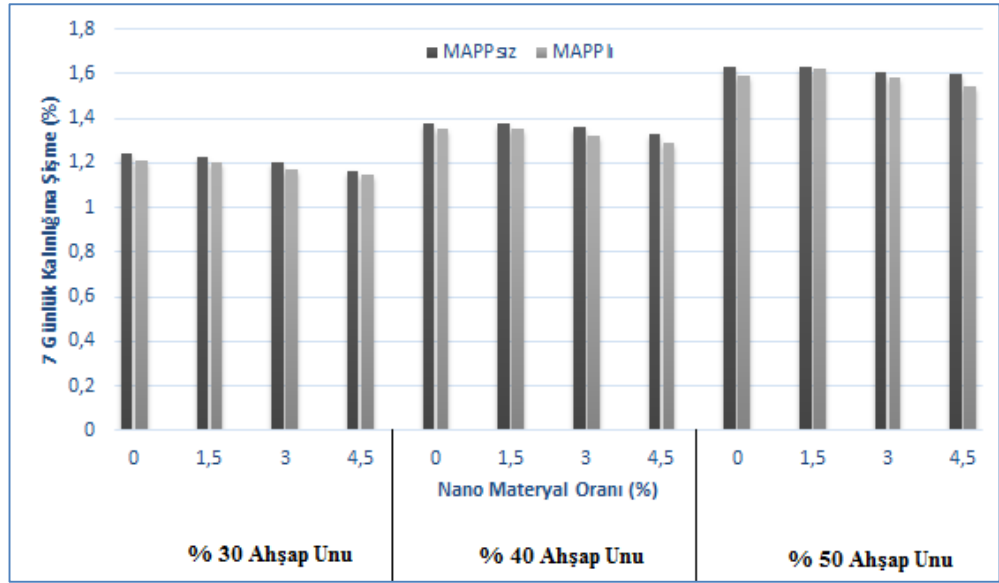
Şekil 4.12: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik nanokompozitlerin 7 günlük kalınlığına şişme oranı üzerine etkisi

Şekil 4.12’de gösterildiği üzere ahşap plastik kompozit gruplarının 7 günlük kalınlığına şişme oranları %3’lük uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte belli miktarda azalma göstermiştir. Sabit bir ahşap unu oranı seçildiğinde durum daha net anlaşılabacaktır. %50 oranındaki ahşap unu ile desteklenmiş kompozit grubunun 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesi uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte kontrol numunesine kıyasla %2.45 oranında azalmıştır. Uyum sağlayıcı ajan ilavesi kalınlığına şişme özelliklerini iyileştirmiştir. Aynı durumu tüm nanokompozit gruplarda her üç ahşap unu yükleme oranında da görmek mümkündür.

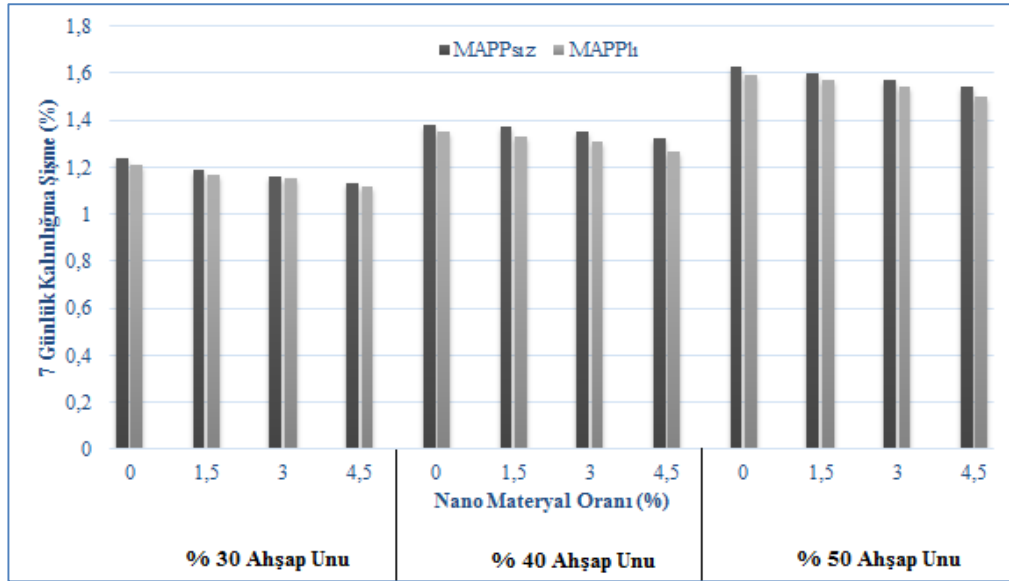


Şekil 4.13: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi

Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimine (Şekil 4.13) bakıldığında, karbon nanotüp oranının artmasına bağlı olarak kalınlığına şişme yüzdesinin azaldığı görülmektedir. Kalınlığına şişme deneyine ilişkin sonuçlar nanokil ve hegzagonal bor nitrür için de benzer özellikler taşımaktadır. Şekil 4.14 ve 4.15 bu amaç doğrultusunda hazırlanmıştır.



Şekil 4.14: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi



Şekil 4.15: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi

Karbon nanotüp, nanokil ve hegzagonal bor nitrür, uyum sağlayıcı ajanın etkisi ve ahşap unu oranının ahşap plastik nanokompozitlerin 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine etkisi Levene ve iki yönlü Anova kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.10 ve 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.10: 7 günlük kalınlığına şişme oranına ilişkin Levene testi istatistikleri

Karbon Nanotüp				Nanokil				Hegzagonal Bor Nitrür			
F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.
1.267	23	216	.193	1.732	23	216	.024	2.707	23	216	.000

Tablo 4.11: 7 günlük kalınlığına şişme oranına ilişkin Varyans analizi sonuçları

	Karbon Nanotüp		Nano Kil		Hegzagonal Bor Nitrür	
Kaynak	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Corrected Model	34.864	.000	38.379	.000	44.047	.000
Intercept	53045.118	.000	58762.470	.000	67157.373	.000
ahşapunu	387.100	.000	429.875	.000	484.208	.000
mapp	4.971	.027	7.547	.007	7.721	.006
nano	6.838	.000	4.452	.005	11.183	.000
ahşapunu *	.306	.736	.113	.893	.378	.686
mapp						
ahşapunu *	.097	.997	.119	.994	.297	.938
nano						
mapp * nano	.064	.979	.045	.987	.042	.989
ahşapunu *	.133	.992	.165	.986	.121	.994
mapp * nano						
Error						
Total						
Corrected Total						

Levene testi sonuçlarına göre karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit grupların varyanslarının homojen olmadığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen grupların varyanslarının homojen olmadığı Tablo 4.10’da gösterilmektedir.

Varyans analizi sonuçlarına göre tüm gruplarda güçlendirici dolgu materyalinin, uyum sağlayıcı ajanın ve ahşap unu oranının nanokompozitlerin 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesine %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Ancak faktörlerin birbiri ile etkileşiminden elde edilen etki tüm gruplarda %95 güven düzeyinde anlamlı bulunmamıştır. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen

ahşap plastik nanokompozit gruplarının 7 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12: Duncan testine göre nanokompozit grupların 7 günlük kalınlığına şişme yüzdelерinin gruplandırılması

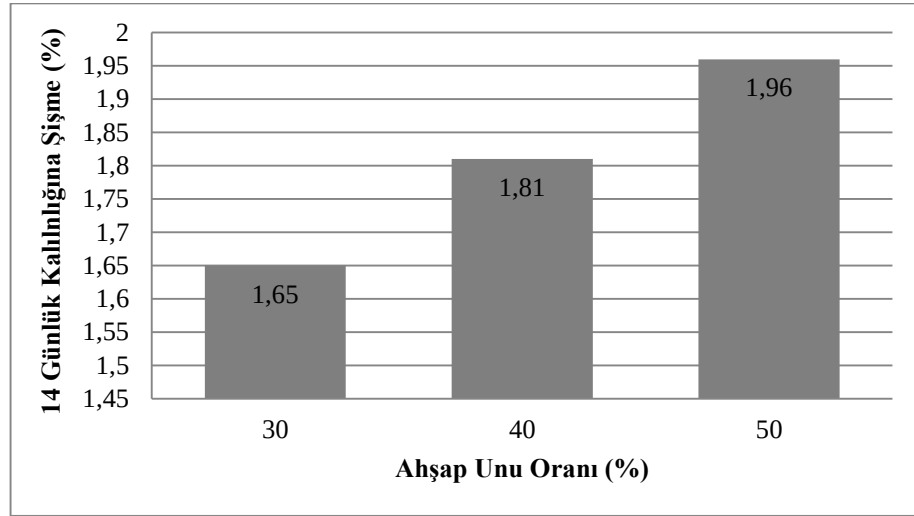
KNT	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap Unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
	30.0	80	1.1816			.0	60	1.3947		
	40.0	80		1.3306		1.5	60	1.3830	1.3830	
	50.0	80			1.5811	3.0	60		1.3548	1.3548
						4.5	60			1.3253
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		.487	.094	.080
NK	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap Unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
	30.0	80	1.1947			.0	60	1.3947		
	40.0	80		1.3429		1.5	60	1.3992		
	50.0	80			1.5985	3.0	60	1.3745	1.3745	
						4.5	60		1.3465	
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		.150	.083	
HBN	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap Unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
	30.0	80	1.1706			.0	60	1.3947		
	40.0	80		1.3309		1.5	60	1.3705	1.3705	
	50.0	80			1.5671	3.0	60		1.3472	
						4.5	60			1.3125
	Sig		1.000	1.000	1.000	Sig		.104	.116	1.000

Tablo 4.13 ahşap plastik nanokompozitlerin 14 günlük kalınlığına şişme yüzdelere ilişkin ortalama ve standart sapma (parantez içinde) değerlerini göstermektedir.

Tablo 4.13: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesi

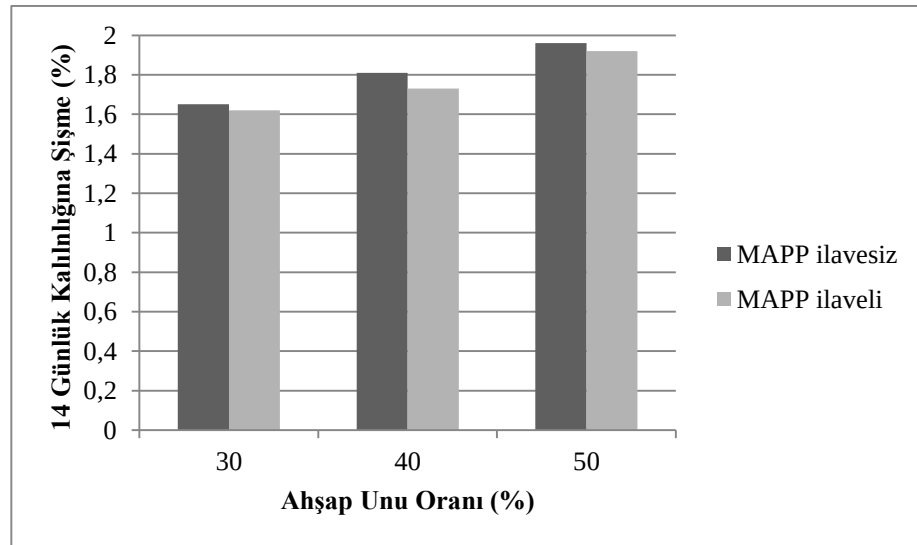
Kompozit grup no	Ahşap unu (%)	Nano materyal oranı (%)	MAPP (%)	Karbon Nanotüp	Nanokil	Hegzagonal Bor Nitrür
				%		
1	30	0	0	1.65(0.05)	1.65(0.05)	1.65(0.05)
2	30	0	3	1.62(0.06)	1.62(0.06)	1.62(0.06)
3	30	1.5	0	1.64(0.06)	1.65(0.05)	1.62(0.06)
4	30	3	0	1.62(0.07)	1.62(0.07)	1.58(0.04)
5	30	4.5	0	1.60(0.05)	1.59(0.04)	1.55(0.04)
6	30	1.5	3	1.61(0.06)	1.64(0.06)	1.60(0.05)
7	30	3	3	1.58(0.05)	1.61(0.05)	1.55(0.04)
8	30	4.5	3	1.56(0.06)	1.57(0.04)	1.53(0.03)
9	40	0	0	1.81(0.09)	1.81(0.09)	1.81(0.09)
10	40	0	3	1.73(0.08)	1.73(0.08)	1.73(0.08)
11	40	1.5	0	1.81(0.09)	1.80(0.09)	1.78(0.05)
12	40	3	0	1.76(0.07)	1.77(0.06)	1.75(0.06)
13	40	4.5	0	1.75(0.08)	1.74(0.04)	1.69(0.06)
14	40	1.5	3	1.78(0.06)	1.78(0.04)	1.76(0.07)
15	40	3	3	1.75(0.08)	1.74(0.04)	1.72(0.06)
16	40	4.5	3	1.71(0.06)	1.71(0.07)	1.64(0.05)
17	50	0	0	1.96(0.07)	1.96(0.07)	1.96(0.07)
18	50	0	3	1.92(0.07)	1.92(0.07)	1.92(0.07)
19	50	1.5	0	1.95(0.07)	1.94(0.07)	1.93(0.08)
20	50	3	0	1.93(0.04)	1.91(0.08)	1.90(0.07)
21	50	4.5	0	1.90(0.03)	1.89(0.06)	1.88(0.06)
22	50	1.5	3	1.92(0.05)	1.91(0.07)	1.90(0.06)
23	50	3	3	1.87(0.06)	1.89(0.05)	1.87(0.04)
24	50	4.5	3	1.85(0.04)	1.86(0.04)	1.84(0.04)

Tablo 4.13 incelendiğinde en düşük 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin ahşap unu oranının %30 olduğu gruplarda olduğu tespit edilmiştir. Ahşap plastik nanokompozitlerin 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin ahşap unu oranı arttıkça artış gösterdiği yine tablo 4.13’den görülebilmektedir. Bu durum güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan kontrol numunesi statüsündeki 1, 9 ve 17. gruplar örnek olarak seçildiğinde grafik yoluyla daha net anlaşılabilecektir. Güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesinde meydana gelen değişim Şekil 4.16’da gösterilmektedir.



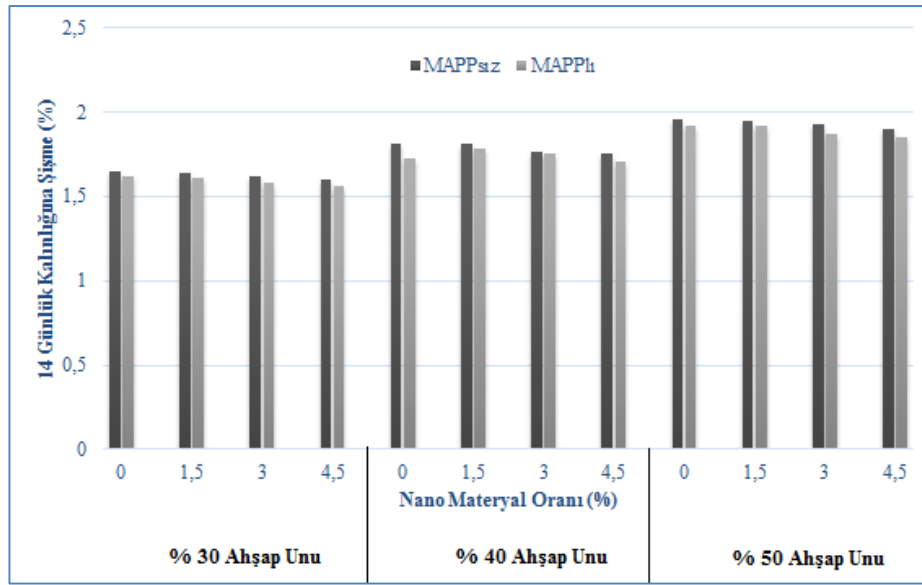
Şekil 4.16: Ahşap plastik kompozitlerin 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine ahşap unu oranının etkisi

Şekil 4.16 incelendiğinde ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak kompozit gruplarının 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesinde artışlar olduğu net bir biçimde ifade edilebilir. Ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu miktarı %30'dan %50'ye yükseltildiğinde 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesinde 18,78 oranında bir artış tespit edilmiştir. Şekil 4.17'de uyum sağlayıcı ajanın 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine etkisi gösterilmektedir.



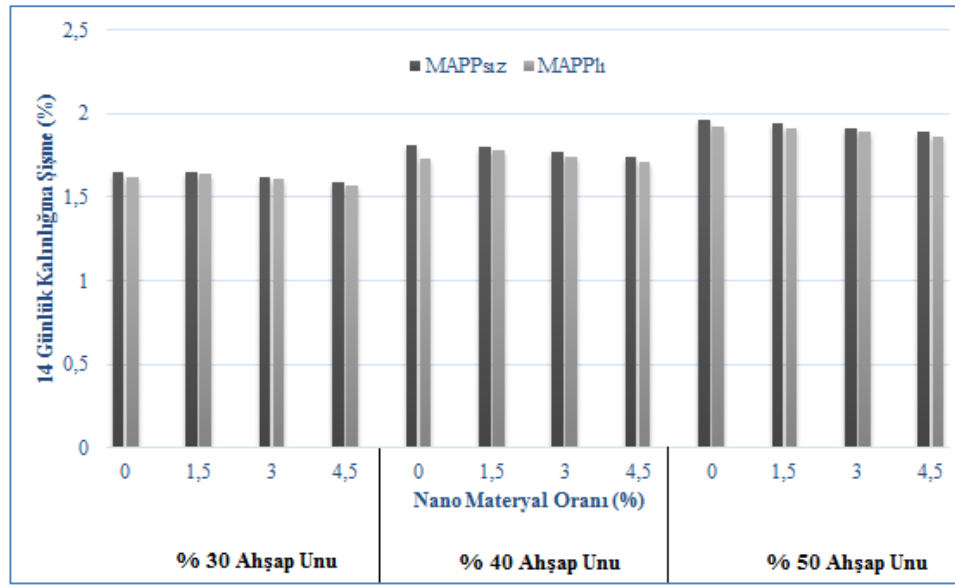
Şekil 4.17: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin 14 günlük kalınlığına şişme oranı üzerine etkisi

Şekil 4.17’de gösterildiği üzere ahşap plastik kompozit gruplarının 14 günlük kalınlığına şişme oranı %3’lük uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte bir miktar azalma göstermiştir. Sabit bir ahşap unu oranı seçildiğinde durum daha net anlaşılabacaktır. %50 oranındaki ahşap unu ile desteklenmiş kompozit grubunun 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesi uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte kontrol numunesine kıyasla %2.04 oranında azalmıştır. Uyum sağlayıcı ajan ilavesi kalınlığına şişme özelliklerini iyileştirmiştir. Her üç ahşap unu yükleme oranında da aynı durumu görmek mümkün olmaktadır.

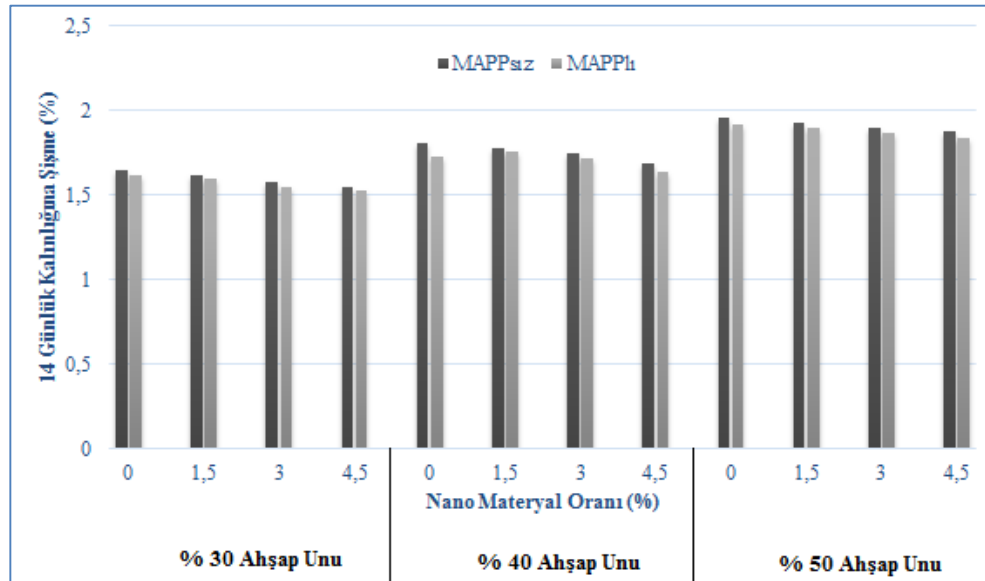


Şekil 4.18: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi

Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi (Şekil 4.18) incelendiğinde, karbon nanotüp oranının artmasına bağlı olarak kalınlığına şişme yüzdesinin azaldığı belirlenmiştir. Kalınlığına şişme deneyine ilişkin sonuçlar nanokil ve hegzagonal bor nitrür için de benzer özellikler taşımaktadır. Şekil 4.19 ve 4.20 bu amaç doğrultusunda hazırlanmıştır.



Şekil 4.19: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 14 günlük kalınlığa şişme yüzdesinin değişimi



Şekil 4.20: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 14 günlük kalınlığa şişme yüzdesinin değişimi

Karbon nanotüp, nanokil ve hegzagonal bor nitrür, uyum sağlayıcı ajanın etkisi ve ahşap unu oranının ahşap plastik nanokompozitlerin 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine etkisi Levene ve iki yönlü Anova kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.14 ve 4.15’de verilmiştir.

Tablo 4.14: 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesine ilişkin Levene testi istatistikleri

Karbon Nanotüp				Nanokil				Hegzagonal Bor Nitrür			
F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.
1.578	23	216	.050	1.450	23	216	.090	1.730	23	216	.024

Tablo 4.15: 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesine ilişkin Varyans analizi sonuçları

Kaynak	Karbon Nanotüp		Nano Kil		Hegzagonal Bor Nitrür	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Corrected Model	38.984	.000	40.223	.000	43.890	.000
Intercept	173250.388	.000	189522.232	.000	206459.310	.000
ahşapunu	418.100	.000	434.737	.000	477.221	.000
mapp	22.708	.000	12.469	.001	12.359	.001
nano	9.311	.000	11.695	.000	11.399	.000
ahşapunu *	.456	.634	.924	.398	.875	.418
mapp						
ahşapunu *	.634	.703	.405	.875	.404	.876
nano						
mapp * nano	.256	.857	.800	.495	.911	.437
ahşapunu *	.718	.636	.239	.963	.260	.955
mapp * nano						
Error						
Total						
Corrected Total						

Levene testi sonuçlarına göre karbon nanotüp ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit gruplarının varyanslarının homojen olmadığı tespit edilmiştir. Ancak nano kil ile güçlendirilen grupların varyanslarının homojen olduğu Tablo 4.14’de gösterilmektedir.

Tablo 4.15’te ki Varyans analizi sonuçlarına göre tüm gruplarda güçlendirici dolgu materyalinin, uyum sağlayıcı ajanın ve ahşap unu oranının nanokompozitlerin 14

günlük kalınlığına şişme yüzdelerinde %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Ancak faktörlerin birbiri ile etkileşiminden elde edilen etki tüm gruplarda %95 güven düzeyinde anlamlı bulunmamıştır. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının 14 günlük kalınlığına şişme yüzdelerinin gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları Tablo 4.16’da verilmiştir.

Tablo 4.16: Duncan testine göre nanokompozit grupların 14 günlük kalınlığına şişme yüzdelerinin gruplandırılması

KNT	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
	30.0	80	1.6145			.0	60	1.7848		
	40.0	80		1.7660		1.5	60	1.7868		
	50.0	80			1.9149	3.0	60		1.7565	
						4.5	60			1.7323
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		.868	1.000	1.000
NK	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
	30.0	80	1.6221			.0	60	1.7848		
	40.0	80		1.7639		1.5	60	1.7915		
	50.0	80			1.9153	3.0	60		1.7620	
						4.5	60			1.7300
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		.562	1.000	1.000
HBN	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
	30.0	80	1.6211			.0	60	1.7848		
	40.0	80		1.7629		1.5	60	1.7887		
	50.0	80			1.9153	3.0	60		1.7603	
						4.5	60			1.7318
	Sig		1.000	1.000	1.000	Sig		.728	1.000	1.000

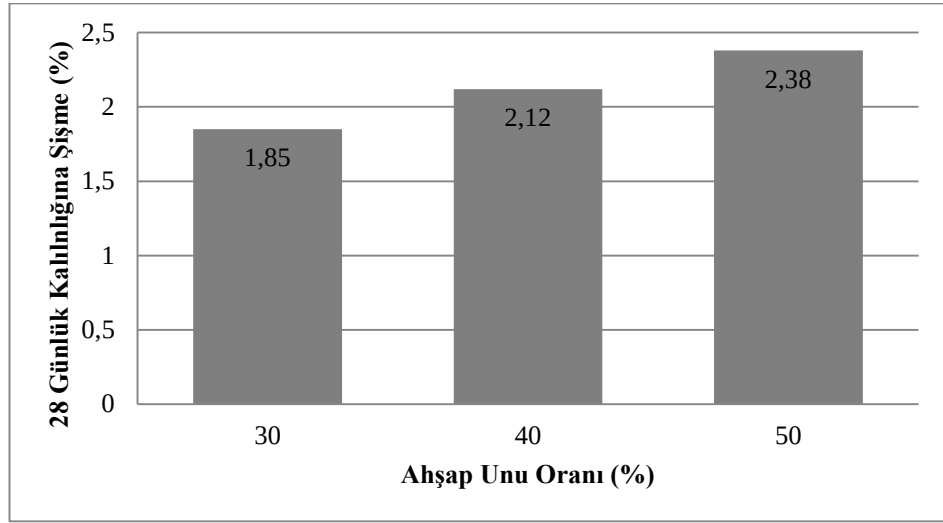
Duncan testi sonuçlarına göre karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine ahşap unu oranının tüm gruplarda farklılık oluşturduğu belirlenmiştir. Güçlendirici nano materyal oranının nanokompozit grupların 14 günlük kalınlığına şişme değeri üzerine benzer etkiyi yaptığı söylenebilir. Duncan testi sonuçlarına göre %3 ve %4.5 nano materyal katkı oranının kontrol grubu ile mukayese edildiğinde farklılık oluşturduğu ancak %1.5 lik güçlendirici dolgu ilavesinin kontrol grubu ile benzer özellikler taşıdığı belirlenmiştir.

Tablo 4.17 ahşap plastik nanokompozitlerin 28 günlük kalınlığına şişme değerlerine ilişkin ortalama ve standart sapma (parantez içinde) değerlerini göstermektedir.

Tablo 4.17: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait 28 günlük kalınlığına şişme yüzdeleri

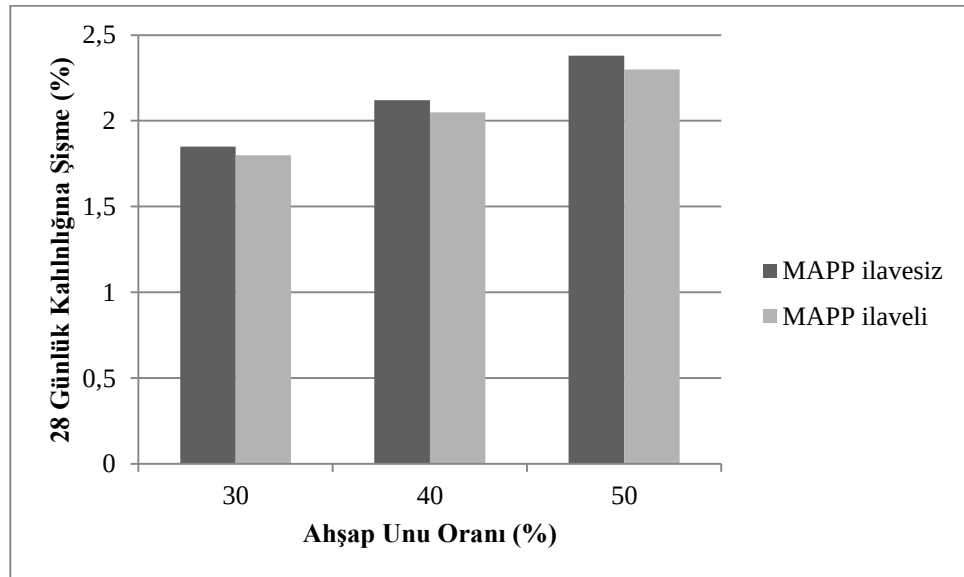
Kompozit grup no	Ahşap unu (%)	Nano materyal oranı (%)	MAPP (%)	Karbon Nanotüp	Nanokil	Hegzagonal Bor Nitrür
				%		
1	30	0	0	1.85(0.05)	1.85(0.05)	1.85(0.05)
2	30	0	3	1.80(0.08)	1.80(0.08)	1.80(0.08)
3	30	1.5	0	1.82(0.03)	1.81(0.03)	1.81(0.03)
4	30	3	0	1.81(0.03)	1.81(0.03)	1.79(0.03)
5	30	4.5	0	1.78(0.02)	1.79(0.02)	1.77(0.03)
6	30	1.5	3	1.80(0.04)	1.79(0.02)	1.77(0.03)
7	30	3	3	1.77(0.02)	1.76(0.03)	1.75(0.04)
8	30	4.5	3	1.73(0.04)	1.74(0.03)	1.73(0.04)
9	40	0	0	2.12(0.06)	2.12(0.06)	2.12(0.06)
10	40	0	3	2.05(0.05)	2.05(0.05)	2.05(0.05)
11	40	1.5	0	2.09(0.05)	2.10(0.02)	2.07(0.04)
12	40	3	0	2.07(0.03)	2.08(0.03)	2.04(0.03)
13	40	4.5	0	2.04(0.04)	2.05(0.02)	2.03(0.03)
14	40	1.5	3	2.05(0.04)	2.04(0.03)	2.03(0.03)
15	40	3	3	2.03(0.04)	2.02(0.04)	2.02(0.04)
16	40	4.5	3	2.01(0.04)	2.01(0.02)	2.00(0.03)
17	50	0	0	2.38(0.03)	2.38(0.03)	2.38(0.03)
18	50	0	3	2.30(0.03)	2.30(0.03)	2.30(0.03)
19	50	1.5	0	2.37(0.04)	2.38(0.04)	2.35(0.07)
20	50	3	0	2.35(0.03)	2.36(0.02)	2.33(0.05)
21	50	4.5	0	2.33(0.05)	2.33(0.02)	2.30(0.05)
22	50	1.5	3	2.26(0.05)	2.28(0.02)	2.25(0.06)
23	50	3	3	2.23(0.05)	2.26(0.05)	2.22(0.04)
24	50	4.5	3	2.21(0.09)	2.25(0.05)	2.21(0.05)

Tablo 4.17 incelendiğinde en düşük 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin diğer kalınlığına şişme örneklerinde olduğu gibi ahşap unu miktarının %30 olduğu gruplarda olduğu tespit edilmiştir. Ahşap plastik nanokompozitlerin 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin ahşap unu oranı arttıkça arttığı yine tablo 4.17’den görülebilmektedir. Bu durum güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan kontrol numunesi durumundaki 1, 9 ve 17. gruplar örnek olarak seçildiğinde grafik yoluyla daha net anlaşılabilecektir. Güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesinde meydana gelen değişim Şekil 4.21’de gösterilmektedir.



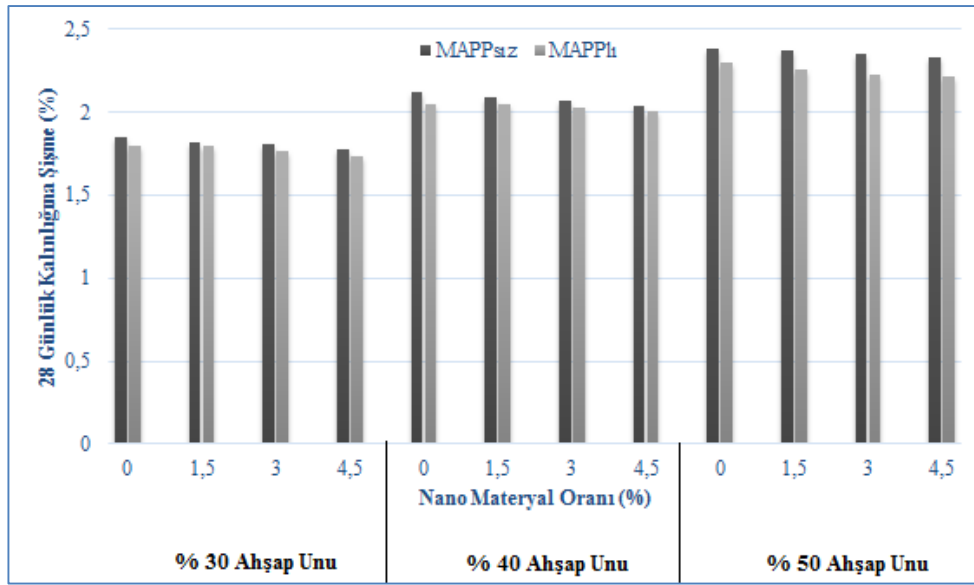
Şekil 4.21: Ahşap plastik kompozitlerin 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine ahşap unu oranının etkisi

Şekil 4.21 incelendiğinde ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak kompozit gruplarının 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesinde artışlar olduğu belirlenmiştir. Ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu miktarı %30'dan %50'ye yükseldiğinde 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesinde 28.96 oranında bir artış tespit edilmiştir.



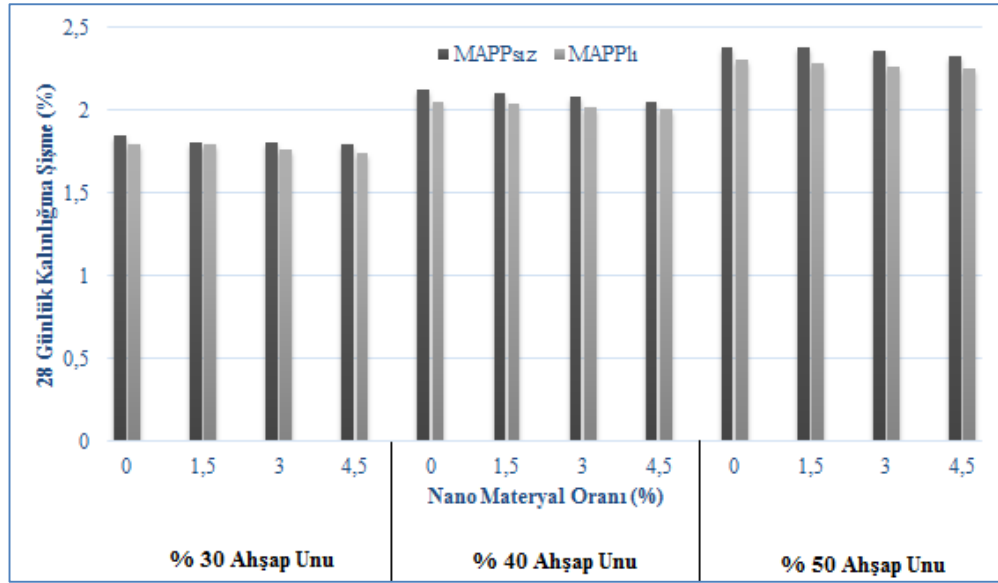
Şekil 4.22: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesi etkisi

Şekil 4.22’de gösterildiği üzere ahşap plastik kompozit gruplarının 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesi %3’lük uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte bir miktar azalma göstermiştir. Sabit bir ahşap unu oranı seçildiğinde durum daha net anlaşılacaktır. %50 oranındaki ahşap unu ile desteklenmiş kompozit grubunun 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesi uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte kontrol numunesine kıyasla %3.36 oranında azalmıştır. Uyum sağlayıcı ajan ilavesi kalınlığına şişme özelliklerini iyileştirmiştir. Her üç ahşap unu yükleme oranında da aynı durumu görmek mümkün olmaktadır.

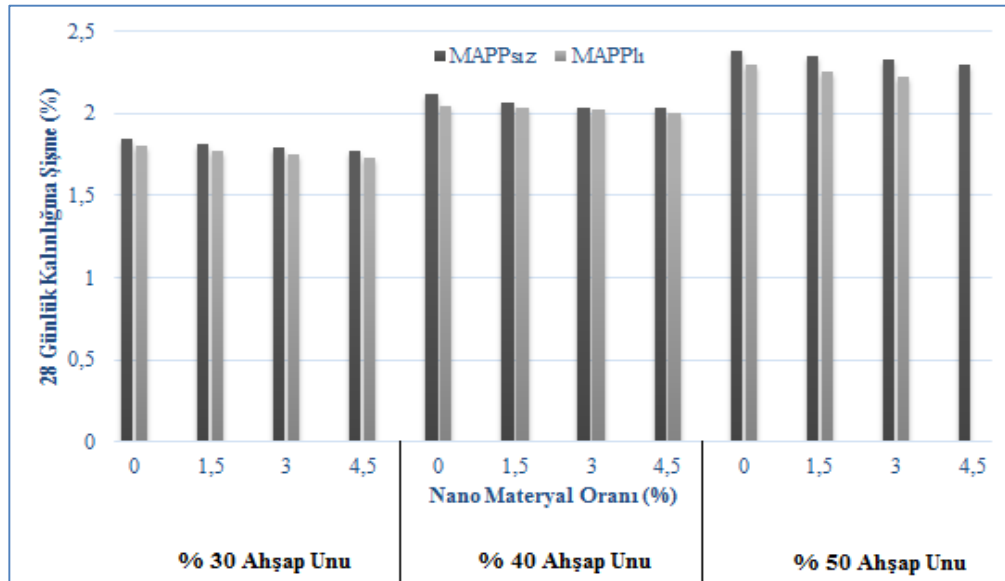


Şekil 4.23: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi

Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin değişimi (Şekil 4.23) incelendiğinde, karbon nanotüp oranının artmasına bağlı olarak kalınlığına şişme yüzdesinin azaldığı belirlenmiştir. Kalınlığına şişme deneyine ilişkin sonuçlar nanokil ve hegzagonal bor nitrür için de benzer özellikler taşımaktadır. Şekil 4.24 ve 4.25 bu amaç doğrultusunda hazırlanmıştır.



Şekil 4.24: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 28 günlük kalınlığa şişme yüzdesinin değişimi



Şekil 4.25: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 28 günlük kalınlığa şişme yüzdesinin değişimi

Karbon nanotüp, nanokil ve hegzagonal bor nitrür, uyum sağlayıcı ajanın etkisi ve ahşap unu oranının ahşap plastik nanokompozitlerin 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine etkisi Levene ve iki yönlü Anova kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.18 ve 4.19’da verilmiştir.

Tablo 4.18: 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesine ilişkin Levene testi istatistikleri

Karbon Nanotüp				Nanokil				Hegzagonal Bor Nitrür			
F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.
2.351	23	216	.001	4.505	23	216	.000	2.366	23	216	.001

Tablo 4.19: 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesine ilişkin Varyans analizi sonuçları

Kaynak	Karbon Nanotüp		Nano Kil		Hegzagonal Bor Nitrür	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Corrected Model	222.050	.000	335.859	.000	228.151	.000
Intercept	479821.198	.000	694598.541	.000	487895.606	.000
ahşapunu	2446.810	.000	3738.381	.000	2515.237	.000
mapp	113.163	.000	162.264	.000	100.428	.000
nano	22.985	.000	21.003	.000	31.314	.000
ahşapunu *	11.881	.000	8.274	.000	8.480	.000
mapp						
ahşapunu *	.200	.977	.095	.997	.149	.989
nano						
mapp * nano	.211	.888	.224	.879	.126	.945
ahşapunu *	.968	.448	.823	.553	.734	.623
mapp * nano						
Error						
Total						
Corrected Total						

Levene testi sonuçlarına göre karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit gruplarının varyanslarının homojen olmadığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen grupların varyanslarının homojen olmadığı Tablo 4.18’de gösterilmektedir. Tablo 4.19’ da ki Varyans analizi sonuçlarına göre tüm gruplarda güçlendirici dolgu materyalinin, uyum sağlayıcı ajanın ve ahşap unu oranının nanokompozitlerin 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesine %95

güven düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Ancak faktörlerin birbiri ile etkileşiminden elde edilen etki tüm gruplarda %95 güven düzeyinde anlamlı bulunmamıştır. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının 28 günlük kalınlığına şişme yüzdelерinin gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları Tablo 4.20’de verilmiştir.

Tablo 4.20: Duncan testine göre nanokompozit grupların 28 günlük kalınlığına şişme yüzdelерinin gruplandırılması

KNT	Ahşap Unu					Nano					
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset			
			1	2	3			1	2	3	4
	30.0	80	1.7991			.0	60	2.0868			
	40.0	80		2.0629		1.5	60		2.0697		
	50.0	80			2.3078	3.0	60			2.0492	
						4.5	60				2.0207
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		1.000	1.000	1.000	1.000
NK	Ahşap Unu					Nano					
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset			
			1	2	3			1	2	3	4
	30.0	80	1.7981			.0	60	2.0868			
	40.0	80		2.0644		1.5	60		2.0715		
	50.0	80			2.3220	3.0	60			2.0532	
						4.5	60				2.0345
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		1.000	1.000	1.000	1.000
HBN	Ahşap Unu					Nano					
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset			
			1	2	3			1	2	3	4
	30.0	80	1.7879			.0	60	2.0868			
	40.0	80		2.0503		1.5	60		2.0522		
	50.0	80			2.2964	3.0	60			2.0298	
						4.5	60				2.0105
	Sig		1.000	1.000	1.000	Sig		1.000	1.000	1.000	1.000

Tablo 4.20’de gösterilen Duncan testi sonuçlarına göre karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine ahşap unu oranının tüm gruplarda farklılık oluşturduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde güçlendirici nano materyal miktarının

nanokompozit grupların 28 günlük kalınlığına şişme yüzdesi üzerine aynı etkiyi yaptığı söylenebilir.

4.1.3. Su Alma

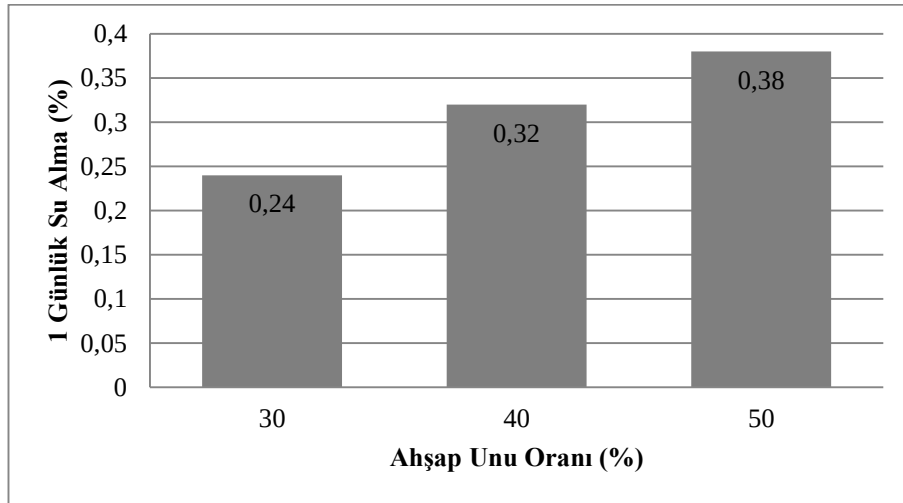
Bu kısımda güçlendirici materyallerin, uyum sağlayıcı ajanın ve ahşap unu oranının ahşap plastik nanokompozitlerin su alma yüzdesi üzerine etkisi incelenmiştir. Bağımsız değişkenlere ait su alma yüzdesi 1 gün, 7 gün, 14 gün ve 28 gün süreler dâhilinde 4 grup halinde incelenmiştir. 1 günlük su alma yüzdesine ilişkin ortalama ve standart sapma (parantez içinde) değerleri Tablo 4.21’de verilmiştir.

Tablo 4.21: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait 1 günlük su alma değerleri

Kompozit Grup	Ahşap unu (%)	Nano materyal oranı (%)	MAPP (%)	Karbon Nanotüp	Nanokil	Hegzagonal Bor Nitrür
				%		
Saf PP	0	0	0	0	0	0
1	30	0	0	0.24(0.06)	0.24(0.06)	0.24(0.06)
2	30	0	3	0.21(0.03)	0.21(0.03)	0.21(0.03)
3	30	1.5	0	0.23(0.12)	0.24(0.04)	0.23(0.06)
4	30	3	0	0.23(0.04)	0.23(0.07)	0.21(0.01)
5	30	4.5	0	0.20(0.04)	0.21(0.05)	0.19(0.05)
6	30	1.5	3	0.20(0.04)	0.21(0.02)	0.21(0.04)
7	30	3	3	0.19(0.02)	0.21(0.06)	0.19(0.03)
8	30	4.5	3	0.19(0.05)	0.20(0.04)	0.18(0.03)
9	40	0	0	0.32(0.02)	0.32(0.02)	0.32(0.02)
10	40	0	3	0.27(0.05)	0.27(0.05)	0.27(0.05)
11	40	1.5	0	0.32(0.07)	0.31(0.05)	0.31(0.05)
12	40	3	0	0.30(0.01)	0.30(0.06)	0.29(0.04)
13	40	4.5	0	0.28(0.06)	0.28(0.05)	0.28(0.08)
14	40	1.5	3	0.26(0.07)	0.27(0.05)	0.27(0.05)
15	40	3	3	0.25(0.01)	0.26(0.06)	0.25(0.05)
16	40	4.5	3	0.23(0.06)	0.24(0.06)	0.21(0.06)
17	50	0	0	0.38(0.06)	0.38(0.06)	0.38(0.06)
18	50	0	3	0.35(0.06)	0.35(0.06)	0.35(0.06)
19	50	1.5	0	0.37(0.04)	0.37(0.05)	0.35(0.10)
20	50	3	0	0.36(0.05)	0.35(0.04)	0.33(0.04)
21	50	4.5	0	0.33(0.07)	0.33(0.04)	0.30(0.05)
22	50	1.5	3	0.35(0.08)	0.35(0.04)	0.34(0.04)
23	50	3	3	0.32(0.07)	0.33(0.07)	0.30(0.07)
24	50	4.5	3	0.30(0.05)	0.31(0.03)	0.27(0.06)

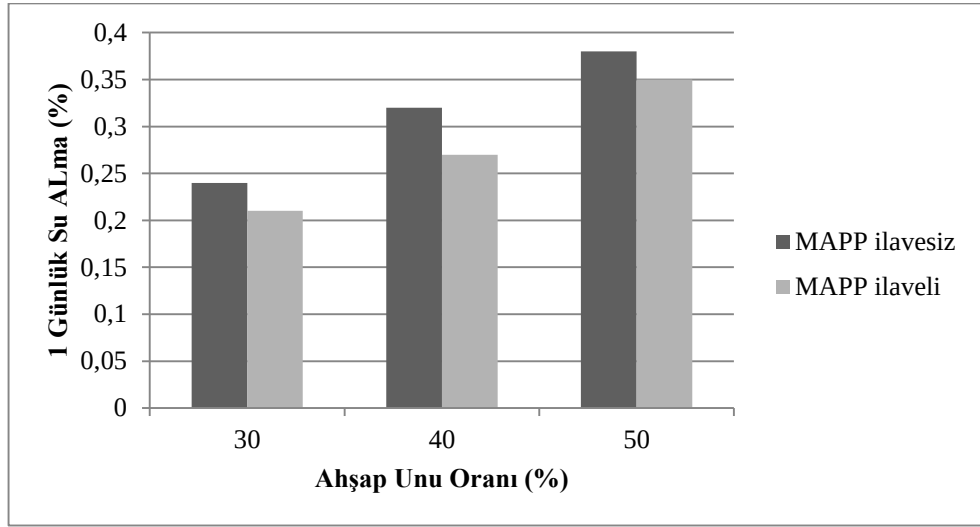
Tablo 4.21 incelendiğinde en düşük 1 günlük su alma yüzdesinin ahşap unu miktarının %30 olduğu gruplarda olduğu görülmektedir. Ahşap plastik nanokompozitlerin 1

günlük su alma yüzdesinin ahşap unu miktarı arttıkça artış gösterdiği yine tablo 4.21'den görülebilmektedir. Bu duruma güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan kontrol numunesi statüsündeki 1, 9 ve 17. gruplar örnek olarak seçildiğinde grafik yoluyla daha net anlaşılabilecektir. Güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak su alma yüzdesinde meydana gelen değişim Şekil 4.26'da gösterilmektedir.



