



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

ISIL İŞLEM UYGULANMIŞ ODUN PARTİKULLERİ İLE DESTEKLENMİŞ
STİREN MALEİK ANHİDRİT (SMA) KOMPOZİTLERİNİN
KARAKTERİZASYONU

HAZIRLAYAN

MUSTAFA ZOR

DANIŞMAN

DOÇ. DR. DENİZ AYDEMİR

BARTIN-2017



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ISIL İŞLEM UYGULANMIŞ ODUN PARTİKULLERİ İLE DESTEKLENMİŞ
STİREN MALEİK ANHİDRİT (SMA) KOMPOZİTLERİNİN
KARAKTERİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN

Mustafa ZOR

JÜRİ ÜYELERİ

- Danışman : Doç.Dr. Deniz AYDEMİR - Bartın Üniversitesi
Üye : Doç.Dr. Gökhan GÜNDÜZ - Bartın Üniversitesi
Üye : Doç.Dr. Fatih YAPICI - Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Üye : Doç.Dr. M. Emre KARTAL - Bülent Ecevit Üniversitesi
Üye : Doç.Dr. Bülent KAYGIN - Bartın Üniversitesi

BARTIN-2017

KABUL VE ONAY

Mustafa ZOR tarafından hazırlanan “ISIL İŞLEM UYGULANMIŞ ODUN PARTİKULLERİ İLE DESTEKLENMİŞ STİREN MALEİK ANHİDRİT (SMA) KOMPOZİTLERİNİN KARAKTERİZASYONU” başlıklı bu çalışma, 06.01.2017 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Deniz AYDEMİR (Danışman)

Üye : Doç. Dr. Gökhan GÜNDÜZ

Üye : Doç. Dr. Fatih YAPICI

Üye : Doç. Dr. Murat Emre KARTAL

Üye : Doç. Dr. Bülent KAYGIN

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. H. Selma ÇELİKAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Deniz AYDEMİR danışmanlığında hazırlamış olduğum “ISIL İŞLEM UYGULANMIŞ ODUN PARTİKULLERİ İLE DESTEKLENMİŞ STİREN MALEİK ANHİDRİT (SMA) KOMPOZİTLERİNİN KARAKTERİZASYONU” başlıklı doktora tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

06.01.2017

Mustafa ZOR

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca benden, değerli vaktini, engin bilgi birikimini ve tecrübelerini esirgemeyen, akademik hayatımın gelişmesinde ve olaylara daha çok boyutlu bakmamda rehberlik eden danışman hocam sayın Doç. Dr. Deniz AYDEMİR'e,

Tez çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bana ufuk açan tez izleme komitesi üyeleri sayın Doç. Dr. Gökhan GÜNDÜZ'e ve sayın Doç. Dr. Fatih YAPICI'ya,

Çalışmalarımda her zaman desteğini esirgemeyen sayın Doç. Dr. Bülent KAYGIN'a ve sayın Prof. Dr. Nadir AYRILMIŞ'a, sonlu elemanlar analizi metodunu uygulama ve yorumlama kısımlarında bana destek olan sayın Doç. Dr. Murat Emre KARTAL'a ve 2214/A TÜBİTAK projem ile Amerika'daki Maine Üniversitesi'nde bana laboratuarda çalışma imkânı tanıyan sayın Prof. Dr. Douglas J. GARDNER, Dr. Alper KIZILTAŞ'a ve laboratuvar teknisyeni Chris WEST'e,

Akademik kariyerim boyunca beni tecrübeleriyle her yönden teşvik eden değerli müdürüm sayın Yrd. Doç. Dr. Hikmet YAZICI'ya ve aynı laboratuvarında beraber çalıştığım ve desteğini esirgemeyen sayın Arş. Gör. Eser SÖZEN'e ve sayın Arş. Gör. Ahmet CAN'a,

Tez çalışmama 1059B141500493 nolu projeye destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'a,

Her daim yanımda olan, sevgisini, maddi ve manevi desteğini bir an olsun esirgemeyen eşim Esra Uğur ZOR ve evladım Selim Uğur ZOR'a,

Teşekkürü bir borç bilirim.