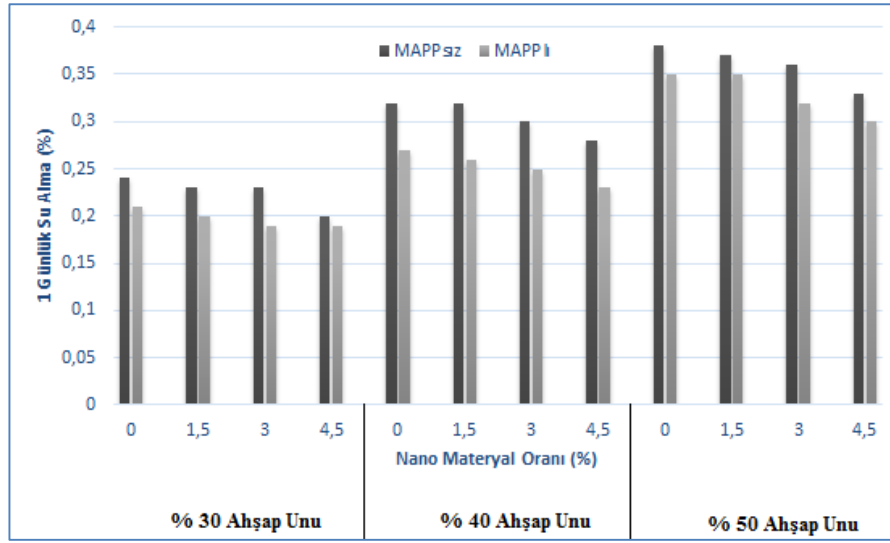
Şekil 4.26: Ahşap plastik kompozitlerin 1 günlük su alma yüzdesi üzerine ahşap unu oranının etkisi

Şekil 4.26 incelendiğinde ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına paralel olarak kompozit gruplarının 1 günlük su alma yüzdesinde artışlar olduğu görülebilmektedir. Ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranı %30 dan %50'ye yükseldiğinde 1 günlük su alma yüzdesinde 58.33 oranında bir artış görülmüştür.



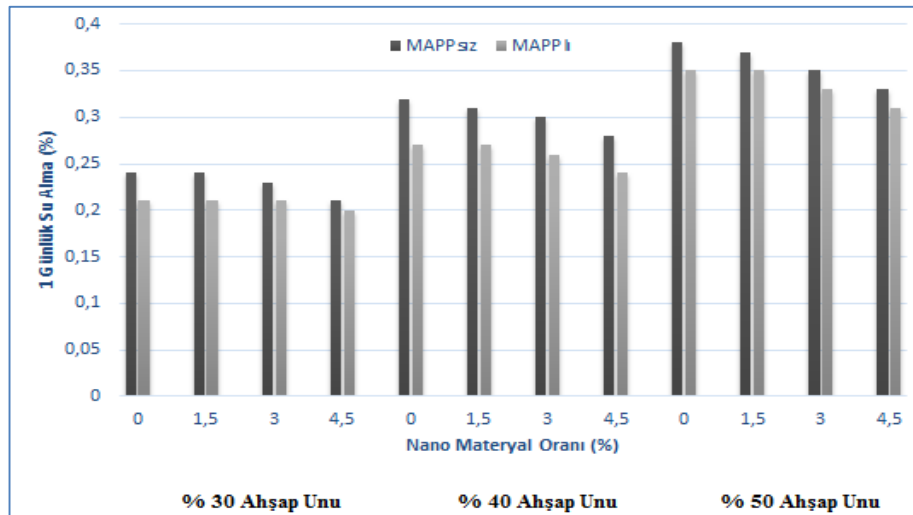
Şekil 4.27: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin 1 günlük su alma yüzdesi üzerine etkisi

Şekil 4.27’de gösterildiği üzere ahşap plastik kompozit gruplarının 1 günlük su alma yüzdesi %3’lük uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte bir miktar azalma göstermiştir. Sabit bir ahşap unu oranı seçildiğinde mevcut durum daha açık bir şekilde görülebilecektir. %50 oranındaki ahşap unu ile desteklenmiş kompozit grubunun 1 günlük su alma yüzdesi uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte kontrol numunesine kıyasla %7.89 oranında azalmıştır. Uyum sağlayıcı ajan ilavesi kalınlığına şişme özelliklerini iyileştirmiştir. Her üç ahşap unu yükleme oranında da aynı durumu görmek mümkün olmaktadır.

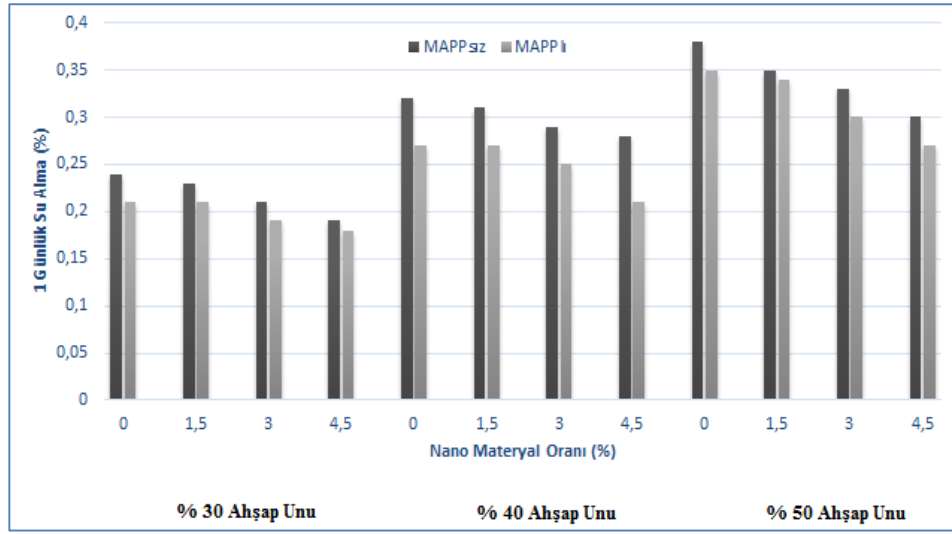


Şekil 4.28: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 1 günlük su alma yüzdesinin değişimi

Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 1 günlük su alma yüzdesinin değişimi (Şekil 4.28) incelendiğinde, karbon nanotüp oranının artmasına bağlı olarak 1 günlük su alma yüzdesinin azaldığı görülmektedir. 1 günlük su alma deneyine ilişkin sonuçlar nanokil ve hegzagonal bor nitrür için de benzer özellikler taşımaktadır. Şekil 4.29 ve 4.30 bu amaç doğrultusunda hazırlanmıştır.



Şekil 4.29: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 1 günlük su alma yüzdesinin değişimi



Şekil 4.30: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 1 günlük su alma yüzdesinin değişimi

Karbon nanotüp, nanokil ve hegzagonal bor nitrür, uyum sağlayıcı ajanın etkisi ve ahşap unu oranının ahşap plastik nanokompozitlerin 1 günlük su alma yüzdesi üzerine etkisi Levene ve iki yönlü Anova kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.22 ve 4.23’de verilmiştir.

Tablo 4.22: 1 günlük su alma yüzdesine ilişkin Levene testi istatistikleri

Karbon Nanotüp				Nanokil				Hegzagonal Bor Nitrür			
F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.
2.717	23	216	.000	1.807	23	216	.016	2.416	23	216	.001

Tablo 4.23: 1 günlük su alma yüzdesine ilişkin Varyans analizi sonuçları

Kaynak	Karbon Nanotüp		Nano Kil		Hegzagonal Bor Nitrür	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Corrected Model	11.325	.000	11.800	.000	11.035	.000
Intercept	5685.799	.000	6735.724	.000	5824.178	.000
ahşapunu	107.145	.000	117.623	.000	95.916	.000
mapp	20.313	.000	14.362	.000	19.304	.000
nano	5.600	.001	4.468	.005	11.305	.000
ahşapunu *	.305	.738	.170	.844	1.524	.220
mapp						
ahşapunu *	.536	.780	.736	.621	.656	.686
nano						
mapp * nano	.240	.869	.620	.603	.363	.780
ahşapunu *	.755	.606	.294	.939	.116	.994
mapp * nano						
Error						
Total						
Corrected Total						

Levene testi sonuçlarına göre karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit gruplarının varyanslarının homojen olmadığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen grupların varyanslarının homojen olmadığı Tablo 4.22’ de gösterilmektedir.

Tablo 4.23’ de ki Varyans analizi sonuçlarına göre tüm gruplarda güçlendirici dolgu materyalinin, uyum sağlayıcı ajanın ve ahşap unu oranının nanokompozitlerin 1 günlük su alma yüzdesine %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Ancak faktörlerin birbiri ile etkileşiminden elde edilen etki tüm gruplarda %95 güven düzeyinde anlamlı bulunmamıştır. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının 1 günlük su alma yüzdesinin gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları Tablo 4.24’de verilmiştir.

Tablo 4.24: Duncan testine göre nanokompozit grupların 1 günlük su alma yüzdesinin gruplandırılması

	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
KNT	30.0	80	.2106			.0	60	.2925		
	40.0	80		.2848		1.5	60	.2872		
	50.0	80			.3433	3.0	60	.2848		
						4.5	60		.2537	
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		.495	1.000	
NK	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
	30.0	80	.2165			.0	60	.2925		
	40.0	80		.2875		1.5	60	.2915		
	50.0	80			.3460	3.0	60	.2877		
HBN						4.5	60		.2617	
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		.645	1.000	
	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
HBN	30.0	80	.2074			.0	60	.2925		
	40.0	80		.2755		1.5	60	.2850		
	50.0	80			.3270	3.0	60		.2625	
						4.5	60			.2398
	Sig		1.000	1.000	1.000	Sig		.454	1.000	1.000

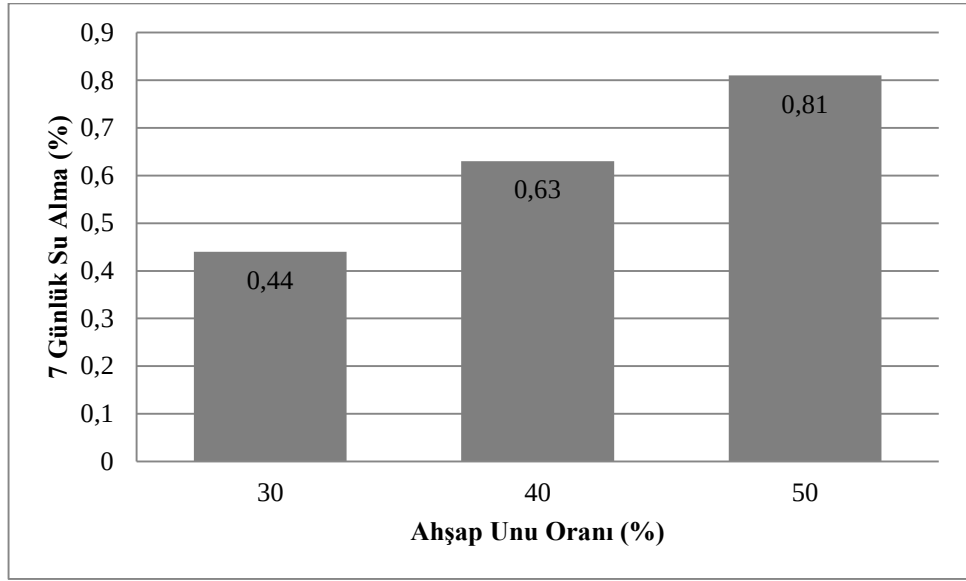
Tablo 4.24’de gösterilen Duncan testi sonuçlarına göre karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının 1 günlük su alma yüzdesi üzerine ahşap unu oranının tüm gruplarda farklılık oluşturduğu belirlenmiştir. Nano materyal etkisinin gruplar üzerindeki etkisi karbon nanotüp ve nano kil ile benzer özellikler gösterirken hegzagonal bor nitrür farklı davranış sergilemiştir. Tablo 4.24’e göre %1.5 ve %3 oranında karbon nanotüp ve nano kil ile güçlendirilen nanokompozit gruplar kontrol grubu gibi davranış sergilerken, hegzagonal bor nitrürde sadece %1.5 luk güçlendirici ilavesi kontrol gibi davranış sergilemiştir.

Tablo 4.25 ahşap plastik nanokompozitlerin 7 günlük su alma yüzdesine ilişkin ortalama ve standart sapma (parantez içinde) değerlerini göstermektedir.

Tablo 4.25: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait 7 günlük su alma yüzdeleri

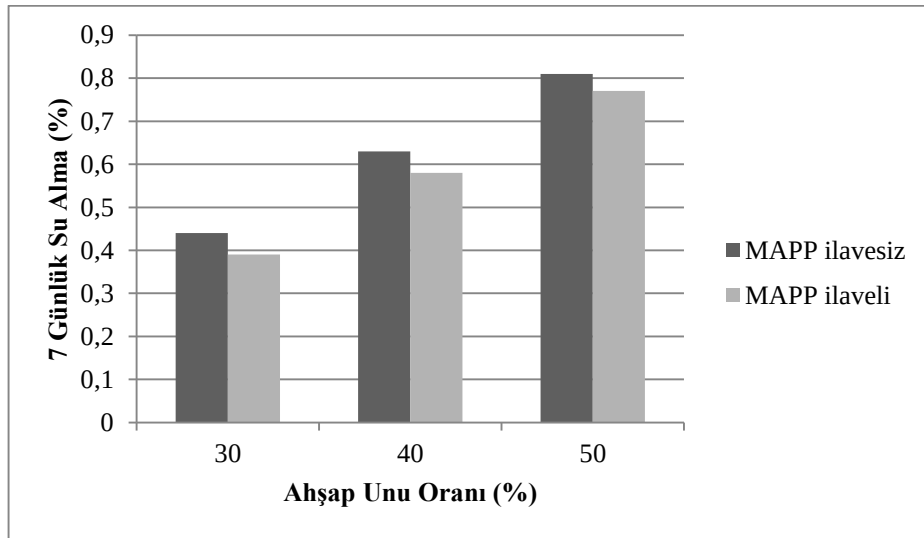
Kompozit grup no	Ahşap unu (%)	Nano materyal oranı (%)	MAPP (%)	Karbon Nanotüp (%)	Nanokil (%)	Hegzagonal Bor Nitrür (%)
				%		
1	30	0	0	0.44(0.07)	0.44(0.07)	0.44(0.07)
2	30	0	3	0.39(0.06)	0.39(0.06)	0.39(0.06)
3	30	1.5	0	0.42(0.04)	0.44(0.06)	0.43(0.06)
4	30	3	0	0.40(0.06)	0.41(0.06)	0.41(0.06)
5	30	4.5	0	0.39(0.05)	0.39(0.04)	0.38(0.04)
6	30	1.5	3	0.41(0.04)	0.42(0.04)	0.41(0.03)
7	30	3	3	0.38(0.06)	0.38(0.06)	0.36(0.03)
8	30	4.5	3	0.36(0.05)	0.35(0.05)	0.35(0.03)
9	40	0	0	0.63(0.06)	0.63(0.06)	0.63(0.06)
10	40	0	3	0.58(0.07)	0.58(0.07)	0.58(0.07)
11	40	1.5	0	0.61(0.09)	0.63(0.08)	0.62(0.05)
12	40	3	0	0.60(0.07)	0.61(0.10)	0.59(0.06)
13	40	4.5	0	0.58(0.06)	0.57(0.09)	0.56(0.05)
14	40	1.5	3	0.59(0.07)	0.61(0.06)	0.60(0.03)
15	40	3	3	0.58(0.07)	0.58(0.06)	0.56(0.06)
16	40	4.5	3	0.54(0.11)	0.55(0.05)	0.53(0.04)
17	50	0	0	0.81(0.08)	0.81(0.08)	0.81(0.08)
18	50	0	3	0.77(0.09)	0.77(0.09)	0.77(0.09)
19	50	1.5	0	0.80(0.07)	0.80(0.07)	0.81(0.05)
20	50	3	0	0.77(0.09)	0.77(0.06)	0.78(0.05)
21	50	4.5	0	0.75(0.07)	0.76(0.07)	0.75(0.06)
22	50	1.5	3	0.75(0.09)	0.75(0.07)	0.76(0.03)
23	50	3	3	0.73(0.10)	0.73(0.05)	0.74(0.06)
24	50	4.5	3	0.71(0.10)	0.70(0.07)	0.71(0.04)

Tablo 4.25 incelendiğinde en düşük 7 günlük su alma yüzdesinin ahşap unu oranının %30 olduğu gruplarda olduğu görülmektedir. Ahşap plastik nanokompozitlerin 7 günlük su alma yüzdesinin ahşap unu oranı arttıkça arttığı yine tablo 4.25’den görülebilmektedir. Bu durum güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan kontrol numunesi statüsündeki 1, 9 ve 17. gruplar örnek olarak seçildiğinde grafik yoluyla daha net anlaşılabilecektir. Güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan ahşap plastik nanokompozit içerisindeki ahşap unu miktarının artmasına bağlı olarak 7 günlük su alma yüzdesinde meydana gelen değişim Şekil 4.31’de gösterilmektedir.



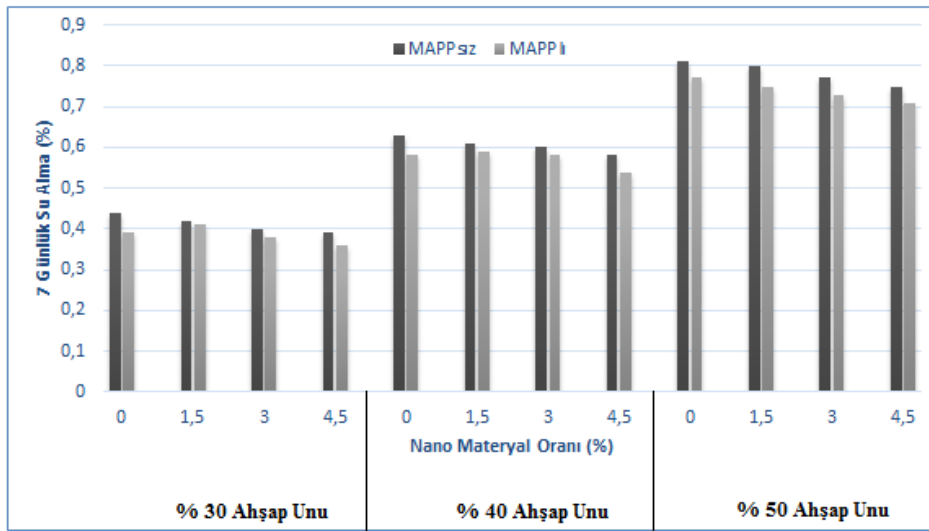
Şekil 4.31: Ahşap plastik kompozitlerin 7 günlük su alma yüzdesi üzerine ahşap unu oranının etkisi

Şekil 4.31 incelendiğinde ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına paralel olarak kompozit gruplarının 7 günlük su alma yüzdesinde artışlar olduğu görülebilmektedir. Ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu miktarı %30'dan %50'ye yükseldiğinde 7 günlük su alma yüzdesinde 84.09 oranında bir artış görülmüştür.



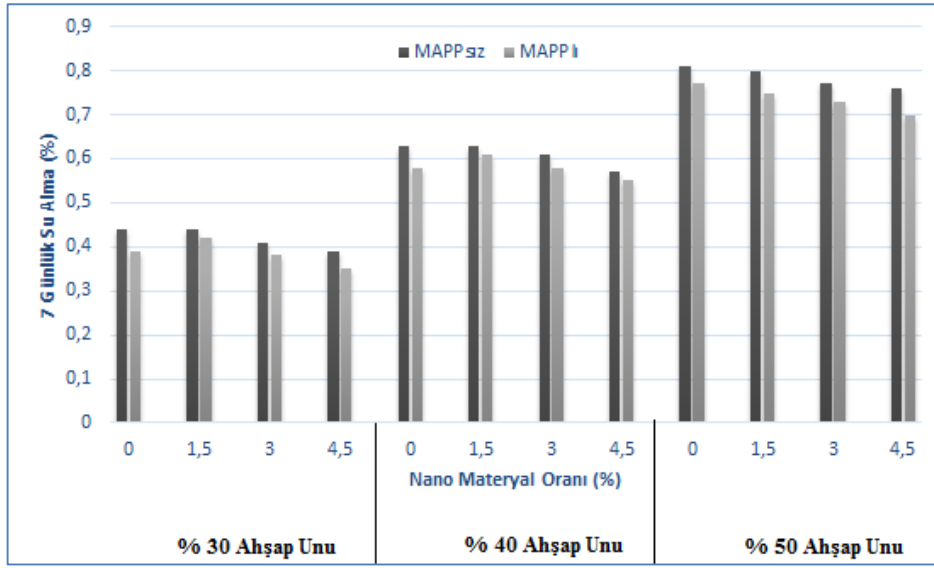
Şekil 4.32: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin 7 günlük su alma yüzdesi üzerine etkisi

Şekil 4.32’de gösterildiği üzere ahşap plastik kompozit gruplarının 7 günlük su alma yüzdesi %3’lük uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte bir miktar azalma göstermiştir. Sabit bir ahşap unu oranı seçildiğinde mevcut durum daha açık bir şekilde görülebilecektir. %50 oranındaki ahşap unu ile desteklenmiş kompozit grubunun 7 günlük su alma yüzdesi uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte kontrol numunesine kıyasla %4.93 oranında azalmıştır. Uyum sağlayıcı ajan ilavesi su alma özelliklerini iyileştirmiştir. Her üç ahşap unu yükleme oranında da aynı durumu Şekil 4.33, 4.34 ve 4.35 aracılığıyla görmek mümkündür.

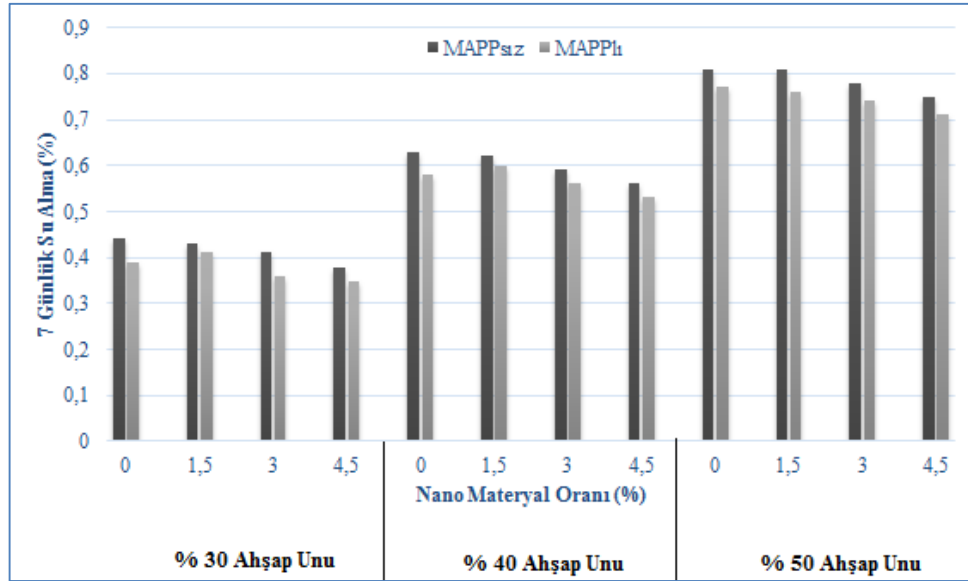


Şekil 4.33: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 7 günlük su alma değerlerinin değişimi

Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 7 günlük su alma yüzdesinin değişimi (Şekil 4.32) incelendiğinde, karbon nanotüp oranının artmasına bağlı olarak su alma yüzdesinin azaldığı görülmektedir. Su alma deneyine ilişkin sonuçlar nanokil ve hegzagonal bor nitrür için de benzer özellikler taşımaktadır.



Şekil 4.34: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 7 günlük su alma yüzdesinin değişimi



Şekil 4.35: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 7 günlük su alma yüzdesinin değişimi

Karbon nanotüp, nanokil ve hegzagonal bor nitrür, uyum sağlayıcı ajanın etkisi ve ahşap unu oranının ahşap plastik nanokompozitlerin 7 günlük su alma yüzdesi üzerine etkisi Levene ve iki yönlü Anova kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.26 ve 4.27’de verilmiştir.

Tablo 4.26: 7 günlük su alma yüzdesine ilişkin Levene testi istatistikleri

Karbon Nanotüp				Nanokil				Hegzagonal Bor Nitrür			
F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.
2.103	23	216	.003	2.113	23	216	.003	1.876	23	216	.011

Tablo 4.27: 7 günlük su alma yüzdesine ilişkin Varyans analizi sonuçları

	Karbon Nanotüp		Nano Kil		Hegzagonal Bor Nitrür	
Kaynak	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Corrected Model	42.712	.000	56.124	.000	79.593	.000
Intercept	14885.043	.000	19496.854	.000	26243.846	.000
ahşapunu	475.898	.000	618.571	.000	878.932	.000
mapp	13.218	.000	21.212	.000	27.473	.000
nano	4.659	.004	9.309	.000	14.085	.000
ahşapunu *	.215	.806	.458	.633	.230	.795
mapp						
ahşapunu *	.199	.977	.287	.943	.087	.997
nano						
mapp * nano	.372	.773	.224	.880	.361	.781
ahşapunu *	.107	.996	.212	.973	.164	.986
mapp * nano						
Error						
Total						
Corrected Total						

Tablo 4.26’da gösterilen Levene testi sonuçlarına göre karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit gruplarının varyanslarının homojen olmadığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde nano kil ve hegzeagonal bor nitrür ile güçlendirilen grupların varyanslarının homojen olmadığı Tablo 4.26’da gösterilmektedir.

Tablo 4.27’ de gösterilen Varyans analizi sonuçlarına göre tüm gruplarda güçlendirici dolgu materyalinin, uyum sağlayıcı ajanın ve ahşap unu oranının nanokompozitlerin 7 günlük su alma yüzdesine %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Ancak faktörlerin birbiri ile etkileşiminden elde edilen etki tüm gruplarda %95 güven düzeyinde anlamlı bulunmamıştır. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzeagonal

bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının 7 günlük su alma yüzdelerinin gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları Tablo 4.28’de verilmiştir.

Tablo 4.28: Duncan testine göre nanokompozit grupların 7 günlük su alma yüzdelerinin gruplandırılması

KNT	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
	30.0	80	.3985			.0	60	.6005		
	40.0	80		.5879		1.5	60	.5962		
	50.0	80			.7586	3.0	60	.5737	.5737	
						4.5	60		.5563	
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		.060	.200	
NK	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
	30.0	80	.4006			.0	60	.6005		
	40.0	80		.5928		1.5	60	.6085	.6085	
	50.0	80			.7613	3.0	60		.5792	
						4.5	60			.5513
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		.500	.073	1.000
HBN	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
	30.0	80	.3968			.0	60	.6005		
	40.0	80		.5838		1.5	60	.6065		
	50.0	80			.7658	3.0	60		.5735	
						4.5	60			.5478
	Sig		1.000	1.000	1.000	Sig		.556	1.000	1.000

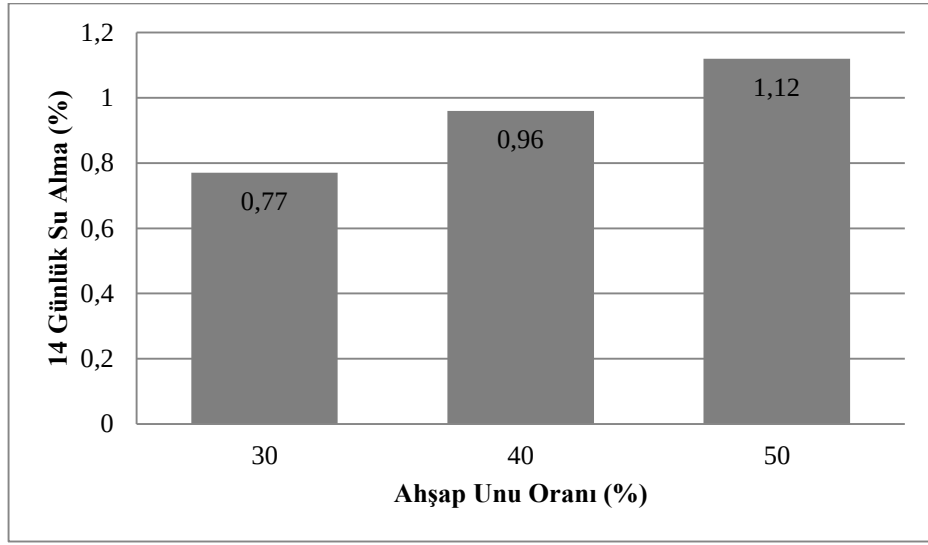
Duncan testi sonuçlarına göre karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının 7 günlük su alma yüzdesi üzerine ahşap unu oranının tüm gruplarda farklılık oluşturduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.29 ahşap plastik nanokompozitlerin 14 günlük su alma yüzdesine ilişkin ortalama ve standart sapma (parantez içinde) değerlerini göstermektedir.

Tablo 4.29: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait 14 günlük su alma yüzdeleri

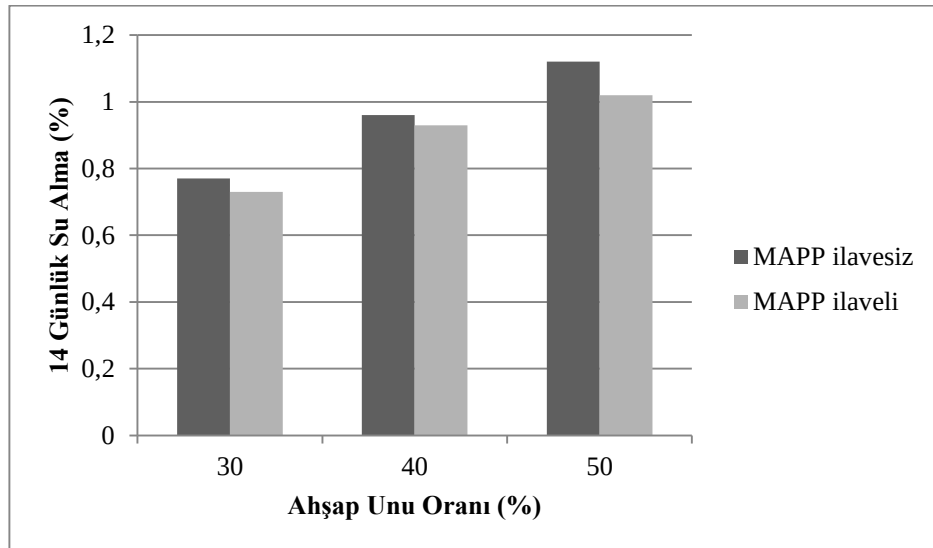
Kompozit grup no	Ahşap unu (%)	Nano materyal oranı (%)	MAPP (%)	Karbon Nanotüp	Nanokil	Hegzagonal Bor Nitrür
				%		
1	30	0	0	0.77(0.08)	0.77(0.08)	0.77(0.08)
2	30	0	3	0.73(0.07)	0.73(0.07)	0.73(0.07)
3	30	1.5	0	0.75(0.06)	0.76(0.07)	0.73(0.04)
4	30	3	0	0.72(0.07)	0.73(0.05)	0.70(0.04)
5	30	4.5	0	0.68(0.07)	0.70(0.08)	0.64(0.05)
6	30	1.5	3	0.71(0.07)	0.73(0.06)	0.70(0.04)
7	30	3	3	0.69(0.04)	0.70(0.06)	0.66(0.05)
8	30	4.5	3	0.64(0.06)	0.66(0.04)	0.61(0.07)
9	40	0	0	0.96(0.10)	0.96(0.10)	0.96(0.10)
10	40	0	3	0.93(0.08)	0.93(0.08)	0.93(0.08)
11	40	1.5	0	0.94(0.10)	0.95(0.07)	0.93(0.09)
12	40	3	0	0.93(0.06)	0.93(0.05)	0.90(0.05)
13	40	4.5	0	0.89(0.06)	0.91(0.05)	0.87(0.06)
14	40	1.5	3	0.91(0.07)	0.92(0.05)	0.90(0.05)
15	40	3	3	0.89(0.08)	0.89(0.03)	0.88(0.04)
16	40	4.5	3	0.86(0.05)	0.86(0.08)	0.84(0.05)
17	50	0	0	1.12(0.08)	1.12(0.08)	1.12(0.08)
18	50	0	3	1.02(0.04)	1.02(0.04)	1.02(0.04)
19	50	1.5	0	1.11(0.08)	1.10(0.05)	1.09(0.05)
20	50	3	0	1.07(0.05)	1.07(0.04)	1.05(0.07)
21	50	4.5	0	1.03(0.03)	1.04(0.06)	1.01(0.06)
22	50	1.5	3	1.08(0.04)	1.07(0.03)	1.07(0.05)
23	50	3	3	1.05(0.05)	1.04(0.04)	1.03(0.04)
24	50	4.5	3	1.01(0.02)	1.01(0.04)	0.99(0.07)

Tablo 4.29 incelendiğinde en düşük 14 günlük su alma yüzdesinin ahşap unu oranının %30 olduğu gruplarda olduğu görülmektedir. Ahşap plastik nanokompozitlerin 14 günlük su alma yüzdesinin ahşap unu oranı arttıkça arttığı yine tablo 4.29'den görülebilmektedir. Bu durum güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan kontrol numunesi statüsündeki 1, 9 ve 17. gruplar örnek olarak seçildiğinde grafik yoluyla daha net anlaşılabilmektedir. Güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu miktarının artmasına bağlı olarak 14 günlük su alma yüzdesinde meydana gelen değişim Şekil 4.36'da gösterilmektedir



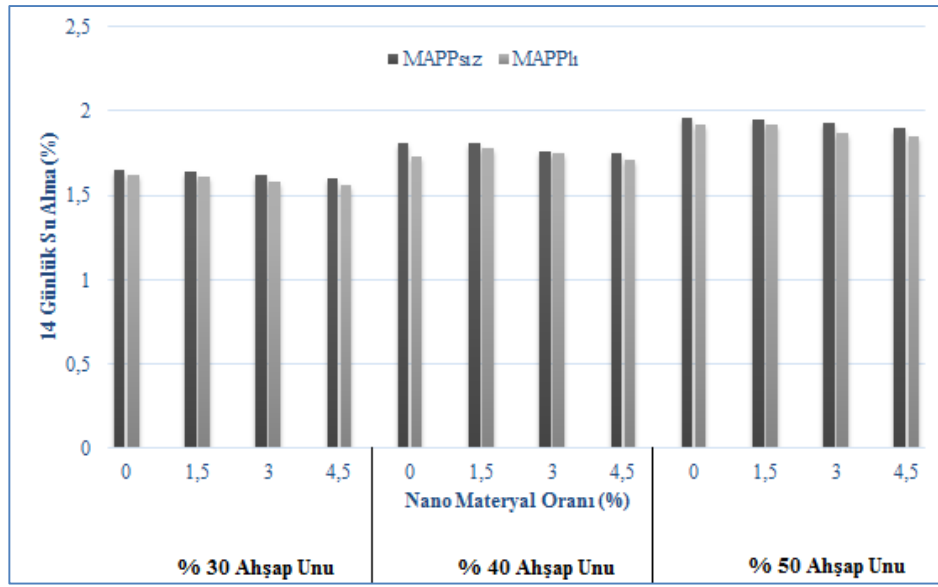
Şekil 4.36: Ahşap plastik kompozitlerin 14 günlük su alma yüzdesinin üzerine ahşap unu oranının etkisi

Şekil 4.36 incelendiğinde ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına paralel olarak kompozit gruplarının 14 günlük su alma yüzdesinde artışlar olduğu görülebilmektedir. Ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu miktarı %30'dan %50'ye yükseldiğinde 14 günlük su alma yüzdesinde 45.45 oranında bir artış görülmüştür.



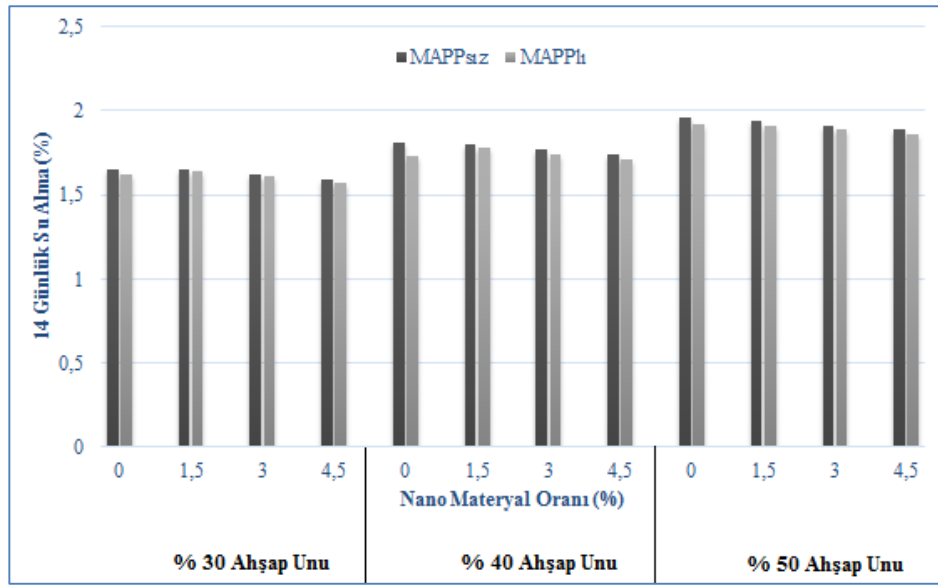
Şekil 4.37: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin 14 günlük su alma yüzdesi üzerine etkisi

Şekil 4.37’de gösterildiği üzere ahşap plastik kompozit gruplarının 14 günlük su alma yüzdesi %3’lük uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte bir miktar azalma göstermiştir. Sabit bir ahşap unu oranı seçildiğinde mevcut durum daha açık bir şekilde görülebilecektir. %50 oranındaki ahşap unu ile desteklenmiş kompozit grubunun 14 günlük su alma yüzdesi uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte kontrol numunesine kıyasla %9.80 oranında azalmıştır. Uyum sağlayıcı ajan ilavesi su alma özelliklerini iyileştirmiştir. Her üç ahşap unu yükleme oranında da aynı durumu Şekil 4.38, 4.39 ve 4.40 aracılığıyla görmek mümkün olmaktadır.

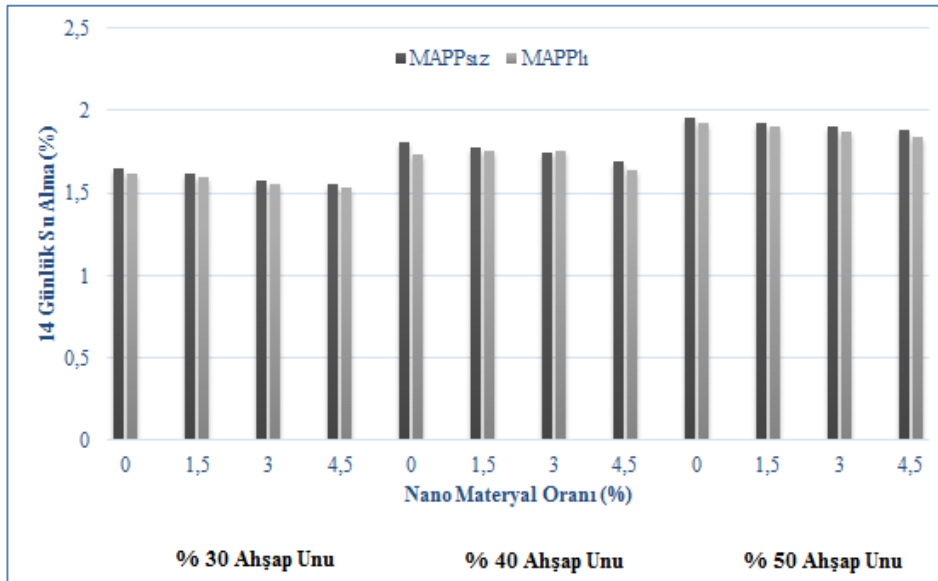


Şekil 4.38: Karbon nanotüp (KNT) ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 14 günlük su alma yüzdesinin değişim

Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 14 günlük su alma yüzdesinin değişimi (Şekil 4.38) incelendiğinde, karbon nanotüp oranının artmasına bağlı olarak su alma değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Su alma deneyine ilişkin sonuçlar nanokil ve hegzagonal bor nitrür için de benzer şekildedir.



Şekil 4.39: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 14 günlük su alma yüzdesinin değişimi



Şekil 4.40: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 14 günlük su alma yüzdesinin değişimi

Karbon nanotüp, nanokil ve hegzagonal bor nitrür, uyum sağlayıcı ajanın etkisi ve ahşap unu oranının ahşap plastik nanokompozitlerin 14 günlük su alma yüzdesi üzerine

etkisi Levene ve iki yönlü Anova kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.30 ve 4.31’de verilmiştir.

Tablo 4.30: 14 günlük su alma yüzdesine ilişkin Levene testi istatistikleri

Karbon Nanotüp				Nanokil				Hegzagonal Bor Nitrür			
F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.
1.835	23	216	.014	1.955	23	216	.007	1.939	23	216	.008

Tablo 4.31: 14 günlük su alma yüzdesine ilişkin Varyans analizi sonuçları

Kaynak	Karbon Nanotüp		Nano Kil		Hegzagonal Bor Nitrür	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Corrected Model	51.962	.000	58.827	.000	66.263	.000
Intercept	44432.410	.000	55240.755	.000	51832.390	.000
ahşapunu	561.897	.000	641.053	.000	700.751	.000
mapp	18.619	.000	24.467	.000	18.567	.000
nano	14.399	.000	12.847	.000	30.192	.000
ahşapunu * mapp	.138	.871	.283	.754	.199	.820
ahşapunu * nano	.651	.689	.293	.940	1.010	.419
mapp * nano	.584	.626	.657	.579	.946	.419
ahşapunu * mapp * nano	.598	.732	.604	.727	.684	.663
Error						
Total						
Corrected Total						

Tablo 4.30’da gösterilen Levene testi sonuçlarına göre karbon nanotüp, nono kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit gruplarının varyanslarının homojen olmadığı tespit edilmiştir. Tablo 4.31’ de ki Varyans analizi sonuçlarına göre tüm gruplarda güçlendirici dolgu materyalinin, uyum sağlayıcı ajanın ve ahşap unu oranının nanokompozitlerin 14 günlük su alma değerine %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Ancak faktörlerin birbiri ile etkileşiminden elde edilen etki tüm gruplarda %95 güven düzeyinde anlamlı bulunmamıştır. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Karbon

nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının 14 günlük kalınlığına şişme yüzdesinin gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları Tablo 4.32’de verilmiştir.

Tablo 4.32: Duncan testine göre nanokompozit grupların 14 günlük su alma yüzdesinin gruplandırılması

	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
KNT	30.0	80	.7162			.0	60	.9277		
	40.0	80		.9174		1.5	60	.9207		
	50.0	80			1.0654	3.0	60		.8942	
						4.5	60			.8562
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		.563	1.000	1.000
	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
NK			1	2	3			1	2	3
	30.0	80	.7275			.0	60	.9277		
	40.0	80		.9232		1.5	60	.9255		
	50.0	80			1.0636	3.0	60		.8968	
						4.5	60			.8692
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		.842	1.000	1.000
	Ahşap Unu					Nano				
HBN	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
	30.0	80	.6973			.0	60	.9277		
	40.0	80		.9059		1.5	60	.9088		
	50.0	80			1.0519	3.0	60		.8727	
						4.5	60			.8308
	Sig		1.000	1.000	1.000	Sig		.088	1.000	1.000

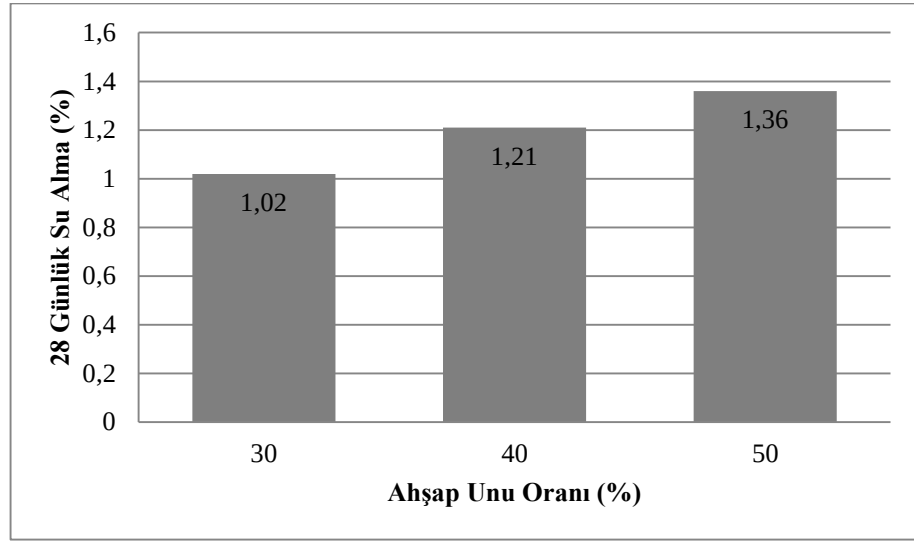
Tablo 4.32’de gösterilen Duncan testi sonuçlarına göre karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının 14 günlük su alma yüzdesi üzerine ahşap unu oranının tüm gruplarda farklılık oluşturduğu belirlenmiştir. Ahşap plastik kompozitlerin 14 günlük su alma davranışı üzerine nano materyal miktarının etkisi karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür için aynı olmuştur. Her üç nano materyal türünde de %1.5 lik nano materyal katkısı kontrol grubu ile benzerlik gösterirken %3 ve %4.5 nano materyal oranı hem bunlardan hem de birbirlerinden farklı bir davranış göstererek sonuçlanmıştır.

Tablo 4.33 ahşap plastik nanokompozitlerin 28 günlük su alma yüzdesine ilişkin ortalama ve standart sapma (parantez içinde) değerlerini göstermektedir.

Tablo 4.33: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait 28 günlük su alma yüzdesi

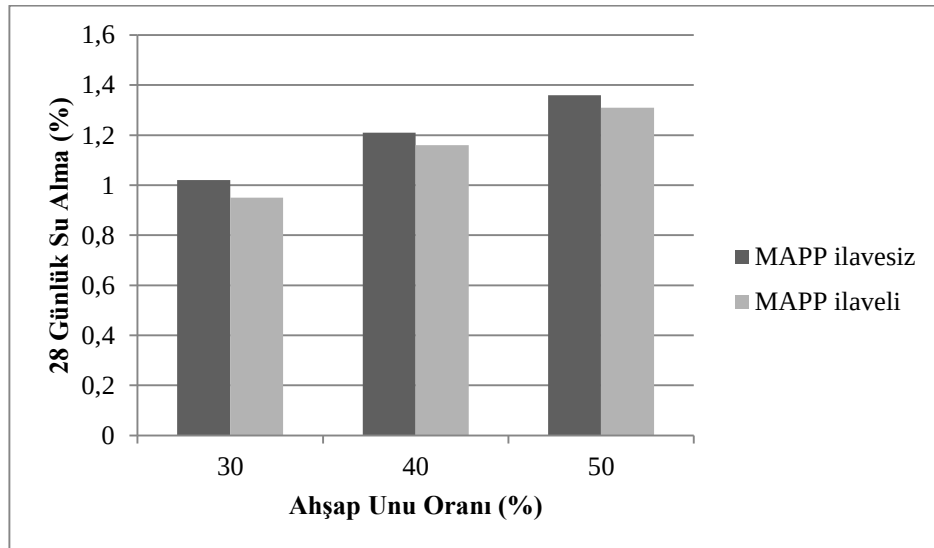
Kompozit Grup	Ahşap unu (%)	Nano materyal oranı (%)	MAPP (%)	Karbon Nanotüp	Nanokil	Hegzagonal Bor Nitrür
				%		
1	30	0	0	1.02(0.02)	1.02(0.02)	1.02(0.02)
2	30	0	3	0.95(0.04)	0.95(0.04)	0.95(0.04)
3	30	1.5	0	1.01(0.02)	1.01(0.03)	0.99(0.03)
4	30	3	0	1.00(0.03)	0.99(0.03)	0.98(0.03)
5	30	4.5	0	0.98(0.02)	0.97(0.03)	0.96(0.03)
6	30	1.5	3	0.94(0.04)	0.94(0.03)	0.93(0.04)
7	30	3	3	0.93(0.02)	0.92(0.02)	0.91(0.03)
8	30	4.5	3	0.90(0.04)	0.91(0.03)	0.90(0.02)
9	40	0	0	1.21(0.05)	1.21(0.05)	1.21(0.05)
10	40	0	3	1.16(0.07)	1.16(0.07)	1.16(0.07)
11	40	1.5	0	1.19(0.05)	1.20(0.03)	1.18(0.04)
12	40	3	0	1.18(0.04)	1.17(0.03)	1.16(0.03)
13	40	4.5	0	1.15(0.06)	1.15(0.03)	1.14(0.05)
14	40	1.5	3	1.15(0.07)	1.16(0.04)	1.14(0.03)
15	40	3	3	1.13(0.04)	1.15(0.04)	1.12(0.03)
16	40	4.5	3	1.12(0.04)	1.13(0.04)	1.10(0.03)
17	50	0	0	1.36(0.04)	1.36(0.04)	1.36(0.04)
18	50	0	3	1.31(0.04)	1.31(0.04)	1.31(0.04)
19	50	1.5	0	1.35(0.04)	1.36(0.03)	1.33(0.04)
20	50	3	0	1.33(0.03)	1.35(0.03)	1.30(0.03)
21	50	4.5	0	1.31(0.03)	1.33(0.03)	1.29(0.03)
22	50	1.5	3	1.30(0.03)	1.30(0.03)	1.28(0.03)
23	50	3	3	1.27(0.03)	1.28(0.04)	1.25(0.02)
24	50	4.5	3	1.26(0.04)	1.27(0.03)	1.23(0.03)

Tablo 4.33 incelendiğinde en düşük 28 günlük su alma yüzdesinin ahşap unu oranının %30 olduğu gruplarda olduğu görülmektedir. Ahşap plastik nanokompozitlerin 28 günlük su alma yüzdesinin ahşap unu oranı arttıkça arttığı yine Tablo 4.33’den görülebilmektedir. Bu durum güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan kontrol numunesi statüsündeki 1, 9 ve 17. gruplar örnek olarak seçildiğinde grafik yoluyla daha net anlaşılabilecektir. Güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan ahşap plastik nanokompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak 28 günlük su alma yüzdesinde meydana gelen değişim Şekil 4.41’de gösterilmektedir.



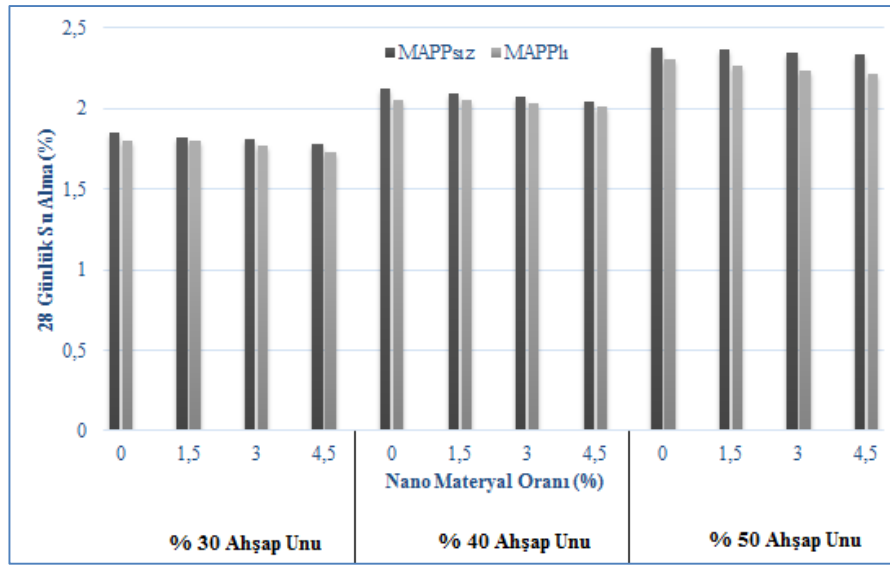
Şekil 4.41: Ahşap plastik kompozitlerin 28 günlük su alma yüzdesinin üzerine ahşap unu oranının etkisi

Şekil 4.41 incelendiğinde ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına paralel olarak kompozit gruplarının 28 günlük su alma yüzdesinde artışlar olduğu görülebilmektedir. Ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu miktarı %30'dan %50'ye yükseldiğinde günlük kalınlığına şişme yüzdesinde 33.33 oranında bir artış görülmüştür.



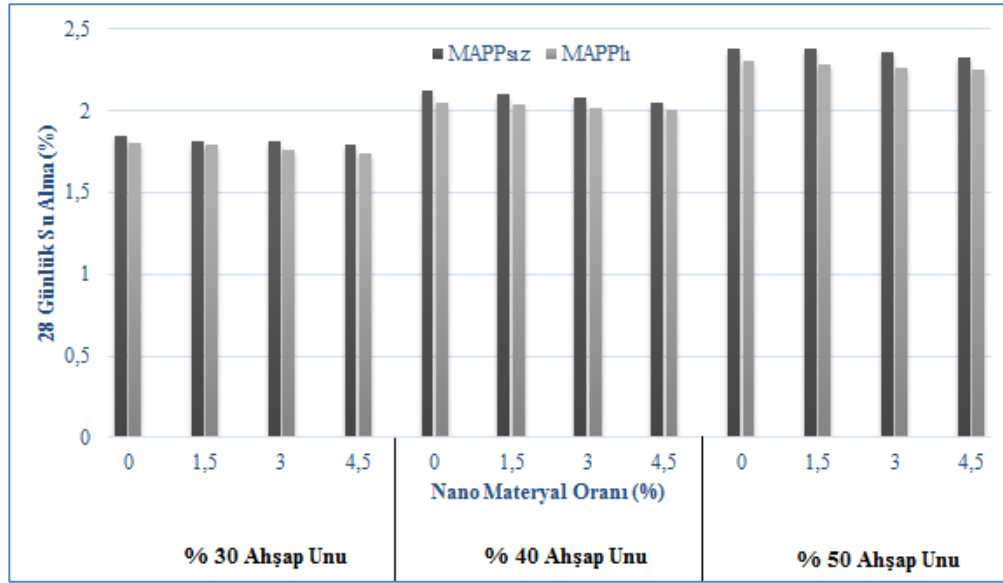
Şekil 4.42: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin 28 günlük su alma yüzdesi üzerine etkisi

Şekil 4.42’de gösterildiği üzere ahşap plastik kompozit gruplarının 28 günlük su alma yüzdesi %3’lük uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte bir miktar azalma göstermiştir. Sabit bir ahşap unu oranı seçildiğinde mevcut durum daha açık bir şekilde görülebilecektir. %50 oranındaki ahşap unu ile desteklenmiş kompozit grubunun 28 günlük su alma yüzdesi uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte kontrol numunesine kıyasla %3.67 oranında azalmıştır. Uyum sağlayıcı ajan ilavesi su alma özelliklerini iyileştirmiştir. Her üç ahşap unu yükleme oranında da aynı durumu Şekil 4.43, 4.44 ve 4.45 aracılığıyla görmek mümkün olmaktadır.

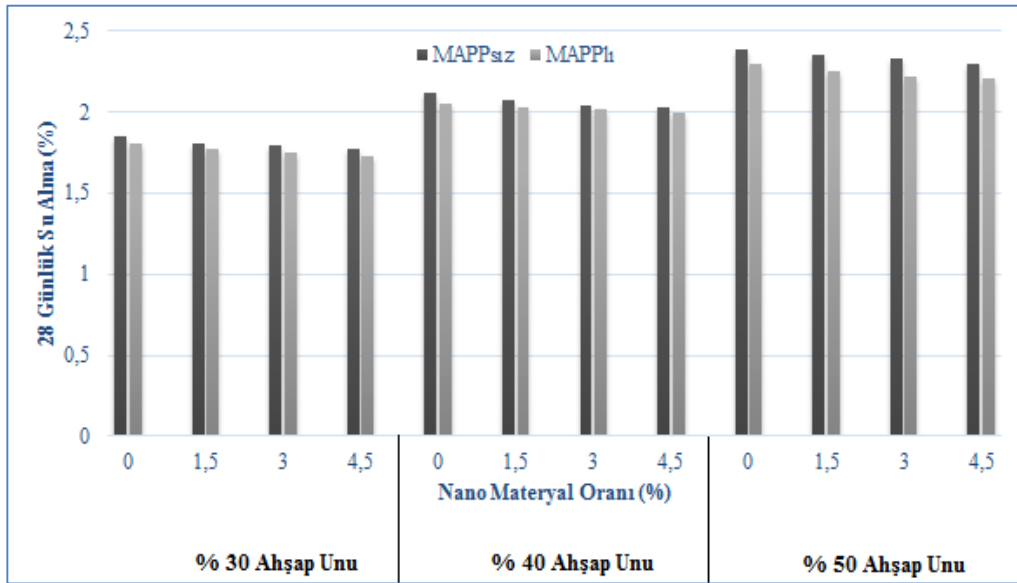


Şekil 4.43: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 28 günlük su alma yüzdesinin değişimi

Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 28 günlük su alma yüzdesinin değişimi (Şekil 4.43) incelendiğinde, karbon nanotüp oranının artmasına bağlı olarak 28 günlük su alma yüzdesinin azaldığı görülmektedir. 28 günlük su alma deneyine ilişkin sonuçlar nanokil ve hegzagonal bor nitrür için de benzer özellikler taşımaktadır.



Şekil 4.44: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 28 günlük su alma yüzdesinin değişimi



Şekil 4.45: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının 28 günlük su alma yüzdesinin değişimi

Karbon nanotüp, nanokil ve hegzagonal bor nitrür, uyum sağlayıcı ajanın etkisi ve ahşap unu oranının ahşap plastik nanokompozitlerin 28 günlük su alma yüzdesi üzerine

etkisi Levene ve iki yönlü Anova kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.34 ve 4.35’de verilmiştir.

Tablo 4.34: 28 günlük su alma yüzdesine ilişkin Levene testi istatistikleri

Karbon Nanotüp				Nanokil				Hegzagonal Bor Nitrür			
F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.
2.764	23	216	.000	1.909	23	216	.009	2.129	23	216	.003

Tablo 4.35: 28 günlük su alma yüzdesine ilişkin Varyans analizi sonuçları

	Karbon Nanotüp		Nano Kil		Hegzagonal Bor Nitrür	
Kaynak	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Corrected Model	132.713	.000	172.804	.000	158.310	.000
Intercept	190049.814	.000	239367.463	.000	227813.274	.000
ahşapunu	1441.731	.000	1898.907	.000	1706.906	.000
mapp	108.760	.000	118.599	.000	119.097	.000
nano	17.359	.000	14.799	.000	33.385	.000
ahşapunu *	2.844	.060	4.548	.012	1.853	.159
mapp						
ahşapunu *	.158	.987	.173	.984	.504	.805
nano						
mapp * nano	.083	.969	.201	.896	.127	.944
ahşapunu *	.203	.975	.493	.813	.159	.987
mapp * nano						
Error						
Total						
Corrected Total						

Levene testi sonuçlarına göre karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit gruplarının varyanslarının homojen olmadığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen grupların varyanslarının homojen olmadığı Tablo 4.34’de gösterilmektedir.

Tablo 4.35’de gösterilen Varyans analizi sonuçlarına göre tüm gruplarda güçlendirici dolgu materyalinin, uyum sağlayıcı ajanın ve ahşap unu oranının nanokompozitlerin 28 günlük su alma yüzdesine %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Ancak faktörlerin birbiri ile etkileşiminden elde edilen etki genel anlamda tüm gruplarda %95

güven düzeyinde anlamlı bulunmamıştır. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının 28 günlük su alma yüzdesinin gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları Tablo 4.36’da verilmiştir.

Tablo 4.36: Duncan testine göre nanokompozit grupların 28 günlük su alma değerlerinin gruplandırılması

KNT	Ahşap Unu					Nano					
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset			
			1	2	3			1	2	3	4
	30.0	80	.9703			.0	60	1.1730			
	40.0	80		1.1654		1.5	60	1.1622			
	50.0	80			1.3166	3.0	60		1.1455		
						4.5	60			1.1225	
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		.148	1.000	1.000	
NK	Ahşap Unu					Nano					
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset			
			1	2	3			1	2	3	4
	30.0	80	.9689			.0	60	1.1730			
	40.0	80		1.1720		1.5	60	1.1655			
	50.0	80			1.3240	3.0	60		1.1492		
						4.5	60			1.1322	
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		.263	1.000	1.000	
HBN	Ahşap Unu					Nano					
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset			
			1	2	3			1	2	3	4
	30.0	80	.9600			.0	60	1.1730			
	40.0	80		1.1568		1.5	60		1.1478		
	50.0	80			1.3001	3.0	60			1.1253	
						4.5	60				1.1097
	Sig		1.000	1.000	1.000	Sig		1.000	1.000	1.000	1.000

Tablo 4.36’da gösterilen Duncan testi sonuçlarına göre karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının 28 günlük su alma yüzdesi üzerine ahşap unu oranının tüm gruplarda farklılık oluşturduğu belirlenmiştir. Ahşap plastik kompozitlerin 28 günlük su alma davranışı üzerine nano materyal miktarının etkisi karbon nanotüp ve nano kilde benzer özellikler taşırken hegzagonal bor nitrürde tüm gruplarda farklılık oluşturmuştur.

4.2. MEKANİK ÖZELLİKLER

4.2.1. Çekme Özellikleri

Bu kısımda güçlendirici nano dolgu materyali oranı, uyum sağlayıcı ajan ve ahşap unu oranının ahşap plastik nanokompozitlerin çekme özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

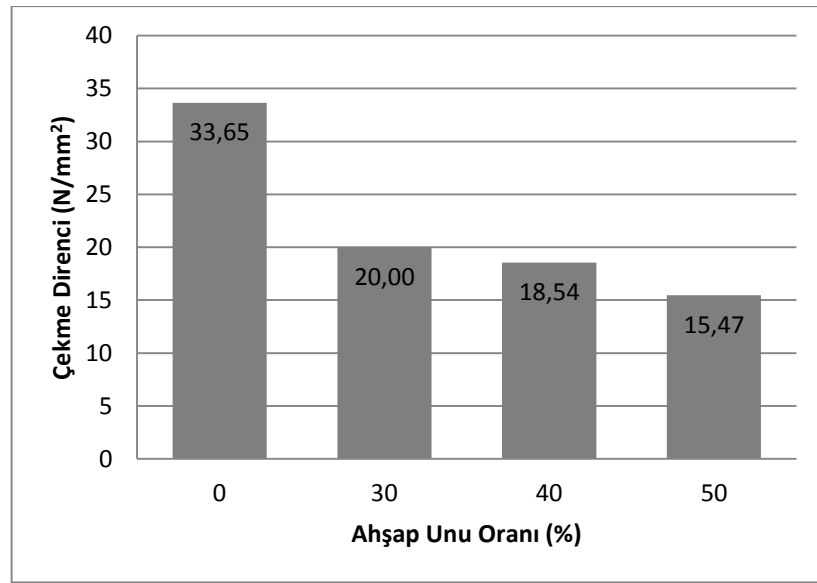
4.2.1.1. Çekme direnci

Tablo 4.37 ahşap plastik nanokompozitlerin çekme direnci değerlerine ilişkin ortalama ve standart sapma (parantez içinde) değerlerini göstermektedir. Denemeler 10'ar örnek üzerinden yürütülmüştür.

Tablo 4.37: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait çekme direnci değerleri

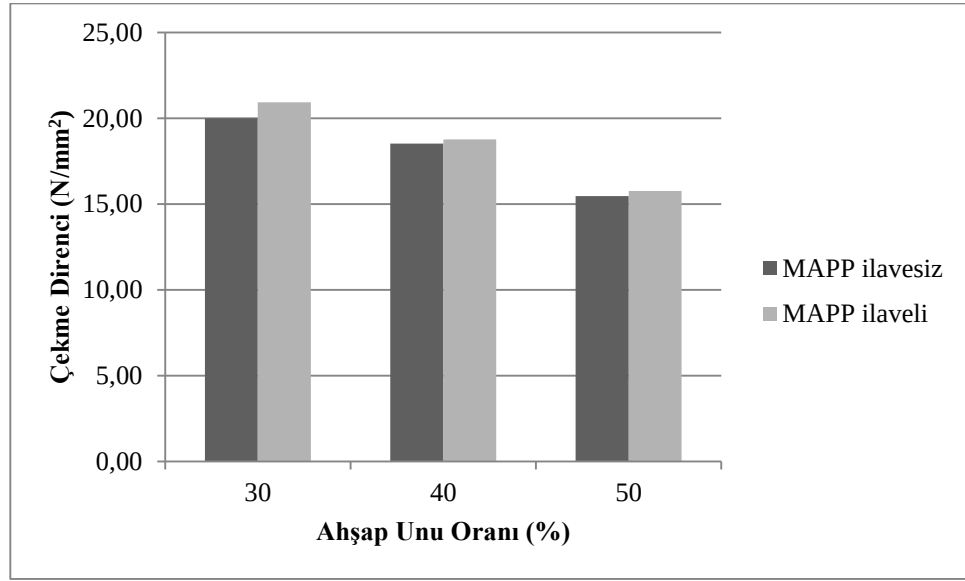
Kompozit grup no	Ahşap Unu (%)	Nano Materyal Oranı (%)	MAPP (%)	Karbon Nanotüp	Nano kil	Hegzagonal Bor Nitrür
				Çekme Direnci (N/mm ²)		
Saf PP	0	0	0	33.65(0.43)	33.65(0.43)	33.65(0.43)
1	30	0	0	20.00(2.38)	20.00(2.38)	20.00(2.38)
2	30	0	3	20.93(0.34)	20.93(0.34)	20.93(0.34)
3	30	1.5	0	21.00(2.05)	19.37(0.58)	17.17(0.56)
4	30	3	0	21.85(0.46)	19.81(0.17)	18.04(1.08)
5	30	4.5	0	22.99(0.41)	20.63(0.91)	19.55(1.33)
6	30	1.5	3	23.18(0.32)	21.08(0.79)	19.63(1.77)
7	30	3	3	23.69(0.25)	21.53(1.16)	20.30(0.34)
8	30	4.5	3	24.02(0.36)	22.81(1.00)	22.73(0.64)
9	40	0	0	18.54(0.21)	18.54(0.21)	18.54(0.21)
10	40	0	3	18.77(0.34)	18.77(0.34)	18.77(0.34)
11	40	1.5	0	20.69(2.09)	16.63(0.44)	17.55(1.08)
12	40	3	0	20.94(0.57)	17.35(0.19)	17.62(0.25)
13	40	4.5	0	21.60(0.55)	17.66(0.25)	18.42(0.53)
14	40	1.5	3	21.66(0.26)	18.17(0.40)	18.67(1.00)
15	40	3	3	21.66(0.33)	20.01(0.94)	18.82(0.28)
16	40	4.5	3	22.46(0.36)	21.15(0.82)	18.90(1.32)
17	50	0	0	15.47(0.36)	15.47(0.36)	15.47(0.36)
18	50	0	3	15.77(0.34)	15.77(0.34)	15.77(0.34)
19	50	1.5	0	17.24(0.71)	13.82(0.55)	15.45(0.23)
20	50	3	0	19.01(1.86)	14.19(1.21)	16.06(1.38)
21	50	4.5	0	20.11(0.72)	15.61(0.91)	16.56(0.54)
22	50	1.5	3	20.42(0.48)	15.67(0.32)	17.79(1.84)
23	50	3	3	20.86(1.57)	16.03(1.93)	17.93(1.29)
24	50	4.5	3	21.57(1.55)	16.50(0.93)	18.53(1.02)

Tablo 4.37 incelendiğinde en düşük çekme direnci değerinin ahşap unu oranının %50 olduğu gruplarda olduğu görülmektedir. Ahşap plastik nanokompozitlerin çekme direnci değerinin ahşap unu oranı arttıkça azaldığı görülebilmektedir. Bu durum güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan kontrol numunesi statüsündeki 1, 9 ve 17. gruplar örnek olarak seçildiğinde grafik yoluyla daha net anlaşılabilecektir. Güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan ahşap plastik nanokompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak çekme direncinde meydana gelen değişim Şekil 4.46’da gösterilmektedir.



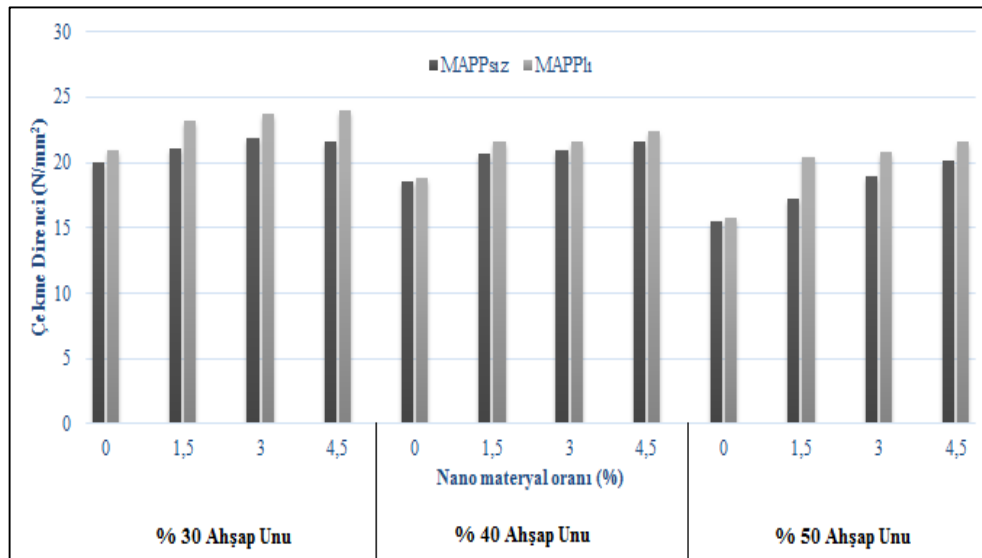
Şekil 4.46: Ahşap plastik kompozitlerin çekme direnci üzerine ahşap unu oranının etkisi

Şekil 4.46 incelendiğinde ahşap plastik nanokompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasıyla birlikte kompozit gruplarının çekme direnci değerlerinde azalma olduğu görülebilmektedir. Ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu miktarı %30’dan %50’ye yükseldiğinde çekme direnci değerlerinde %22.65 oranında bir azalma görülmüştür.



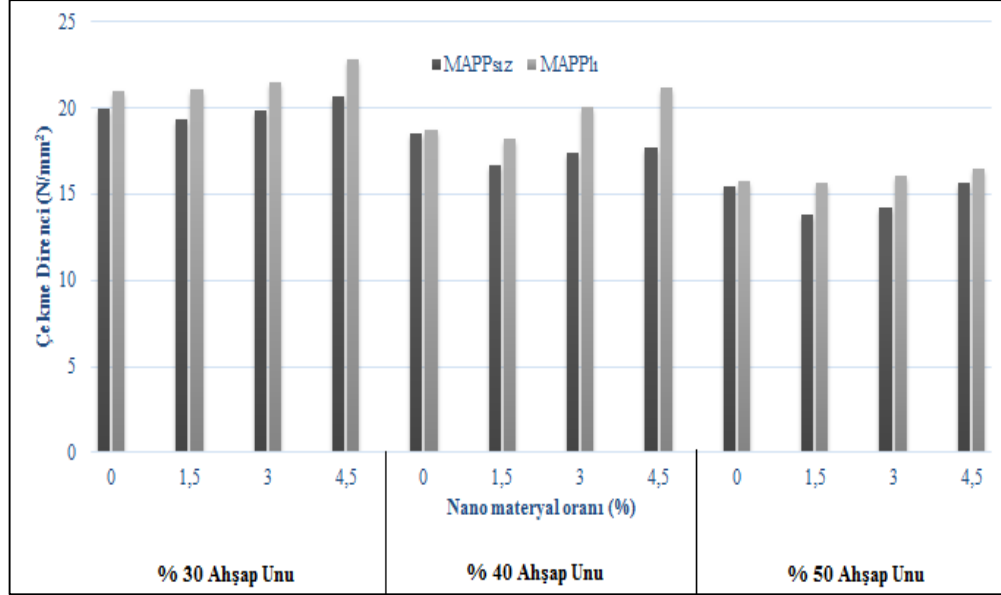
Şekil 4.47: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin çekme direnci üzerine etkisi

Şekil 4.47’de gösterildiği üzere ahşap plastik kompozit gruplarının çekme direnci %3’lük uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte bir miktar artış göstermiştir. Uyum sağlayıcı ajan ilavesi çekme direncini yükseltmiştir. Her üç ahşap unu yükleme oranında da aynı durumu Şekil 4.48, 4.49 ve 4.50 aracılığıyla görmek mümkün olmaktadır.

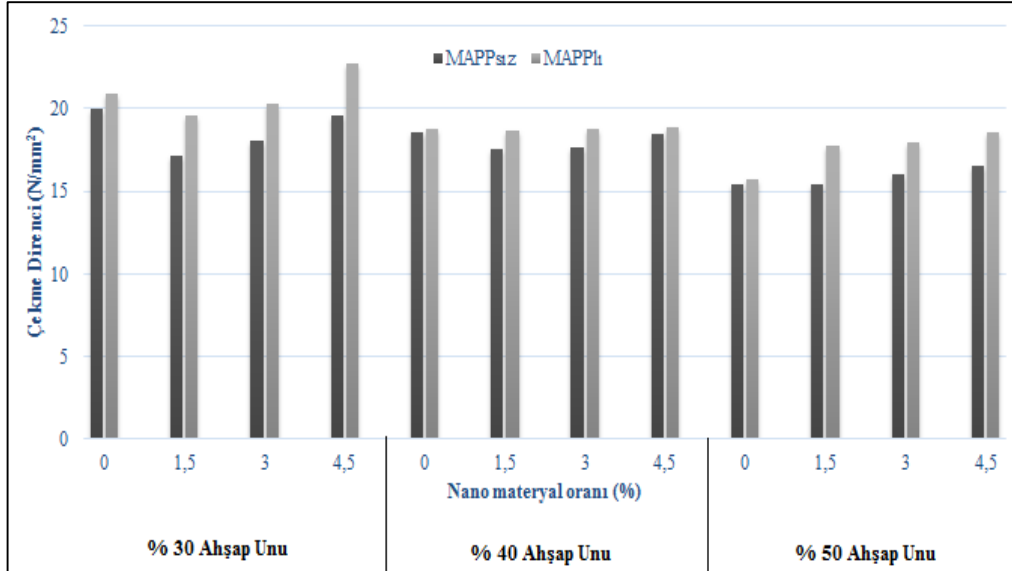


Şekil 4.48: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının çekme direncinin değişimi

Karbon nanotüp (KNT) ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının çekme direnci değişimi (Şekil 4.48) incelendiğinde, karbon nanotüp oranının artmasına bağlı olarak çekme direncinin arttığı belirlenmiştir. Çekme direncine ait sonuçlar nanokil ve hegzagonal bor nitrür için de benzer özellikler taşımaktadır.



Şekil 4.49: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının çekme direncinin değişimi



Şekil 4.50: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının çekme direncinin değişimi

Karbon nanotüp, nanokil ve hegzagonal bor nitrür, uyum sağlayıcı ajanın etkisi ve ahşap unu oranının ahşap plastik nanokompozitlerin çekme direnci üzerine etkisi Levene ve iki yönlü Anova kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.38 ve 4.39’da verilmiştir.

Tablo 4.38: Ahşap Plastik Nanokompozit çekme direncine ilişkin Levene testi istatistikleri

Karbon Nanotüp				Nanokil				Hegzagonal Bor Nitrür			
F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.
6.084	23	216	.000	5.192	23	216	.000	6.774	23	216	.000

Tablo 4.39: Ahşap Plastik Nanokompozit çekme direncine ilişkin Varyans analizi sonuçları

Kaynak	Karbon Nanotüp		Nano Kil		Hegzagonal Bor Nitrür	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Corrected Model	44.637	.000	79.770	.000	28.874	.000
Intercept	94586.105	.000	100013.610	.000	74977.744	.000
ahşapunu	205.094	.000	734.715	.000	179.786	.000
mapp	55.279	.000	141.002	.000	92.353	.000
nano	156.430	.000	32.255	.000	19.508	.000
ahşapunu *	2.956	.054	4.658	.010	6.099	.003
mapp						
ahşapunu *	5.816	.000	2.050	.060	11.457	.000
nano						
mapp * nano	14.914	.000	29.555	.000	19.558	.000
ahşapunu *	1.059	.388	2.874	.010	2.342	.033
mapp * nano						
Error						
Total						
Corrected Total						

Tablo 4.38’de gösterilen Levene testi sonuçlarına göre karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit gruplarının varyanslarının homojen olmadığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen grupların varyanslarının homojen olmadığı Tablo 4.38’de gösterilmektedir. Tablo 4.39’da verilen Varyans analizi sonuçlarına göre tüm gruplarda güçlendirici dolgu materyalinin, uyum sağlayıcı ajanın ve ahşap unu oranının nanokompozitlerin çekme

direncine %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Faktörlerin birbiri ile etkileşiminde hegzağonal bor nitrür ile nano kil benzer özellikler taşıdığı ve tüm etkileşimlerde %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu, karbon nanotüp ile güçlendirilen gruplarda ise sadece ahşapunu * mapp ve mapp * nano etkileşiminde anlamlı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzağonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının çekme direnci değerlerinin gruplandırılmasına ilişkin Tamhane T2 testi sonuçları Tablo 4.40’da verilmiştir.

Tablo 4.40: Ahşap Plastik Nanokompozit çekme direnci değerlerine ilişkin Tamhane T2 testi sonuçları

Tamhane		(I) Grup	(J) Grup	I-J	Std. Hata	Önem Düzeyi
KNT	Ahşap Unu	30.0	40.0	1.418(*)	.2631	.000
			50.0	3.317(*)	.3349	.000
		40.0	30.0	-1.418(*)	.2631	.000
			50.0	1.899(*)	.3213	.000
		50.0	30.0	-3.317(*)	.3349	.000
			40.0	-1.899(*)	.3213	.000
	Nano	.0	1.5	-2.566(*)	.3894	.000
			3.0	-3.088(*)	.3664	.000
			4.5	-3.880(*)	.3462	.000
		1.5	.0	2.566(*)	.3894	.000
			3.0	-.522	.3408	.563
			4.5	-1.313(*)	.3190	.000
		3.0	.0	3.088(*)	.3664	.000
			1.5	.522	.3408	.563
			4.5	-.792(*)	.2905	.044
		4.5	.0	3.880(*)	.3462	.000
			1.5	1.313(*)	.3190	.000
			3.0	.792(*)	.2905	.044
NK	Ahşap Unu	30.0	40.0	2.236(*)	.2326	.000
			50.0	5.387(*)	.2158	.000
		40.0	30.0	-2.236(*)	.2326	.000
			50.0	3.151(*)	.2145	.000
		50.0	30.0	-5.387(*)	.2158	.000
			40.0	-3.151(*)	.2145	.000
	Nano	.0	1.5	.794	.4314	.346
			3.0	.094	.4611	1.000
			4.5	-.806	.4596	.403
		1.5	.0	-.794	.4314	.346
			3.0	-.700	.4785	.613
			4.5	-1.599(*)	.4771	.006
		3.0	.0	-.094	.4611	1.000
			1.5	.700	.4785	.613
			4.5	-.900	.5041	.381
		4.5	.0	.806	.4596	.403
			1.5	1.599(*)	.4771	.006
			3.0	.900	.5041	.381
HBN	Ahşap Unu	30.0	40.0	1.380(*)	.2441	.000
			50.0	3.098(*)	.2807	.000
		40.0	30.0	-1.380(*)	.2441	.000
			50.0	1.718(*)	.1955	.000
		50.0	30.0	-3.098(*)	.2807	.000
			40.0	-1.718(*)	.1955	.000
	Nano	.0	1.5	.541	.3658	.601
			3.0	.123	.3572	1.000
			4.5	-.865	.3964	.173
		1.5	.0	-.541	.3658	.601
			3.0	-.419	.3028	.672
			4.5	-1.406(*)	.3482	.001
		3.0	.0	-.123	.3572	1.000
			1.5	.419	.3028	.672
			4.5	-.987(*)	.3391	.026
		4.5	.0	.865	.3964	.173

Tablo 4.40’da gösterilen Duncan testi sonuçlarına göre karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının çekme direnci üzerine ahşap unu oranının tüm gruplarda farklılık oluşturduğu belirlenmiştir. Ahşap plastik kompozitlerin çekme direnci üzerine karbon nanotüp miktarının etkisi genel anlamda bir farklılık oluşturmuştur. Ancak sadece %1.5 ve %3’lük karbon nanotüp ilavesinin benzer çekme direnci değerleri gösterdiği ve anlamlı bir farklılık oluşturmadığı tespit edilmiştir. Nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin çekme direnci üzerine güçlendirici dolgu maddesi oranının etkisi sadece %1.5 ile %4.5’luk nano partikül ilavesinde anlamlı bir farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Benzer bir durumu hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitler için de söylemek mümkündür. Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin çekme direnci üzerine sadece %4.5’luk bir nano partikül ilavesinin anlamlı bir farklılık oluşturduğu tespit edilmiştir.

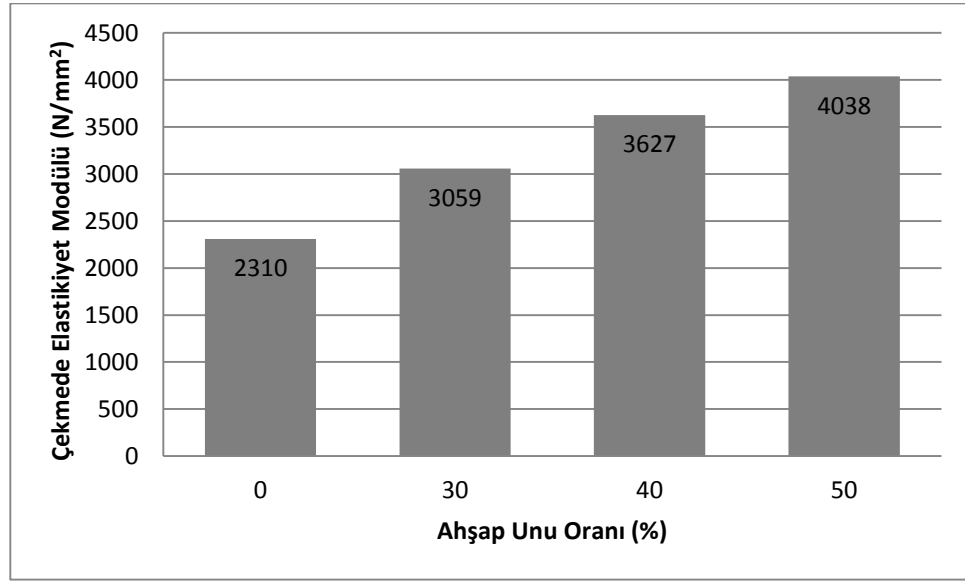
4.2.1.2. Çekmede elastikiyet modülü

Tablo 4.41 ahşap plastik nanokompozitlerin çekmede elastikiyet modülüne ilişkin ortalama ve standart sapma (parantez içinde) değerlerini göstermektedir. Denemeler 10’ar örnek üzerinden yürütülmüştür.

Tablo 4.41: Ahşap plastik nanokompozitlerin çekmede elastikiyet modülü değerleri

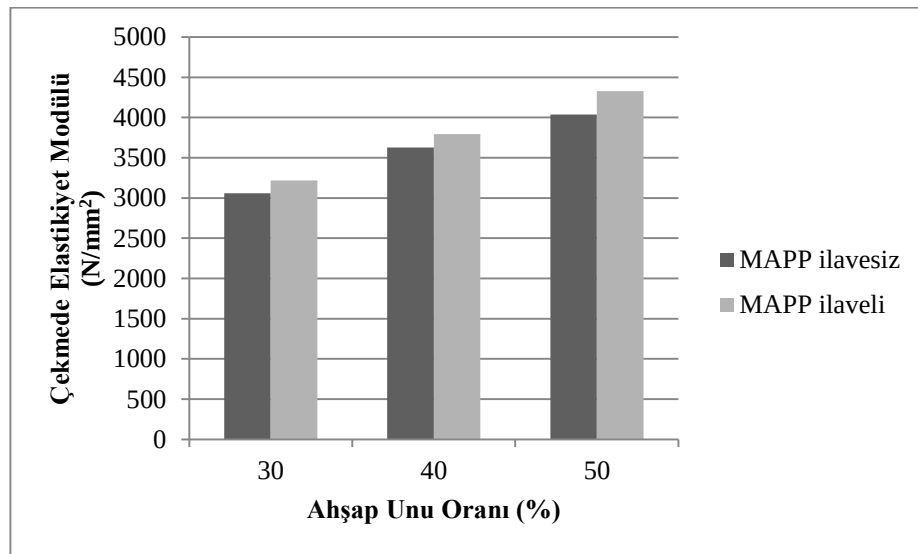
Kompozit grup no	Ahşap Unu (%)	Nano Materyal Oranı (%)	MAPP (%)	Karbon Nanotüp	Nano kil	Hegzagonal Bor Nitrür
				Çekmede Elastikiyet Modülü (N/mm ²)		
Saf PP	0	0	0	2310(96)	2310(96)	2310(96)
1	30	0	0	3059(272)	3059(272)	3059(272)
2	30	0	3	3218(318)	3218(318)	3218(318)
3	30	1.5	0	3326(241)	3361(438)	3047(212)
4	30	3	0	3349(132)	3428(468)	3071(161)
5	30	4.5	0	3442(186)	3435(334)	3161(230)
6	30	1.5	3	3556(118)	3444(438)	3191(276)
7	30	3	3	3570(135)	3501(203)	3372(234)
8	30	4.5	3	3667(179)	3548(303)	3412(234)
9	40	0	0	3627(295)	3627(295)	3627(295)
10	40	0	3	3796(153)	3796(153)	3796(153)
11	40	1.5	0	3905(153)	3585(158)	3601(369)
12	40	3	0	3924(82)	3779(255)	3853(184)
13	40	4.5	0	3927(226)	3816(328)	3869(227)
14	40	1.5	3	3994(138)	3860(306)	3995(376)
15	40	3	3	4033(185)	3946(294)	3996(292)
16	40	4.5	3	4121(363)	4071(263)	4061(448)
17	50	0	0	4038(256)	4038(256)	4038(256)
18	50	0	3	4326(598)	4326(598)	4326(598)
19	50	1.5	0	3856(151)	4179(167)	4002(233)
20	50	3	0	4186(339)	4209(551)	4100(331)
21	50	4.5	0	4303(364)	4231(262)	4275(483)
22	50	1.5	3	4382(442)	4356(306)	4400(422)
23	50	3	3	4510(340)	4380(382)	4405(235)
24	50	4.5	3	4663(653)	4392(411)	4435(716)

Tablo 4.41 incelendiğinde en düşük çekmede elastikiyet modülünün ahşap unu oranının %30 olduğu gruplarda olduğu görülmektedir. Ahşap plastik nanokompozitlerin çekmede elastikiyet modülünün ahşap unu oranı arttıkça arttığı görülebilmektedir. Bu durum güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan kontrol numunesi statüsündeki 1, 9 ve 17. gruplar örnek olarak seçildiğinde grafik yoluyla daha net anlaşılabilecektir. Güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak çekmede elastikiyet modülünde meydana gelen değişim Şekil 4.51’de gösterilmektedir.



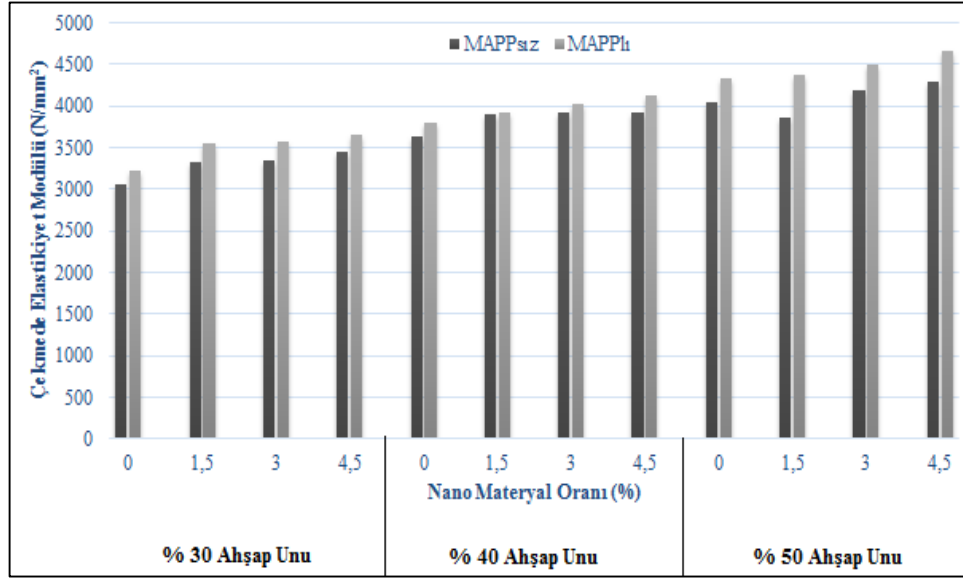
Şekil 4.51: Ahşap plastik kompozitlerin çekmede elastikiyet modülü üzerine ahşap unu oranının etkisi

Şekil 4.48 incelendiğinde ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasıyla birlikte kompozit gruplarının çekmede elastikiyet modülünde artış olduğu görülebilmektedir. Ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranı %30'dan %50'ye yükseldiğinde çekmede elastikiyet modülü değerlerinde %32 oranında bir artış meydana gelmiştir.



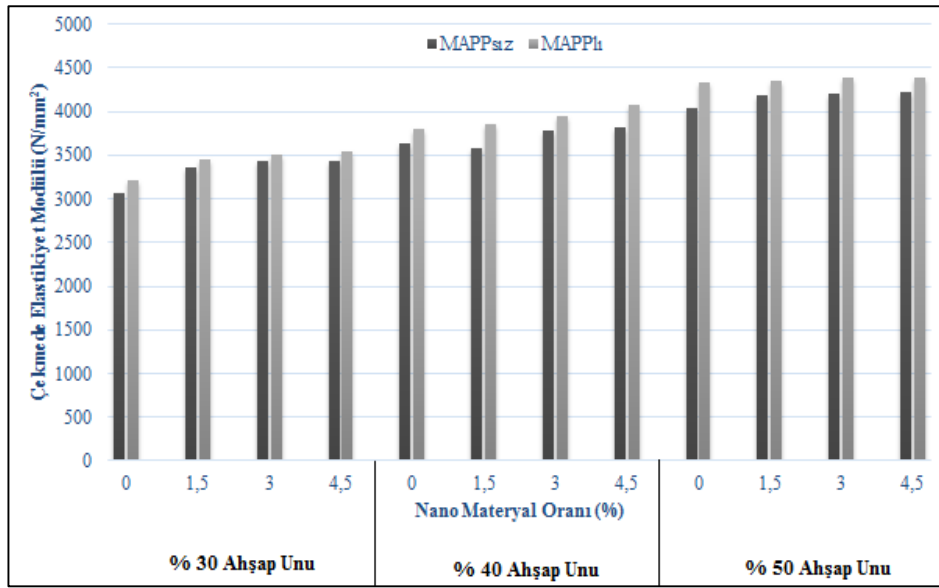
Şekil 4.52: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin çekmede elastikiyet modülü üzerine etkisi

Şekil 4.52’de gösterildiği üzere ahşap plastik kompozit gruplarının çekmede elastikiyet modülü %3’lük uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte bir miktar artış göstermiştir. Uyum sağlayıcı ajan ilavesi çekmede elastikiyet modülünü iyileştirmiştir. Her üç ahşap unu yükleme oranında da aynı durumu Şekil 4.53, 4.54 ve 4.55 aracılığıyla görmek mümkün olmaktadır.

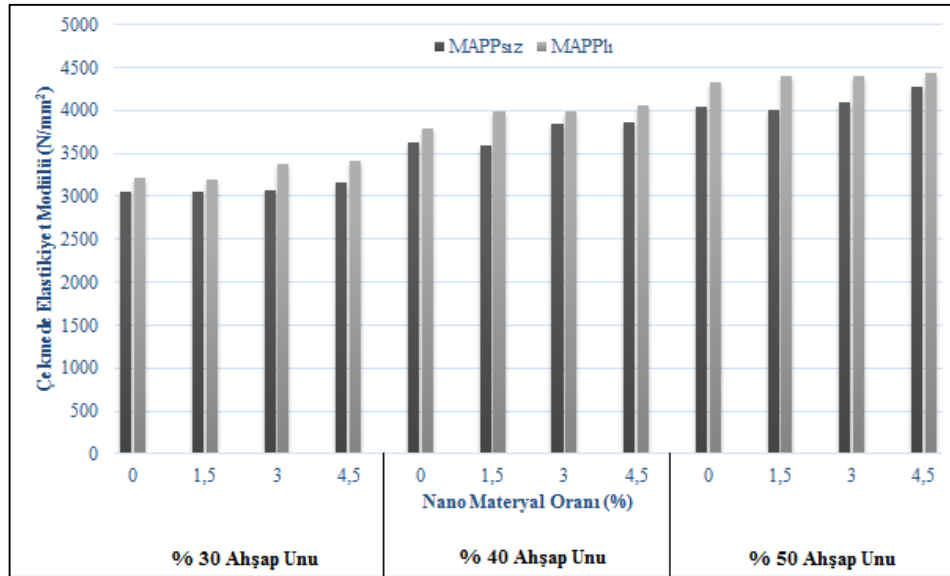


Şekil 4.53: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının çekmede elastikiyet modülünün değişimi

Karbon nanotüp (KNT) ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının çekmede elastikiyet modülünün değişimi (Şekil 4.53) incelendiğinde, karbon nanotüp oranının artmasına bağlı olarak çekme direnci değerlerinin arttığı görülmektedir. Çekmede elastikiyet modülüne ait sonuçlar nanokil ve hegzagonal bor nitrür için de benzer özellikler taşımaktadır.



Şekil 4.54: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının çekme elastikiyet modülünün değişimi



Şekil 4.55: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının çekme elastikiyet modülünün değişimi

Karbon nanotüp, nanokil ve hegzagonal bor nitrür, uyum sağlayıcı ajanın etkisi ve ahşap unu oranının ahşap plastik nanokompozitlerin çekme elastikiyet modülü

üzerine etkisi Levene ve iki yönlü Anova kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.42 ve 4.43’de verilmiştir.