Mustafa ZOR

ÖZET

Doktora Tezi

ISIL İŞLEM UYGULANMIŞ ODUN PARTİKULLERİ İLE DESTEKLENMİŞ STİREN MALEİK ANHİDRİT (SMA) KOMPOZİTLERİNİN KARAKTERİZASYONU

Mustafa ZOR

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Deniz AYDEMİR

Bartın- 2017, sayfa: XV + 102

Bu çalışmada; köpüklendirilmiş strien maleik anhidrit (SMA) polimerine belirli oranlarda ısıtıl işlem uygulanmış veymut çamı (*Pinus strobus*) (%10, %20, %30, %40 ve %50) katılarak çift vidalı ekstrüzyon sayesinde mühendislik malzemesi olan odun unu destekli SMA ko-polimer kompozit malzemesi elde edilmiştir. Belirli oranlarda hazırlanan bu kompozitte ısıtıl işlemli odun unu destekli SMA kompozitlerinde karışım oranı ve malzeme karakterizasyon analizleri yapılarak deformasyon sonuçları elde edilmiştir. Deneysel verilerin karşılaştırılmasında sonlu elemanlar metodu (FEM) kullanılarak deformasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

Isıtıl işlem uygulamasının kompozitlerde yoğunluk testi üzerine sonuçlarına göre, odun unu dolgu oranı artmasıyla gruplar arasında ciddi bir fark görülmemiştir. Boyutsal kararlılık analizi sonucuna göre, ısıtıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitleri, ısıtıl işlem uygulanmamış odun unu destekli SMA kompozitlerine göre daha az boyutsal değişim göstermiştir. Hızlandırılmış yaşlandırma testi analizine göre, ısıtıl işlem dolgu oranı arttıkça malzemede renk değişimi farkı ciddi oranda fazlalaşmaktadır. Bu yüzden %10 dolgu oranındaki malzemeler en az renk değişimi sonucunu göstermiştir. Kompozitlerin

mekanik test sonuçlarına göre, ısıtıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitlerinde hem eğilmede hem de çekme direncinin her ikisinde en iyi değeri %30 dolgu oranındaki TP grubu göstermiştir. TGA sonuçlarına göre, ısıtıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitlerinin, ısıtıl işlem uygulanmamış SMA kompozitlerine göre daha ısıtıl kararlılığa sahip olduğu görülmüştür. Morfolojik analiz sonuçlarına göre, tüm gruplarda, ısıtıl işlem uygulanmış odun unu ile SMA polimeri arasında zayıf etkileşimler görülmektedir. Reolojik analiz sonuçlarına göre, kompozitlerin dinamik vizkositesi düşük frekansta önemli bir artış göstermektedir. Sonlu elemanlar metodu deformasyon analizi sonucuna göre, deneysel çözümlerinden elde edilen sonuçların, sayısal çözümlerden (SAP2000) elde edilen sonuçlara oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, deneysel bulgular ile elde edilen verilerin, sonlu elemanlar yönteminin uygulanmasından sonra anlamlı değerler elde edilmiş olup, sonlu elemanlar metodunun mühendislik tasarımı yaklaşımında kullanılmasının faydalı olacağı söylenebilir.

Anahtar Kelimeler

Isıtıl işlem; stiren maleik anhidrit; ahşap malzeme; sonlu elemanlar metodu

Bilim Kodu

502.15.01

ABSTRACT

Ph.D.Thesis

CHARACTERIZATION OF HEAT TREATED WOOD FILLED STYRENE MALEIC ANHYDRIDE (SMA) COMPOSITE

Mustafa ZOR

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Forest Industrial Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Deniz AYDEMİR

Bartın-2017, pp: XV + 102

In this study, wood filler SMA copolymer, engineering material, has been obtained through twin screw extruder adding the specific rate heat treated pine wood (10%, 20%, 30%, 40%, and 50%) to foamed SMA polymer. Deformation results have been achieved by analyzing of the mixing rate and the material characterization in heat treated wood-SMA composites prepared in specific rates. In comparison of the experimental results, deformation results were compared with finite element method (FEM).

According to density results, there is no significant difference between the groups as a result of increasing wood filler rate. According to dimensional stability results, heat treated wood SMA composites have less dimensional changes than wood SMA composites. According to the accelerated weathering test results, colour changes developed when heat-treated filler rate is increased in this material. So, materials in 10% filler rate show minimum colour changes. According to the mechanical test results, TP group in 30% filler rate has the best results both in the flexural and the tensile strength. According to the TGA results, heat-treated wood SMA composites have more thermal stable than wood SMA composites. According to the morphological results, it has been indicated a weak interaction between the heat-treated wood and SMA polymer among all groups. According to the rheological analysis, the dynamic viscosity of composites has showed a significant

increase at low frequencies. According to the deformation analysis result of FEM, it can be seen that the results obtained from the experimental solution are very close to the results obtained from the numerical solutions.