Tablo 4.42: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ilişkin çekmede elastikiyet modülüne ilişkin Levene testi istatistikleri

Karbon Nanotüp				Nanokil				Hegzagonal Bor Nitrür			
F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.
2.988	23	216	.000	.939	23	216	.546	1.995	23	216	.006

Tablo 4.43: Ahşap Plastik Nanokompozit çekmede elastikiyet modülüne ilişkin Varyans analizi sonuçları

Kaynak	Karbon Nanotüp		Nano Kil		Hegzagonal Bor Nitrür	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Corrected Model	19.010	.000	14.544	.000	18.971	.000
Intercept	38818.304	.000	29642.510	.000	29032.699	.000
ahşapunu	169.669	.000	137.026	.000	194.526	.000
mapp	29.559	.000	16.724	.000	23.806	.000
nano	14.023	.000	5.676	.001	3.949	.009
ahşapunu *	4.236	.016	4.717	.010	1.019	.363
mapp						
ahşapunu *	1.612	.145	.738	.620	.208	.974
nano						
mapp * nano	1.077	.360	1.127	.339	1.032	.379
ahşapunu *	.801	.570	1.578	.155	.874	.515
mapp * nano						
Error						
Total						
Corrected Total						

Tablo 4.42’de gösterilen Levene testi sonuçlarına göre karbon nanotüp ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit gruplarının varyanslarının homojen olmadığı tespit edilmiştir. Ancak nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit grupların varyanslarının homojen olduğu tespit edilmiştir. Tablo 4.43’ de verilen Varyans analizi sonuçlarına göre tüm gruplarda güçlendirici dolgu materyalinin, uyum sağlayıcı ajanın ve ahşap unu oranının nanokompozitlerin çekmede elastikiyet modülüne %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Faktörlerin birbiri ile

etkileşiminde hegzagonal bor nitrür ile karbon nanotüpün benzer özellikler taşıdığı ve sadece ahşapunu*mapp etkileşiminde %95 düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Nano kilde ise faktörlerin birbiri ile etkileşiminde anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir. Faktörlerin ahşap plastik nanokompozitlerin çekmede elastikiyet modülü üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla Tamhane T2 ve Duncan testi gerçekleştirilmiştir. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının çekmede elastikiyet modülü değerlerinin gruplandırılmasına ilişkin Tamhane T2 ve Duncan testi sonuçları sırasıyla Tablo 4.44 ve Tablo 4.45’de verilmiştir.

Tablo 4.44: Ahşap Plastik Nanokompozit çekmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin Tamhane T2 testi sonuçları

Tamhane		(I) Grup	(J) Grup	I-J	Std. Hata	Önem Düzeyi
KNT	Ahşap Unu	30.0	40.0	-159.238	88.9805	.379
			50.0	-263.671(*)	91.7455	.029
		40.0	30.0	-343.096(*)	99.9409	.005
			50.0	159.238	88.9805	.379
		50.0	30.0	-104.432	77.1716	.693
			40.0	-183.858	86.7548	.199
	Nano	.0	1.5	263.671(*)	91.7455	.029
			3.0	104.432	77.1716	.693
			4.5	-79.426	89.5886	.942
		1.5	.0	343.096(*)	99.9409	.005
			3.0	183.858	86.7548	.199
			4.5	79.426	89.5886	.942
		3.0	.0	-159.238	88.9805	.379
			1.5	-263.671(*)	91.7455	.029
			4.5	-343.096(*)	99.9409	.005
		4.5	.0	159.238	88.9805	.379
			1.5	-104.432	77.1716	.693
			3.0	-183.858	86.7548	.199

Tablo 4.44 incelendiğinde karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin çekmede elastikiyet modülü üzerine ahşap unu oranının etkisi yanında asteriks(*) olan gruplar arasında bir farkın olduğu belirlenmiştir. Buna göre % 30 ahşap unu kullanılarak üretilen ahşap plastik kompozitler ile %50 ahşap unu kullanılarak üretilen nanokompozit grup arasında çekmede elastikiyet modülü değerleri arasında bir farklılık vardır. Benzer ilişki %40 ahşap unu kullanılarak üretilen gruplarda da mevcuttur. %40 ahşap unu ile üretilen grupların çekmede elastikiyet modülü %30 ahşap unu kullanılarak üretilen gruplardan farklıdır. Kullanılan güçlendirici dolgu maddesinin etkisinin (karbon nanotüp) ahşap plastik nanokompozitlerin çekmede

elastikiyet modülü üzerine etkisi incelendiğinde %0 ile %1.5, %3 ile % 3 ve % 3 ile %4.5 karbon nanotüp ilavesinin sadece belirtilen bu gruplar arasında fark oluşturduğu tespit edilmiştir. Belirtilen gruplarda önem düzeyi değeri 0.05'ten küçük olduğundan dolayı bu gruplar arasında anlamlı farklılıklar olduğu söylenebilir.

Tablo 4.45: Ahşap Plastik Nanokompozit çekme direnci değerlerine ilişkin Duncan testi sonuçları

	Ahşap Unu					Nano			
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset	
			1	2	3			1	2
HBN	30.0	80	3191.448			.0	60	3677.432	
	40.0	80		3849.835		1.5	60	3706.132	
	50.0	80			4247.828	3.0	60	3799.690	3799.690
						4.5	60		3868.893
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		.065	.269
	Ahşap Unu					Nano			
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset	
NK			1	2	3				
	30.0	80	3363.609			.0	60	3677.432	
	40.0	80		3871.994		1.5	60		3866.146
	50.0	80			4263.902	3.0	60		3873.520
						4.5	60		3915.576
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		1.000	.464
	Ahşap Unu					Nano			

Tablo 4.45 incelendiğinde ahşap plastik nanokompozitlerin üretiminde ahşap unu oranının anlamlı farklar oluşturduğu gözlemlenmiştir. Kullanılan güçlendirici dolgu maddesi miktarının etkisi nano kil ve hegzagonal bor nitürde farklı şekillerde olmuştur. Hegzagonal bor nitür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin çekmede elastikiyet modülü %0, %1.5 ve %3'lük nano partikül ilavesinde benzer özellikler göstermiştir. Nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin çekmede elastikiyet modülü %1.5, %3 ve %4.5 nano partikül ilavesinde benzer özellikler gösterirken kontrol grubu bu gruplar arasında anlamlı farklılıklar oluşmuştur.

4.2.2. Eğilme Özellikleri

Bu kısımda güçlendirici nano dolgu materyali oranı, uyum sağlayıcı ajan ve ahşap unu oranının ahşap plastik nanokompozitlerin eğilme özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

4.2.2.1. Eğilme direnci

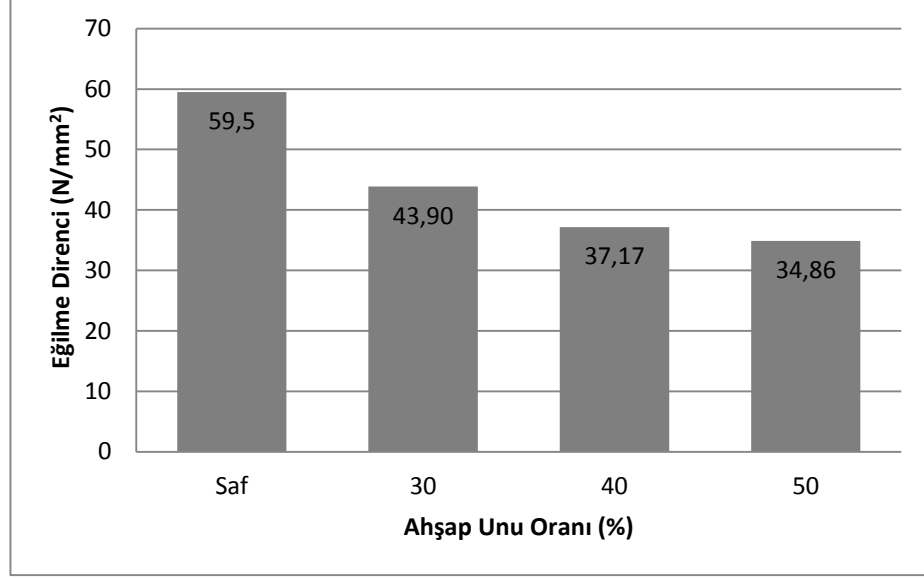
Tablo 4.46 ahşap plastik nanokompozitlerin eğilme direnci değerlerine ilişkin ortalama ve standart sapma (parantez içinde) değerlerini göstermektedir. Denemeler 10'ar örnek üzerinden yürütülmüştür.

Tablo 4.46: Ahşap Plastik Nanokompozit gruplarına ait eğilme direnci değerleri

Kompozit grup no	Ahşap Unu (%)	Nano Materyal Oranı (%)	MAPP (%)	Karbon Nanotüp	Nano kil	Hegzagonal Bor Nitrür
				Eğilme Direnci (N/mm ²)		
Saf PP	0	0	0	59.50	59.50	59.50
1	30	0	0	43.90(2.97)	43.90(2.97)	43.90(2.97)
2	30	0	3	44.53(2.05)	44.53(2.05)	44.53(2.05)
3	30	1.5	0	45.83(2.09)	39.94(3.06)	40.61(3.52)
4	30	3	0	47.93(0.86)	42.80(1.93)	42.14(1.28)
5	30	4.5	0	48.18(0.43)	43.36(2.25)	43.31(1.28)
6	30	1.5	3	48.54(0.72)	44.10(0.97)	43.57(0.50)
7	30	3	3	49.21(0.55)	44.23(0.43)	44.22(2.44)
8	30	4.5	3	49.93(1.43)	44.97(2.32)	44.26(3.05)
9	40	0	0	37.17(2.49)	37.17(2.49)	37.74(2.49)
10	40	0	3	41.38(1.25)	41.38(1.25)	41.38(1.25)
11	40	1.5	0	41.47(1.33)	39.19(0.91)	37.6(0.45)
12	40	3	0	43.96(0.88)	39.24(0.63)	37.77(0.61)
13	40	4.5	0	46.03(0.35)	39.32(0.88)	38.10(0.51)
14	40	1.5	3	46.27(0.28)	39.69(0.33)	39.16(0.54)
15	40	3	3	46.51(1.01)	40.35(1.32)	39.42(0.71)
16	40	4.5	3	47.30(0.69)	42.47(1.25)	40.97(0.64)
17	50	0	0	34.86(2.91)	34.86(2.91)	34.86(2.91)
18	50	0	3	36.01(0.88)	36.01(0.88)	36.01(0.88)
19	50	1.5	0	38.36(3.41)	33.79(0.66)	33.65(2.00)
20	50	3	0	41.09(4.05)	34.42(0.52)	34.31(3.14)
21	50	4.5	0	42.71(0.52)	35.47(0.78)	34.83(1.51)
22	50	1.5	3	43.33(1.87)	35.83(0.60)	35.30(0.72)
23	50	3	3	43.85(0.74)	37.06(0.80)	35.92(0.93)
24	50	4.5	3	44.90(2.03)	38.33(1.10)	36.39(1.13)

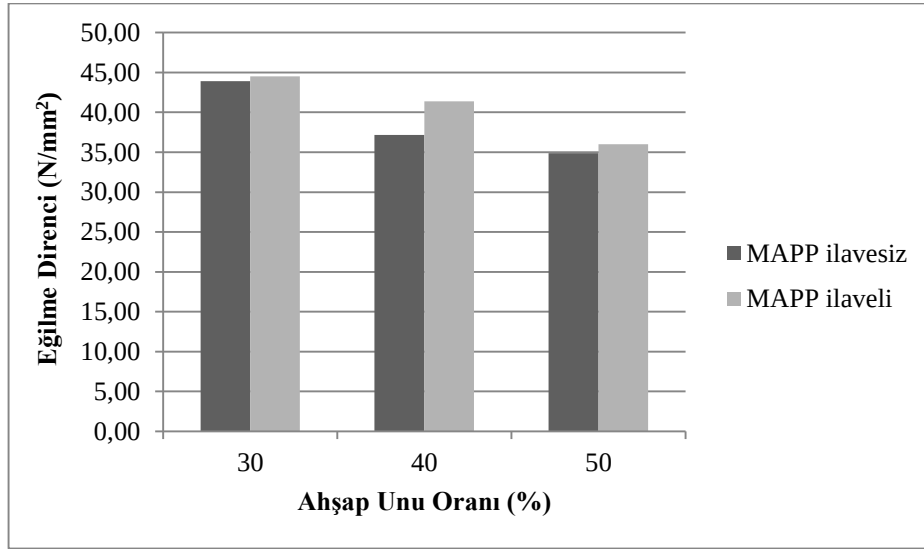
Tablo 4.46 incelendiğinde en düşük eğilme direncinin ahşap unu oranının %50 olduğu gruplarda olduğu görülmektedir. Ahşap plastik nanokompozitlerin eğilme direnci ahşap unu oranı arttıkça azalma göstermiştir. Bu durum güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan kontrol numunesi durumundaki 1, 9 ve 17. gruplar örnek olarak seçildiğinde grafik yoluyla daha net anlaşılabilecektir. Güçlendirici dolgu takviyesi

bulunmayan ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak eğilme direncinde meydana gelen değişim Şekil 4.56’da görülmektedir.



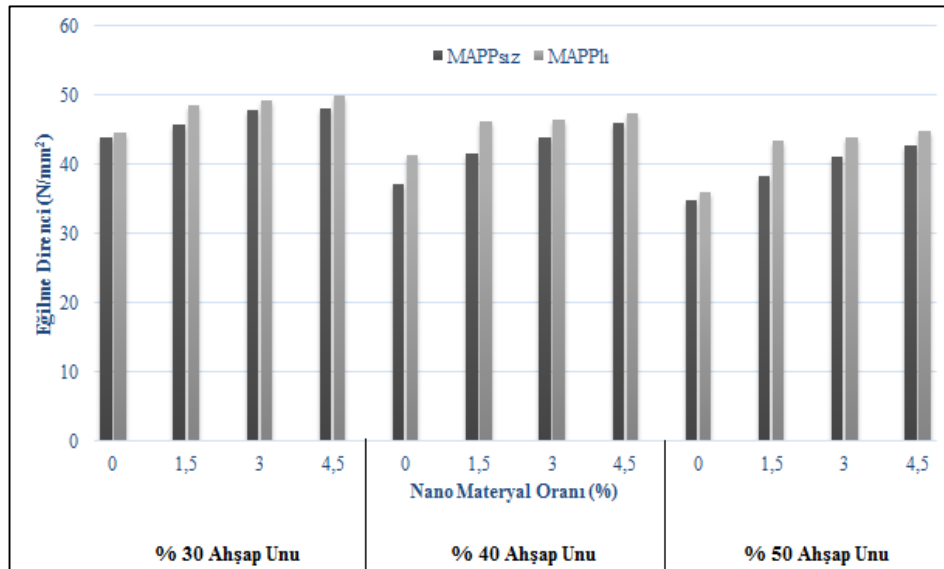
Şekil 4.56: Ahşap plastik kompozitlerin eğilme direnci üzerine ahşap unu oranının etkisi

Şekil 4.56 incelendiğinde ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasıyla birlikte kompozit gruplarının eğilme direncinde azalma olduğu görülmüştür. Ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu miktarı %30’ dan %50’ ye yükseldiğinde eğilme direnci değerlerinde %20.59 oranında bir azalma meydana gelmiştir.



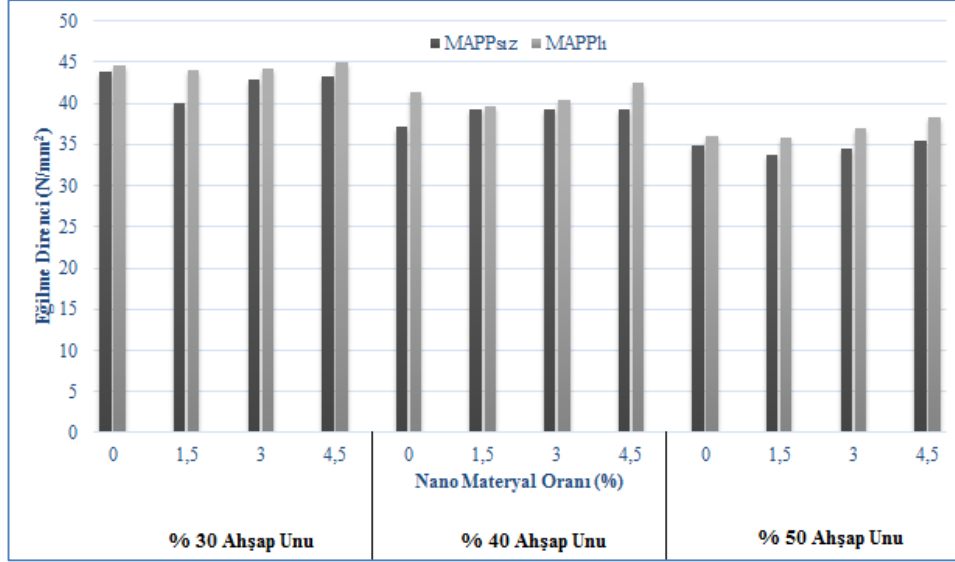
Şekil 4.57: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin eğilme direnci üzerine etkisi

Şekil 4.57’de gösterildiği üzere ahşap plastik kompozit gruplarının eğilme direnci %3’lük uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte bir miktar artış göstermiştir. Her üç ahşap unu yükleme oranında da aynı durumu Şekil 4.58, 4.59 ve 4.60 aracılığıyla görmek mümkün olmaktadır.

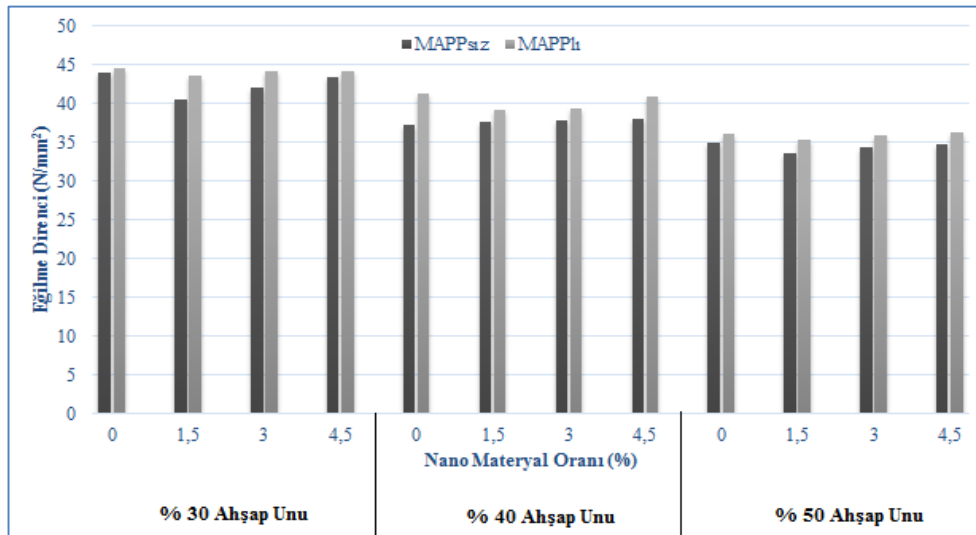


Şekil 4.58: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının eğilme direncinde meydana gelen değişim

Karbon nanotüp (KNT) ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının eğilme direncinin değişimi (Şekil 4.58) incelendiğinde, karbon nanotüp oranının artmasına bağlı olarak eğilme direnci değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Benzer durum nano kil ve hegzagonal bor nitrürde de görülmüştür.



Şekil 4.59: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının eğilme direncinde meydana gelen değişim



Şekil 4.60: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının eğilme direncinde meydana gelen değişim

Karbon nanotüp, nanokil ve hegzagonal bor nitrür, uyum sağlayıcı ajanın etkisi ve ahşap unu oranının ahşap plastik nanokompozitlerin çekme direnci üzerine etkisi Levene ve iki yönlü Anova kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.47 ve 4.48’de verilmiştir.

Tablo 4.47: Ahşap Plastik Nanokompozitlerin eğilme direncine ilişkin Levene testi istatistikleri

Karbon Nanotüp				Nanokil				Hegzagonal Bor Nitrür			
F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.
4.247	23	144	.000	3.119	23	144	.000	2.959	23	144	.000

Tablo 4.48: Ahşap Plastik Nanokompozitlerin eğilme direncine ilişkin Varyans analizi sonuçları

Kaynak	Karbon Nanotüp		Nano Kil		Hegzagonal Bor Nitrür	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Corrected Model	36.701	.000	33.149	.000	26.751	.000
Intercept	98850.422	.000	99915.274	.000	75364.692	.000
ahşapunu	172.981	.000	318.678	.000	272.830	.000
mapp	43.320	.000	25.906	.000	13.817	.000
nano	120.341	.000	9.489	.000	5.400	.002
ahşapunu *	2.443	.090	4.120	.018	1.190	.307
mapp						
ahşapunu *	3.685	.002	1.198	.311	.335	.917
nano						
mapp * nano	17.311	.000	12.988	.000	8.253	.000
ahşapunu *	2.481	.026	2.716	.016	1.742	.115
mapp * nano						
Error						
Total						
Corrected Total						

Tablo 4.47’de verilen Levene testi sonuçlarına göre karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit gruplarının varyanslarının homojen olmadığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit grupların varyanslarının da homojen olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 4.48’ de verilen varyans analizi sonuçlarına göre tüm gruplarda güçlendirici dolgu materyalinin, uyum sağlayıcı ajanın ve ahşap unu oranının nanokompozitlerin eğilme direnci değerine %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Faktörlerin birbiri ile etkileşiminde karbon nanotüp ile güçlendirilen gruplarda ahşapunu * nano, mapp * nano ve ahşapunu * mapp * nano faktörlerinin anlamlı olduğu belirlenmiştir. Nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarda mapp * nano ve ahşapunu * mapp * nano etkileşiminin anlamlı olduğu, hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen gruplarda ise sadece mapp * nano etkileşiminin anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Faktörlerin ahşap plastik nanokompozitlerin eğilme direnci üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla Tamhane T2 testi gerçekleştirilmiştir. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının eğilme direnci değerlerinin gruplandırılmasına ilişkin Tamhane T2 testi sonuçları Tablo 4.49’da verilmiştir.

Tablo 4.49: Ahşap Plastik Nanokompozit eğilme direnci değerlerine ilişkin Tamhane T2 testi sonuçları

Tamhane		(I) Grup	(J) Grup	I-J	Std. Hata	Önem Düzeyi
KNT	Ahşap Unu	30.0	40.0	3.42(*)	.568	.000
			50.0	6.37(*)	.695	.000
		40.0	30.0	-3.42(*)	.568	.000
			50.0	2.95(*)	.752	.000
		50.0	30.0	-6.37(*)	.695	.000
			40.0	-2.95(*)	.752	.000
	Nano	.0	1.5	-4.23(*)	.895	.000
			3.0	-5.69(*)	.838	.000
			4.5	-7.10(*)	.770	.000
		1.5	.0	4.23(*)	.895	.000
			3.0	-1.46	.777	.328
			4.5	-2.88(*)	.704	.001
		3.0	.0	5.69(*)	.838	.000
			1.5	1.46	.777	.328
			4.5	-1.42	.630	.154
		4.5	.0	7.10(*)	.770	.000
			1.5	2.88(*)	.704	.001
			3.0	1.42	.630	.154
NK	Ahşap Unu	30.0	40.0	3.55(*)	.416	.000
			50.0	7.76(*)	.414	.000
		40.0	30.0	-3.55(*)	.416	.000
			50.0	4.20(*)	.344	.000
		50.0	30.0	-7.76(*)	.414	.000
			40.0	-4.20(*)	.344	.000
	Nano	.0	1.5	.98	.867	.839
			3.0	.05	.860	1.000
			4.5	-.92	.870	.878
		1.5	.0	-.98	.867	.839
			3.0	-.93	.771	.796
			4.5	-1.89	.782	.101
		3.0	.0	-.05	.860	1.000
			1.5	.93	.771	.796
			4.5	-.97	.774	.765
		4.5	.0	.92	.870	.878
			1.5	1.89	.782	.101
			3.0	.97	.774	.765
HBN	Ahşap Unu	30.0	40.0	4.30(*)	.411	.000
			50.0	8.16(*)	.427	.000
		40.0	30.0	-4.30(*)	.411	.000
			50.0	3.86(*)	.351	.000
		50.0	30.0	-8.16(*)	.427	.000
			40.0	-3.86(*)	.351	.000
	Nano	.0	1.5	1.42	.880	.503
			3.0	.78	.895	.948
			4.5	.10	.893	1.000
		1.5	.0	-1.42	.880	.503
			3.0	-.65	.824	.967
			4.5	-1.33	.821	.503
		3.0	.0	-.78	.895	.948
			1.5	.65	.824	.967
			4.5	-.68	.837	.962
		4.5	.0	-.10	.893	1.000

Tablo 4.49’da verilen Tamhane T2 testi sonuçlarına göre karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının eğilme direnci üzerine ahşap unu oranının tüm gruplarda farklılık oluşturduğu belirlenmiştir. Karbon nanotüp kullanılan gruplarda güçlendirici dolgu maddesinin etkisinin ahşap plastik nanokompozitlerin eğilme direnci üzerine etkisi incelendiğinde %0 ile %1.5, %0 ile %3, %0 ile %4.5 ve %1.5 ile %4.5 karbon nanotüp ilavesinin anlamlı fark oluşturduğu tespit edilmiştir. Nano kil ve hegzagonal bor nitrür miktarının ahşap plastik nanokompozitlerin eğilme direnci üzerine anlamlı bir fark oluşturmadığı belirlenmiştir.

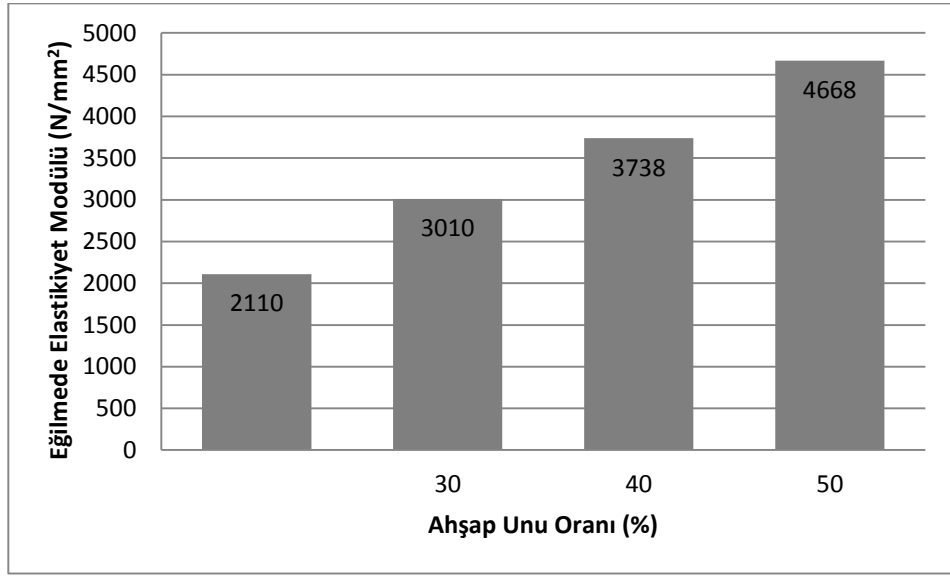
4.2.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Tablo 4.50 ahşap plastik nanokompozitlerin eğilmede elastikiyet modülüne ilişkin ortalama ve standart sapma (parantez içinde) değerlerini göstermektedir. Denemeler 10’ar örnek üzerinden yürütülmüştür.

Tablo 4.50: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait eğilmede elastikiyet modülü değerleri

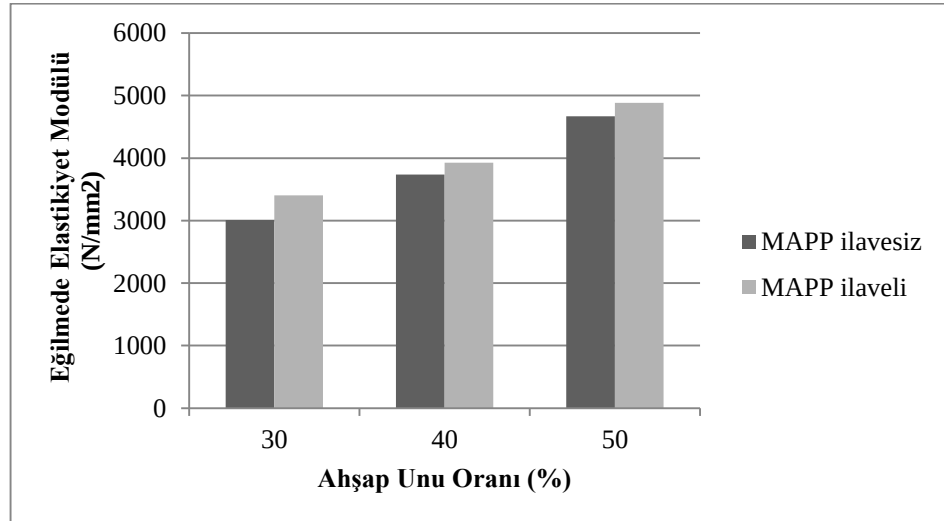
Kompozit Grup	Ahşap Unu (%)	Nano Materyal Oranı (%)	MAPP (%)	Karbon Nanotüp	Nano kil	Hegzagonal Bor Nitrür
				Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm ²)		
Saf PP	0	0	0	2110	2110	2110
1	30	0	0	3010(403)	3010(403)	3010(403)
2	30	0	3	3406(665)	3406(665)	3406(665)
3	30	1.5	0	3666(390)	3463(345)	3364(435)
4	30	3	0	3841(743)	3584(270)	3414(380)
5	30	4.5	0	4087(312)	3648(880)	3544(499)
6	30	1.5	3	4318(568)	3658(146)	3659(373)
7	30	3	3	4400(613)	3770(400)	3939(499)
8	30	4.5	3	4641(838)	4150(192)	4056(180)
9	40	0	0	3738(599)	3738(599)	3738(599)
10	40	0	3	3924(423)	3924(423)	3924(423)
11	40	1.5	0	4189(177)	3851(415)	3802(343)
12	40	3	0	4401(469)	4089(883)	3911(879)
13	40	4.5	0	4615(972)	4410(344)	4164(543)
14	40	1.5	3	4657(469)	4530(549)	4438(673)
15	40	3	3	4747(678)	4663(574)	4511(739)
16	40	4.5	3	4926(584)	4713(311)	4589(377)
17	50	0	0	4668(721)	4668(721)	4668(721)
18	50	0	3	4885(391)	4885(391)	4885(391)
19	50	1.5	0	4500(738)	4725(626)	4347(619)
20	50	3	0	5117(567)	4888(887)	4445(429)
21	50	4.5	0	5172(714)	5041(518)	4760(526)
22	50	1.5	3	5506(616)	5365(824)	4930(709)
23	50	3	3	5594(747)	5735(664)	5098(363)
24	50	4.5	3	5888(381)	5764(615)	5709(539)

Tablo 4.50 incelendiğinde en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değerinin ahşap unu oranının %50 olduğu gruplarda olduğu görülmektedir. Ahşap plastik nanokompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü ahşap unu oranı arttıkça artış göstermiştir. Bu durum güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan kontrol numunesi durumundaki 1, 9 ve 17. gruplar örnek olarak seçildiğinde grafik yoluyla daha net anlaşılabilecektir. Güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak eğilmede elastikiyet modülünde meydana gelen değişim Şekil 4.61’de gösterilmektedir.



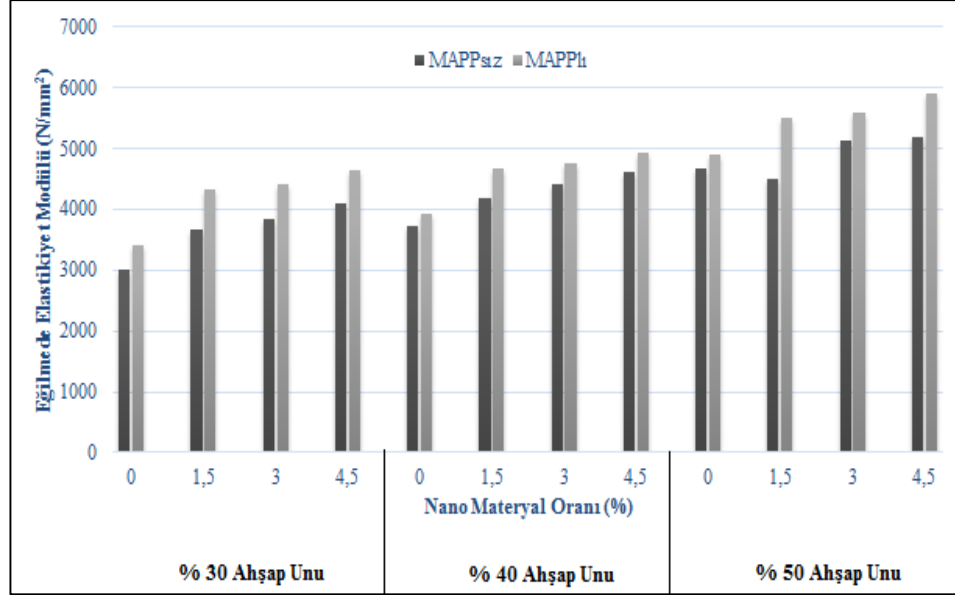
Şekil 4.61: Ahşap plastik nanokompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü üzerine ahşap unu oranının etkisi

Şekil 4.61 incelendiğinde ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasıyla birlikte kompozit gruplarının eğilmede elastikiyet modülünde artış olduğu görülebilmektedir. Ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranı %30'dan %50'ye yükseldiğinde eğilmede elastikiyet modülünde %55,08 oranında bir artış meydana gelmiştir.



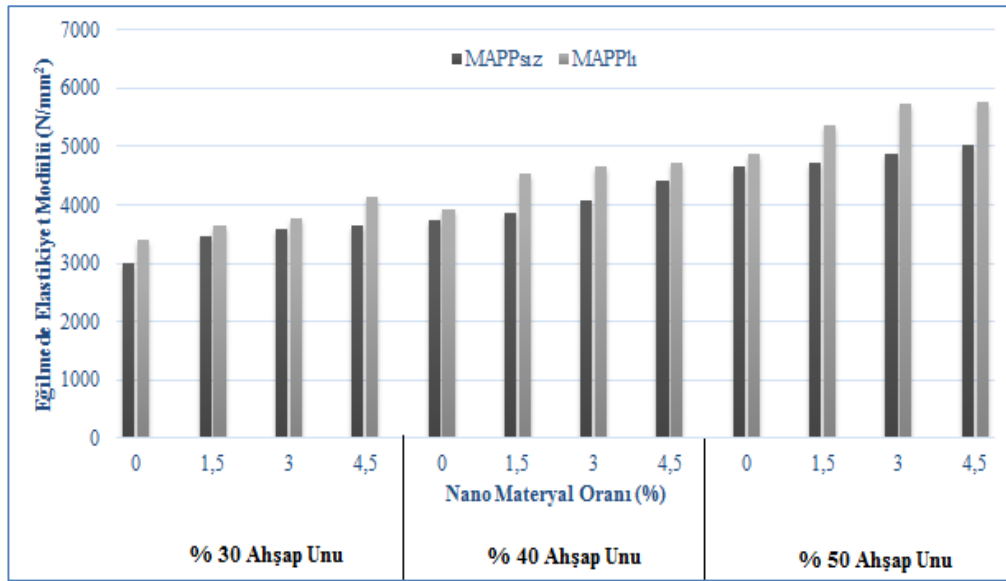
Şekil 4.62: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisi

Şekil 4.62’de gösterildiği üzere ahşap plastik kompozit gruplarının eğilmede elastikiyet modülü %3’lük uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte bir miktar artış göstermiştir. Her üç ahşap unu yükleme oranında da aynı durumu Şekil 4.63, 4.64 ve 4.65 aracılığıyla görmek mümkün olmaktadır.

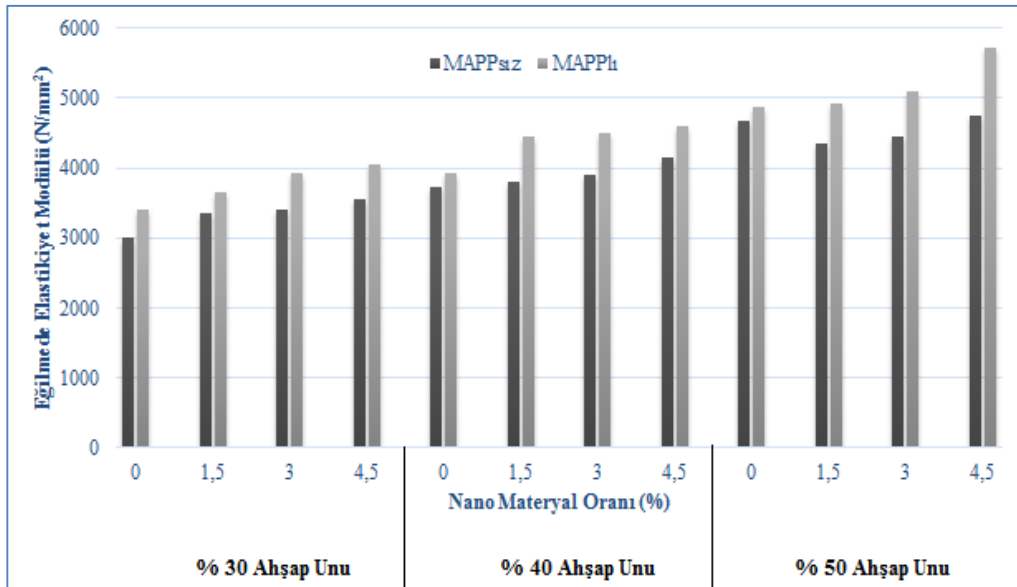


Şekil 4.63: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin değişimi

Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının eğilmede elastikiyet modülünün değişimi (Şekil 4.63) incelendiğinde, karbon nanotüp oranının artmasına bağlı olarak eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin arttığı görülmektedir. Benzer sonuçlar hegzagonal bor nitrür ve nanokil için de tespit edilmiştir.



Şekil 4.64: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin değişimi



Şekil 4.65: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının eğilmede elastikiyet modülü direnci değerlerinin değişimi

Karbon nanotüp, nanokil ve hegzagonal bor nitrür, uyum sağlayıcı ajanın etkisi ve ahşap unu oranının ahşap plastik nanokompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü

üzerine etkisi Levene ve iki yönlü Anova kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.51 ve 4.52’de verilmiştir.

Tablo 4.51: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin Levene testi istatistikleri

Karbon Nanotüp				Nanokil				Hegzagonal Bor Nitrür			
F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.
1.148	23	144	.303	1.893	23	144	.013	.994	23	144	.477

Tablo 4.52: Ahşap Plastik Nanokompozit eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin Varyans analizi sonuçları

Kaynak	Karbon Nanotüp		Nano Kil		Hegzagonal Bor Nitrür	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Corrected Model	9.544	.000	11.661	.000	10.014	.000
Intercept	9491.390	.000	9470.577	.000	9956.542	.000
ahşapunu	61.741	.000	101.249	.000	81.300	.000
mapp	28.247	.000	25.664	.000	35.349	.000
nano	19.561	.000	10.967	.000	7.225	.000
ahşapunu *	.818	.443	.951	.389	.383	.682
mapp						
ahşapunu nano	.569	.754	.049	1.000	.798	.573
mapp * nano	.977	.405	.476	.699	.948	.419
ahşapunu *	.187	.980	.588	.740	.383	.889
mapp * nano						
Error						
Total						
Corrected Total						

Tablo 4.51’de verilen Levene testi sonuçlarına göre karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit gruplarının varyanslarının homojen olmadığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen grupların varyanslarının da homojen olmadığı Tablo 4.51’de gösterilmektedir.

Tablo 4.52’ de verilen Varyans analizi sonuçlarına göre tüm gruplarda güçlendirici dolgu materyalinin, uyum sağlayıcı ajanın ve ahşap unu oranının nanokompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerine %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu tespit

edilmiştir. Ancak faktörlerin birbiri ile etkileşiminde tüm gruplarda etkileşim %95 güven düzeyinde anlamlı bulunmamıştır Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları Tablo 4.53’de verilmiştir.

Tablo 4.53: Duncan testine göre nanokompozit grupların eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin gruplandırılması

	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
KNT			1	2	3			1	2	3
	30.0	80	3921.23			.0	60	3938.83		
	40.0	80		4399.71		1.5	60		4472.59	
	50.0	80			5166.23	3.0	60		4683.29	4683.29
						4.5	60			4888.17
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		1.000	.109	.119
NK	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
	30.0	80	3592.52			.0	60	3938.83		
	40.0	80		4240.01		1.5	60		4265.41	
	50.0	80			5134.07	3.0	60		4463.06	4463.06
						4.5	60			4621.48
	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig		1.000	.118	.209
HBN	Ahşap Unu					Nano				
	Ahşap unu	N	Subset			Nano	N	Subset		
			1	2	3			1	2	3
	30.0	80	3549.21			.0	60	3938.83		
	40.0	80		4134.76		1.5	60	4090.06	4090.06	
	50.0	80			4855.26	3.0	60		4219.73	
						4.5	60			4470.36
	Sig		1.000	1.000	1.000	Sig		.204	.276	1.000

Tablo 4.53’de gösterilen Duncan testi sonuçlarına göre karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozit gruplarının eğilmede elastikiyet modülü değeri üzerine ahşap unu miktarının tüm gruplarda farklılık oluşturduğu belirlenmiştir. Güçlendirici dolgu materyal miktarının ahşap plastik nanokompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisi incelendiğinde, karbon nanotüp ve nano kilin benzer özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Buna göre %1.5 ile %3 yükleme oranı kendi arasında, benzer şekilde %3 ile %4.5 yükleme oranı benzer sonuçlar göstermiştir. Bu kısımda kontrol grubu diğer gruplardan farklı bir davranış

göstermiştir. Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen nanokompozit grubunda ise %0 ile %1.5 aynı şekilde %1.5 ile %3 nano partikül takviyesinde benzer farklılık oluşmazken %4.5 güçlendirici takviyesi farklılık oluşturmıştır.

4.2.3. Şok Direnci

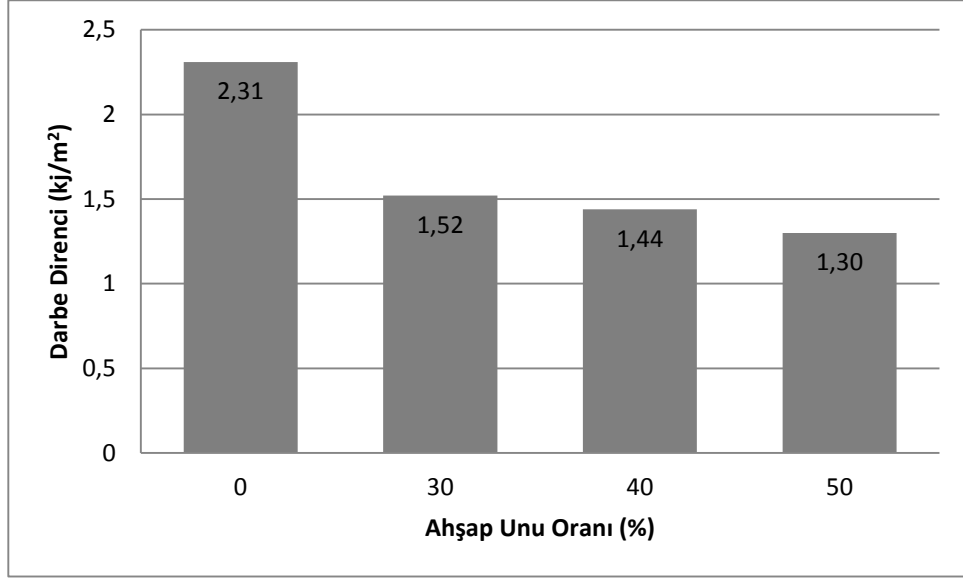
Tablo 4.54 ahşap plastik nanokompozitlerin şok direnci değerlerine ilişkin ortalama ve standart sapma (parantez içinde) değerlerini göstermektedir. Denemeler 10'ar örnek üzerinden yürütülmüştür.

Tablo 4.54: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait şok direnci değerleri

Kompozit Grup	Ahşap Unu (%)	Nano Materyal Oranı (%)	MAPP (%)	Karbon Nanotüp	Nano kil	Hegzagonal Bor Nitrür
				Şok Direnci (kJ/m ²)		
Saf PP	0	0	0	2.31(0.15)	2.31(0.15)	2.31(0.15)
1	30	0	0	1.50(0.11)	1.50(0.11)	1.50(0.11)
2	30	0	3	1.52(0.09)	1.52(0.09)	1.52(0.09)
3	30	1.5	0	1.51(0.09)	1.48(0.10)	1.46(0.05)
4	30	3	0	1.53(0.09)	1.51(0.08)	1.47(0.10)
5	30	4.5	0	1.55(0.20)	1.52(0.04)	1.48(0.05)
6	30	1.5	3	1.57(0.10)	1.52(0.03)	1.54(0.07)
7	30	3	3	1.57(0.11)	1.53(0.08)	1.60(0.06)
8	30	4.5	3	1.65(0.06)	1.57(0.07)	1.63(0.07)
9	40	0	0	1.44(0.07)	1.44(0.07)	1.44(0.07)
10	40	0	3	1.47(0.08)	1.47(0.08)	1.47(0.08)
11	40	1.5	0	1.45(0.08)	1.46(0.05)	1.45(0.04)
12	40	3	0	1.46(0.05)	1.46(0.06)	1.46(0.05)
13	40	4.5	0	1.46(0.02)	1.47(0.09)	1.47(0.09)
14	40	1.5	3	1.50(0.06)	1.49(0.02)	1.53(0.03)
15	40	3	3	1.52(0.04)	1.49(0.04)	1.58(0.04)
16	40	4.5	3	1.55(0.07)	1.51(0.08)	1.60(0.03)
17	50	0	0	1.30(0.03)	1.30(0.03)	1.30(0.03)
18	50	0	3	1.34(0.02)	1.34(0.02)	1.34(0.02)
19	50	1.5	0	1.33(0.02)	1.33(0.03)	1.31(0.05)
20	50	3	0	1.34(0.02)	1.36(0.03)	1.35(0.06)
21	50	4.5	0	1.34(0.02)	1.39(0.03)	1.36(0.02)
22	50	1.5	3	1.36(0.01)	1.41(0.03)	1.43(0.04)
23	50	3	3	1.37(0.04)	1.45(0.07)	1.50(0.02)
24	50	4.5	3	1.46(0.07)	1.47(0.05)	1.53(0.01)

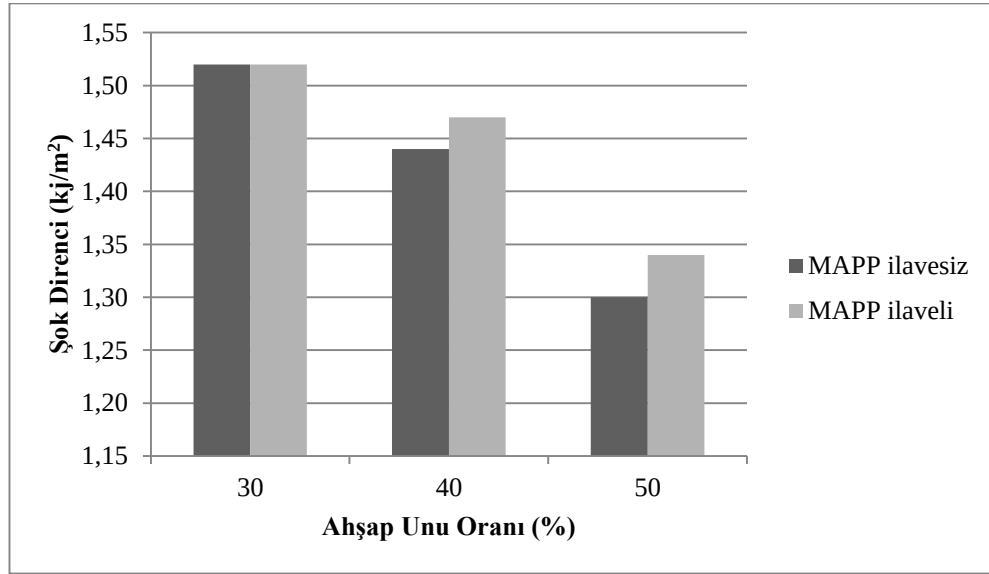
Tablo 4.54 incelendiğinde en yüksek şok direnci değerinin ahşap unu oranının %30 olduğu gruplarda olduğu görülmektedir. Ahşap plastik nanokompozitlerin şok direnci değerinin ahşap unu oranı arttıkça, azaldığı görülebilmektedir. Bu durum güçlendirici

dolgu takviyesi bulunmayan kontrol numunesi statüsündeki 1, 9 ve 17. gruplar örnek olarak seçildiğinde grafik yoluyla daha net anlaşılabacaktır. Güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak şok direnci değeri meydana gelen değişim Şekil 4.66'da gösterilmektedir.



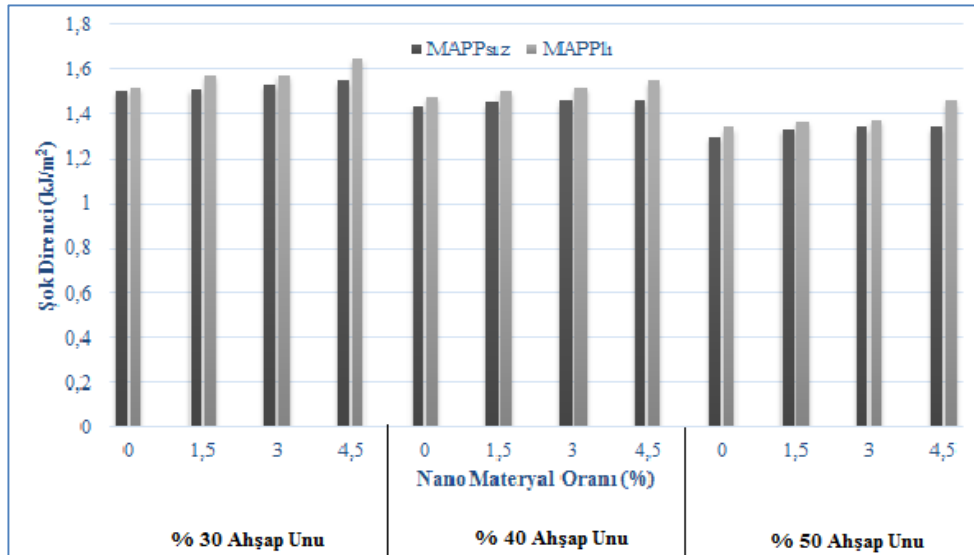
Şekil 4.66: Ahşap plastik kompozitlerin şok direnci değerleri üzerine ahşap unu oranının etkisi

Şekil 4.66 incelendiğinde ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu oranının artmasıyla birlikte kompozit gruplarının şok direnci değerlerinde artış olduğu görülebilmektedir. Ahşap plastik kompozit içerisindeki ahşap unu miktarı %30'dan %50'ye yükseldiğinde şok direnci değeri %14,47 oranında bir azalma meydana gelmiştir.



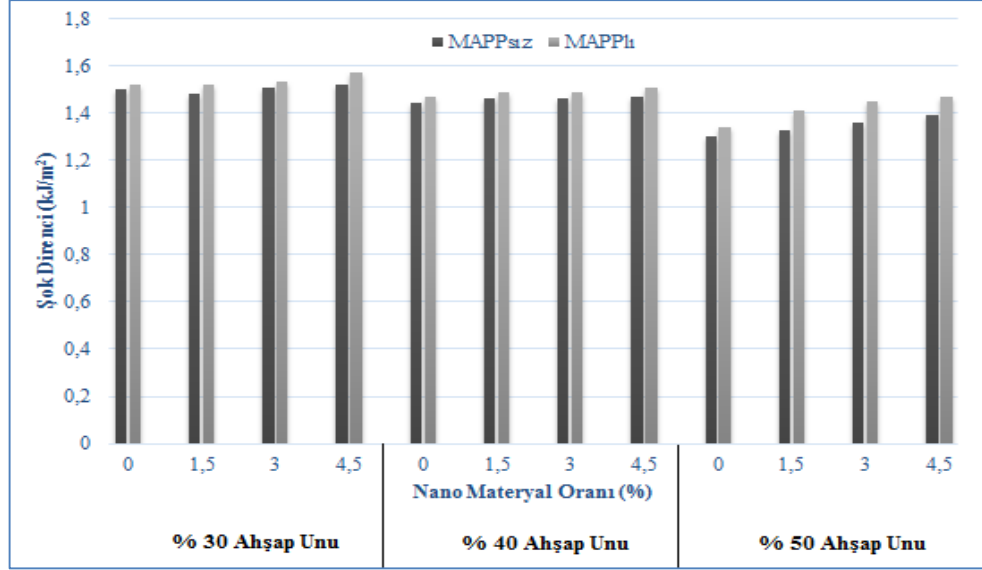
Şekil 4.67: Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin şok direnci üzerine etkisi

Şekil 4.67’de gösterildiği üzere ahşap plastik kompozit gruplarının şok direnci % 3’lük uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte bir miktar artış göstermiştir. Her üç ahşap unu yükleme oranında da aynı durumu Şekil 4.68, 4.69 ve 4.70 aracılığıyla görmek mümkün olmaktadır.

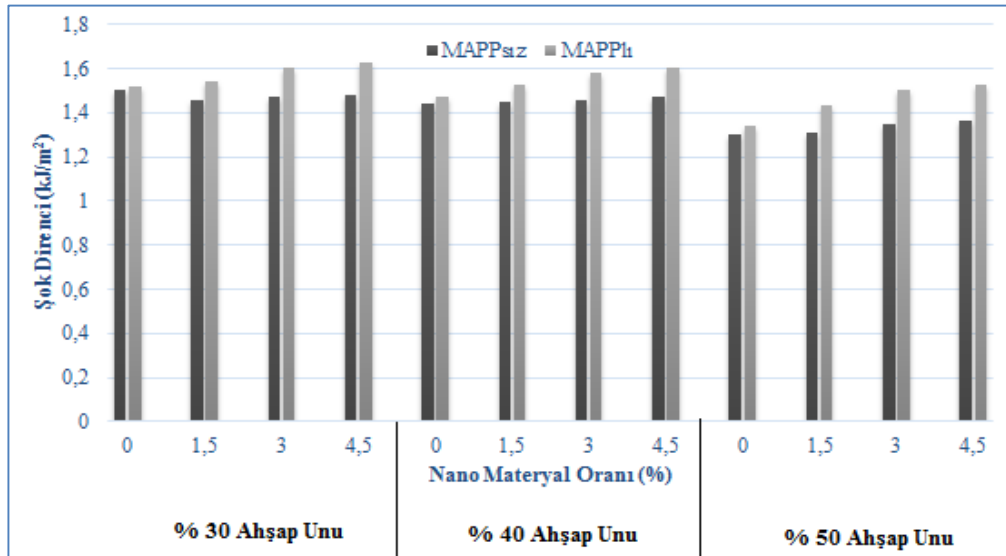


Şekil 4.68: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının şok direncinde meydana gelen değişim

Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının şok direncinin değişimi (Şekil 4.68) incelendiğinde, karbon nanotüp oranının artmasına bağlı olarak şok direnci değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar hegzagonal bor nitrür ve nanokil için de bulunmuştur.



Şekil 4.69: Nanokil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının şok direncinde meydana gelen değişim



Şekil 4.70: Hegzagonal Bor Nitrür ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplarının şok direncinde meydana gelen değişim

Karbon nanotüp, nanokil ve hegzagonal bor nitrür, uyum sağlayıcı ajanın etkisi ve ahşap unu oranının ahşap plastik nanokompozitlerin şok direnci üzerine etkisi Levene ve iki yönlü Anova kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.55 ve 4.56’da verilmiştir.

Tablo 4.55: Ahşap Plastik Nanokompozit numune gruplarına ait şok direnci değerlerine ilişkin Levene testi istatistikleri

Karbon Nanotüp				Nanokil				Hegzagonal Bor Nitrür			
F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.	F	df1	df2	Sig.
2.910	23	120	.000	2.239	23	120	.003	2.555	23	120	.001

Tablo 4.56: Ahşap Plastik Nanokompozit şok direnci değerlerine ilişkin Varyans analizi sonuçları

Kaynak	Karbon Nanotüp		Nano Kil		Hegzagonal Bor Nitrür	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Corrected Model	8.779	.000	7.629	.000	13.773	.000
Intercept	51625.878	.000	79123.463	.000	87287.376	.000
ahşapunu	80.217	.000	61.614	.000	71.123	.000
mapp	18.543	.000	20.038	.000	101.956	.000
nano	5.465	.001	5.740	.001	13.739	.000
ahşapunu *	.005	.995	1.699	.187	.745	.477
mapp						
ahşapunu *	.189	.980	1.540	.171	1.188	.317
nano						
mapp * nano	1.562	.202	.340	.796	7.305	.000
ahşapunu *	.121	.994	.221	.970	.138	.991
mapp * nano						
Error						
Total						
Corrected Total						

Tablo 4.55’de gösterilen Levene testi sonuçlarına göre karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozit gruplarının varyanslarının homojen olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.58: Ahşap Plastik Nanokompozit şok direnci değerlerine ilişkin Tamhane T2 testi sonuçları

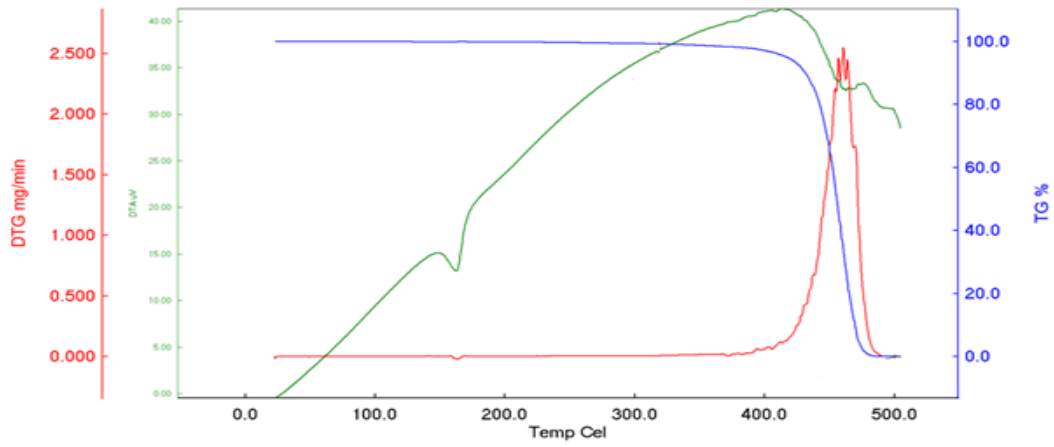
Tamhane		(I) Grup	(J) Grup	I-J	Std. Hata	Önem Düzeyi
HBN	Ahşap Unu	30.0	40.0	.0246	.01756	.418
			50.0	.1365(*)	.01836	.000
		40.0	30.0	-.0246	.01756	.418
			50.0	.1119(*)	.01693	.000
		50.0	30.0	-.1365(*)	.01836	.000
			40.0	-.1119(*)	.01693	.000
	Nano	.0	1.5	-.0244	.02379	.890
			3.0	-.0625	.02451	.075
			4.5	-.0819(*)	.02445	.008
		1.5	.0	.0244	.02379	.890
			3.0	-.0381	.02287	.471
			4.5	-.0575	.02280	.081
		3.0	.0	.0625	.02451	.075
			1.5	.0381	.02287	.471
			4.5	-.0194	.02356	.959
		4.5	.0	.0819(*)	.02445	.008
			1.5	.0575	.02280	.081
			3.0	.0194	.02356	.959

Tablo 4.57’de karbon nanotüp ve nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin Duncan testi sonuçlarına göre, ahşap plastik nanokompozit gruplarının şok direnci üzerine ahşap unu oranının tüm gruplarda farklılık oluşturduğu belirlenmiştir. Ahşap plastik kompozitlerin şok direnci üzerine karbon nanotüp miktarının etkisi %0, %1.5 ve %3’lük nano partikül ilavesinde kendi arasında bir farklılık oluşturmazken %4.5 lük nano partikül ilavesi diğer yükleme oranlarından farklı bir davranış göstermiştir. Ahşap plastik nanokompozitlerin şok direnci üzerine nano kil miktarının etkisi %0 ile %1.5, %1.5 ile %3 ve %3 ile %4.5 kendi arasında gruplar oluşturacak şekilde davranış göstermiştir. Tablo 4.58’de gösterilen hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin şok direncine ilişkin Tamhane T2 testi sonuçları incelendiğinde, %30 ile %40 ahşap unu yükleme oranı arasında anlamlı bir fark bulunamazken diğer yükleme oranlarında gruplar arasında anlamlı farklar olduğu tespit edilmiştir. Ahşap plastik kompozitlerin şok direnci üzerine hegzagonal bor nitrür miktarının etkisi sadece %0 ile %4.5 nano partikül yükleme oranında anlamlı farklılıklar oluşturmuştur.

4.3. TERMAL ÖZELLİKLER

4.3.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

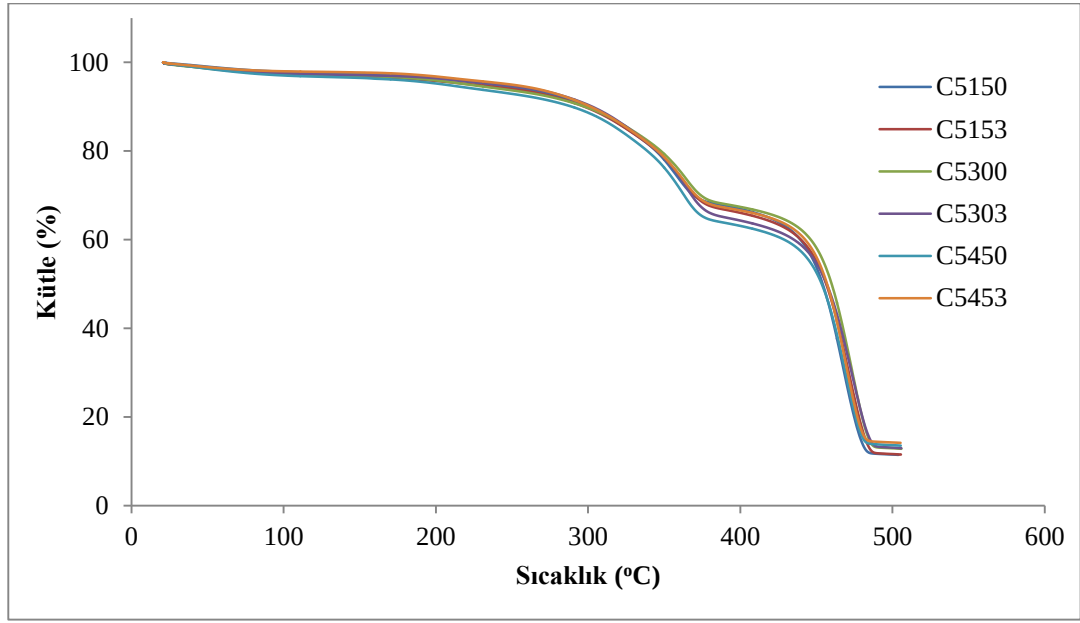
Güçlendirici dolgu materyali olarak kullanılan karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür miktarının ahşap plastik nanokompozitlerin oksidatif şartlardaki termal bozunmaları TGA ile tespit edilmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ahşap plastik nanokompozitlerin üretiminde matris elemanı olarak kullanılan polipropilene ait TGA-DTG grafiği Şekil 4.71’de gösterilmiştir.



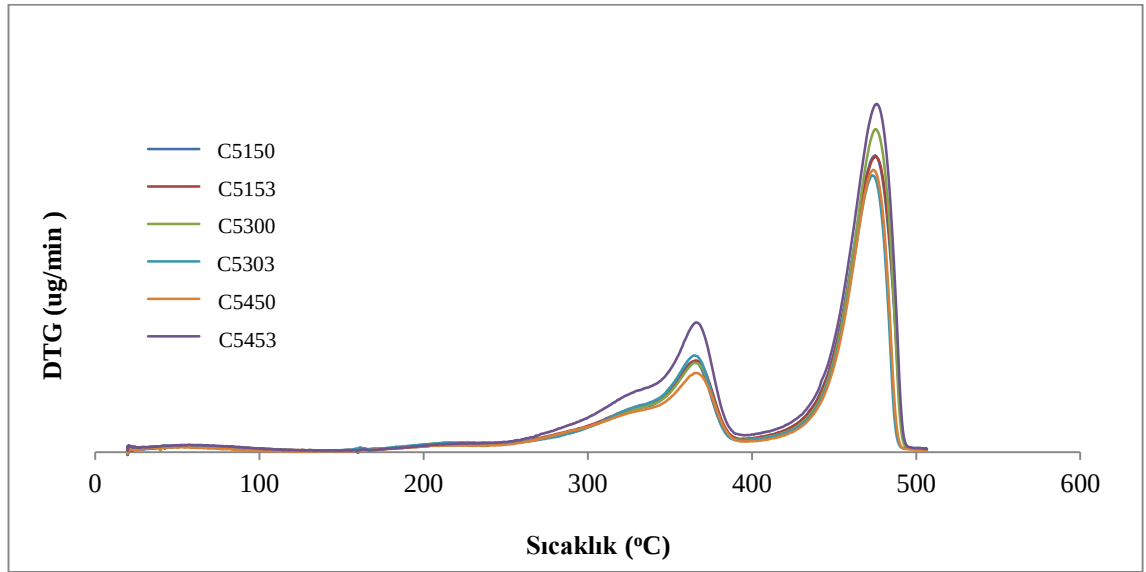
Şekil 4.71: Polipropilene ait TGA-DTG grafiği

Şekil 4.71’de görüldüğü gibi polipropilenin aktif bozunmasının 350°C’de başladığı tespit edilmiştir. Saf polipropilenin termal analiz sonucu ağırlık kaybı bitiş sıcaklığı 500.4°C ve artık kalan madde miktarı %0 olarak belirlenmiştir. Çalışmanın bu kısmında elde edilen bilgiler ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama işlemlerinde çalışma sıcaklıklarına ilişkin profil oluşturulmasında yardımcı olmuştur.

Karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin TGA ve DTG grafikleri Şekil 4.72 ve 4.73’de görülmektedir.



Şekil 4.72: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin termogravimetrik analiz sonuçları



Şekil 4.73: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin DTG analiz sonuçları

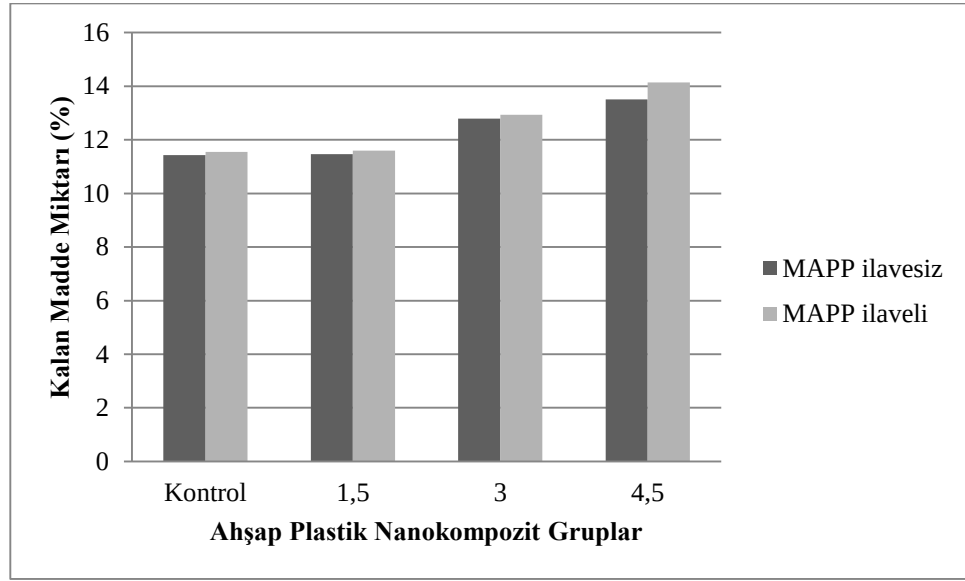
Şekil 4.73'te görüldüğü gibi karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin ağırlık kaybı bitiş sıcaklığı ortalama olarak 505°C' dir. Artan karbon nanotüp miktarına bağlı olarak ahşap plastik kompozitlerin deneme sonrası kalan madde

miktarında artış tespit edilmiştir (Tablo 4.59). Benzer şekilde Şekil 4.74 incelendiğinde artan karbon nanotüp miktarına bağlı olarak DTG maksimum tepe sıcaklıklarında artış görülmüştür. Bu durum karbon nanotüp kullanımının ahşap plastik nanokompozitlerin ısı kararlılığının artmasını sağladığını göstermiştir. Tablo 5.59 karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin TGA sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 4.59: Karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlere ait bazı TGA sonuçları

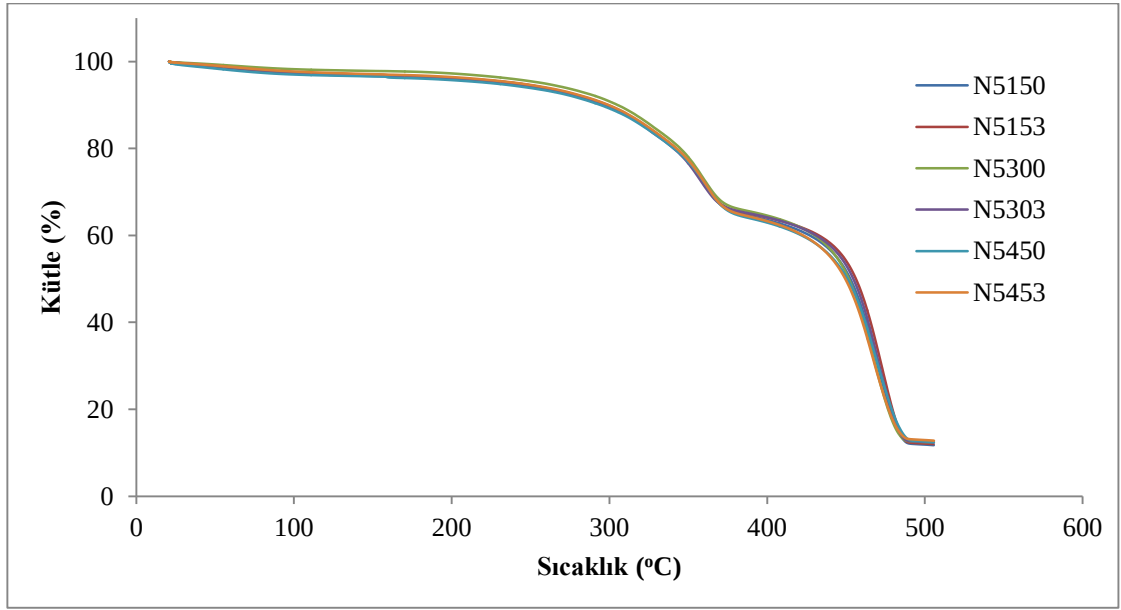
Karbon nanotüp						
Kompozit Grup	Ahşap unu (%)	Nano materyal oranı (%)	MAPP (%)	Ağırlık Kaybının Sonlandığı Sıcaklık (°C)	Kalan Madde Miktarı (%)	Rutubet (%)
Kontrol	50	0	0	504.37	11.43	3
Kontrol	50	0	3	505.31	11.55	2.1
KNT	50	1.5	0	504.63	11.46	2.3
KNT	50	1.5	3	504.91	11.60	3
KNT	50	3	0	505.62	12.79	2.9
KNT	50	3	3	505.92	12.93	2.6
KNT	50	4.5	0	506.60	13.51	3.1
KNT	50	4.5	3	506.80	14.14	2.1

Tablo 4.59'dan gösterildiği gibi artan karbon nanotüp kullanımına bağlı olarak ahşap plastik nanokompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak deneme sonrası kalan madde miktarında artış tespit edilmiştir. Uyum sağlayıcı ajan kullanılmayan kontrol grubu numunesinde sıcaklığa bağlı olarak kalan madde miktarı %11.43 olarak tespit edilirken %4.5 oranında karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerde bu oran %14.14 olarak belirlenmiştir. Benzer durum tüm nano materyal katkı oranlarında görülmüştür. Öte yandan uyum sağlayıcı ajan kullanımı benzer şekilde ahşap plastik nanokompozitlerin TGA analizi sonrası kalan madde miktarını arttırmıştır. Bu durum Şekil 4.74'te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

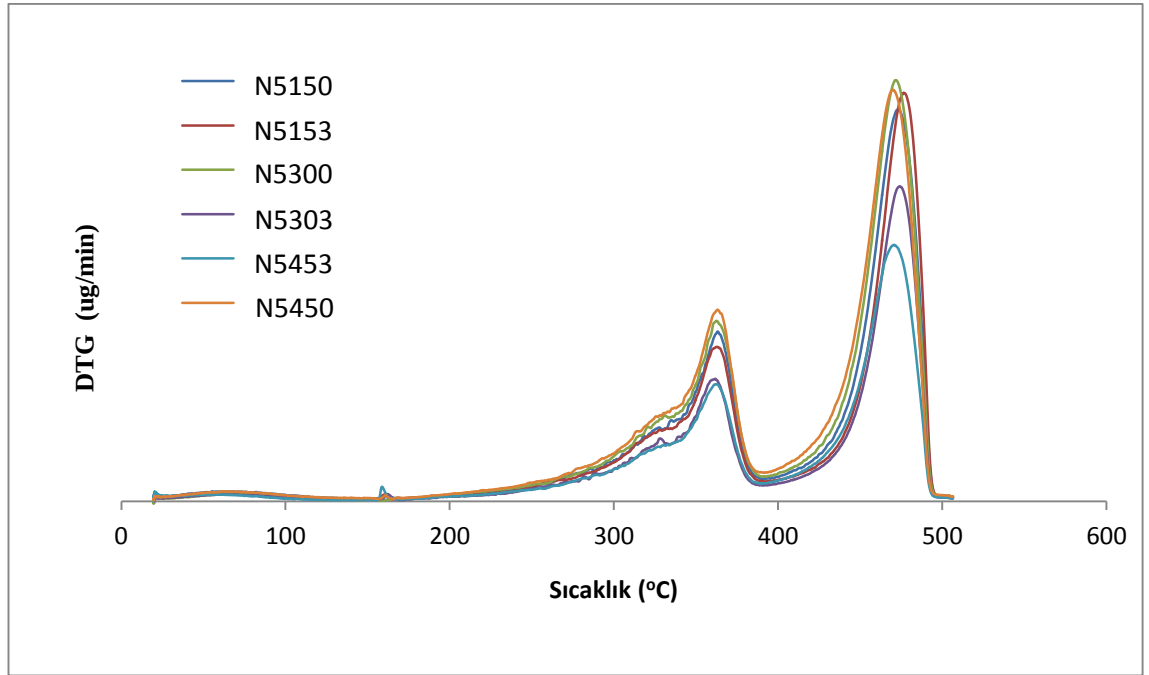


Şekil 4.74: Karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerde TGA testi sonrası kalan madde miktarının karşılaştırılması

Yine tablo 4.59’da ahşap plastik nanokompozitlerin rutubet değerleri gösterilmektedir. Karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin rutubet değerlerinin ortalama olarak %2.6 olarak belirlenmiştir. Benzer sonuçları nano kil ve hegzeagonal bor nitür ile güçlendirilen ahşap plastik kompozitlerde görülmüştür. Nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin TGA ve DTG analiz grafikleri Şekil 4.75 ve 4.76’da görülmektedir.



Şekil 4.75: Nano kil ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin DTG analiz sonuçları



Şekil 4.76: Nano kil ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin DTG analiz sonuçları

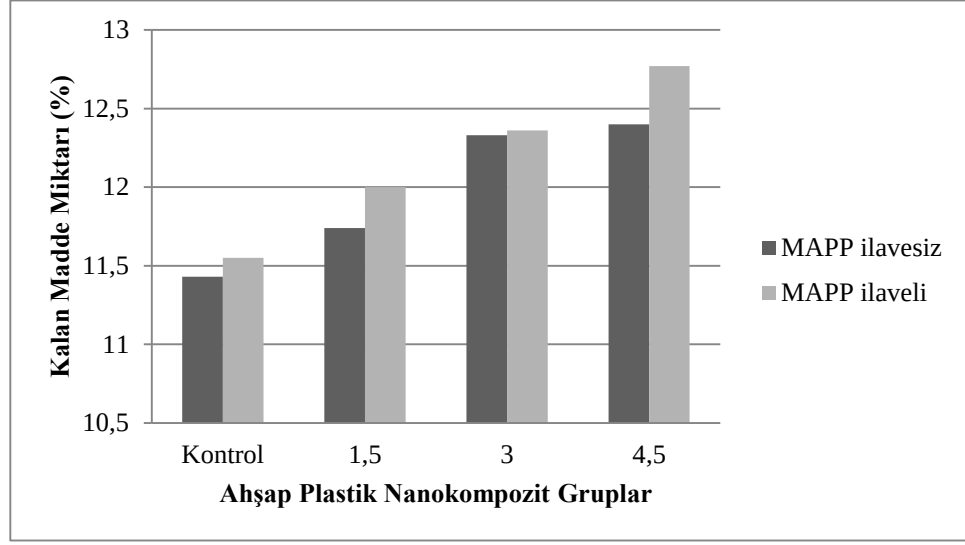
Şekil 4.75'te görüldüğü gibi nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin ağırlık kaybı bitiş sıcaklığı ortalama olarak 505°C' dir. Artan nano kil miktarına bağlı olarak ahşap plastik kompozitlerin deneme sonrası kalan madde miktarında artış tespit

edilmiştir (Tablo 4.60). Benzer şekilde Şekil 4.76 incelendiğinde artan karbon nanotüp miktarına bağlı olarak DTG maksimum tepe sıcaklıklarında artış görülmüştür. Bu durum nano kil kullanımının ahşap plastik nanokompozitlerin ısı kararlılığın artmasını sağladığını göstermiştir. Nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin TGA sonuçları Tablo 4.60'ta görülmektedir.

Tablo 4.60: Nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin bazı TGA sonuçları

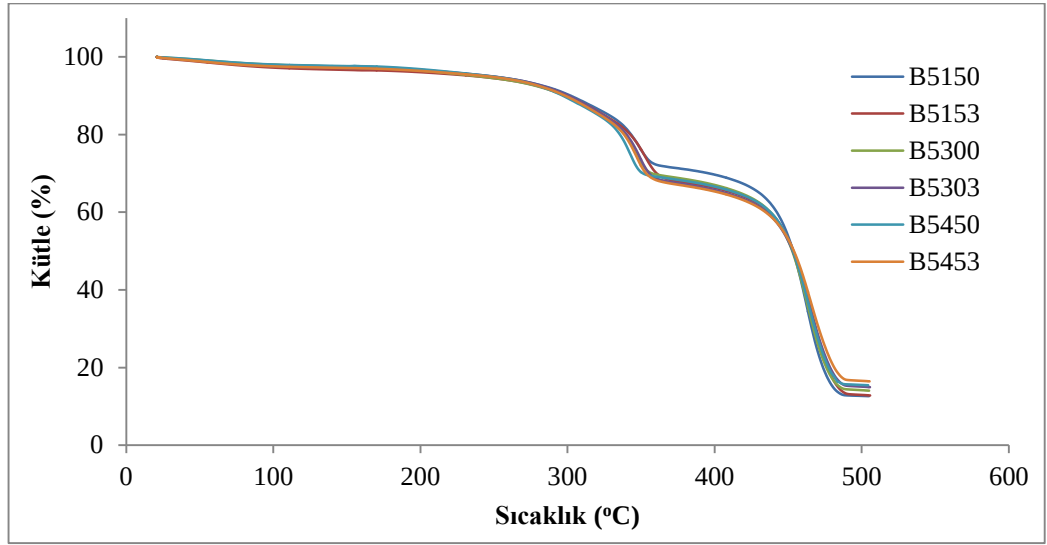
Kompozit Grup	Ahşap unu (%)	Nano materyal oranı (%)	MAPP (%)	Nanokil		
				Ağırlık Kaybının Sonlandığı Sıcaklık (°C)	Kalan Madde Miktarı (%)	Rutubet (%)
Kontrol	50	0	0	504.37	11.43	3
Kontrol	50	0	3	505.31	11.55	2.1
NK	50	1.5	0	505.72	11.74	3.3
NK	50	1.5	3	506.17	12.00	2.2
NK	50	3	0	506.25	12.33	2.6
NK	50	3	3	506.40	12.36	3
NK	50	4.5	0	506.68	12.40	2.8
NK	50	4.5	3	506.91	12.77	2.8

Tablo 4.60'dan gösterildiği gibi artan nano kil kullanımına bağlı olarak ahşap plastik nanokompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak deneme sonrası kalan madde miktarında artış tespit edilmiştir. Uyum sağlayıcı ajan kullanılmayan kontrol grubu numunesinde sıcaklığa bağlı olarak kalan madde miktarı %11.43 olarak tespit edilirken %4.5 oranında karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerde bu oran %12.77 olarak belirlenmiştir. Benzer durum tüm nano materyal katkı oranlarında görülebilmektedir. Öte yandan uyum sağlayıcı ajan kullanımı benzer şekilde ahşap plastik nanokompozitlerin TGA analizi sonrası kalan madde miktarını arttırmıştır. Bu durum Şekil 4.77'de karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.

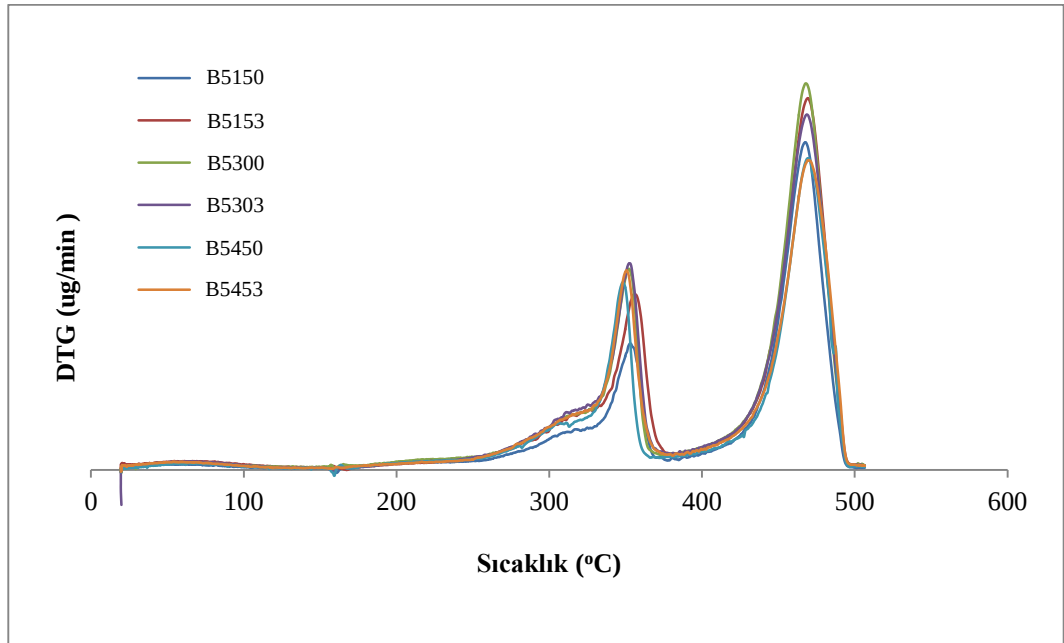


Şekil 4.77: Nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerde TGA testi sonrası kalan madde miktarının karşılaştırılması

Ahşap plastik nanokompozitlerin rutubet değerleri Tablo 60'ta verilmiştir. Nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin rutubet değerlerinin ortalama olarak %2.7 olarak belirlenmiştir. Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin TGA ve DTG analiz grafikleri Şekil 4.78 ve 4.79'da görülmektedir.



Şekil 4.78: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin DTG analiz sonuçları



Şekil 4.79: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin DTG analiz sonuçları

Şekil 4.79’da görüldüğü gibi hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin ağırlık kaybının sonlandığı sıcaklık ortalama olarak 506 °C’ dir. Artan hegzagonal bor nitrür miktarına bağlı olarak ahşap plastik kompozitlerin deneme

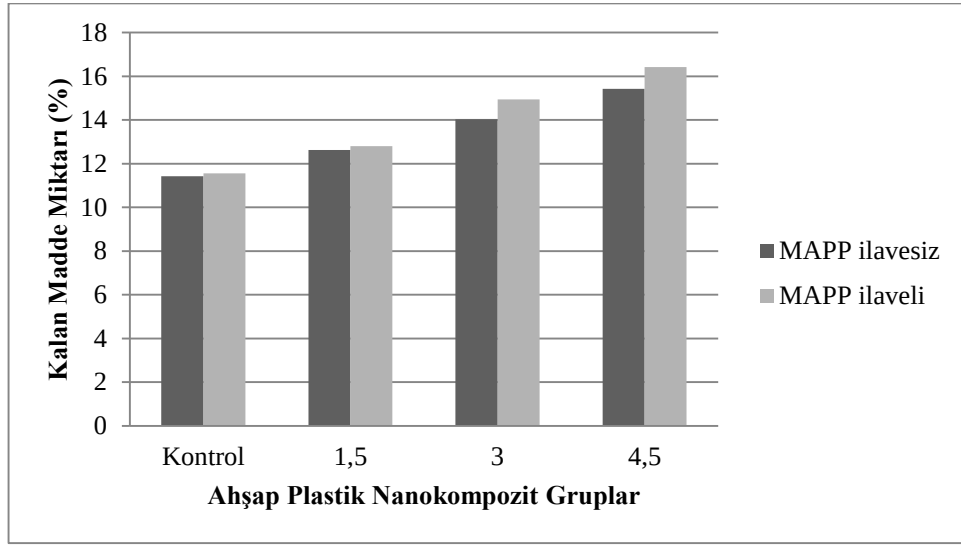
sonrası kalan madde miktarında artış tespit edilmiştir (Tablo 4.61). Benzer şekilde Şekil 4.80 incelendiğinde artan karbon nanotüp miktarına bağlı olarak DTG maksimum tepe sıcaklıklarında artış görülmüştür. Bu durum hegzagonal bor nitrür kullanımının ahşap plastik nanokompozitlerin ısıl kararlılığını arttırdığını göstermiştir.

Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin TGA sonuçların Tablo 4.61’de verilmiştir.

Tablo 4.61: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin bazı TGA sonuçları

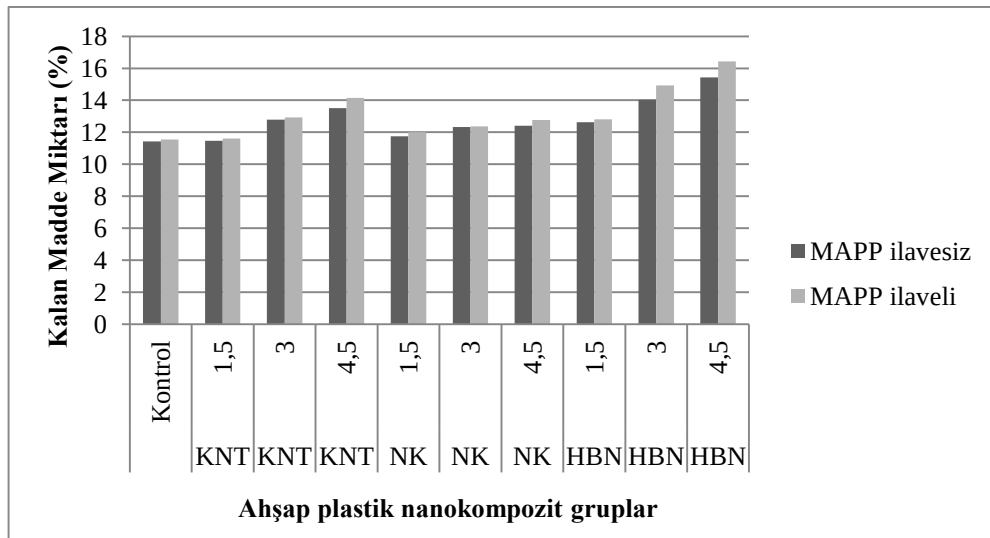
Hegzagonal Bor Nitrür						
Kompozit Grup	Ahşap unu (%)	Nano materyal oranı (%)	MAPP (%)	Ağırlık Kaybının Sonlandığı Sıcaklık (°C)	Kalan Madde Miktarı (%)	Rutubet (%)
Kontrol	50	0	0	504.37	11.43	3
Kontrol	50	0	3	505.31	11.55	2.1
HBN	50	1.5	0	506.10	12.62	2.5
HBN	50	1.5	3	506.55	12.80	3
HBN	50	3	0	506.59	14.03	2.2
HBN	50	3	3	506.67	14.94	2.6
HBN	50	4.5	0	507.15	15.43	2.3
HBN	50	4.5	3	507.21	16.43	2.7

Tablo 4.61’den gösterildiği gibi artan hegzagonal bor nitrür kullanımına bağlı olarak ahşap plastik nanokompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak deneme sonrası kalan madde miktarında artış tespit edilmiştir. Uyum sağlayıcı ajan kullanılmayan kontrol grubu numunesinde sıcaklığa bağlı olarak kalan madde miktarı %11.43 olarak tespit edilirken %4.5 oranında hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerde bu oran %16.43 olarak belirlenmiştir. Benzer durum tüm nano materyal katkı oranlarında görülmüştür. Öte yandan uyum sağlayıcı ajan kullanımı benzer şekilde ahşap plastik nanokompozitlerin TGA analizi sonrası kalan madde miktarını arttırmıştır. Bu durum Şekil 4.80’de karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.80: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerde TGA testi sonrası kalan madde miktarının karşılaştırılması

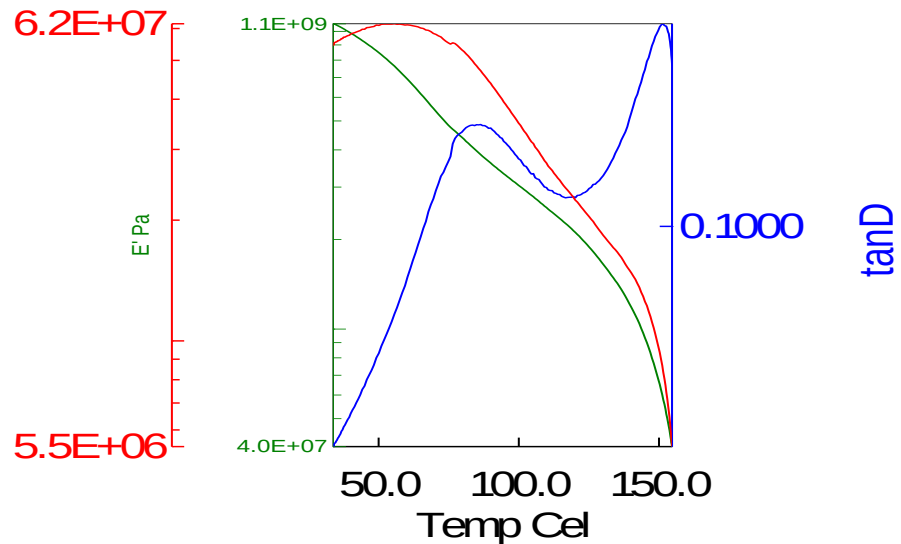
Tablo 4.61’de ahşap plastik nanokompozitlerin rutubet değerleri verilmiştir. Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin rutubet değerlerinin ortalama olarak %2.5 olarak belirlenmiştir. Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin kalan madde miktarı diğer güçlendirici dolgularla kıyaslandığında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Şekil 4.81’de karşılaştırılmalı olarak görülmektedir.



Şekil 4.81: Güçlendirici dolgu maddesi çeşidinin ahşap plastik nanokompozitlerin TGA testi sonrası kalan madde miktarına etkisi

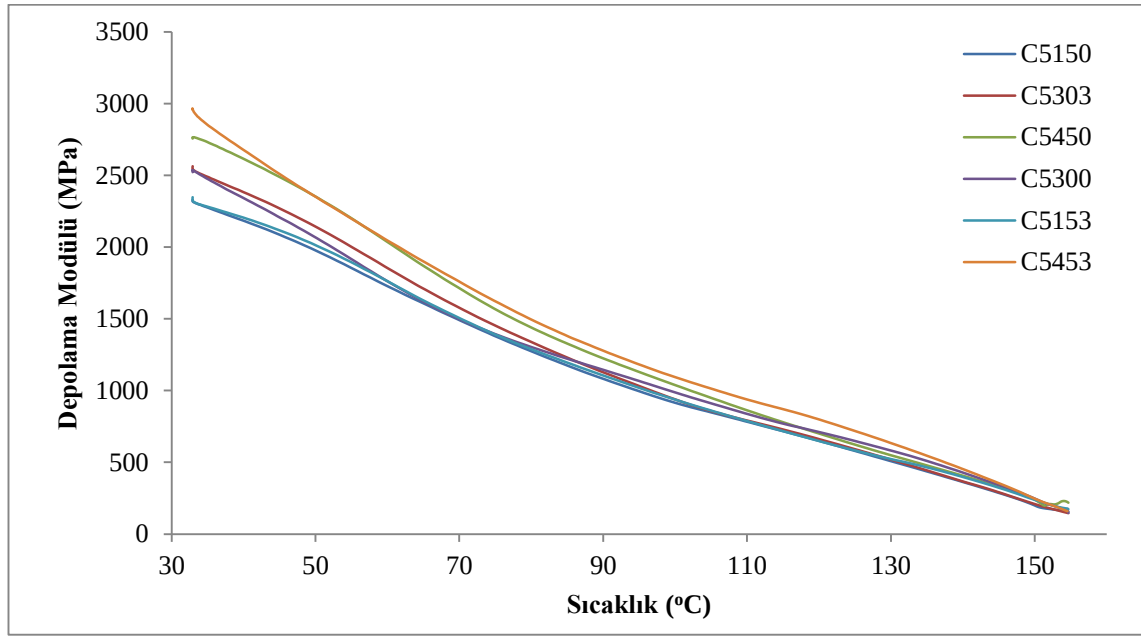
4.3.2. Dinamik Mekanik Analiz (DMA)

DMA yöntemi moleküllerin hareketlerinden kaynaklanan hal değişimlerini saptamaktadır. Viskoelastik malzemelerin mekanik özellikleri sıcaklık, frekans ve zamana göre belirlenebilmektedir. Yapı-morfoloji ilişkisi hakkında da bilgi almak mümkündür. Sabit kuvvet kontrolünde, malzeme salınımlı deformasyona maruz bırakılmış ve oluşan gerilmeler ölçülmüştür. DMA taramalarında malzemede depolanan deformasyon enerjisinin ölçücü depolama modülü (E')' olup, malzemenin elastik karakteri hakkında bilgi vermektedir. Malzemenin ısı biçiminde kaybettiği deformasyon enerjisinin ölçüsü ise kayıp modülü (E'')' olup, malzemenin viskoz karakteri hakkında bilgi vermektedir. Üretilen ahşap plastik nanokompozitlerin içinde ticari olarak üretime en uygun olan ağırlıkça %50 oranında ahşap unu içeren gruplar dinamik mekanik analiz testi için seçilmiştir. Bu kısımda güçlendirici dolgu materyali oranı ve uyum sağlayıcı ajanın ahşap plastik nanokompozitlerin dinamik mekanik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda ağırlıkça %50 oranında ahşap unu içeren tüm grupların depolama modülü ve kayıp modülü değerlerine ilişkin Tablo ve Grafikler hazırlanmıştır. Şekil 4.82 ahşap plastik nanokompozit üretiminde matris elemanı olarak kullanılan polipropilene ait DMA sonucunu göstermektedir.