As a result, it can be said that it is beneficial to use the FEM in the engineering design approach after the data obtained by the experimental solutions obtained meaningful values after application of the FEM.

Key Words

Heat treatment; styrene maleic anhydride; wooden material; finite element method.

Science Code

502.15.01

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 Genel Bilgiler.....	2
1.1.1 Ahşap Plastik Kompozit (APK).....	2
1.1.2 Ahşap Plastik Kompozit Malzemenin Üretim Süreci.....	5
1.1.3 Ahşap Plastik Kompozit Teknolojik Özellikleri.....	5
1.1.3.1 Ahşap Plastik Kompozit Fiziksel Özellikleri	5
1.1.3.2 Ahşap Plastik Kompozitlerin Mekanik Özellikleri	6
1.1.3.3 Ahşap Plastik Kompozitlerin Özelliklerini Etkileyen Faktörler	7
1.1.4 Mühendisleştirilmiş Termoplastik Kompozit (Köpüklendirilmiş Stiren Maleik Anhidrit- FOAMED SMA).....	9
1.1.5 Isıl İşlem Metodu	11
1.1.6 Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) ile Sayısal Çözümleme.....	13
1.2 Literatür Araştırması.....	17
1.2.1 Ahşap Plastik Kompozitler (APK) ile ilgili Çalışmalar.....	17
1.2.1.1 Ahşap Plastik Kompozitin Teknolojik Özellikleri	20
1.2.2 Isıl İşlem Uygulanmış Ahşap ve Ahşap Plastik Kompozit ile İlgili Çalışmalar	23
1.2.3 Köpüklendirilmiş Stiren Maleik Anhidrit Ko-polimer ile İlgili Çalışmalar	30

1.2.4 Sonlu Elemanlar Metodunda (FEM) Deformasyon Analizi ile ilgili	
Çalışmalar	32
1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	34
BÖLÜM 2 MATERYAL VE YÖNTEM	36
2.1 Materyal	36
2.2 Isıl İşlem Metodu	36
2.3 Odun unu ile desteklenmiş SMA Kompozitlerinin Hazırlanması	37
2.4 Kullanılan Metotlar.....	40
2.4.1 Deney Materyallerin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi	41
2.4.1.1 Yoğunluk ve Boyutsal Stabilizasyon Deneyi	41
2.4.1.2 Hızlandırılmış Yaşlandırma Testi	42
2.4.1.3 Renk Ölçümü.....	42
2.4.1.4. Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi	43
2.5 Deney Materyallerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	43
2.6 Deney Materyallerin Termal Kararlılığının Belirlenmesi	46
2.7 Deney Örneklerinin Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi	47
2.8 Deney Örneklerinin Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi	47
2.9 Sonlu Elemanlar Metodu ile Sayısal Çözümleme	47
2.10 İstatistik Yöntem.....	49
BÖLÜM 3 BULGULAR VE TARTIŞMA	50
3.1 Isıl İşlem Uygulanmış Odun Unu Destekli SMA Kompozitlerinin	
Fiziksel Özelliklerine Ait Bulgular	50
3.1.1 Yoğunluk.....	50
3.1.2 Boyutsal Stabilizasyon (Su alma ve Kalınlığa Şişme).....	50
3.1.3 Hızlandırılmış Yaşlandırma Testi	53
3.1.4 FT-IR Analizi	55
3.2 Isıl İşlem Uygulanmış Odun Unu Destekli SMA Kompozitlerinin	
Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular	59
3.2.1 Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü (FMOE).....	59
3.2.2 Çekme Direnci ve Çekmede Elastikiyet Modülü (TMOE).....	62