Şekil 4.82: Polipropilene ait DMA sonucu

Şekil 4.83 incelendiğinde polipropilenin depolama ve kayıp modülünün sıcaklığın artmasına bağlı olarak düştüğü tespit edilmiştir. Bu sıcaklığın artmasına bağlı olarak polimer zincirlerindeki segmental hareketlerin artması bağlı olarak gelişen bir durum olarak açıklanabilir. Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin depolama modülü ve kayıp modülünün sıcaklığa bağlı olarak değişimi Şekil 4.83 ve 4.84’de gösterilmiştir.



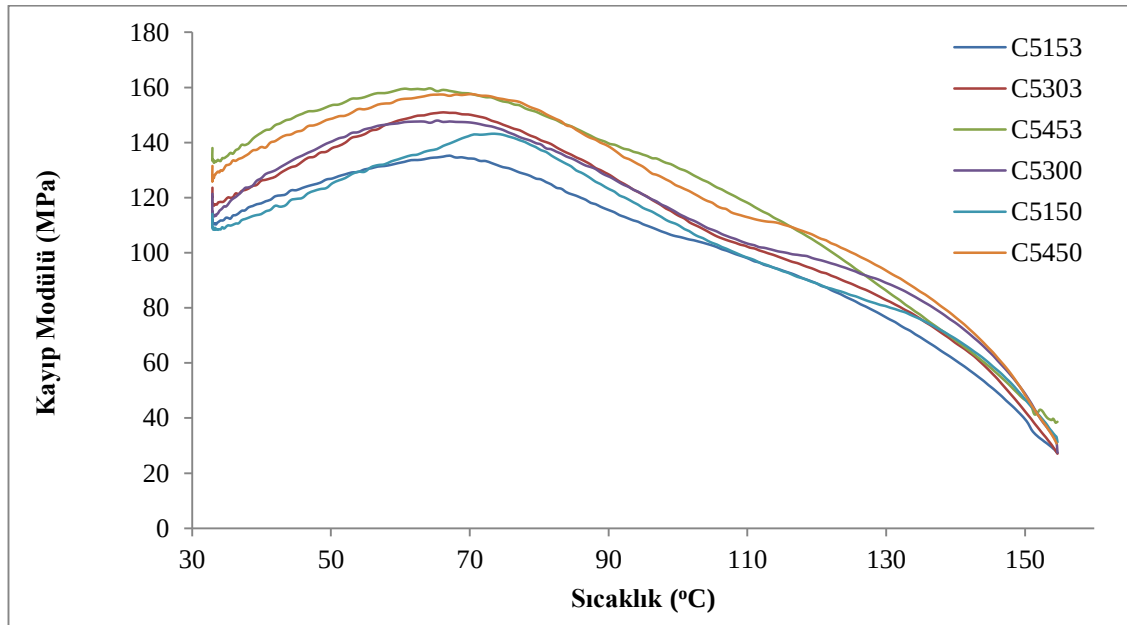
Şekil 4.83: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin depolama modülü

Şekil 4.83 incelendiğinde karbon nanotüp güçlendirici dolgu materyali ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin depolama modülünün sıcaklığın artmasına bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir (Tablo 4.62).

Tablo 4.62: Karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak depolama modülünde meydana gelen değişim

Nanokompozit kodu	35°C (MPa)	70°C (MPa)	105°C (MPa)	140°C (MPa)
Saf PP	1046	538	278	140
C5150	2271	1476	839	354
C5153	2278	1490	850	389
C5300	2496	1483	901	418
C5303	2485	1560	848	357
C5450	2726	1694	937	397
C5453	2843	1740	1003	441

Bu durum sıcaklığın artmasına bağlı olarak polimer zincirlerindeki segmental hareketlenmenin bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Ahşap plastik nanokompozit içerisindeki karbon nanotüp oranı arttıkça depolama modülünün arttığı açık bir biçimde görülebilmektedir. En yüksek depolama modülü karbon nanotüp oranının %4.5 olduğu grupta belirlenirken en düşük depolama modülü %1.5 ile karbon nanotüp içeren grupta belirlenmiştir. Plastik nanokompozit karbon nanotüp değerinin artmasına bağlı olarak daha iyi yüzeyler arası bağlanma sağlanmış, bu şekilde yüzeyler arası gerilimin transferi kolaylaşmıştır. Plastik nanokompozitlerin üretiminde MAPP uyum sağlayıcı ajanın depolama modülüne katkı yaptığı ancak özellikle 105°C ve üstündeki sıcaklıklarda dengeli bir davranış göstermediği tespit edilmiştir.



Şekil 4.84: Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin kayıp modülü

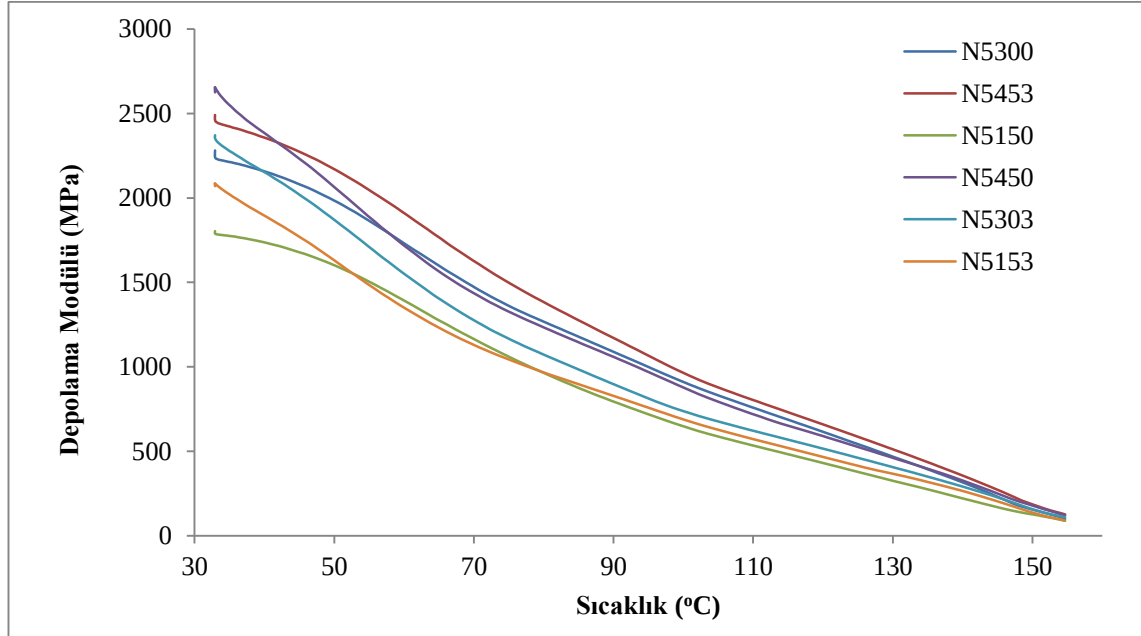
Şekil 4.84 incelendiğinde karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin kayıp modülünün sıcaklığın artmasına bağlı olarak ilk etapta arttığı, sıcaklığın artmaya devam ettiği daha ileri aşamalarda bu değerlerin azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum Tablo 4.63'te verilmiştir.

Tablo 4.63: Karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak kayıp modülünde meydana gelen değişim

Nanokompozit kodu	35°C (MPa)	70°C (MPa)	105°C (MPa)	140°C (MPa)
Saf PP	56	58	31	14
C5150	109	142	102	67
C5153	112	134	102	59
C5300	117	147	107	73
C5303	120	149	105	66
C5450	131	157	116	75
C5453	135	157	123	77

Bu durum sıcaklığın artmasına bağlı olarak polimer zincirlerindeki bölgesel hareketlenmenin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Ahşap plastik nanokompozit içerisindeki karbon nanotüp oranı arttıkça kayıp modülü değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. En yüksek kayıp modülü değeri karbon nanotüp oranının %4.5 olduğu grupta belirlenirken en düşük kayıp modülü değeri karbon nanotüp oranının %1.5 olduğu grupta belirlenmiştir. Benzer şekilde plastik nanokompozit karbon nanotüp oranının artmasına bağlı olarak daha iyi yüzeyler arası bağlanma sağlanmış, bu şekilde yüzeyler arası gerilimin transferi kolaylaşmıştır. Yine plastik nanokompozitlerin üretiminde kullanılan MAPP uyum sağlayıcı ajanın kayıp modülüne katkı yaptığı ancak özellikle 105°C ve üstündeki sıcaklıklarda dengeli bir davranış göstermediği tespit edilmiştir.

Nano kil ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin depolama modülü ve kayıp modülünün sıcaklığa bağlı olarak değişimi Şekil 4.85 ve 4.86’da görülmektedir.



Şekil 4.85: Nano kil ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin depolama modülü

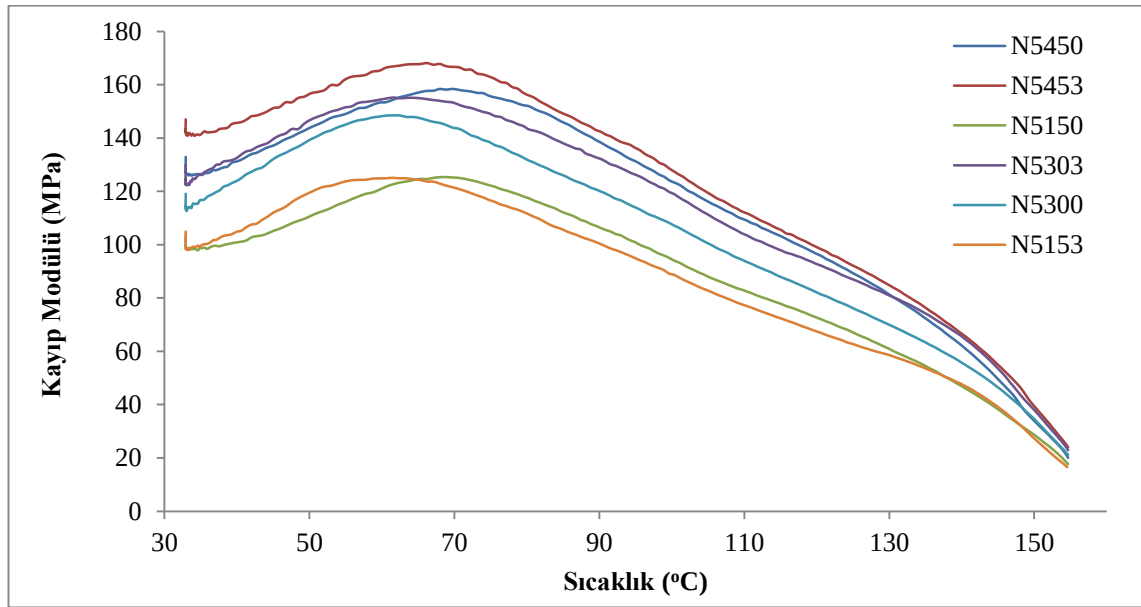
Şekil 4.85 incelendiğinde nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin depolama modülünün sıcaklığın artmasına bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir (Tablo 4.64).

Tablo 4.64: Nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak depolama modülünde meydana gelen değişim

Nanokompozit kodu	35°C (MPa)	70°C (MPa)	105°C (MPa)	140°C (MPa)
Saf PP	1046	538	278	140
N5150	1774	1151	579	214
N5153	2016	1117	619	257
N5300	2122	1457	821	306
N5303	2273	1261	669	283
N5450	2543	1421	783	317
N5453	2421	1610	868	346

Ahşap plastik nanokompozitlerin depolama modülünün sıcaklığın artmasına bağlı olarak meydana gelen azalma polimerlerin düşük sıcaklıkta yüksek katılık, yüksek sıcaklıklarda ise düşük katılık göstermesi ile açıklanabilmektedir. Ahşap plastik

nanokompozit içerisindeki yüzde nano kil miktarı arttıkça genel olarak depolama modülü değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin depolama modül karbon nanotüp ile güçlendirilen gruplara kıyasla daha düşüktür. En yüksek depolama modülü nano kil oranının %4.5 olduğu grupta belirlenirken en düşük depolama modülü değeri bu oranın %1.5 olduğu grupta belirlenmiştir. Plastik nanokompozit içerisindeki nano kil yüzdesinin artmasına paralel olarak nanokompozitlerin daha yüksek katılık göstermiş ve bu sayede yüzeyler arası gerilimin transferi kolaylaşmıştır. Plastik nanokompozitlerin üretiminde MAPP uyum sağlayıcı ajanın genel anlamda depolama modülüne katkı yaptığı ancak özellikle 105°C ve üstündeki sıcaklıklarda dengeli bir davranış göstermediği tespit edilmiştir.



Şekil 4.86: Nano kil ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin kayıp modülü

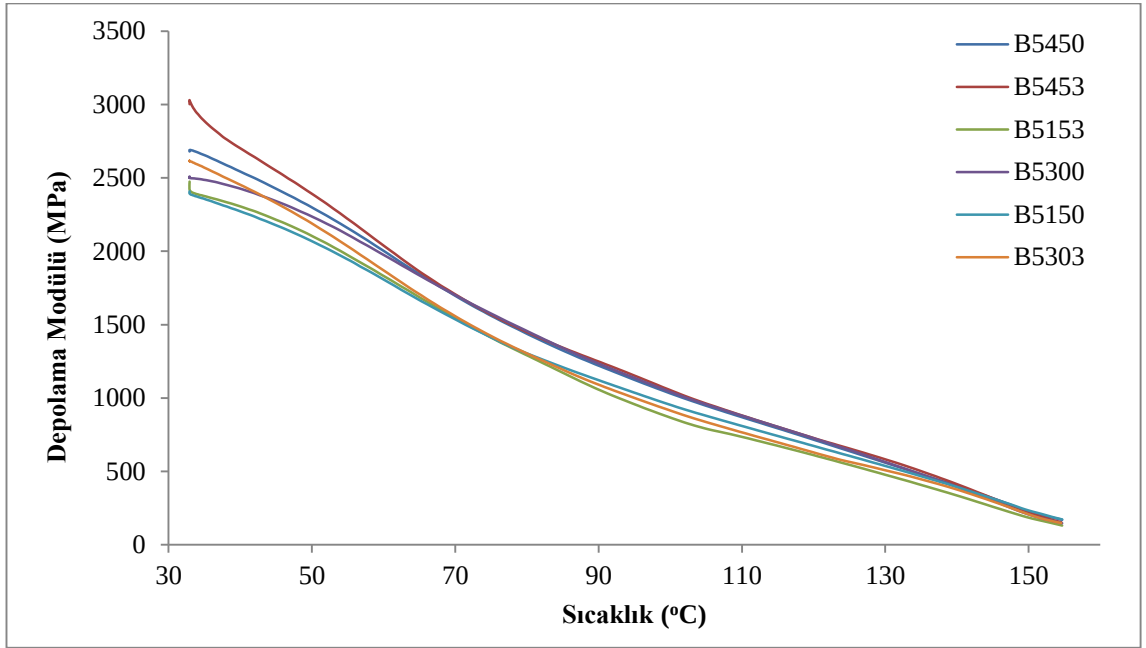
Şekil 4.86 incelendiğinde nano kil ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin kayıp modülünün sıcaklığın artmasına bağlı olarak ilk etapta arttığı, sıcaklığın artmaya devam ettiği daha ileri aşamalarda bu değerlerin azaldığı tespit edilmiştir (Tablo 4.65).

Tablo 4.65: Nano kil ile güçlendirilen ahşap plastik kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak kayıp modülünde meydana gelen değişim

Nanokompozit kodu	35°C (MPa)	70°C (MPa)	105°C (MPa)	140°C (MPa)
Saf PP	56	58	31	14
N5150	98	125	87	45
N5153	99	120	82	46
N5300	116	143	99	54
N5303	126	152	110	64
N5450	126	158	115	60
N5453	141	166	118	65

Ahşap plastik nanokompozit içerisindeki nano kil oranı arttıkça kayıp modülünün arttığı tespit edilmiştir. En yüksek kayıp modülü karbon nanotüp oranının %4.5 olduğu grupta belirlenirken en düşük kayıp modülü bu oranının %1.5 olduğu grupta olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde plastik nanokompozit nano kil değerinin artmasına bağlı olarak daha iyi yüzeyler arası bağlanma sağlanmış, bu şekilde yüzeyler arası gerilimin transferi kolaylaşmıştır. Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplara benzer olarak nano kil ile güçlendirilen plastik nanokompozitlerin üretiminde kullanılan MAPP uyum sağlayıcı ajanın genel anlamda kayıp modülüne katkı yaptığı ancak özellikle 105°C ve üstündeki sıcaklıklarda dengeli bir davranış göstermediği tespit edilmiştir.

Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin depolama modülü ve kayıp modülü sonuçlarının sıcaklığa bağlı olarak değişimine ilişkin Şekil 4.87 ve 4.88’de gösterilmiştir.



Şekil 4.87: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin depolama modülü

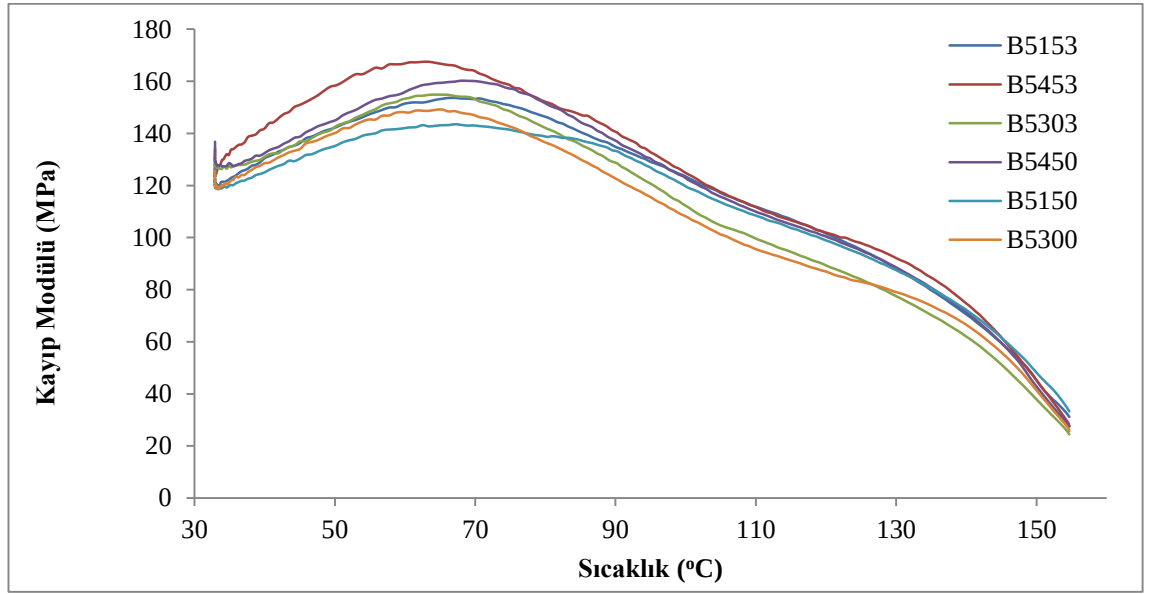
Şekil 4.88 incelendiğinde hegzagonal bor nitrür güçlendirici dolgu materyali ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin depolama modülünün diğer güçlendirici dolgu maddelerinde olduğu gibi sıcaklığın artmasına bağlı olarak bu değerin azaldığı tespit edilmiştir (Tablo 4.66).

Tablo 4.66: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak depolama modülünde meydana gelen değişim

Nanokompozit kodu	35°C (MPa)	70°C (MPa)	105°C (MPa)	140°C (MPa)
Saf PP	1046	538	278	140
B5150	2353	1520	870	384
B5153	2373	1527	783	327
B5300	2485	1539	827	367
B5303	2565	1654	946	383
B5450	2651	1678	937	391
B5453	2877	1688	952	402

Ahşap plastik nanokompozit içerisindeki hegzagonal bor nitrür oranı arttıkça depolama modülünün arttığı belirlenmiştir. En yüksek depolama modülü hegzagonal bor nitrür oranının %4.5 olduğu grupta belirlenirken en düşük depolama modülü bu oranın %1.5

olduğu grupta belirlenmiştir. Plastik nanokompozit hegzagonal bor nitrür oranının artmasına bağlı olarak daha iyi yüzeyler arası bağlanma sağlandığı tespit edilmiştir. Bu sonuç yüzeyler arası gerilimin transferini kolaylaştırdığını göstermektedir. Plastik nanokompozitlerin üretiminde MAPP uyum sağlayıcı ajan kullanımı belli bir sıcaklık değerine kadar depolama modülüne katkı yapan diğer bir önemli faktör olarak belirlenmiştir. Sıcaklık değerindeki artış dolayısıyla özellikle 105°C üstündeki sıcaklıklarda uyum sağlayıcı ajanın etkisi tüm gruplarda aynı etkiyi göstermemektedir.



Şekil 4.88: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin kayıp modülü

Şekil 4.88 incelendiğinde hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin kayıp modülünün sıcaklığın artmasına bağlı olarak ilk etapta arttığı sıcaklığın artmaya devam ettiği daha ileri aşamalarda bu değer azaldığı tespit edilmiştir (Tablo 4.67).

Tablo 4.67: Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak kayıp modülünde meydana gelen değişim

Nanokompozit kodu	35°C (MPa)	70°C (MPa)	105°C (MPa)	140°C (MPa)
Saf PP	56	58	31	14
B5150	119	142	112	71
B5153	122	153	116	69
B5300	120	146	100	65
B5303	126	152	104	60
B5450	128	159	115	70
B5453	133	162	116	73

Ahşap plastik nanokompozit içerisinde hegzagonal bor nitrür oranı arttıkça kayıp modülünün arttığı tespit edilmiştir. En yüksek kayıp modülü hegzagonal bor nitrür oranının %4.5 olduğu grupta belirlenirken en düşük kayıp modülü bu oranının %1.5 olduğu grupta olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde ahşap plastik nanokompozitlerde hegzagonal bor nitrür oranının artmasına bağlı olarak daha iyi arayüzey bağlanması sağlanmıştır. Karbon nanotüp ve nano kil ile güçlendirilmiş nanokompozit gruplara benzer olarak hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen plastik nanokompozitlerin üretiminde kullanılan MAPP uyum sağlayıcı ajanın belirli bir sıcaklık değerine kadar kayıp modülüne katkı yapan diğer bir önemli faktör olarak belirlenmiştir. Sıcaklıktaki artış dolayısıyla özellikle 105°C üstündeki sıcaklıklarda uyum sağlayıcı ajanın etkisi tüm gruplarda aynı etkiyi göstermediği tespit edilmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür gibi güçlendirici dolgu maddeleriyle güçlendirilen ahşap polimer kompozitlerin bazı fiziksel, mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Bunun yanı sıra kullanılan güçlendirici dolgu maddesinin türü ve miktarının, ahşap unu oranının ve uyum sağlayıcı ajan varlığının ahşap plastik nanokompozitlerin bahsi geçen özellikler üzerine etkisi ayrıca araştırılmıştır.

5.1. AHŞAP PLASTİK NANOKOMPOZİTLERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

5.1.1. Yoğunluk

Nanokompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine yoğunluğun büyük oranda etkisi bulunmaktadır. Tez kapsamında güçlendirici dolgu materyali olarak değerlendirilen karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrürün oranı, ahşap unu oranı ve uyum sağlayıcı ajan oranının ahşap plastik nanokompozitlerin yoğunluk değeri üzerine etkisi bu bağlamda tek tek değerlendirilmiştir.

Tez kapsamında matris elemanı olarak değerlendirilen ve yoğunluğu ortalama olarak 0.91 g/cm^3 olan polipropilen (PP) enjeksiyon makinesinde işlem gördükten sonra genleşme artacağından bu yoğunluk 0.85 g/cm^3 'lü değerlere kadar düşmektedir. Yine lignoselülozik dolgu materyali olarak değerlendirilen çam ahşap ununun masif haldeki yoğunluk değeri 0.55 g/cm^3 iken bu yoğunluk değeri enjeksiyon kalıplama prosesinde uygulanan yüksek basınç nedeniyle ortalama olarak 1.3 g/cm^3 seviyesine yükselmektedir. Yoğunluktaki bu artışın temelinde ahşabın yapı taşlarının bireysel yoğunluk değerlerinin ve ahşabın masif haldeki oluşumundan un haline geçtiği durumdaki hava boşluğu oranlarının ciddi biçimde azaltılması sonucu olduğu bilinmektedir (Bozkurt ve Göker, 1987). Bu özellikteki materyallerin uygun yöntemler kullanılarak üretilen ahşap plastik kompozitlerin yoğunluk değeri ahşap unu oranına bağlı olarak 0.92 ile 1.04 g/cm^3 arasında değişmektedir. Benzer şekilde ahşap plastik nanokompozitlerin üretiminde güçlendirici dolgu materyali olarak kullanılan karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrürün yoğunluk değerleri ahşap plastik

kompozitlerin bir araya getiren bileşenlerinden ve genel olarak üretilen kompozit yoğunluğundan daha fazladır. Bu şartlarda üretilen nanokompozitlerin yoğunluk değerinin karışım kuralı prensibine uygun olarak ahşap plastik kompozitlerden daha yüksek ancak güçlendirici dolgu materyallerinden daha düşük seviyede olması gerekmektedir. Bu çalışmada üretilen tüm nanokompozit grupların yoğunluk değeri bahsi geçen karışım kuralı prensibine uygun olarak tüm gruplarda literatür ile uyum sağlamıştır. Avcı (2007), tarafından yapılan çalışmada değişik katkı maddeleri kullanılarak üretilen ahşap plastik kompozitlerin kullanım performansları araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda ahşap plastik kompozitlerin üretiminde kullanılan farklı katkı maddelerinin yoğunluk değerini arttırdığı tespit edilmiştir. Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlarda bu çalışma ile uyumluluk göstermektedir. Tez çalışmasında kullanılan güçlendirici dolgu materyallerinin yoğunluğu 2.1- 2.2 g/cm³ değerleri arasında değişmektedir. Oldukça az oranlarda üretim dizaynına ilave edilen güçlendirici dolgu materyallerinin yoğunluk değerini arttırması beklenmiştir. Çalışmada elde edilen bulgulardan tüm oranlarda güçlendirici dolgu materyali ilavesinin yoğunluk değerini yükselttiği tespit edilmiştir. En yüksek yoğunluk değeri karbon nanotüp ilave edilen ahşap plastik nanokompozit gruplarda tespit edilmiştir. Güçlendirici dolgu materyali oranı %1.5'ten %4.5'e çıkarıldığında istisnasız tüm nanokompozit grupların yoğunluk değerinde farklı oranlarda artışlar meydana geldiği belirlenmiştir. Hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin yoğunluk değeri endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüpler ile güçlendirilen gruplarla benzer- yaklaşık özellikler taşırken nano kil ile güçlendirilen gruplar biraz daha düşük seviyede yoğunluk değerine sahip olmuşlardır. Ancak genel olarak nano malzemeler ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin yoğunluk değerleri arasında ciddi sapmalar olmayışı prosesin kontrolü açısından olumlu bir sonuçtur. Nano kil ile güçlendirilen nanokompozit grupların diğer nano malzemelere nazaran daha düşük sonuçlar vermesi üretim esnasında dispersiyonun tam sağlanamamış olması ve kendi kendine gelişen olaylar (self- assembly phonema) şeklinde açıklanabilmektedir (Jancar ve diğ., 2010).

Ahşap plastik nanokompozitlerin yoğunluk değerinin ahşap unu oranı arttıkça buna bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Bu durum yukarıda belirttiğimiz karışım kuralı prensibiyle açıklanabilmektedir. Ahşap unu oranı arttıkça güçlendirici dolgu materyali kullanılan gruplar da dâhil olmak üzere tüm gruplarda ahşap unu oranı %30'dan %50'ye

çıkıtığında ahşap plastik nanokompozitlerin yoğunluk değeri artmıştır. Bu durum literatürde yapılan çalışmalarla paralellik göstermektedir. Ayrılmış ve diğ. (2012) tarafından yapılan çalışmada ekstruder ve enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen termoplastik kompozitlerin yoğunluk değerinin kompozit içindeki lignoselülozik materyal oranı arttıkça arttığı tespit edilmiştir. Bu durumun ekstruder ve enjeksiyon kalıplama işlemleri sonrasında ahşabın yoğunluğundaki artıştan ileri geldiği belirtilmiştir. Benzer çalışmalar farklı araştırmacılar tarafından yapılmış ve bu çalışmada ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir (Avcı, 2012; Ayrılmış ve Kaymakci, 2013; Cavdar, 2011; Baroulaki ve diğ., 2006).

Ahşap plastik nanokompozitlerin üretiminde hidrofobik polipropilen ile hidrofilik yapıdaki ahşap unu arasındaki bağlanmayı arttırmak için kullanılan maleik anhidrit polipropilen, nanokompozit grupların yoğunluk değerinde artış sağlamıştır. Bu durum literatürde yapılan diğer çalışmalarla benzer özellikler göstermektedir. Ndiaye ve Tidjani (2012) yaptıkları çalışmada uyum sağlayıcı ajanın ahşap plastik kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri kullanılarak üretilen ahşap plastik kompozitlerin özelliklerinin uyum sağlayıcı ajan kullanıldığında daha yüksek değerler verdiği tespit edilmiştir. Bu durumu uyum sağlayıcı ajanın polarite disparitesini engellemek suretiyle iki faz arasındaki yüzeyler arasındaki bağlanmayı arttırması şeklinde açıklamanın mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca aynı çalışmada ahşap plastik kompozitlerin üretiminde uyum sağlayıcı ajan kullanım oranının %3 olması durumunda ahşap partiküllerinde daha uniform bir dağılım söz konusu olduğu belirtilmiştir. Çalışmamız bu yönüyle de literatürdeki birçok çalışma ile örtüşmektedir (Ndiaye ve Tidjani, 2012; Kaymakci ve diğ., 2014; Ayrılmış ve diğ., 2013a; Kaymakci ve diğ., 2013; Avcı, 2012; Karakuş, 2008).

5.1.2. Kalınlığına Şişme

Güçlendirici dolgu materyali olarak değerlendirilen karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrürün oranı, ahşap unu oranı ve uyum sağlayıcı ajan oranının ahşap plastik nanokompozitlerin kalınlığına şişme değeri üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrürün oranı, ahşap unu oranı ve uyum

sağlayıcı ajan oranının ahşap plastik nanokompozitlerin kalınlığına şişme oranları 1 gün, 7 gün, 14 gün ve 28 gün boyunca periyodik olarak ölçülmüştür.

1 gün suda bekletme sonucunda en düşük kalınlığına şişme oranı hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen gruplarda olduğu tespit edilmiştir. Karbon nanotüp ve nano kil ile güçlendirilen gruplar genel olarak benzer özellikler göstermiştir. Kalınlığa şişme oranı tüm nanokompozit gruplarda ahşap unu sabit olmak kaydıyla güçlendirici dolgu maddesi miktarı arttıkça azalmıştır. Genel olarak güçlendirici dolgu materyalindeki artışa bağlı olarak kalınlığına şişme değerindeki azalma karbon nanotüp ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen nanokompozit gruplarda istatistiksel olarak anlamlı bulunurken nano kil ile güçlendirilen gruplarda anlamsız bulunmuştur. Sabit bir ahşap unu oranı seçildiğinde güçlendirici dolgu materyali oranı %1.5'tan %4.5'e çıkarıldığında tüm nanokompozit grupların kalınlığına şişme oranının azaldığı belirlenmiştir. Bu durum literatürde yapılan çalışmalar ile uyumludur. Esnaashari ve diğ. (2012) tarafından yapılan çalışmada testere talaşı unu, düşük yoğunluklu polietilen ve güçlendirici dolgu materyali olarak %2.5, %5 ve %7.5 oranlarında nano kil kullanmak suretiyle ekstruzyon ve bunu takiben enjeksiyon kalıplama prosesi kullanılarak nanokompozitler üretilmiştir. Yapılan testler sonucunda polimer nanokompozit üretim dizaynı içerisindeki nano kil oranının %2.5'tan %7.5'e çıkarılması durumunda 1 günlük kalınlığa şişme oranında azalma meydana getirdiğini belirlemişlerdir. Bu durumun temelinde nano materyalin kalıplanmış kompozit yüzeye iyi bir şekilde dağılmasıyla açıklanmaktadır. Nano kil oranının artmasına bağlı olarak yüzeyde daha fazla alan kaplayan nano kilin hidrofobik yapısı nedeniyle bu etkiyi yapmış olduğu düşünülmektedir. Yine Deka ve Maji (2012) tarafından yapılan çalışmada SiO₂, nano kil, çeşitli polimerler, ahşap unu ve polyethylene-co-glycidyl methacrylate uyum sağlayıcı ajan kullanılarak üretilen bazı özellikler incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada nano kil oranının arttırılmasının ahşap plastik nanokompozitlerin kalınlığına şişme oranını azalttığı diğer bir ifade ile suya karşı direncini arttırdığı sonucunu çıkarmışlardır. Diğer bir çalışmada Kaymakcı ve Ayrılmış (2014) endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp, çam ahşap unu ve polipropilen kullanılarak üretilen ahşap plastik nanokompozitlerin uzun süreli su alma davranışları incelenmiştir. Karbon nanotüp oranı %1.5, %3 ve %4.5 seviyelerinde seçilmiştir. Yapılan çalışma sonunda karbon nanotüp kullanım oranının artmasına bağlı olarak ahşap plastik

nanokompozitlerin uzun süreli kalınlığına şişme oranının azaldığı belirtilmiştir. Bu durumu araştırmacılar artan karbon nanotüp miktarına bağlı olarak polimer nanokompozit içerisinde su tutacak yüzeylerin azalması şeklinde açıklamışlardır. Yine benzer bir çalışmada Hemmasi ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada nano kil oranının geri dönüşüm HDPE/şeker kamışı unu nanokompozitlerin fiziksel özellikleri üzerine etkisi incelemiştir. Şeker kamışı unu oranı ve polimerin sabit tutulup nano kil oranının belirli oranlarda arttırıldığı bu çalışmada nano kil oranının artmasına bağlı olarak geri dönüşüm HDPE/şeker kamışı nanokompozitlerinin kalınlığına şişme oranının azaldığı tespit edilmiştir. Bu durumu araştırmacılar nano kilin bariyer özelliklerinin suyun nanokompozitin içlerine doğru engellemesi şeklinde açıklamışlardır.

Ahşap plastik nanokompozitlerin içindeki ahşap unu oranı arttıkça 1 günlük kalınlığına şişme oranının arttığı belirlenmiştir. Bu durumun tüm nanokompozit gruplar için geçerli olduğu tespit edilmiştir. Ahşap unundaki artışa bağlı olarak 1 günlük kalınlığına şişme oranındaki artış tüm nanokompozit gruplarda istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu durum literatürde yapılan çalışmalar ile uyumludur. Kord (2011) ahşap unu oranının ahşap plastik kompozitlerin su alma davranışı üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla uyum sağlayıcı ajan oranı sabit tutularak ahşap unu oranı belirli oranlarda arttırılmıştır. Çalışma sonucunda artan ahşap unu oranının ahşap plastik kompozitlerin kalınlığına şişme oranını arttırdığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar bu durumu kompozit yapı içerisindeki ahşap ununun hidrofilik yapısına bağlamaktadır. Ahşap liflerinin su absorpsiyonundan sorumlu bileşenleri olan selüloz ve hemiselulozun içerdiği hidroksil gruplarındaki artış doğal olarak kalınlığına şişme değerinin ahşap unu oranı arttıkça artmasına sebebiyet vermiştir.

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür kullanılarak güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin 1 günlük kalınlığına şişme performansını uyum sağlayıcı ajan kullanımı azaltmıştır. Doğası gereği hidrofilik yapıdaki ahşap unu ile hidrofobik yapıdaki polipropilenin birbirine kimyasal yollarla bağlanması muhtemel değildir. Ekstruder ve enjeksiyon kalıplama prosesleri ile birbirinden ayrı bu iki faz ancak mekanik bir bağlanma gerçekleştirebilir. Genel olarak uyum sağlayıcı ajandaki artışa bağlı olarak 1 günlük kalınlığına şişme oranındaki azalma karbon nanotüp ve

hegzagonal bor nitrür güçlendirici dolgu materyalleri için nanokompozit gruplarda istatistiksel olarak anlamlı bulunurken nano kil ile güçlendirilen gruplarda anlamsız bulunmuştur. Uyum sağlayıcı ajan kullanımının 1 günlük kalınlığına şişme oranında azalmaya sebep olması diğer bilim insanları tarafından yapılan çalışmalarda da tespit edilmiştir. Çalışmamız bu yönüyle literatürde yapılan araştırmalarla benzerlikler taşımaktadır. Kordkheili ve diğ. (2013) tarafından yapılan çalışmada ahşap unu ve düşük yoğunluklu polietilen sabit tutularak tek duvarlı karbon nanotüp oranları %1, %2 ve %3 kullanılmak suretiyle ahşap plastik nanokompozitler hazırlanmıştır. Ahşap plastik nanokompozitlerin üretiminde uyum sağlayıcı ajan olarak polimer matrise uygun olarak %0 ve %3 oranında maleik anhidrit polietilen kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik nanokompozitlerin kalınlığına şişme oranını azalttığı tespit edilmiştir. Kord ve Kiaeifar (2010) tarafından ahşap polimer nanokompozitlerin higroskopik kalınlığına şişme oranı araştırılmıştır. Ahşap unu ve polipropilen sabit olarak tutulup nano kil ve uyum sağlayıcı ajanın farklı kombinasyonları hazırlanarak üretimi gerçekleştirilen grupların kalınlığına şişme oranları tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda uyum sağlayıcı ajan aktivitesinin kalınlığına şişme azalttığı tespit edilmiştir.

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik kompozitlerin 7, 14 ve 28 günlük kalınlığına şişme oranı 1 günlük sonuçlara benzer eğilim taşımaktadır. Ahşap plastik nanokompozitlerin su içerisinde bekleme süresi arttıkça bünyesine aldıkları su miktarına paralel olarak kalınlığına şişme oranında artış meydana gelmiştir. Kalınlığına şişme değerindeki artış tüm gruplar için ahşap unu oranı, güçlendirici dolgu materyali çeşidi ve oranı ve uyum sağlayıcı ajan oranı ile değişiklikler göstermektedir. Benzer sonuçlar farklı araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalarda da tespit edilmiştir. Malekani ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada ahşap polipropilen kompozitlerin fiziksel özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda su içerisinde bekleme oranı arttıkça kalınlığına şişme oranının arttığı tespit edilmiştir.

Kalınlığına şişme testlerin elde edilen sonuçlar topluca incelendiğinde güçlendirici dolgu materyalin çeşidi ve oranının, ahşap unu oranının ve uyum sağlayıcı ajan varlığının kalınlığına şişme oranı üzerine etkisinin bulunduğu belirlenmiştir. Belirli

oranlarda kullanılan güçlendirici dolgu materyalinin ahşap plastik nanokompozitlerin kalınlığına şişme oranını azalttığı yani boyutsal kararlılık sağladığı tespit edilmiştir. Ancak güçlendirici dolgu takviyesi bulunmayan kontrol grubu numunelerine ait sonuçlar incelendiğinde bu meydana gelen azalma çok tatmin edici gözükmemektedir. Özellikle kullanılan güçlendirici dolgu materyallerinin fiyatı düşünüldüğünde bu kapsamda değerlendirilmesinin çok fazla yarar sağlamayacağı düşünülmektedir. Ahşap unu oranının artmasına paralel olarak tüm nanokompozit gruplarda kalınlığına şişme değerlerinde meydana gelen artış 28 gün sonunda dahi çok düşük seviyelerde kalmıştır. Bu yönüyle ahşap plastik nanokompozitlerin boyutsal stabilizasyonu oldukça etkileyicidir. Ahşap plastik nanokompozitlerin üretiminde kullanılan petrol kökenli malzemelerin fiyatları göz alındığında kullanılan ahşap unu oranının %50'den az olması ticari ürün niteliğindeki bir malzeme grubu için arzu edilen bir durum değildir.

5.1.3. Su Alma

Tez kapsamında güçlendirici dolgu materyali olarak değerlendirilen karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrürün oranı, ahşap unu oranı ve uyum sağlayıcı ajan oranının ahşap plastik nanokompozitlerin su alma değeri üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrürün oranı, ahşap unu oranı ve uyum sağlayıcı ajan oranının ahşap plastik nanokompozitlerin 1 gün, 7 gün, 14 gün ve 28 günlük su alma oranları ölçülmüştür.

1 gün suda bekletme sonucunda en düşük su alma oranı hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen gruplarda olduğu tespit edilmiştir. Karbon nanotüp ve nano kil ile güçlendirilen gruplar genel olarak benzer özellikler göstermiştir. Su alma oranı tüm nanokompozit gruplarda ahşap unu sabit olmak kaydıyla güçlendirici dolgu maddesi miktarı arttıkça azalmıştır. Genel olarak güçlendirici dolgu materyalindeki artışa bağlı olarak su alma değerindeki azalma tüm nanokompozit gruplarda istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Sabit bir ahşap unu oranı seçildiğinde güçlendirici dolgu materyali oranı %1.5'ten %4.5'e çıkarıldığında tüm nanokompozit grupların su almaya karşı direncinin iyileştiği belirlenmiştir. Bu durum literatürde yapılan benzer çalışmalar ile uyum göstermektedir. Ghasemi ve Kord (2009) tarafından yapılan çalışmada kayın ahşap unu, polipropilen ve güçlendirici dolgu materyali olarak %0, %3 ve %6 olmak üzere nano kil kullanmak suretiyle ekstruzyon ve enjeksiyon kalıplama prosesi

kullanılarak nanokompozitler üretilmiştir. Yapılan testler sonucunda ahşap polimer nanokompozit üretiminde nano kil oranının %0'dan %6'ya çıkarılması durumunda 1 günlük su alma değerinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Bu durumu araştırmacılar nano kilin göstermiş olduğu bariyer özelliklerinin polimer matris içerisindeki suyun hareketini engellediği şeklinde açıklamışlardır.

Ahşap plastik nanokompozit üretiminde nano materyal kullanım oranının artmasına bağlı olarak yapı içerisine hidrofobik bileşenlerin girmesi su alma değerlerinde azalmaya yol açması beklenen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanı sıra çekirdekletirici (nucleating agent) nano kilin varlığı ahşap plastik nanokompozitin kristalitesini değiştirmek suretiyle daha az su alma özelliği gösterebilmektedir.

Nano materyaller kullanılarak su alma oranında azalma sağlanmasına yönelik diğer bir çalışmada Kaymakcı ve Ayrılmış (2014) karbon nanotüp, çam ahşap unu ve polipropilen kullanılarak üretilen ahşap plastik nanokompozitlerin uzun süreli su alma davranışları incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda karbon nanotüp oranı %1.5, %3 ve %4.5 seviyelerinde seçilmiştir. Yapılan çalışma sonunda karbon nanotüp kullanım oranının artmasına bağlı olarak ahşap plastik nanokompozitlerin uzun süreli su almaya karşı direncinin iyileştiği belirtilmiştir. Bu durumu araştırmacılar karbon nanotüplerin hidrofobik yapısı nedeniyle su moleküllerinin polimer kompozit yapısı içerisinde bağlanamaması şeklinde açıklamışlardır. Kord (2014) yaptığı çalışmada köpüklendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin hücre morfolojisine ve uzun süreli alma davranışını incelemiştir. Ahşap unu, plastik ve uyum sağlayıcı ajan oranlarının sabit tutulduğu çalışmada nano kil içeriği %2 ve %4 şeklinde belirlenmiştir. Çalışma sonucunda nano kil oranının nanokompozit sistem içerisinde artmasının uzun süreli su almaya karşı direnç özelliklerini iyileştirdiği tespit etmiştir. Araştırmacı bu duruma iki farkı mekanizmanın yol açmış olabileceğini belirtmiştir. Bunlardan birincisi kil yüzeyinin hidrofobik doğası nedeniyle nano kilin su moleküllerinin yüzeye tutunmasının engellenmesi, ikincisi ise yüzeyi aktif maddelerle kaplı kilin suyun transportu için kıvrımlı yollar (tortuous path) oluşturması şeklinde açıklamışlardır. Bu bariyer özellikleri nanokompozit içerisindeki suyun hareketini engelleyerek boyutsal stabilizasyon sağlamaktadır.

Ahşap plastik nanokompozitlerin içindeki ahşap unu oranı arttıkça 1 günlük su alma oranının arttığı belirlenmiştir. Bu durumun tüm ahşap plastik nanokompozit grupları içinde tespit edilmiştir. Genel olarak ahşap unundaki artışa bağlı olarak 1 günlük su alma değerindeki artış tüm güçlendirici dolgu materyalleri için tüm nanokompozit gruplarda istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu durum literatürde yapılan çalışmalar ile uyumludur. Avcı (2012) tarafından yapılan çalışmada lignoselülozik materyal olarak kayın/karakavak/karaçam, plastik matris materyali olarak polipropilen/polietilen, çeşitli katkı maddeleri ve uyum sağlayıcı ajan kullanılarak üretilen ahşap plastik kompozitlerin su alma performansı belirlenmiştir. Deneyler sonucunda ahşap unu oranının arttırılmasına paralel olarak ahşap plastik kompozitlerin su alma oranının arttığı tespit edilmiştir. Araştırmacı bu durumu hidrofilik yapıdaki ahşap ununun ahşap plastik kompozit malzeme içerisinde su ile temas halinde kapladığı hacmin büyümesi ve buna bağlı olarak meydana gelen ağırlık artışı olarak açıklamıştır.

Ahşap plastik nanokompozitlerin 1 günlük su alma performansı uyum sağlayıcı ajan kullanımı ile iyileşmiştir. Uyum sağlayıcı ajanın yapı içerisine dahil olması su alma oranının azalmasına olumlu bir etki yapmıştır. Genel olarak uyum sağlayıcı ajandaki artışa bağlı olarak 1 günlük su alma oranındaki azalma tüm güçlendirici dolgu materyalleri için nanokompozit gruplarda istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Uyum sağlayıcı ajan kullanımının 1 günlük su alma oranında azalmaya sebep olması diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da tespit edilmiştir. Tezde elde edilen sonuçlar bu yönüyle literatürde yapılan diğer araştırmalarla uyumaktadır. Ashori ve diğ. (2014) yaptıkları araştırmada basınçla kalıplama yöntemi kullanılarak üretilen ahşap plastik kompozitlerin mantar degradasyonu ve su alma özellikleri üzerine uyum sağlayıcı ajan ve nano kil oranının etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda uyum sağlayıcı ajan oranının artmasının ahşap plastik kompozitlerin su alma özelliklerini iyileştirdiğini belirlemişlerdir.

Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik nanokompozitlerin su alma özelliklerini iyileştirmesinin temelinde polimer ile ahşap unu arasındaki yüzeyler arası bağlanmanın arttırılması bulunmaktadır. Genel anlamda ahşap plastik nanokompozitlerin içerisine su molekülleri yüzeyler arasındaki boşluk ve kusurlardan, üretim prosesi esnasında matris materyalde meydana gelen mikro çatlaklardan, ince gözeneklerden ve lignoselülozik

malzemede bulunan serbest hidroksil gruplarına bağlanarak girmektedir. Sisteme uyum sağlayıcı ajanın girmesiyle birlikte polimer ve lignoselülozik dolgu materyali arasındaki zayıf bağlanmanın önüne geçilerek bahsedilen kusurlar ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır.

Endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik kompozitlerin 7, 14 ve 28 günlük su alma oranı 1 günlük sonuçlara benzer özellikler taşımaktadır. 1 gün suda bekletme sonucunda su alma oranlarında elde edilen eğilim 7, 14 ve 28 günlük sonuçlar içinde geçerli olduğu tespit edilmiştir. Ahşap plastik nanokompozitlerin su içerisinde bekleme süresi arttıkça su alma oranında artış meydana gelmiştir. Su alma değerindeki artış tüm gruplar için ahşap unu oranı, güçlendirici dolgu materyali çeşidi ve oranı ve uyum sağlayıcı ajan oranı ile değişiklikler göstermektedir.

Su alma testlerin elde edilen sonuçlar toplu olarak incelendiğinde güçlendirici dolgu materyalin çeşidi ve oranının, ahşap unu oranının ve uyum sağlayıcı ajan varlığının su alma performansı üzerine etkisinin bulunduğu belirlenmiştir. Belirli oranlarda kullanılan güçlendirici dolgu materyalinin ahşap plastik nanokompozitlerin su alma performansını iyileştirdiği tespit edilmiştir. Ahşap unu oranının artmasına paralel olarak tüm nanokompozit gruplarda su alma oranında meydana gelen artış 28 gün sonunda dahi çok düşük seviyelerde kalmıştır. Bu yönüyle ahşap plastik nanokompozitlerin boyutsal stabilizasyonu oldukça tatmin edicidir. Bu yönüyle mühendislik ürünü ağaç malzemelerin kullanım yerine uygun olmayan yüksek rutubetli alanlarda rahatlıkla kullanılabileceği düşünülmektedir.

5.2. AHŞAP PLASTİK NANOKOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

5.2.1. Çekme Özellikleri

Bu kapsamda çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü irdelenmiştir.

5.2.1.1. Çekme Direnci

Güçlendirici dolgu materyali olarak değerlendirilen karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrürün oranı, ahşap unu oranı ve uyum sağlayıcı ajan oranının ahşap plastik nanokompozitlerin çekme direnci üzerine etkileri değerlendirilmiştir.

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerde en düşük çekme direnci değeri nano kil ile güçlendirilen gruplarda tespit edilirken, en yüksek değerler karbon nanotüp ile güçlendirilen nanokompozit gruplarda belirlenmiştir. Nanokompozit gruplardan en iyi performansı endüstriyel çok duvarlı karbon nano tüp verirken bunu sırasıyla hegzagonal bor nitrür ve nano kil izlemiştir. Nanokil %30 oranında ahşap unu desteklenen gruplarda hegzagonal bor nitrürden daha iyi sonuç vermiştir. Ancak, %40 ve %50 ahşap unu oranlarında ise hegzagonal bor nitrür nano kilden daha iyi sonuçlar vermiştir. Sabit bir ahşap unu oranı seçildiğinde karbon nanotüp ile güçlendirilen nanokompozit grupların çekme direnci artan nano materyal oranına bağlı olarak artış gösterirken nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen gruplarda %1.5 ve %3'lük nano materyal katkısının kontrol grubu değerlerinden daha düşük sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu durum literatürde yer alan bazı çalışmalarla uyushmaktadır. Ancak literatürde yapılan çalışmaların geneli düşünüldüğünde artan hegzagonal bor nitrür ve nano kil oranına bağlı olarak (belirli bir değerin üstünde olmamak kaydıyla) çekme direncinde iyileşme meydana gelmesi beklenen bir durum olarak düşünülmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda artan nano kil oranına bağlı olarak çekme direncinin yükseldiği işaret edilmektedir. Kord ve Kiakojourı (2011) tarafından yapılan çalışmada ahşap unu/polipropilen/cam lifi kompozitlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine nano kil dağılımının etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada farklı oranlarda nano kil kullanmak suretiyle bazı fiziksel ve mekanik özellikler belirlenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen bilgilerden çekme direnci değerinin artan oranda nano kil içeriğine bağlı olarak artmış olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmada Ayrılmış ve diğ. (2013c) Hegzagonal bor nitrür kullanılarak üretilen ahşap plastik kompozitlerin çekme direncinin hegzagonal bor nitrür oranındaki artışa bağlı olarak yükseldiğini belirlemişlerdir. Genel olarak literatürde yapılan araştırmaların sonuçlarına bakıldığında nano materyallerin mekanik özellikler üzerine belirli oranlara (ortalama %5 seviyesi) kadar önemli artışlar sağladığı, bu oran geçildikten sonra meydana gelen artışın oldukça düşük seviyede kaldığı yada özelliklerde düşük meydana getirdiği belirtilmektedir. Ancak bu çalışma sonucunda elde edilen değerleri destekler nitelikte çalışmalar literatürde mevcut bulunmaktadır. Fu ve Naguib (2006) yaptıkları çalışmada PMMA/kil nanokompozit köpüklerin mekanik özellikleri üzerine nanokilin etkisini araştırmışlardır. Ortaya konulan çalışmada çekme direnci değerinin %0.5 nano kil oranınının üzerindeki kullanımlarda kademeli olarak

düşüşü belirlenmiştir. Çekme direncindeki bu düşüşün temelinde aşırı miktardaki nano materyal miktarının nanokompozit içerisinde iyi bir dağılım gösterememiş olması belirtilmiştir. Nanokompozit yapı içerisinde topaklanmış nano kilin polimer matris içerisinde gerilme konsantrasyonu (gerilme yığılması) oluşturması sebebiyle çekme direncinde düşüş meydana getirmiş olabileceği belirtilmiştir. Bu amaç doğrultusunda ortaya konulan bir diğer araştırmada nano kil ilavesinin kompozitlerin çekme direnci üzerine etkisinin polimer ve kil arasındaki bağlanma ve kilin kompozit yapı içerisinde dağılım derecesi ile yakından ilişkili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca araştırmacılar polistiren/kil kompozitlerle yapılan çalışmaların birçoğunda özellikle aralanmış tabakalı morfolojisine sahip nanokompozitlerin çekme direncinin saf polimere göre artan kil oranına bağlı olarak düşmekte olduğunu belirtmişlerdir (Demarquette ve diğ., (2008). Karbon nanotüp ile ahşap plastik nanokompozitlerin çekme direnci değerleri artan nano materyal oranına paralel olarak artış göstermiştir. Buradan elde edilen verilen literatürle uyumaktadır. Farsheh ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada ahşap unu/PVC/çok duvarlı karbon nanotüp nanokompozit köpüklerin mekanik ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bilgilere göre artan nanotüp kullanım oranına bağlı olarak nanokompozitlerin çekme direncinde artış olduğu tespit edilmiştir. Araştırmacılar bu artışın karbon nanotüplerin sahip olduğu yüksek narinlik oranı ve geniş yüzey alanına bağlamışlardır. Diğer bir çalışmada Ghasemi ve diğ. (2012) PVC/ahşap unu/ karbon nanotüp nanokompozit köpüklerin mekanik ve morfolojik özellikleri üzerine karbon nanotüp modifikasyonunun etkisi araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda %0, %1 ve %2 oranında ham ve modifiye halde karbon nanotüpler kullanılmış ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Ham ve modifiye halde üretim reçetesine dâhil edilen karbon nanotüp oranının artmasına paralel olarak çekme direncinde büyük oranda artış tespit edilmiştir.

Ahşap plastik nanokompozitlerin çekme direnci ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak azalmıştır. Bu durumun tüm ahşap plastik nanokompozit grupları içinde geçerli olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak ahşap unundaki artışa bağlı olarak çekme direnci değerindeki azalma tüm nanokompozit gruplarda istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ahşap unundaki artışa bağlı olarak çekme direnci değerindeki azalma beklenen bir durumdur. Nunez ve diğ. (2002) yaptıkları çalışmada ahşap unu ile desteklenen polipropilen kompozitlerin çekme direncinin ahşap unu oranının artmasına

bağlı olarak azaldığını bildirmişlerdir. La Mantia ve diğ. (2005) yaptıkları çalışmada yine bu çalışma ile benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak çekme direncindeki azalma temel olarak polar ahşap unu ile polar yapıda olmayan polimer arasındaki uyumsuzluk dolayısıyla meydana gelen zayıf bağlanma özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Öte yandan ahşap unun polimer matris içerisinde zayıf dağılım göstermesi çekme direncindeki azalmaya diğer önemli bir etkidir. Genel olarak bakıldığında artan ahşap unu oranındaki artışa bağlı olarak nanokompozit örneklerdeki kırılmalar daha düşük yüklerde görülmektedir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008).

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür kullanılarak güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin çekme direnci değerleri uyum sağlayıcı ajan kullanımı ile iyileşmiştir. Sabit bir ahşap unu oranı veya güçlendirici dolgu materyali oranı seçildiğinde, uyum sağlayıcı ajanın genel olarak çekme direnci değerini tüm güçlendirici dolgu materyalleri için arttırdığı tespit edilmiştir. Uyum sağlayıcı ajanın nanokompozit gruplarda meydana getirdiği artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Uyum sağlayıcı ajan kullanımının çekme direnci değerinde artışa sebep olması diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da tespit edilmiştir. Çalışmamız bu yönüyle literatürde yapılan diğer araştırmalarla uyusmaktadır. Esnaashari ve diğ. (2012) yaptıkları araştırmada uyum sağlayıcı ajan oranının artmasına bağlı olarak testere talaşı unu/LDPE nanokompozitlerinin çekme direnci değerinin arttığını tespit etmişlerdir. Uyum sağlayıcı ajanın testere talaşı unu ile polimer arasındaki zayıf bağlanmayı arttırdığını ve bu şekilde direnç özelliklerini iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Bu bağlamda yapılan diğer bir çalışmada Ayrılmış ve diğ. (2013b) hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik kompozitlerin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Yapılan araştırma sonunda elde edilen bilgilerden uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik kompozitlerin mekanik özelliklerini geliştirdiği belirlenmiştir. Nano kil ve hegzagonal bor nitrür kullanılarak güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin çekme direnci %1.5 ve %3'lük nano materyal oranlarında uyum sağlayıcı ajan ile beraber kullanılması durumunda kontrol grubuna benzer özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum literatürde yapılan çalışmalar ile uyum göstermektedir. Lee ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada polipropilen/kil/ahşap unu nanokompozitlerinin termal, mekanik ve morfolojik özelliklerini belirlemişlerdir.

Ekstruder ve sonrasında enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen numunelerin bazı mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Yaptıkları çalışmada ahşap plastik nanokompozit üretiminde kil ile birlikte sisteme uyum sağlayıcı ajanın dâhil edilmesinin çekme özelliklerinin kontrol grubuna göre iyileştiği tespit edilmiştir. İstenilen özelliklere sahip kompozit üretimi için kil ile birlikte uyum sağlayıcı ajan kullanımının daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Bu tez kapsamında yapılan çekme direnci deneylerinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin çekme direnci değerlerinin kontrol grubu ve diğer nano malzemeler ile güçlendirilmiş gruplardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. %1.5 ve %3 oranında hegzagonal bor nitrür ve nano kil ile güçlendirilen grupların çekme direnci değerinin sisteme uyum sağlayıcı ajanın dâhil olmasıyla kontrol grubu ile benzer özellikler taşıyabildiği belirlenmiştir. Ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak çekme direncinin istisnasız tüm gruplarda düştüğü tespit edilmiştir. Ahşap plastik nanokompozitlerin kullanım alanlarına bakıldığında daha çok eğilme yüklerine maruz kaldığını söyleyebiliriz. Çok fazla oranda çekme yüküne maruz kalmayan ahşap plastik nanokompozitlerin oldukça tatminkâr çekme direnci sonuçları verdiği söylenebilir.

5.2.1.2. Çekmede Elastikiyet Modülü

Çalışma kapsamında güçlendirici dolgu materyali olarak değerlendirilen karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrürün oranı, ahşap unu oranı ve uyum sağlayıcı ajan oranının ahşap plastik nanokompozitlerin çekmede elastikiyet modülü üzerine etkisi değerlendirilmiştir.

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerde en düşük çekmede elastikiyet modülü değeri genel olarak nano kil ile güçlendirilen gruplarda tespit edilirken, en yüksek değerler genel olarak karbon nanotüp ile güçlendirilen nanokompozit gruplarda belirlenmiştir. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin çekmede elastikiyet modülü değerleri %30 ve %40 oranında ahşap unu ile desteklenen ve %1.5 oranında hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen nanokompozit gruplar haricinde tüm gruplarda kontrol gruplarından daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak incelendiğinde yukarıda bahsedilen nanokompozit gruplar haricinde tüm grupların

çekmede elastikiyet modülü değerleri nano materyal oranındaki artışa bağlı olarak artış göstermiştir. Elde edilen sonuçlar nano materyal ilavesi bakımından istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu durum literatürde elde edilen sonuçlarla aynı özellikleri taşımaktadır. Lee ve diğ. (2008) tarafından yapılan çalışmada %1, %3 ve %5 oranlarında kil kullanılarak ahşap polipropilen nanokompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre nano kil oranının artmasına paralel olarak polipropilen nanokompozitlerin çekmede elastikiyet modülü değerlerinin artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu alandan yapılan bir diğer çalışmada Esnaashari ve diğ. (2012) testere talaşı unu/LDPE ve nano kil kullanılarak nanokompozitler üretilmiştir. Üretilen nanokompozitlerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre nano kil oranının artmasına bağlı olarak nanokompozitlerin çekmede elastikiyet modülünün arttığı tespit edilmiştir. Ancak araştırmacılar artış görülen aralığı %5 nano kil oranı ile sınırlandırmış olup bu oranın ötesinde çekmede elastikiyet modülü değerinin düşmeye başladığını belirtmişlerdir.

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür kullanılarak güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin çekmede elastikiyet modülü değerleri uyum sağlayıcı ajan kullanımı ile iyileşmiştir. Sabit bir ahşap unu oranı veya güçlendirici dolgu materyali oranı seçildiğinde, uyum sağlayıcı ajanın genel olarak çekmede elastikiyet modülü değerini tüm güçlendirici dolgu materyalleri için arttırdığı tespit edilmiştir. Uyum sağlayıcı ajanın nanokompozit gruplarda meydana getirdiği artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Yapılan denemeler sonucunda uyum sağlayıcı ajan içermeyen ahşap plastik nanokompozitlerin (sadece %1.5 oranında) kontrol ahşap plastik kompozitlerle kıyaslandığında bir iyileşme göstermediği ancak %3 ve %4.5 oranlarda ise iyileşme gösterdiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla ahşap plastik kompozite nano materyal ilavesinde uyum sağlayıcı ajanın önemli bir etken olduğu sonucu çıkarılmıştır. Uyum sağlayıcı ajanın çekmede elastikiyet modülü üzerine olan etkisi diğer araştırmacılar tarafından da tespit edilmiştir. Bu yönüyle çalışmamız literatürle uyum göstermektedir. Ayrılmış ve diğ. (2013b) yaptıkları araştırmada hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Yapılan testler sonucu elde edilen bilgiler ışığında ahşap plastik nanokompozit üretiminde hegzagonal bor nitrür ile uyum sağlayıcı ajanın birlikte kullanılmasıyla birlikte daha yüksek çekmede elastikiyet modülü sonuçları elde

edilebileceği tespit edilmiştir. Araştırmacılar bu durumu uyum sağlayıcı ajan varlığında ahşap (serbest hidroksil gruplu polar yüzey) ve polimer (hidrofobik apolar yüzey) yüzeylerinin daha iyi ara yüzey oluşturmaya bağlamaktadırlar. Lee ve diğ. (2008) tarafından yapılan çalışmada PMMA/kil nanokompozit köpüklerin mekanik özellikleri üzerine nano kilin etkisi ortaya konulmuştur. Çalışma neticesinde nano kil ile birlikte uyum sağlayıcı ajan kullanımının daha yüksek çekmede elastikiyet modülü sonuçları sağladığı belirlenmiştir.

Çekmede elastikiyet modülü deneylerinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin çekmede elastikiyet modülü değerlerinin kontrol grubu ve diğer nano malzemeler ile güçlendirilmiş gruplardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak çekmede elastikiyet modülünün tüm gruplarda arttığı tespit edilmiştir. Ahşap plastik nanokompozitlerin üretiminde nano materyaller ile birlikte uyum sağlayıcı ajan kullanımının daha yüksek çekmede elastikiyet modülü değeri sağladığı belirlenmiştir.

5.2.2. Eğilme Özellikleri

5.2.2.1. Eğilme Direnci

Güçlendirici dolgu materyali olarak değerlendirilen karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrürün oranı, ahşap unu oranı ve uyum sağlayıcı ajan oranının ahşap plastik nanokompozitlerin eğilme direnci üzerine etkisi değerlendirilmiştir.

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin eğilme direnci değerlerine bakıldığında en yüksek değerin karbon nanotüp ile güçlendirilen nanokompozit gruplarda olduğu belirlenmiştir. En düşük sonuçlar ise hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen gruplarda olduğu tespit edilmiştir. Sabit bir ahşap unu oranında karbon nanotüp ile güçlendirilen nanokompozit grupların eğilme direnci artan nano malzeme oranına bağlı olarak artış gösterirken nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen gruplarda %1.5 ve %3'lük nano malzeme katkısının kontrol grubu (uyum sağlayıcı ajan olmayan gruplar) değerlerinden daha düşük sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Yukarıda bahsedilen nano materyal kullanım oranlarında uyum sağlayıcı ajan kullanılmasıyla birlikte eğilme direncinin kontrol numunesi değerlerine göre daha yüksek sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Nano

materyal oranındaki artışa bağlı olarak iyileşen eğilme direnci değerleri literatürdeki benzer çalışmalar ile uyushmaktadır. Ayrılmış ve diğ. (2013b) yaptıkları çalışmada hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerini araştırılmışlardır. Yapılan denemeler sonucunda hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik kompozitlerde eğilme direncinin artan nano materyal oranına bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında genellikle nano malzeme oranlarının %1, %3 ve %5 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Yaptığımız ön literatür çalışmaları sonucunda belirlemiş olduğumuz maksimum %4.5'lik nano materyal katkısının mekanik direnç değerlerinin azalmaya başlamadığı optimum oran olarak değerlendirilmiştir. Bu durumu destekleyecek literatürde birçok çalışma mevcuttur. Nemati ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada ahşap unu/nanokil/geri dönüşüm polistiren kullanılarak üretilen ahşap plastik nanokompozitlerin mekanik özellikleri araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada nano kil oranı %0, %3 ve %5 olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında araştırmacılar ahşap plastik nanokompozit üretiminde nano materyal kullanımının %5'e kadar olumlu sonuçlar verdiğini ancak, en optimum sonuçların %3 nano kil oranında tespit edilebildiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar nano kil oranının %5'e çıkarılması durumunda nano partiküllerin homojen dağılımının sağlanamaması buna paralel olarak topaklaşmanın artmasını özellikle çekme ve eğilme dirençlerinde düşüşler meydana getirebileceğini belirtmişlerdir. Bu amaç doğrultusunda yapılan diğ. bir çalışmada Tabari ve diğ. (2011) eriyikte harmanlama yöntemi kullanılarak üretilen polipropilen/ahşap lif katkılı nanokompozitlerin mekanik ve morfolojik davranışını incelemişlerdir. Bu amaç doğrultusunda %1, %3 ve %5 oranında nano kil kullanılarak nanokompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen bilgiler ışığında %3 nano kil içeriğinin optimum değerler sağladığını, %5 oranındaki nano kil içeriğinin polimer kompozitlerin eğilme direncini olumsuz yönde etkilediğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar bu durumu %5 oranındaki nano kil oranının topaklanmaya yol açması dolayısıyla oluşan olumsuz bir durum olarak nitelendirmişlerdir. Kordkheili ve diğ. (2013) tarafından karbon nanotüp ve ahşap unu kullanılarak üretilen ahşap plastik nanokompozitlerin fiziksel, mekanik ve morfolojik özellikleri belirlenmiştir. Araştırmacılar bu amaç doğrultusunda %1, %2 ve %3 oranında tek duvarlı karbon nanotüp kullanarak ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri kullanarak polimer nanokompozitlerin üretimini gerçekleştirmiştir. Çalışma

sonucunda tek duvarlı karbon nanotüp oranındaki artışa bağlı olarak eğilme direncinin arttığı tespit edilmiştir.

Ahşap plastik nanokompozitlerin eğilme direnci ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak azalmıştır. Bu durumun tüm ahşap plastik nanokompozit grupları içinde geçerli olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak ahşap unundaki artışa bağlı olarak eğilme direnci değerindeki azalma tüm nanokompozit gruplarda istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ahşap unundaki artışa bağlı olarak eğilme direnci değerindeki azalma beklenen bir durumdur. Çalışmada elde ettiğimiz sonuçlar bu bağlamda literatürle uyushmaktadır. Mengeloğlu ve Karakuş (2008) yaptıkları araştırmada okalıptüs ahşap unu ile geri dönüşüm yüksek yoğunluklu polietilen kullanılarak üretilen ahşap plastik kompozitlerin bazı özelliklerini belirlemişlerdir. Ekstrüzyon ve basınçla kalıplama yöntemi kullanılarak üretilen örneklerin mekanik, termogravimetrik ve morfolojik özelliklerine ilişkin testler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen bilgilerden ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak ahşap plastik kompozitlerin eğilme direnci değerinin düştüğü belirlenmiştir. Li ve Matuana (2003) ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak eğilme direncindeki düşüşün sebebinin hidrofilik ahşap unu ve hidrofobik polimer matris arasındaki uyumsuzluk olduğunu bildirmiştir. Benzer sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da görülebilmektedir (Wang ve diğ., 2003; Ayrılmıs ve Kaymakci, 2013).

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin eğilme direnci uyum sağlayıcı ajan kullanımı ile iyileşmiştir. Sabit bir ahşap unu oranı veya güçlendirici dolgu materyali oranı seçildiğinde, uyum sağlayıcı ajanın genel olarak eğilme direncini arttırdığı tespit edilmiştir. Uyum sağlayıcı ajanın nanokompozit gruplarda meydana getirdiği artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Uyum sağlayıcı ajan kullanımının eğilme direnci değerinde artışa sebep olması diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da tespit edilmiştir. Çalışmamız bu yönüyle literatürde yapılan diğer araştırmalarla uyushmaktadır. Biswal ve diğ. (2011) yaptıkları araştırmada muz lifi ile güçlendirilmiş polipropilen nanokompozitlerin mekanik, termal ve dinamik-mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları araştırma sonucunda polipropilen nanokompozitlerin eğilme direncinin uyum sağlayıcı ajan varlığında geliştiğini belirlemişlerdir. Diğer bir

çalışmada Ayrılmış ve diğ. (2013b) hegzagonal bor nitrür kullanılarak üretilen ahşap plastik nanokompozitlerin termal ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgulardan %3 oranında üretim reçetesine ilave edilen uyum sağlayıcı ajanın nanokompozit grupların eğilme direncini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Diğer bir araştırmada Ayrılmış ve Kaymakci (2013a) uyum sağlayıcı ajanın ahşap plastik kompozitlerin eğilme direncini %23 oranında arttırdığını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar bu durumu uyum sağlayıcı ajanın boşluk oranını azaltarak daha homojen ara yüzey sağlamasıyla birlikte daha yüksek oranda yüzeyler arası bağlanmanın gerçekleşmiş olması dolayısıyla geliştiğini belirtmişlerdir.

Çalışma sonunda elde edilen sonuçlardan genel bir değerlendirme yapılacak olursa; genel olarak ahşap plastik nanokompozitlerin üretiminde karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrürün kullanımının uyum sağlayıcı ajan varlığında eğilme direncini iyileştirdiği söylenebilir. Ahşap plastik nanokompozitler kullanım alanı bakımından değerlendirildiğinde daha çok eğilme yüklerine maruz kalan yerlerde uygulama alanı bulunmaktadır. Öte yandan ahşap plastik kompozit/nanokompozitlerin genel olarak plastik kerestelere alternatif birer malzeme olarak düşünülmesi dolayısıyla ASTM D 6662 (2001) standardı ile kıyaslanmaktadır. Bu standarda göre eğilme direnci değerlerinin en az 6.9 N/mm² istenmektedir. Bu çalışma sonunda elde edilen tüm değerler standartta istenen değerlerin oldukça üzerindedir. Bu bağlamda düşünüldüğünde karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin bu uygulama alanında rahatlıkla kullanılabileceği düşünülmektedir.

5.2.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Güçlendirici dolgu materyali olarak değerlendirilen karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrürün oranı, ahşap unu oranı ve uyum sağlayıcı ajan oranının ahşap plastik nanokompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisi bu bölümde değerlendirilmiştir. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerine incelendiğinde en yüksek değer karbon nanotüp ile güçlendirilen nanokompozit gruplarda olduğu görülmektedir. En düşük sonuçlar ise hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen gruplarda tespit edilmiştir. Ahşap plastik nanokompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri nano materyal artış oranına bağlı olarak artış göstermiştir.

Sabit bir ahşap unu seçildiğinde artan nano materyal oranına bağlı olarak tüm gruplarda kontrol numunesinden daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür oranındaki artışa bağlı olarak eğilmede elastikiyet modülündeki artış tüm nanokompozit gruplarda istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Çalışmada elde edilen sonuçlar literatür ile uyuşmaktadır. Hazarika ve diğ. (2014) yaptıkları araştırmada ahşap polimer nanokompozitlerin dinamik mekanik analiz, biyolojik dayanım ve termal stabilite özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonunda elde edilen bilgilerden artan nano kil oranına bağlı olarak eğilmede elastikiyet modülünün yükseldiğini tespit etmişlerdir. Benzer bir çalışmada Biswal ve diğ. (2011) % 1, %2 ve %3 oranında nano kil ile desteklenmiş polimer nanokompozitlerin termal, mekanik ve dinamik mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Yapılan araştırma sonucunda artan nano kil oranına bağlı olarak eğilmede elastikiyet modülünün arttığı belirlenmiştir. Kordkheili ve diğ. (2013) tarafından yapılan çalışmada tek duvarlı karbon nanotüp ile güçlendirilen polimer nanokompozitlerin fiziksel, mekanik ve morfolojik özellikleri belirlenmiştir. Karbon nanotüp ve uyum sağlayıcı ajanın etkisini görmek için yapılan bu çalışma sonunda; tek duvarlı karbon nanotüp oranının artmasına bağlı olarak eğilmede elastikiyet modülünün arttığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar faktörlerin her birinin bireysel olarak etkilediği eğilmede elastikiyet modülü değerindeki artışın esasında elastikiyet modülü yüksek olan tek duvarlı karbon nanotüpten ileri geldiği sonucuna varmışlardır. Tek duvarlı karbon nanotüpün elastikiyet modülünün ahşap unu ve polimer matristen daha yüksek oluşu karışım prensibi uyarınca daha yüksek elastikiyet modülü ile sonuçlandığı rapor edilmiştir.

Çeşitli güçlendirici dolgularla takviye edilen ahşap plastik nanokompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri ahşap unu oranı arttıkça artış göstermiştir. Genel olarak ahşap unu oranındaki artışa bağlı olarak eğilmede elastikiyet modülündeki meydana gelen artış tüm nanokompozit gruplarda istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu durum literatürdeki çalışmalarla uyuşmaktadır. Cavdar (2011) yaptığı çalışmada farklı lignoselülozik ve termoplastik maddelerle üretilen ahşap plastik kompozitlerin özelliklerini incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda ahşap unu miktarının artmasına bağlı olarak eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin arttığını tespit etmiştir. Araştırmacı bu durumu lignoselülozik dolgu oranının artmasına bağlı olarak numunelerde oluşan viskoz akış etkisinin azalması sonucu meydana gelen bir hadise

olduğunu bildirmiştir. Ayrılmış ve Kaymakçı (2013a) yaptıkları çalışmada düşük yoğunluğa sahip pavlonya odununun ahşap plastik kompozitlerin üretiminde kullanılabilirliği ile ilgili yapmış oldukları çalışmada ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak eğilmede elastikiyet modülünün yükseldiğini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar bu durumu ahşabın modül değerinin plastik matrsten (polipropilen) daha yüksek olmasını göstermektedir. Ahşabın kristalitesinin polipropilenden daha yüksek olmasının daha yüksek elastikiyet özellikleri göstermesini sağladığı belirtilmiştir. Modülün yükselmesi polimerden ahşaba gerilim transferini iyileştirmiş ve yük taşıma kapasitesini arttırmıştır.

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür kullanılarak güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri uyum sağlayıcı ajan kullanımı ile iyileşmiştir. Sabit bir ahşap unu oranı veya güçlendirici dolgu materyali oranı seçildiğinde, uyum sağlayıcı ajanın eğilmede elastikiyet modülü değerini tüm gruplar için arttırdığı tespit edilmiştir. Uyum sağlayıcı ajanın nanokompozit gruplarda meydana getirdiği artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu durum literatürle uyum göstermektedir. Ndiaye ve Tidjani (2012) yaptıkları araştırmada uyum sağlayıcı ajanın ahşap plastik kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda %3 oranında uyum sağlayıcı ajan katkısının eğilmede elastikiyet modülünde %35 oranında artış meydana getirdiği tespit edilmiştir. Eğilmede elastikiyet modülündeki artışın temelinde uyum sağlayıcı ajan sisteme dahil olmasıyla birlikte daha yüksek oranda oluşan ara yüzey adhezyonunun sağladığı bildirilmiştir. Ahşap plastik nanokompozitler esas alınarak yapılan bir çalışmada Kordkheili ve diğ. (2013) tek duvarlı karbon nanotüp kullanılarak üretilen polimer nanokompozitlerin fiziksel, mekanik ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. %1, %2 ve %3 oranında tek duvarlı karbon nanotüp kullanılarak üretilen ahşap polimer kompozitlerin özellikleri üzerine uyum sağlayıcı ajanın etkinliği de araştırılmıştır. Çalışma sonucunda uyum sağlayıcı ajan kullanımının eğilmede elastikiyet modülünü iyileştirdiği tespit edilmiştir. Uyum sağlayıcı ajan ve tek duvarlı karbon nanotübün sinerjik etkisinin araştırıldığı bu çalışmada eğilmede elastikiyet modülü değeri; kullanılan tek duvarlı karbon nanotüp oranına bağlı olarak (%1, %2 ve %3) kontrol numunesine oranla sırasıyla %59, %111 ve %145 artış sağlamıştır.

Çalışma sonunda elde edilen sonuçlardan genel bir değerlendirme yapılacak olursa; ahşap plastik nanokompozitlerin üretiminde karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrürün kullanımının eğilmede elastikiyet modülünü arttırdığı söylenebilir. Benzer şekilde nano materyaller ile uyum sağlayıcı ajanın beraber kullanılmasının ahşap plastik nanokompozitlerin eğilmede elastikiyet modülünü değerini iyileştirdiği söylenebilir. Ahşap unu miktarının artmasına paralel olarak ahşap plastik nanokompozitlerin eğilmede elastikiyet modülünün arttığı tespit edilmiştir. Daha öncede bahsedildiği üzere plastik kerestelere alternatif olarak kabul edilen ahşap plastik nanokompozit/kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülünün en az 340 N/mm² olması gerekmektedir. Bu çalışmada elde edilen değerler (3010-5888 N/mm²) standardın öngördüğü değerlerden oldukça yüksektir.

5.2.3. Şok Direnci

Güçlendirici dolgu materyali olarak değerlendirilen karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrürün oranı, ahşap unu oranı ve uyum sağlayıcı ajan oranının ahşap plastik nanokompozitlerin şok direnci üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin şok direnci incelendiğinde en yüksek değer hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen nanokompozit gruplarda, en düşük değerlerin ise karbon nanotüp ile güçlendirilen gruplarda olduğu tespit edilmiştir. Ahşap plastik nanokompozitlerin şok direnci değerleri artan nano materyal oranına paralel olarak artış göstermiştir. Sabit bir ahşap unu seçildiğinde artan nano materyal oranına bağlı olarak tüm gruplarda kontrol numunesinden daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür oranındaki artışa bağlı olarak şok direncindeki artış tüm nanokompozit gruplarda istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Şok direnci polimer nanokompozitlerin karakterizasyonu için önemli testlerden birisidir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde nanokompozitlerin şok direnci hakkında ortak bir fikir geliştirilemediği belirlenmiştir. Daha önce bahsedilen polimer nanokompozitlerin özelliklerini etkileyen partikül dağılımı, polimer-zincir etkileşimi, nano malzemenin özellikleri, üretim yöntemi ve kendi kendine gelişen olaylar dizisi şok direnci için oldukça önemli anahtar faktörler olarak göz önüne alınmalıdır. Hemmasi ve diğ. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada nano kil miktarının ve şeker kamışı unu boyutlarının polietilen nanokompozitlerin mekanik ve morfolojik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu

amaçla 40, 70 ve 100 mesh şeker kamışı unu ve %2 ve %4 oranlarında nano kil kullanarak polietilen nanokompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda 40 mesh boyutunda şeker kamışı unu ile desteklenen nanokompozit grupta nano kil oranının artmasına bağlı olarak şok direnci artmıştır. Buradan elde edilen değerler bu yönüyle tez çalışmamız ile uyum göstermektedir. Ancak 70 mesh şeker kamışı unu ile yapılan çalışmada nano kil ile desteklenen nanokompozit grupta daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Ancak burada %2 nano kil ile güçlendirilen grupta elde edilen değerler %4 oranında nano kil ile güçlendirilen gruptan daha düşük çıkmıştır. Bu noktadan baktığımızda çalışmamızla benzer yorumlar yapılabilmektedir. Nano kil ile güçlendirilen grubun şok direnci değerinin kontrol grubundan daha düşük çıkması dispersiyonun tam olarak sağlanamamış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 100 mesh şeker kamışı unu ile üretilen nanokompozit grubun şok direnci kontrol grubu ve 70 mesh ile üretilen gruptan daha düşük sonuçlar vermiştir. Benzer şekilde artan nano kil oranına bağlı olarak şok direnci değerleri de düşüş göstermiştir. Ancak buradaki düşüşler oldukça sınırlı kalmıştır. Ortaya çıkan bu durumun dispersiyonun yeteri oranda sağlanamamış olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Tabari ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada eriyikte harmanlama yöntemi kullanılarak üretilen polipropilen/ahşap lifi nanokompozitlerin mekanik ve morfolojik davranışları değerlendirilmiştir. %1, %3 ve %5 oranında nano kil kullanılarak üretilen nanokompozitlerin şok direnci artan nano kil oranına bağlı olarak yükselmiştir. Artan nano kil oranına bağlı olarak liflerin homojen olarak dağılım göstermesi uygulanan gerilimin daha homojen bir şekilde dağıtılmasını (uniform stres transfer) sağlayarak şok direncini yükseltmiş olduğu düşünülmektedir (Advani, 2007). Kord (2012) tarafından yapılan çalışmada PP/şeker kamışı unu kompozitlerin üzerine farklı yükleme oranlarında kilin (%1, %2 ve %3) etkisi araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda iç karıştırıcı (internal mixer) ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonunda elde edilen bilgilerden artan nano kil oranına bağlı olarak şok direnci değerinin düştüğü tespit edilmiştir. Kord (2012) tarafından elde edilen veriler bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile uyuşmamaktadır. Bu durumun kullanılan üretim yöntemine bağlı olarak dispersiyonun tam olarak sağlanamaması olarak gösterilebilir. Bu çalışmada elde edilen düşük sonuçların temelinde kil topaklaşması ve homojen bir şekilde dağılım göstermemiş kümelenmeler ve boşluklar gösterilmektedir (Yuan and Misra, 2006; Zhao ve diğ., 2006). Kordkheili ve diğ. (2013) tarafından yapılan

çalışmada tek duvarlı karbon nanotüp ve ahşap unu kullanılarak üretilen polimer kompozitlerin fiziksel, mekanik ve morfolojik özellikleri araştırılmıştır. Bu bağlamda %1, %2 ve %3 oranında tek duvarlı karbon nanotüp %50 oranında ahşap unu kullanılarak nanokompozitlerin üretimi iç karıştırıcı ve sonrasında enjeksiyon kalıplama yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bilgilerden tek duvarlı karbon nanotüp oranının %3'e çıkarılması durumunda şok direncinin düştüğü belirlenmiştir. Kordkheili ve diğ. (2013) tarafından yapılan çalışma bu yönüyle doktora tez çalışmasında elde edilen sonuçlar ile uyuşmamaktadır. Ancak üretim yönteminin farklı oluşu ve kullanılan karbon nanotüpün tek duvarlı olması dolayısıyla bu farkın oluşabileceği düşünülmektedir.

Ahşap plastik nanokompozitlerin şok direnci ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak azalmıştır. Genel olarak ahşap unundaki artışa bağlı olarak şok direncindeki azalma tüm nanokompozit gruplarda istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ahşap unundaki artışa bağlı olarak şok direnci değerindeki azalma beklenen bir durumdur. Ahşap unu yükleme oranı arttıkça kompozitin kırılabilirliği arttığından şok direnci olumsuz yönde etkilenmektedir (Adhikary ve diğ., 2000). Saf plastiğin şok direnci gerek kontrol ve gerekse nano materyal içeren ahşap plastik kompozitlerden daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuç beklenen bir durumdur. Zira plastiğin dinamik yükler altında enerjiyi absorplama kapasitesi ahşap plastikten daha yüksektir.

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin şok direnci uyum sağlayıcı ajan kullanımı ile iyileşmiştir. Uyum sağlayıcı ajanın nanokompozit gruplarda meydana getirdiği artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Uyum sağlayıcı ajan kullanımının şok direnci değerinde artışa sebep olması diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da tespit edilmiştir. Çalışmamız bu yönüyle literatürde yapılan diğer araştırmalarla uyuşmaktadır. Kordkheili ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada uyum sağlayıcı ajan kullanımının tek duvarlı karbon nanotüp ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin şok direncini iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Bu durumun uyum sağlayıcı ajan kullanımıyla beraber lif-polimer bağlanma seviyesinin iyileşmesi yoluyla açıklanabilir. Benzer çalışmalar farklı araştırmacılar tarafından yapılmış ve bu yönde sonuçlar elde edilmiştir (Kord, 2011, 2012; Ndiaye ve Tidjani, 2012).

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin şok direnci değerlerine ilişkin genel bir değerlendirme yapıldığında; artan nano materyal oranına bağlı olarak nanokompozitlerin şok direncinin yükseldiği söylenebilir. Bileşenlerinden bir diğeri ahşap unu oranının artmasına bağlı olarak nanokompozit grupların şok direncinin düşüş göstermesi kırılabilirliğin artması dolayısıyla beklenen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Hidrofobik plastik ile hidrifik yapı gösteren ahşap unu arasındaki uyumsuzluğu gidermek amacıyla kullanılan uyum sağlayıcı ajan şok direnci değerini tüm nanokompozit gruplarda arttırdığı tespit edilmiştir. Şok direnci ahşap plastik nanokompozitlerin kullanım yerinde en fazla karşılaşılabileceği yükleme çeşitlerinden birisidir. Bu açıdan bakıldığında bu dirence ilişkin yüksek değerler elde edilmesi kullanım alanını genişletmesi bakımından son derece önemlidir. Doktora tez çalışmasında sınırlı bir orana kadar kullanılan karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrürün şok direnci değerlerini kontrol numunelerine nazaran daha yüksek çıkması önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bahsi geçen güçlendirici dolgu materyallerin ahşap plastik nanokompozit üretiminde değerlendirilmesinin şok direnci açısından bir sakıncası olmadığı düşünülmektedir.

5.3. AHŞAP PLASTİK NANOKOMPOZİTLERİN TERMAL ÖZELLİKLERİ

5.3.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Güçlendirici dolgu materyali olarak değerlendirilen karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrürün oranı, ahşap unu oranı ve uyum sağlayıcı ajan oranının ahşap plastik nanokompozitlerin termal davranışı (termogravimetrik analiz) üzerine etkisi bu bölümde irdelenmiştir. Çeşitli güçlendirici dolgu materyalleri ile takviye edilen ahşap plastik nanokompozitlerin termal davranışı TGA testi ile belirlenmiş olup analiz sonrası kalan atık madde miktarı ve bozunma sıcaklığı verileri kullanılarak yorumlanmıştır.

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin bozunma sıcaklığı değerlerine bakıldığında en yüksek sıcaklığın hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen nanokompozit gruplarda olduğu görülmektedir. En düşük sıcaklığın ise karbon nanotüp ile güçlendirilen gruplarda olduğu tespit edilmiştir. Ahşap plastik nanokompozitlerin bozunma sıcaklığı değerleri artan nano materyal oranına paralel olarak artış göstermiştir. Artan nano materyal oranına bağlı

olarak ahşap plastik nanokompozitlerin daha yüksek sıcaklıklarda bozunma eğiliminin arttığı tespit edilmiştir. Burdan yola çıkarak nano materyal takviyesinin ahşap plastik nanokompozitlerin termal stabilitesinin arttırdığı söylenebilir. Ancak genel olarak bakıldığında nano materyallerle nanokompozit grupların bozunma sıcaklığı arasında benzerliklerin olduğu ancak anlamlı farklar oluşturmadığı tespit edilmiştir. Artan nano materyal oranına bağlı olarak bozunma sıcaklığındaki artışa paralel olarak termal stabilitesinin iyileşmesi literatürde yapılan benzer çalışmalar ile uyushmaktadır. Biswal ve diğ. (2011) yaptığı çalışmada muz lifleri kullanılarak üretilen nanokompozitlerin mekanik, termal ve dinamik-mekanik özelliklerini incelemiştir. Yapılan TGA testleri sonucu elde edilen verilerden nano kil oranının artmasına bağlı olarak muz lifi/nano kil/polipropilen nanokompozitlerinin termal stabilitesinin iyileştiği tespit edilmiştir. Artan nano kil oranına bağlı olarak bozunma sıcaklığı artış göstermiştir. Araştırmacılar bu durumu nano kilin oluşturduğu bariyer etkisine bağlamaktadır. Nano kilin oluşturduğu bariyer etkisi bozunma sıcaklığını daha yüksek sıcaklıklara yükselttiği tespit edilmiştir. Nano kil ile güçlendirilen polimer nanokompozitler hakkında yapılan bir diğer çalışmada Lee ve diğ. (2008) termal stabilitesinin artan nano kil oranına bağlı olarak iyileştiği tespit edilmiştir. Bu yönde çalışmalar farklı araştırmacılar tarafından da yapılmış ve benzer sonuçlar tespit edilmiştir (Perez ve diğ., 2010; Hazarika ve diğ., 2014, Srinivasulu ve diğ., 2013). Termal test sonrası artık kalan madde miktarı değerleri incelendiğinde en yüksek ağırlığın hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen nanokompozit gruplarda olduğu görülmektedir. En düşük ağırlık ise endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp ile güçlendirilen gruplarda olduğu tespit edilmiştir. Ahşap plastik nanokompozitlerin arta kalan madde değerleri artan nano materyal oranına paralel olarak artış göstermiştir. Bu durum literatürle uyushmaktadır. Srinivasulu ve diğ. (2013) tarafından yapılan çalışmada nanokil/aerosil polimer nanokompozitlerinin sentezi ve karakterizasyonu araştırılmıştır. Çalışma sonunda elde edilen termal analiz verilerinden artan nano kil oranına bağlı olarak nanokompozitlerin artık kalan madde miktarında artış olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmada Hazarika ve diğ. (2014) ahşap polimer nanokompozitlerin dinamik mekanik analiz, biyolojik bozunma ve termal stabilitesini tespit edilmiştir. Termal testler sonucunda artan nano kil oranına paralel olarak nanokompozitlerin artık kalan madde miktarında artış olduğu bildirilmiştir. Alamri ve diğ. (2012) bu durumu nano kilin termal bozunma sırasında kömür formasyonu olarak nanokompoziti ağırlık kaybına karşı koruduğu şeklinde açıklamıştır. Benzer sonuçlar

farklı araştırmacılar tarafından yapılmış olup yine benzer sonuçlar elde edilmiştir (Deka ve Maji, 2012; Kurt ve diğ., 2013; Lee ve diğ., 2008).

Sabit bir ahşap unu oranında (%50) ahşap plastik nanokompozitlerin bozunma sıcaklığı ve artık kalan madde miktarı saf polipropilene göre artış göstermiştir. Bu durum literatürdeki çalışmalar ile uyumludur. Çavdar (2011) bu durumu polimer matrisi içerisinde ahşabın oranının artmasıyla bozunmanın saf polimere göre daha düşük sıcaklıklarda başlamasının ahşabın ısıl bozunmaya başlamasıyla oluşan serbest radikallerin ısıl bozunumu hızlandırması şeklinde bildirmiştir. Bu şekilde ahşap plastik nanokompozitlerin termal stabilitesinde azalma meydana gelirken, artık kalan madde miktarında artış ile sonuçlanmaktadır. Bu durum literatürdeki çalışmalarla benzer özellikler göstermektedir (Lee ve Wang, 2006; Yang ve diğ., 2004). Yapılan çalışmalarda ahşabın ana bileşenlerinden olan hemisüloz ve ligninin aktif bozunma sıcaklığının 205-215°C’de olduğunu göstermiştir. Polipropilenin aktif bozunmasının 350°C olduğu düşünüldüğünde aslında olması muhtemel bu durum daha net görülebilecektir.

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin termal stabilitesi uyum sağlayıcı ajan kullanımı ile gelişmiştir. Uyum sağlayıcı ajan kullanımının bozunma sıcaklığı ve artık kalan madde miktarı değerinde artışa sebep olması diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da tespit edilmiştir. Çalışmamız bu yönüyle literatürde yapılan diğer araştırmalarla uyum sağlamaktadır. Lee ve diğ. (2008) yaptıkları araştırmada ahşap plastik nanokompozitlerin üretiminde kullanılan uyum sağlayıcı ajanın termal stabiliteyi arttırdığını rapor etmişlerdir. Yaptıkları araştırmada uyum sağlayıcı ajanın sisteme dahil olmasıyla beraber nano kilin nanokompozit yapı içerisinde dispersiyonunun iyileşmesine paralel olarak kilin uçucu bileşenlerinin fiziko-kimyasal adsorpsiyonunun termal stabiliteyi olumlu yönde iyileştirdiğini belirtmişlerdir.

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin TGA sonuçlarına ilişkin genel bir değerlendirme yapıldığında; artan nano materyal, ahşap unu oranı ve uyum sağlayıcı ajan oranına bağlı olarak nanokompozitlerin bozunma sıcaklığı ve artık kalan madde miktarının arttığı tespit edilmiştir. TGA yöntemleri polimer nanokompozitlerin mikro yapısının belirlenmesi

için gerçekleştiren en önemli testlerin birisidir. Ahşap plastik nanokompozitlerin kullanım alanları düşünüldüğünde özellikle yarı yapısal uygulamalarında termal performansının yüksek oranda stabilite sağlaması arzu edilen bir özelliktir.

5.3.2. Dinamik Mekanik Analiz (DMA)

Güçlendirici dolgu materyali olarak değerlendirilen karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrürün oranı ve uyum sağlayıcı ajan varlığının ahşap plastik nanokompozitlerin dinamik mekanik özellikleri üzerine etkisi bu bölümde irdelenmiştir. Çeşitli güçlendirici dolgu materyalleri ile takviye edilen ahşap plastik nanokompozitlerin dinamik mekanik analizi depolama modülü (storage modulus) ve kayıp modülü (loss modulus) verileri kullanılarak yorumlanmıştır.