3.2.3 Yapışma Direnci.....	64
3.3 Isıl İşlem Uygulanmış Odun Unu Destekli SMA Kompozitlerinin Isıl Özellğine Ait Bulgular	65
3.3.1 Termogravimetrik Analiz (TGA).....	65
3.4 Isıl İşlem Uygulanmış Odun Unu Destekli SMA Kompozitlerinin Morfolojik Özelliğine Ait Bulgular	68
3.5 Isıl İşlem Uygulanmış Odun Unu Destekli SMA Kompozitlerinin Reolojik Özelliğine Ait Bulgular	70
3.6 Sonlu Elemanlar Metodu ile Deformasyon Analizi.....	73
BÖLÜM 4 SONUÇ VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	101

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1. Tüketimin plastiklere göre dağılımı	4
2. SMA ko-polimerinin yapısı.....	10
3. Deformasyona neden olan bazı yükler	14
4. Global eksen takımında X-Y düzleminde kiriş eleman için rijitlik matrisi	15
5. 3 noktalı eğilme testine maruz kalan kiriş örneği	16
6. APK'nın değişik kullanım alanları	23
7. Yapısal uygulamalarda çeşitli ahşap malzemelerin eğilmede elastikiyet modüllerinin karşılaştırılması	32
8. Kurutma fırınında ısıl işlem	37
9. Çalışmada kullanılan kompozit öğütücü.....	39
10. Çalışmada kullanılan enjeksiyon makinası	40
11. %20 odun unu destekli SMA kompozit örnekleri.....	40
12. Deneylede Kullanılan ASTM standardı eğilme ve çekme test örnekleri.....	45
13. Yapışma testi örneklerinin boyutları(a) ve yapışma testi deney düzeneği (b).....	46
14. Eğilmeye maruz bırakılan çubuğun 3 boyutlu tasarım örneği	49
15. Doğal lif destekli SMA kompozitlerinin yoğunluk değerleri	50
16. Isıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitlerinin su alma değeri	51
17. Isıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitlerinin kalınlığa şişme değeri.....	52
18. Hızlandırılmış Weathering testi sonrası örneklerdeki renk değişimi	53
19. Kontrol grubu örneği için FT-IR analizi grafiği.....	54
20. %10UT grubu için FT-IR analizi grafiği.....	55
21. %10T grubu için FT-IR analizi grafiği.....	56
22. %20UT grubu için FT-IR analizi grafiği.....	56
23. %20T grubu için FT-IR analizi grafiği.....	57
24. %30UT grubu için FT-IR analizi grafiği.....	57
25. %30T grubu için FT-IR analizi grafiği.....	58
26. Odun unu destekli SMA kompozitlerinin eğilme direnci üzerinde odun unu ilavesinin etkisi	60
27. Odun unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA ko-polimerinin FMOE değeri.....	61

28. Odun unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA ko-polimerinin çekme direnci değerleri	62
29. Odun unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA ko-polimerinin TMOE değeri...	64
30. Isıl işlem uygulanmış odun unu, ısıl işlem uygulanmamış odun unu ve saf SMA ko-polimerinin TGA eğrileri	65
31. Isıl işlem uygulanmış odun unu, ısıl işlem uygulanmamış odun unu ve saf SMA ko-polimerinin DTGA eğrileri	65
32. Isıl işlem uygulanmamış odun unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA ko-polimerinin TGA eğrileri	66
33. Isıl işlem uygulanmamış odun unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA ko-polimerinin DTGA eğrileri	67
34. Isıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA ko-polimerinin TGA eğrileri.....	67
35. Isıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA ko-polimerinin DTGA eğrileri	68
36. Saf SMA, %20 ve %40 oranlarında P ve TP gruplarının SEM görüntüleri (x100) ..	69
37. Örneklerin depolama modülünün açısal frekansa bağımlılığının eğrisi	71
38. Örneklerin kayıp modülünün açısal frekansa bağımlılığının eğrisi	72
39. Örneklerin dinamik viskozitenin kayma hızına bağımlılığının eğrisi.....	72
40. Kontrol grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b)	75
41. %10UT grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b).....	76
42. %10T grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b).....	77
43. %20UT grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b).....	78
44. %20T grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b).....	79
45. %30UT grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b).....	80
46. %30T grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b).....	81
47. %40UT grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b).....	82
48. %40T grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b).....	83
49. %50UT grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b).....	84
50. %50T grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b).....	85