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin depolama modülü incelendiğinde en yüksek değerin hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen nanokompozit gruplarda, en düşük değerin ise nano kil ile güçlendirilen gruplarda olduğu tespit edilmiştir. Ahşap plastik nanokompozitlerin depolama modülü artan nano materyal oranına paralel olarak artış göstermiştir. Burdan yola çıkarak nano materyal takviyesinin ahşap plastik nanokompozitlerin elastik özelliklerini iyileştirdiği söylenebilir. Bu durumun temelinde artan nano materyal oranına bağlı olarak ara yüzey bağlanmasının iyileşmesi ve bunun sonucunda ara yüzeylerdeki gerilim transferinin kolaylaşması gösterilebilir. Artan nano materyal oranına bağlı olarak depolama modülündeki iyileşme literatürde yapılan benzer çalışmalar ile uyushmaktadır. Perez ve diğ. (2010) yaptığı çalışmada polipropilen/kil nanokompozitlerinin bazı termal ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Yapılan dinamik mekanik analiz testler sonucu elde edilen verilerden nano kil oranının artmasına bağlı polipropilen nanokompozitlerinin depolama modülünün arttığı tespit edilmiştir. Araştırmacı bu durumu nano kilin kısmi güçlendirme etkisi ve sistemdeki zincir segmentlerinin hareketinin sınırlandırılması yoluyla meydana gelmiş olduğu bildirmiştir. Depolama modülün iyileşmesi büyük oranda nano materyallerin polimer matris içerisinde homojen bir şekilde dağılmasıyla ilgilidir (Fornes ve Paul, 2003). Ayrıca Biswal ve diğ. (2011) organik/inorganik ara yüzeyde segmental hareketin sınırlandırılması veya nano ölçekteki kil boşluklarının dağılmış yapı göstermesi depolama modülündeki büyük artışın muhtemel sebebi olduğunu rapor etmiştir. Kord (2011)

yaptığı araştırmada HDPE/pirinç çeltiği kompozitlerinin termal, dinamik mekanik ve morfolojik özellikleri üzerine nano materyallerin etkisini araştırmıştır. Araştırma sonucunda nanokompozit materyallerin DMA davranışlarının bileşenlerin özelliklerine, sistemin morfolojisine ve polimer matris ile nano dolgu arasındaki ara yüzeyin durumu ile açıklanabileceğini belirtmiştir. Aynı çalışmada elde edilen sonuçlardan nano kil oranının artmasına bağlı olarak depolama modülündeki artışın nano kil ve polimer matris arasındaki homojen dağılımın etkisinin olduğu bildirilmiştir. Benzer çalışmalar farklı araştırmacılar tarafından da yapılmış ve bu sonuçlara paralel neticeler elde edilmiştir (Komalan ve diğ., 2007; Misra ve diğ., 2005; Padal ve diğ., 2014; Deka ve diğ., 2011; Ornaghi ve diğ., 2010). Benzer eğilim kayıp modülü değerleri içinde geçerlidir. Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin kayıp modülü değerleri incelendiğinde en yüksek değerin hegzagonal bor nitür ile güçlendirilen gruplarda, en düşüş değerin ise benzer şekilde nano kil ile güçlendirilen gruplarda olduğu belirlenmiştir. Ahşap plastik nanokompozitlerin kayıp modülü nano materyal oranındaki artışa bağlı olarak artış göstermiştir. Bu bağlamda nano materyal takviyesinin ahşap plastik nanokompozitlerin kayıp modülünü iyileştirdiği söylenebilir. Plastik nanokompozit içerisindeki hegzagonal bor nitrür değerinin artmasına bağlı olarak yüzeyler arası gerilimin transferi kolaylaşmıştır. Sıcaklığın artmasına paralel olarak kayıp modülü eğrileri en yüksek noktaya ulaşmış ve daha sonra polimerik zincirlerin serbest hareketiyle sonuçlanan maksimum enerji kaybı nedeniyle azalmaya başlamıştır. Plastik nanokompozit içerisindeki hegzagonal bor nitrür miktarı arttıkça kayıp modülü için pik uzunluğu artış göstermiştir. Benzer eğilim karbon nanotüp ve nanokil güçlendirici nano materyaller ile üretilen plastik nanokompozitlerde de tespit edilmiştir.

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin depolama ve kayıp modülü sıcaklıktaki artışa bağlı olarak düşüş göstermiştir. Sıcaklığın yükselmesiyle birlikte, ahşabın hücre duvarında bulunan polimerik bileşenlerin zincir hareketliliğinin artması sonucu depolama ve kayıp modülünün azalmasına sebebiyet vermiştir. Ahşabın viskoelastik davranışı gereği, camsı geçiş sıcaklığı olan 50-90 °C arasında depolama modülünde çok keskin bir düşüş meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durum literatürde yapılan çalışmalar ile benzerlikle taşımaktadır. Ornaghi ve diğ. (2010) yaptıkları araştırmada reçine transfer

kalıplama yöntemiyle üretilmiş hibrid kompozitlerin mekanik ve DMA özelliklerini tespit etmişlerdir. Bu bağlamda sisal ve cam lifi kullanılarak üretilen hibrid kompozitlerin depolama ve kayıp modülünün sıcaklığın artmasına bağlı olarak düştüğü tespit edilmiştir. Araştırmacılar bu durumu polimer zincirlerinin moleküler düzeydeki hareketliliğine bağlamaktadırlar. Ayrıca depolama modülündeki artışın temelinde elastomerik bölge içerisinde liflerin sisteme dâhil olmasının matrisin elastikiyetini arttırması şeklinde bildirmişlerdir. Yine benzer bir çalışmada Faruk and Matuana (2008) her iki modül değerinin sıcaklığın artmasıyla azaldığını belirtmişlerdir. Bu durumu Wunderlich (1994) yüksek sıcaklıklarda polimerik matrisin yumuşaması şeklinde açıklamıştır. Diğer bir çalışmada Hazarika ve diğ. (2014) ahşap polimer nanokompozitlerin DMA, biyolojik dayanım ve termal stabilitesini tespit etmişlerdir. Yapılan testler sonucunda depolama ve kayıp modülünün sıcaklığın artmasıyla beraber azaldığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar bu durumu ahşabın polimerik bileşenlerinden olan hücre duvarının zincir hareketinin artması sebebiyle oluştuğunu tespit etmişlerdir. Benzer sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da tespit edilmiştir (Liu ve diğ., 2013; Mohapatra ve diğ., 2012; Perez ve diğ., 2010; Biswal ve diğ., 2011).

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilmiş ahşap plastik nanokompozitlerin depolama ve kayıp modülü uyum sağlayıcı ajan kullanımı ile iyileşmiştir. Uyum sağlayıcı ajan kullanımının depolama ve kayıp modülü değerinde artışa sebep olması diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarla örtüşmektedir. Perez ve diğ. (2013) yaptıkları araştırmada ahşap plastik nanokompozitlerin depolama ve kayıp modülünün sisteme uyum sağlayıcı ajan dahil olmasıyla birlikte iyileştiğini belirlemişlerdir. Yine benzer bir çalışmada hazarika ve diğ. (2014) ahşap polimer nanokompozitlerin viskoelastik özelliklerinin uyum sağlayıcı ajan ilavesiyle birlikte ara yüzey bağlanmasının iyileşmesi nedeniyle arttığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar bu durumun uyum sağlayıcı ajan varlığında selülozda bulunan serbest hidroksil grupları ile nano kil arasındaki bağlanmanın artmasından kaynaklanmış olabileceğini bildirmişlerdir. Uyum sağlayıcı ajanın etkisiyle oluşan ester ve hidrojen bağları ahşap unu ve matris arasındaki adhezyonu arttırmak suretiyle uyuşmazlık giderilmiş ve gerilimin transferi kolaylaşmıştır.

Karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerin DMA sonuçlarına ilişkin genel bir değerlendirme yapıldığında; artan nano materyal ve uyum sağlayıcı ajan oranına bağlı olarak nanokompozitlerin depolama modülü ve kayıp modülü değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Ahşap plastik nanokompozitlerin depolama ve kayıp modülü değerleri sıcaklığın artmasına bağlı olarak azalma göstermiştir. Bunun temelinde polimer matrisin yumuşaması ve polimer zincirlerin hareketinin artması gösterilebilir. Dinamik mekanik analiz yöntemi ahşap plastik nanokompozitlerin özelliklerini belirlemede kullanılan en önemli karakterizasyon metodlarından birisidir. Burdan elde edilen verilen sıcaklığa bağlı olarak ahşap plastik nanokompozitlerin göstereceği performansı ölçmektedir. Özellikle matris olarak kullanılan polimerik materyallerin en büyük dezavantajlarından biri olarak karşımıza çıkan sıcaklıkla meydana gelen deformasyon bu analiz sonucu elde edilen verileri önemli kılmaktadır. Sonuç olarak ahşap plastik nanokompozitlerin yarı yapısal kullanımı için önündeki en büyük engellerden biri olan sıcaklığa bağlı göstereceği performansın endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp, nano kil ve hegzagonal bor nitrür gibi nano materyaller kullanılarak iyileştirilebileceği düşünülmektedir.

Elde edilen bilgiler ışığında genel bir değerlendirme yapılmak istenirse;

Doktora tez çalışması kapsamında karbon nanotüp, hegzagonal bor nitrür ve nano kil güçlendirici dolguları kullanılarak ahşap polimer kompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen ahşap polimer kompozitlerin, kullanılan güçlendirici dolgu maddesi ve miktarı, ahşap unu oranı ve uyum sağlayıcı ajan oranının bazı fiziksel, mekanik, termal ve morfolojik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda ahşap plastik nanokompozitlerin üretimi için gerek birim maliyet gerekse fiziksel, mekanik ve termal özellikleri bakımından en uygun nano materyalin hegzagonal bor nitrür olduğu belirlenmiştir. Endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp ile güçlendirilen nanokompozitlerin özellikleri hegzagonal bor nitrür ile benzer karakteristikler gösterse de fiyat-performans kriteri bakımından değerlendirildiğinde hegzagonal bor nitrür kullanımının daha optimum olduğu sonucuna varılmıştır. Dünya bor rezervinin yaklaşık %72'sinin ülkemizde olduğu düşünüldüğünde hegzagonal bor nitrürün bu amaçla kullanımında elde edebileceği katma değer ile milli ekonomiye sağlayacağı katkı yadsınamaz nitelikte olacaktır. Kendi kendine yetebilen bir Türkiye

parolası ile belirlenen ÷lkemizin 2023 stratejisinin başarılı bir şekilde gerçekleşmesi için bor ve bor kökenli uç ürünlerinin ticari kullanımlarının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla hegzagonal bor nitrür gibi yüksek potansiyele sahip uç ürünlerin kullanımının teşvik edilmesi için devletimizin, üniversitelerimizin ve sanayi kuruluşlarımızın bir takım tedbirler ve kararlar alınabilmesi için ortak platformda bir araya gelerek bir sinerji oluşturması zaruri görünmektedir.

KAYNAKLAR

- Adhikary, K.B., Pang, S., Staiger, M.P., 2008, Dimensional stability and mechanical behaviour of wood–plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE), *Composites part B*, 39, 807-815.
- Advani, S.G., 2007, *Textbook of processing and properties of nanocomposites*, World scientific publishing Pte. Ltd.
- Alamri, H., Low, I.M., Alothman, Z., 2012, Mechanical, thermal and microstructural characteristics of cellulose fibre reinforced epoxy/organoclay nanocomposites, *Composites part B*, 43 (7), 2762–2771.
- Anonim, 1994, *Sarıçam*, Ormancılık Araştırma Enstitüsü, El kitapları dizisi, 7, Muhtelif yayın serisi, 67, ISBN: 975 7829- 17-x.
- Anonim, 2001, *Sekizinci beş yıllık kalkınma planı*, Petrokimya Sanayi Özel İhtisas Komisyon Raporu, DPT: 2563-OİK:579, Ankara.
- Anonim, 2003, *Bor nitrür ön fizibilite etüdü*, Planlama ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Anonim, 2009, *Propilen Türevleri ve prosesleri*, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı.
- Anonim, 2011, Polimer nanokompozitler, www.polymer.hacettepe.edu.tr/webim/imsen/nano_composites2.pdf, [Ziyaret tarihi: 14 Mart 2014].
- Alexandre, M., Dubois, P., 2000, Polymer-layered silicate nanocomposites: Preparation, properties and uses of a new class of materials, *Material science and engineering reports*, 28, 1-63.
- Arı, G.A., 2009, *Polimer Nanokompozitlerin özelliklerine değişik nanopartiküllerin etkisinin incelenmesi*, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arpacı, D.K., 2014, *Polistiren/çinko oksit nanokompozit sentezi ve karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arvinte, A., Valentini, F., Radoi, A., Arduini, F., Tamburri, E., Rotariu, L., Palleschi, G., Bala, C., 2007, The NADH electrochemical detection performed at carbon nanofibers modified glassy carbon electrode, *Electroanal*, 19, 1455-1459.
- ASTM D 570-98, 2010, *Standard test method for water absorption of plastics*, ASTM International, West Conshohocken, PA.

- ASTM D 618-08, 2008, *Standard practice for conditioning plastics for testing*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 6662-13, 2013, *Standard specification for polyolefin-based plastic lumber decking boards*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Avcı, E., 2012, *Ahşap plastik kompozitlerin kullanım performansları üzerine araştırmalar*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ayrılmış, N., Kaymakci, A., Ozdemir, F., 2012, Sunflower seed cake as reinforcing filler in thermoplastic composites, *Journal of applied polymer science*, DOI: 10.1002/APP.38806.
- Ayrılmış, N., Kaymakci, A., 2013a, Fast growing biomass as reinforcing filler in thermoplastic composites: Paulownia elongata wood, *Industrial crops and products*, 43, 457–464.
- Ayrılmış, N., Kaymakci, A., Dunder, T., Ozdemir, F. Kwon, J.H., 2013b, Mechanical and thermal properties of wood plastic composites reinforced with hexagonal boron nitride, *International conference "Wood science and engineering in the third millennium*, 7-9 November, Brasov, 435-442.
- Ayrılmış, N., Kaymakci, A., Dunder, T., Ozdemir, F., Kwon, J.H., 2013c, Mechanical and thermal properties of wood plastic composites reinforced with hexagonal boron nitride, *Proligno*, 9(4), 435-442.
- Baroulaki, I., Karakasi, O., Pappa, G., Tarantili, P.A., Economides, D., Magoulas, K., 2006, Preparation and study of plastic compounds containing polyolefins and post used newspaper fibers, *Composites part A*, 37, 1613–1625.
- Baskaran, D., Mays, J.W., Bratcher, M.S., 2004, Polymer-grafted multiwalled carbon nanotubes through surface-initiated polymerization, *Angewandte chemie international edition*, 43, 2138-2142.
- Bergman, J.S., Chen, H., Giannelis, E.P., Thomas, M.G., Coates, G.W., 1999, Synthesis and characterization of polyolefin-silicate nanocomposites: a catalyst intercalation and in situ polymerization approach, *Journal of the chemical society, chemical communications*, 21, 2179–2180.
- Bethune, D.S., Kiang, C.H., Devries, M.S., Gorman, G., Savoy, R., Vazquez, J., Beyers, R., 1993, Cobalt-catalysed growth of carbon nanotubes with single-atomic-layer walls, *Nature*, 363, 605-607.
- Biswal, M., Mohanty, S., Nayak, S.K., 2011, Mechanical, thermal and dynamic-mechanical behavior of banana fiber reinforced polypropylene nanocomposites, *Polymer composites*, 32(8), 1190-1201.
- Bourlon, B., Wong, J., Miko, C., Forro, L., Bockrath, M., 2007, A nanoscale probe for fluidic and ionic transport, *Nature nanotechnology*, 2, 104-107.

- Bozkurt, A.Y., 1971, *Önemli bazı ağaç türleri odunlarının tanımı, teknolojik özellikleri ve kullanım yerleri*, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Bozkurt, Y., Göker, Y., 1987, *Fiziksel ve mekanik ağaç teknolojisi*, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, ISBN: 975-404-010-9.
- Bozkurt, Y., Erdin, N., 2000, *Odun anatomisi*, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi yayınları, İstanbul, ISBN: 975-404-592-5.
- Böhning, M., Goering, H., Fritz, A., Brzezinka, KW., Turkey, G., Schönhals, A., Schartel, B., 2005, Dielectric study of molecular mobility in poly(propylene-graft-maleic anhydride)/clay nanocomposites, *Macromolecules*, 38(7), 2764-2774.
- Cai, H., Cao, X.N., Jiang, Y., He, P.G., Fang, Y.Z., 2003, Carbon nanotube enhanced electrochemical DNA biosensor for DNA hybridization detection, *Analytical and bioanalytical chemistry*, 375, 287-293.
- Chen, C., 2011, *The Manufacture of polymer nanocomposite materials using supercritical carbon dioxide*, Thesis (PhD), Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Chen, P., Kim, H.S., Jin, H.J., 2009, Preparation, properties and application of polyamide/carbon nanotube nanocomposites, *Macromolecular research*, 17(4), 207-217.
- Çavdar, A.D., 2011, *Farklı lignoselülozik ve termoplastik maddelerle üretilen odun-plastik kompozitlerin özelliklerinin incelenmesi*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çelik, O.N., Ay, N., Göncü, Y., 2013, Effect of nano hexagonal boron nitride lubricant additives on the friction and wear properties of AISI 4140 steel, *Particulate science and technology*, 31(5), 501-506.
- Çıracı, S., Özbay, E., Gülseren, O., Demir, H.V., Bayındır, M., Oral, A., Senger, T., Aydın, A., Dana, A., 2005, Türkiye’de nanoteknoloji, *Bilim ve teknik dergisi*, Ağustos Sayısı, 4-23.
- Çıracı, S., Süzer, Ş., Erdemir, A., Dağ, Ö., Bengü, E., Bayındır, M., İlday, F.Ö., Senger, T., Dana, A., Aydın, A., Gemici, Z., Yılğör, İ., Özgür, H., Yeşilyurt, Ö., Durgun, E., Kocabaş, A., Köylü, Ö., Gürsen, İ., 2006, Türkiye’de nanoteknoloji, *Bilim ve teknik dergisi*, Aralık Sayısı, 3-20.
- Dai, H.J., Hafner, J.H., Rinzler, A.G., Colbert, D.T., Smalley, R.E., 1996, Nanotubes as nanoprobes in scanning probe microscopy, *Nature*, 384, 147-150.
- Dai, H.J., Rinzler, A.G., Nikolaev, P., Thess, A., Colbert, D.T., Smalley, R.E., 1996, Single-wall nanotubes produced by metal-catalyzed disproportionation of carbon monoxide, *Chemical physics letters*, 260, 471-475.

- Davis, P.H., 1965, *Flora of Turkey and East Aegean Islands*, Endinburgh University Press, Edinburgh.
- Davis, S.R., Brough, A.R., Atkinson, A., 2003, Formation of silica/epoxy hybrid polymers, *Journal of non-crystalline solids*, 315(1-2), 197-205.
- Deka, B.K., Maji, T.K., Mandal, M., 2011, Study on properties of nanocomposites based on HDPE, LDPE, PP, PVC, wood and clay, *Polymer bulletin*, 67, 1875-1892.
- Deka, B.K., Maji, T.K., 2012, Effect of SiO₂ and nanoclay on the properties of wood polymer nanocomposites, *Polymer bulletin*, DOI 10.1007/s00289-012-0799-6.
- Demarquette, N.R., Darastan, D.J., Valera, T.S., 2008, *Clay containing styrenic compounds*, Polymer nanocomposite research advances, In: Thomas, S., Zaikov, G.E. (ed.), Nova science publishing, ISBN: 978-1-60456-063-3.
- Demirci, A., 2006, *Silvikültürün temel ilkeleri*, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Ders Notları Serisi No: 83, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon.
- Dündar, T., 2005, *Sarıçamda değişik silvikültürel müdahalelerin odunun teknolojik özellikleri üzerine etkisi*, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Durmuş, A., 2006, *Poliolefin nanokompozitlerin hazırlanması*, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Endo, M., Takeuchi, K., Igarashi, S., Kobori, K., Shiraishi, M., Kroto, H.W., 1993, The production and structure of pyrolytic carbon nanotubes (PCNTs), *Journal of physics and chemistry of solids*, 54, 1841-1848.
- Engler, M., Lesniak, C., Damasch, R., Ruisinger, B., Eichler, J., 2007, Hexagonal boron nitride (hBN) applications from metallurgy to cosmetics, *German ceramic society*, 84(12), 49-53.
- Enşici, A., 2004, Polimer esaslı kompozit malzemeler ve ürün tasarımında kullanımları, <http://www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler>, [Ziyaret Tarihi: 9 Şubat 2015].
- Esnaashari, C., Khorasani, S.N., Entezam, M., Khalili, S., 2012, Mechanical and water absorption properties of sawdust-low density polyethylene nanocomposite, *Journal of applied polymer science*, DOI: 10.1002/app.37624.
- Farsheh, A.T., Talaeipour, M., Hemmasi, A.H., Khademieslam, H., Ghasemi, I., 2011, Investigation on the mechanical and morphological properties of foamed nanocomposites based on wood flour/PVC/multi walled carbon nanotube, *Bioresources*, 6(1), 841-852.
- Faruk, O., Matuana, L., 2008, Nanoclay reinforced HDPE as a matrix for wood-plastic composites, *Composite science and technology*, 68, 2073-2077.

- Fornes, T.D., Paul, D.R., 2003, Modeling properties of nylon 6/clay nanocomposites using composite theories, *Polymer*, 44, 4993-5013.
- Fragiadakis, D., Pissis, P., Bokobza, L., 2005, Glass transition and molecular dynamics in poly(dimethylsiloxane)/silica nanocomposites, *Polymer*, 46(16), 6001-6008.
- Fried, J.R., 1995, *Introduction to polymer science in polymer science and technology*, Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Fu, K.F., Huang, W.J., Lin, Y., Riddle, L.A., Carroll, D.L., Sun, Y.P., 2001, Defunctionalization of functionalized carbon nanotubes, *Nano letters*, 1, 439-441.
- Garces, J.M., Moll, D.J., Bicerano, J., Fibiger, R., McLeod, D.G., 2000, Polymeric nanocomposites for automotive applications, *Advanced materials*, 12, 1835-1839.
- Ghasemi, I., Farsheh, A.T., Masoomi, Z., 2012, Effects of multi-walled carbon nanotube functionalization on the morphological and mechanical properties of nanocomposite foams based on poly(vinyl chloride)/(wood flour)/(multi-walled carbon nanotubes), *Journal of vinyl and additive technology*, DOI 10.1002/vnl.20299.
- Ghasemi, I., Kord, B., 2009, Long-term water absorption behaviour of polypropylene/wood flour/organoclay hybrid nanocomposite, *Iranian polymer journal*, 18(9), 683-691.
- Giannelis, E.P., Krishnamoorti, R., Manias, E., 1999, Polymer-silicate nanocomposites: Model systems for confined polymers and polymer brushes, *Advances in polymer science*, 138, 107-147.
- Gong, X., Liu, J., Baskaran, S., Vaise, R.D., Young, J.S., 2000, Surfactant-assisted processing of carbon nanotube/polymer composite, *Chemistry of materials*, 12, 1049-1052.
- Gooding, J.J., Wibowo, R., Liu, J.Q., Yang, W.R., Losic, D., Orbons, S., Mearns, F.J., Shapter, J.G., Hibbert, D.B., 2003, Protein electrochemistry using aligned carbon nanotube arrays, *Journal of the american chemical society*, 125, 9006-9007.
- Gopakumar, T.G., Lee, J.A., Kontopoulou, M., Parent, J.S., 2002, Influence of clay exfoliation on the physical properties of montmorillonite/polyethylene composites, *Polymer*, 43, 5483-5491.
- Guo, T., Nikolaev, P., Thess, A., Colbert, D.T., Smalley, R.E., 1995, Catalytic growth of single-walled nanotubes by laser vaporization, *Chemical physics letters*, 243, 49-54.
- Hackett, E., Manias, E., Giannelis, E.P., 2000, Computer simulation studies of PEO/layered silicate nanocomposites, *Chemistry of materials*, 12, 2161-2167.

- Hagiwara, H., Tanji, H., Tamaki, S., 1986, *Inorganic synthetics containing boron (bn, b4c, lab6) and their application*, Ceramic Data Book, Gordon and Beach Science Publisher, Chicago.
- Hazarika, A., Mandal, M., Maji, T., Dynamic mechanical analysis, biodegradability and thermal stability of wood polymer nanocomposites, *Composites part B*, 60, 568-576.
- Hemmmasi, A.H., Ghasemi, I., Bazayr, B., Samariha, A., 2013, Studying the effect of size of bagasse and nanoclay particles on mechanical properties and morphology of bagasse flour/recycled polyethylene composites, *Bioresources*, 8(3), 3791-3801.
- Hetzer, M., Kee, D., 2008, Wood/polymer/nanoclay composites, environmentally friendly sustainable technology: a review, *Chemical engineering research and design*, 86, 1083-1093.
- Hone, J., Whitney, M., Zettl, A., 1999, Thermal conductivity of single-walled carbon nanotubes, *Synthetic Metals*, 103, 2498-2499.
- Hooper, J.B., Schweizer, K.S., 2005, Contact Aggregation, Bridging, and Steric Stabilization in Dense Polymer-Particle Mixtures, *Macromolecules*, 38(21), 8858-8869.
- Hussain, F., Hojjati, M., Okamoto, M., Gorga, R.E., 2006, Polymer-matrix nanocomposites, processing, manufacturing, and application, *Journal of composite materials*, 40(17), 1511-1575.
- Iijima, S, 1991, Helical microtubules of graphitic carbon, *Nature*, 354, 56-58.
- Iijima, S., Ichihashi, T., 1993, Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter, *Nature*, 363, 603-605.
- ISO 62, 1999, *Plastics- determination of water absorption*, International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 178, 2010, *Plastics- determination of flexural properties*, International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 180, 2000, *Plastics- determination of Izod impact strength*, International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 527, 1993, *Plastics- determination of tensile properties*, International Organization for Standardization, Geneva.
- Jancar, J., Douglas, J.F., Starr, F.W., Kumar, S.K., Cassagnau, A.J., Sternstein, S.S., Buehler, M.J., 2010, Current issues in research on structure–property relationships in polymer nanocomposites, *Polymer*, 51(15), 3321-3343.

- Jeon, H.G., Jung, H.T., Lee, S.W., Hudson, S.D., 1998, Morphology of polymer silicate nanocomposites, high density polyethylene and a nitrile, *Polymer bulletin*, 41, 107-113.
- Jia, Z.J., Wang, Z.Y., Xu, C.L., Liang, J., Wei, B.Q., Wu, D.H., Zhu, S.W., 1999, Study on poly(methyl methacrylate)/carbon nanotube composites, *Material science and engineering*, 395-400.
- Journet, C., Maser, W.K., Bernier, P., Loiseau, A., Chapelle, M.L., Lefrant, S., Deniard, P., Lee, R., Fischer, J.E., 1997, Large-scale production of single-walled carbon nanotubes by the electric-arc technique, *Nature*, 388, 756-758.
- Karakuş, K., 2008, *Üniversitemizdeki polietilen ve polipropilen atıkların polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kato, C., Kuroda, K., Takahara, H., 1981, Preparation and electrical properties of quaternary ammonium montmorillonite-poly-styrene complexes. *Clays and clay minerals*, 29, 294-298.
- Kayacık, H., 1965, *Orman ve park ağaçlarının özel sistematiği*, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Kaymakcı, A., Ayrılmış, A., 2014, Polipropilen/karbon nanotüp/ahşap unu kullanılarak üretilen nanokompozitlerin uzun süreli su alma davranışı, *3. Uluslararası mühendislik ve bilim alanında yenilikçi teknolojiler sempozyumu*, 18-20 Haziran 2014, Karabük.
- Kaymakcı, A., Ayrılmış, N., As, N., Bektaş, İ., 2014, Ahşap Polipropilen Kompozitlerin Üretiminde Mantar Meşesi (*Quercus Suber-L*) Kabuğunun Kullanılması, Kahramanmaraş, *III. Uluslararası odun dışı orman ürünleri sempozyumu*, 8-10 Mayıs 2014, Kahramanmaraş, 1016-1022.
- Kaymakci, A., Ayrilmis, N., Ozdemir, F., Gulec, T., 2013, Utilization of sunflower stalk in manufacture of thermoplastic composite, *Journal of polymers and environment*, 21(4), 1135-1142.
- Kaymakcı, A., Ayrılmış, N., Akbulut, T., 2014, Dış cephe kaplamalarına ekolojik bir yaklaşım: Ahşap polimer kompozitler, *7. Ulusal çatı ve cephe sempozyumu*, 3-4 Nisan 2014, İstanbul, 67-73.
- Kelly, P., Akelah, A., Qutubuddin, S., Moet, A., 1994, Synthesis and characterization of epoxyphilic montmorillonites, *Journal of material science*, 29, 2274.
- Kim, P., Shi, L., Majumdar, A., McEuen, P.L., 2001, Thermal transport measurements of individual multiwalled nanotubes, *Physical review letters*, 21, 8721.
- Kojima, Y., Kawasumi, A., Usuki, M., Kurauchi, O., Kamigaito, J., 1993, Synthesis of nylon 6-clay hybrid by montmorillonite intercalated with caprolactam, *Journal of polymer science part A*, 31(4), 983-986.

- Komalán, C., George, K.E., Kumar, P.A.S., Varughese, K.T., Thomas, S., 2007, Dynamic mechanical analysis of binary and ternary polymer blends based on nylon copolymer/EPDM rubber and EPM grafted maleic anhydride compatibilizer, *eXPRESS polymer letters*, 1(10), 641-653.
- Koo, J.H., 2006, *Polymer Nanocomposites: processing, characterization, and applications*, McGraw-Hill, ISBN: 9780071458214.
- Kord, B., Kiaeifar, A., 2010, Hygroscopic thickness swelling rate of wood polymer nanocomposites, *Journal of reinforced plastics and composites*, DOI: 10.1177/0731684410376329.
- Kord, B., 2011, Effect of wood flour content on the hardness and water uptake of thermoplastic polymer composites, *World applied sciences journal*, 12 (9), 1632-1634.
- Kord, B., 2014, Investigation on the long-term water absorption behavior and cell morphology of foamed wood-plastic nanocomposites, *Journal of thermoplastic composite materials*, 27(3), 379-394.
- Kord, B., Kiakojouri, S.M.H., 2011, Effect of nanoclay dispersion on physical and mechanical properties of wood flour/polypropylene/glass fiberhybrid composites, *Bioresources*, 6(2), 1741-1751.
- Kordkheili, H.Y., Farsi, M., Rezazadeh, Z., 2013, Physical, mechanical and morphological properties of polymer composites manufactured from carbon nanotubes and wood flour, *Composites part B*, 44, 750-755.
- Krishnamoorti, R., Vaia, R.A., 2002, *Polymer nanocomposites*, ACS symposium series, Washington DC, Doi:10.1021/bk-2002-0804.ch001.
- Kroto, H.W., Allaf, A.W., Balm, S.P., 1991, C60: Buckminsterfullerene, *Chemical Reviews*, 91(6), 1213-1235.
- Kurt, A., Yavuz, R., Bozdağ, G., 2013, Polistiren-kil nanokompozitlerin sentezi, termal ve optik özelliklerinin incelenmesi, *Adıyaman üniversitesi fen bilimleri dergisi*, 3(2), 58-70.
- La Mantia, F.P., Morreale, M., Izhak, Z.A., 2005, Processing and mechanical properties of organic filler-polypropylene composites, *Journal of applied polymer science*, 96, 1906-1913.
- Lan, T., Kaviratna, P.D., Pinnavaia, T.J., 1994, On the nature of polyimide-clay hybrid composites, *Chemistry of materials*, 6, 573-575.
- Le Baron, P.C., Wang, Z., Pinnavaia, T.J., 1999, Polymer-layered silicate nanocomposites: an overview, *Applied clay science*, 15(1-2), 11-29.
- Lee, S., H., Wang, S., 2006, Biodegradable polymer/bamboo fiber biocomposites with bio-based coupling agent, *Journal of composites part A*, 37, 80-91.

- Lee, S.Y., Kang, I.A., Doh, G.H., Kim, W.J., Kim, J.S., Yoon, H.G., Wu, Q., 2008, Thermal, mechanical and morphological properties of polypropylene/clay/wood flour nanocomposites, *eXPRESS polymer letters*, 2(2), 78-87.
- Leuteritz, A., Kretzchmar, B., Pospiech, D., Costa, R.F., Wagenknecht, U., Heinrich, G., 2007, *Industry-relevant preparation, characterization and applications of polymer nanocomposites*, Polymeric nanostructures and their applications In: Nalva, H.S. (ed.), American scientific publishers, Los Angeles.
- Lin, J., Wu, J., Yang, Z., Pu, M., 2001, Synthesis and properties of poly(acrylic acid)-mica superabsorbent nanocomposites, *Macromolecular rapid communication*, 22, 422-424.
- Li, Q., Matuana, L.M., 2003, Effectiveness of maleated and acrylic acid-functionalized polyolefin coupling agents for HDPE-wood-flour composites, *Journal of thermoplastic composites*, 16, 551-564.
- Li, Q.W., Liu, C.H., Wang, X.S., Fan, S.S., 2009, Measuring the thermal conductivity of individual carbon nanotubes by the Raman shift method, *Nanotechnology*, 20, [Doi:10.1088/0957-4484/20/14/145702](https://doi.org/10.1088/0957-4484/20/14/145702).
- Liew, K.M., He, X.Q., Wong, C.H., 2004, On the study of elastic and plastic properties of multi-walled carbon nanotubes under axial tension using molecular dynamics simulation, *Acta materialia*, 52, 2521-2527.
- Lipp, A., Schwetz, K.A., Hunold, K., 1989, Hexagonal boron nitride: fabrication, properties and applications, *Journal of the european ceramic society*, 5, 3-9.
- Liu, X., Wu, Q., 2001, PP/clay nanocomposites prepared by grafting-melt intercalation. *Polymer*, 42, 10013-10019.
- Liu, M.H., Zhu, T., Li, Z.C., Liu, Z.F., 2009, A general approach to chemical modification of single walled carbon nanotubes with peroxy organic acids and its application in polymer grafting, *The journal of physical chemistry C*, 113, 9670-9675.
- Liu, T., Lei, Y., Wang, Q., Lee, S., Wu, Q., 2013, Effect of fiber type and coupling treatment on properties of high-density polyethylene/natural fiber composites, *BioResources*, 8(3), 4619-4632.
- Lourie, O., Wagner, H.D., 1998, Evaluation of Young's modulus of carbon nanotubes by micro-Raman spectroscopy, *Journal of Materials Research*, 13, 2418-2422.
- Lu, J.P., 1997, Elastic properties of carbon nanotubes and nanoropes, *Physical review letters*, 79, 1297-1300.
- Lukes, J.R., Zhong, H.L., 2007, Thermal conductivity of individual single-wall carbon nanotubes, *Journal of heat transfer*, 129, 705-716.

- Luque, G.L., Ferreyra, N.F., Rivas, G.A., 2006, Glucose biosensor based on the use of a carbon nanotube paste electrode modified with metallic particles, *Microchim acta*, 152, 277-283.
- Lusis, J., Woodhams, R.T., Xanthos, M., 1973, The effect of flake aspect ratio on the flexural properties of mica reinforced plastics, *Polymer engineering and science*, 13, 139-145.
- Shaffer, M.S.P., Windle, A.H., 1999, Fabrication and characterization of carbon nanotube/poly(vinyl alcohol) composites, *Advanced materials*, 11, 937-941.
- Malekani, M., Bayzar, B., Talaiepour, M., Hemmasi, A.H., Ghasemi, I., 2014, Influence of maleic-anhydride-polypropylene on the physical properties of polypropylene/sawdust fir flour composite, *Journal of applied environmental and biological sciences*, 4(3), 340-343.
- Manias, E., 2001, A direct-blending approach for polypropylene/clay nanocomposites enhances properties, *Materials Research Bulletin*, 26, 862-863.
- Mead, L.J., Baker, A.M., 2006, Thermoplastics, Handbook of Plastics Technologies: The Complete Guide to Properties and Performance, In: Harper, C.A. (ed.), Chapter 2, The McGraw Hill Companies, USA.
- Mengeloglu, F., Karakus, K., 2008, Some properties of eucalyptus wood flour filled recycled high density polyethylene polymer-composites, *Turkish journal of agriculture and forestry*, 32, 537-546.
- Messersmith, P.B., Giannelis, E.P., 1995, Synthesis and barrier properties of polycaprolactone -layered silicate nanocomposites, *Journal of polymer science Part A*, 33, 1047-1057.
- Meyyappan, M., 2005, *Carbon nanotubes: science and applications*, CRC Press, Boca Raton.
- Mintmire, J.W., Dunlap, B.I., White, C.T., 1992, Are fullerene tubules metallic?, *Physical review letters*, 68, 631-634.
- Misra, J.K., Hwang, K.J., Ha, C.S., 2005, Preparation, mechanical and rheological properties of a thermoplastic polyolefin (TPO)/organoclay nanocomposite with reference to the effect of maleic anhydride modified polypropylene as a compatibilizer, *Polymer*, 46, 1995-2002.
- Moet, A., Akelah, A., 1993, Polymer-clay nanocomposites: polystyrene grafted onto montmorillonite interlayers, *Materials letters*, 18, 97.
- Mohapatra, A.K., Mohanty, S., Nayak, S.K., 2012, Dynamic mechanical and thermal properties of polylactide-layered silicate nanocomposites, *Journal of thermoplastic composite material*, DOI: 10.1177/0892705712454446.

- Nalwa, H.S., 2003, *Handbook of Organic-Inorganic Hybrid Materials and Nanocomposites*, American Scientific Publishers, Stevenson Ranch, CA.
- Nam, P.H., Maiti, P., Okamoto, M., Kotaka, T., Hasegawa N., Usuki, A., 2001, A hierarchical structure and properties of intercalated polypropylene/clay nanocomposites, *Polymer*, 42, 9633-9640.
- Ndiaye, D., Tidjani, A., 2012, Effects of coupling agents on thermal behavior and mechanical properties of wood flour/polypropylene composites, *Journal of composite materials*, DOI: 10.1177/0021998311435675.
- Nemati, M., Khademieslam, H., Talaiepour, M., Ghasemi, I., Bazayr, B., 2013, Investigation on the mechanical properties of nanocomposite based on wood flour/ recycle polystyrene and nanoclay, *Journal of basic and applied scientific research*, 3(3), 688-692.
- Novak, M.B., 1993, Hybrid Nanocomposite Materials-between inorganic glasses and organic polymers, *Advanced materials*, 5(6), 422-433.
- Nunez, A.J., Sturn, P.C., Kenny, J.M., Aranguren, M.I., Marcovich, N.E., Reboredo, M.M., 2002, Mechanical characterization of polypropylene-wood flour composites, *Journal of applied polymer science*, 88, 1420-1428.
- O'Connell, M.J., 2006, *Carbon nanotubes : properties and applications*, CRC Taylor & Francis, Boca Raton.
- Ornaghi, H.L., Bolner, A.S., Fiorio, R., Zattera, A.J., Amico, S.C., 2010, Mechanical and dynamical mechanical analysis of hybrid composites molded by resin transfer molding, *Journal of applied polymer science*, 118, 887-896.
- Oya, A 2000, *Polypropylene-clay nanocomposites*, Polymer-clay nanocomposites, In: Pinnavaia T.J., Beall, G.W. (ed.), Wiley, London, 151-172.
- Padal, K.T.B., Srikanth, S., Nagendra, P.S., 2014, Dynamic mechanical and thermal properties of jute nano fibre reinforced polymer composite, *5th International & 26th All india manufacturing technology, Design and research conference*, Guwahati, India.
- Pehlivan, S., 2010, Sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.) ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Perez, M.A., Rivas, B.L., Rodriguez, S.M., Maldonado, A., Venegas, C., 2010, Polypropylene/clay nanocomposites, synthesis and characterization, *Journal of the chilean chemical society*, 55(4), 441-444.
- Pielichowski, K., Njuguna, J., Janowski, B., Pielichowski, J., 2006, Polyhedral oligomeric silsesquioxanes (POSS)-containing nanohybrid polymers, *Advances in polymer science*, 201, 225-296.

- Pinnavaia, T., Beall, G., 2000, *Polymer-Clay Nanocomposites*, John Wiley & Sons, New York.
- Privalko, V.P., Calleja, F.J.B., Sukhorukov, D.I., Privalko, E.G., Walter, R., Friedrich, K., 1999, Composition-dependent properties of polyethylene/kaolin composites, Part II. Thermoelastic behavior of blow-molded samples, *Journal of Materials Science*, 34, 497–508.
- Qin, S.H., Oin, D.Q., Ford, W.T., Resasco, D.E., Herrera, J.E., 2004, Polymer brushes on single walled carbon nanotubes by atom transfer radical polymerization of butly methacrylate, *Journal of the american chemical society*, 126(1), 170-176.
- Krishnamoorti, R., Vaia, R.A., Giannelis, E.P., 1996, Structure and dynamics of polymer-layered silicate nanocomposites, *Chemistry of materials*, 8, 1728-1734.
- Ray, S.S., Okamoto, M., 2003, Polymer/layered silicate nanocomposites: A review from preparation to processing, *Progress in Polymer Science*, 28, 1539-1641.
- Richard, A.V., Giannelis, E.P., 2001, Polymer nanocomposites: status and opportunities, *MRS Bulletin*, 26, 394-401.
- Romero, H.E., Bolton, K., Rosen, A., Eklund, P.C., 2005, Atom collision-induced resistivity of carbon nanotubes, *Science*, 307, 89-93.
- Rong, J., Jing, J., Li, H., Sheng, M., 2001, A polyethylene nanocomposite prepared via in-situ polymerization, *Macromolecular rapid communications*, 22, 329-334.
- Rudolph S., 2002, Materials review: Boron nitride, *American ceramic society bulletin*, 81(8), 34 -35.
- Sacak, M., 2005, *Polimer Teknolojisi*, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Saçaklı, Y., 2011, *Değişik Partikül Boyutlarındaki Mg(OH)₂ Katkılı Polipropilen (PP) Nanokompozitinin Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Saeed, K., Park, S.Y., 2007, Preparation of multiwalled carbon nanotube/nylon-6 nanocomposites by in situ polymerization, *Journal of applied polymer science*, 106(6), 3729-3735.
- Salvetat, J.P., Bonard, J.M., Thomson, N.H., Kulik, A.J., Forro, L., Benoit, W., Zuppiroli, L., 1999, Mechanical properties of carbon nanotubes, *Applied physics A: Materials science and processing*, 69, 255-260.
- Sandler, J., Shaffer, M.S.P., Prasse, T., Bauhafer, W., Schulte, K., Windle, A.H., 1999, Development of a dispersion process for carbon nanotubes in epoxy matrix and the resulting electrical properties, *Polymer*, 40, 5967-5971.
- Sjostrom, E., 1993, *Wood Chemistry: Fundamentals and Applications*, Academic press, San Diego.

- Shen, J., 2006, *Application of nanoparticles in polymeric foams*, Thesis (PhD), Ohio State University.
- Srinivasulu, R., Madhusudan, S., Kumar, M.A., Murthy, V.N., Kartikeyan, N., 2013, Synthesis and characterization of polymer nanocomposites filled with nanoclay/aerosil on mechanical and thermal properties, *International journal of nanomaterials and biostructures*, 3(4), 515-56.
- Shi, H.Z., Lan, T., Pinnavaia, T.J., 1996, Interfacial effects on the reinforcement properties of polymer-organoclay nanocomposites, *Chemistry of Materials*, 8(8), 1584.
- Sun T., Garces, J.M., 2002, High-performance polypropylene-clay nanocomposites by in-situ polymerization with metallocene/clay catalysts, *Advanced Materials*, 14, 128-130.
- Şahin, İ., 2003, *Enstrümantal tablet presinde lubrikant performansının değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Thess, A., Lee, R., Nikolaev, P., Dai, H.J., Petit, P., Robert, J., Xu, C.H., Lee, Y.H., Kim, S.G., Rinzler, A.G., Colbert, D.T., Scuseria, G.E., Tomanek, D., Fischer, J.E., Smalley, R.E., 1996, Crystalline ropes of metallic carbon nanotubes, *Science*, 273, 483-487.
- Treacy, M.M.J., Ebbesen, T.W., Gibson, J.M., 1996, Exceptionally high Young's modulus observed for individual carbon nanotubes, *Nature*, 381, 678-680.
- Turkoglu, M., Sahin, İ., San, T., 2005, Evaluation of hexagonal boron nitride as a new tablet lubricant, *Pharmaceutical development and technology*, 10, 381-388.
- Turku, I., Karki, T., 2014, Research progress in wood-plastic nanocomposites: A review, *Journal of thermoplastic composite materials*, 27(2), 180-204.
- Usuki, A., Kawasumi, M., Kojima, Y., Okada, A., Kurauchi, T., 1995, Synthesis and properties of diamine-modified nylon 6-clay hybrid, *Kobunshi Ronbunshu*, 52(7), 440-444.
- Usuki, A., Kojima, Y., Kawasumi, M., Okada, A., Fukushima, Y., Kurauchi, T., Kamigaito, O., 1993, Swelling behavior of montmorillonite cation exchanged for ω -amino acids by ϵ -caprolactam, *Journal of materials research*, 8(5), 1179-1184.
- Vaia, R.A., Isii, H., Giannelis, E.P., 1993, Synthesis and properties of two-dimensional nanostructures by direct intercalation of polymer melts in layered silicates, *Chemistry of materials*, 5(12), 1694-1696.
- Varghese, S., Karger-Kocsis, J., 2003, Natural rubber-based nanocomposites by latex compounding with layered silicates, *Polymer*, 44, 4921-4927.

- Viswanathan, G., Chakrapani, N., Yang, H.C., Wei, B.Q., Chung, H.S., Cho, K.W., Ryu, C.Y., Ajayan, P.M., 2003, Single step in situ synthesis of polymer grafted single wall nanotube composites, *Journal of the american chemical society*, 125(31), 9258-9259.
- Wang, Y., Yeh, F.C., Lai, S.M., Chan, H.C., Shen, H.F., 2003, Effectiveness of functionalized polyolefins as compatibilizers for polyethylene/wood flour composites, *Polymer engineering and science*, 43, 933-945.
- Wong, E.W., Sheehan, P.E., Lieber, C.M., 1997, Nanobeam mechanics: Elasticity, strength and toughness of nanorods and nanotubes, *Science*, 277, 1971-1975.
- Wunderlich, B., 1994, The nature of the glass transition and its determination by thermal analysis, Assignment of the glass transition, In: Seyler, R.J. (ed.), ASTM, STP, Philadelphia, 17-31.
- Yalcin, B., Cakmak, M., 2004, Superstructural hierarchy developed in coupled high shear/high thermal gradient conditions of injection molding in nylon 6 nanocomposites, *Polymer*, 45, 2691-2710.
- Yang, H., Kim, H., Kim, H.J., Park, H.J., 2004, Thermogravimetric analysis of rice husk flour filled thermo plastic polymer composites, *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 76, 395-404.
- Yano, K., Usuki, A., Okada, A., Kurauchi, T., Kamigaito, O., 1991, Synthesis and properties of polyimide-clay hybrid, *Society of polymer science*, 321, 65-67.
- Ying, Z., Du, J.H., Bai, S., Li, F., Liu, C., Cheng, H.M., 2002, Mechanical properties of surfactant-coating carbon nanofiber/epoxy composite, *Journal of nanoscience*, 1, 425-430.
- Yuan, Q., Misra, R.D.K., 2006, Impact fracture behavior of clay-reinforced polypropylene nanocomposites, *Journal of applied polymer science*, 47, 4421-4433.
- Zanetti, M., Lomakin, S., Camino, G., 2000, Polymer layered silicate nanocomposites, *Macromolecular materials and engineering*, 279, 1-9.
- Zanetti, M., Camino, G., Reichert, P., Mulhaupt, R., 2001, Thermal behaviour of poly(propylene) layered silicate nanocomposites, *Macromolecular rapid communications*, 22, 176-180.
- Zhao, Y., Wang, K., Zhu, F., Xue, P., Jia, M., 2006, Properties of poly(vinyl chloride)/wood flour/montmorillonite composites: effects of coupling agents and layered silicate, *Polymer degradation and stability*, 91, 2874-2883.
- Zhang, Q., Fu, Q., Jiang, L., Lei, Y., 2000, Preparation and properties of polypropylene/montmorillonite layered nanocomposites, *Polymer international*, 49, 1561-1564.

Zilg, C., Thomann, R., Mulhaupt, R., Finter, J., 1999, Polyurethane Nanocomposites Containing Laminated Anisotropic Nanoparticles Derived from Organophilic Layered Silicates, *Advanced Materials*, 11, 49-52.