TABLolar DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
1. SMA'nın bazı materyal özellikleri.....	11
2. APK'nın plastik ve ahşap ile karşılaştırılması	19
3. Isıl işlem uygulanmış odun plastik kompozitleri	29
4. SMA(XIRAN® SE700) ko-polimerinin teknik özellikleri	36
5. Isıl işlem uygulanmış, uygulanmamış ve SMA malzemelerinin karışım oranları ...	39
6. Yapışma testi için deneme deseni	45
7. Malzemelerin programa girilen bazı mekanik değerleri	48
8. Saf SMA ve %10, %20, %30, %40 ve %50 T ve T* kompozitlerinin fonksiyonel grupları	59
9. Odun unu destekli SMA kompozitlerinin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması.	64
10. Yapışma dayanımı testi sonuçları	64
11. Odun unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA ko-polimerinin ısıl değerleri ...	68
12. 3 noktalı eğilme yüklemesine göre açık ve kapalı çözümlerin karşılaştırılması.....	73
13. 3 noktalı eğilme yüklemesi ile deneysel olarak elde edilen gerilmelerin kapalı çözümünün karşılaştırılması.....	74

SİMGELER DİZİNİ

N	:	Newton
δy	:	Düşey deformasyon
H	:	Rutubet
M	:	Tam kuru ağırlık
MPa	:	Megapascal
R	:	Tam kuru yoğunluk
V	:	Tam kuru hacim

KISALTMALAR DİZİNİ

APK	:	Ahşap plastik kompozit
ASTM	:	American society for testing and materials
FEM	:	Sonlu elemanlar metodu
FMOE	:	Eğilmede elastikiyet modülü
MAPP	:	Maleik anhidrit polipropilen
P	:	Isıl işlem uygulanmamış odun unu
PÜ	:	Poliüretan
PVAc	:	Polivinil asetat
SEM	:	Sonlu elemanlar metodu
SMA	:	Stiren maleik anhidrit
TGA	:	Termogravimetrik Analiz
TMOE	:	Çekmede elastikiyet modülü
TP	:	Isıl işlem uygulanmış odun unu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren tekniğin hızla gelişmesi, beraberinde sanayinin temel girdisi olan malzeme ve malzeme biliminde de gelişmelerin hızlanmasını sağlamıştır. Fakat yeryüzünde ana malzemelerin sınırlı olmasından dolayı, malzemeler ve bu malzemelerin özellikleri teknolojinin gelişimine ayak uyduramamıştır. Uzay araçlarının yapımına geçilen geçen asırda, bilim adamları çağın yenilikleri ile birlikte mevcut malzemelerin özelliklerinden, bilimin gelişmesi paralelinde günün şartlarına uyacak şekilde gerek ekonomik gerekse teknik yönden daha uygun malzemeler imal etme yolunu seçmişlerdir. Dolayısıyla, ekonomik, daha yüksek mukavemetli ve de çok hafif malzemelerin oluşturulması için yapılan çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Böylece malzeme oluşumundaki bileşenlerin, özellikleri farklı olan malzemelerin tek bir kombinasyonda elde edilen kompozit malzemeler büyük bir önem kazanmıştır.

Doğal kaynakların kullanımı genel olarak hammaddelerin çok veya az bulunuşuna göre belirlenmektedir. Bu kaynakların azalmasına bağlı olarak rasyonel ve ekonomik kullanma yöntemleri geliştirilerek hammaddelerden en iyi şekilde yararlanma yoluna gidilmiştir. Orman ürünlerinden çok yönlü yararlanmanın gerçekleştiği günümüzde, yalnız ağaç malzemedен on binlerce farklı ürün elde edilmektedir. Bu kadar geniş kullanım yeri bulabilen ağaç malzemenin değeri, tüketimi ve dünya nüfus artışına bağlı olarak orman varlığının çeşitli sebeplerle azalması göz önüne alındığında sürekli artmaktadır. Bu nedenle, ağaç malzemenin en ekonomik ve rasyonel şekilde değerlendirilmesi zorunlu hale gelmiştir (Çehreli, 1981).

Sıkı rekabet koşulları ve daha yüksek kalite gereksinimleri mobilya üreticilerini sürekli yeni ürünler geliştirmeye zorlamaktadır. Son yıllarda mobilya endüstrisinde polimer kompozitlerinin rolü olumlu bir ivme kazanmıştır. Mobilya üretimde kullanılan masıf malzemeye alternatif olarak kullanılan plastik kompozitler ile malzemeye yeni özellikler katmak amacıyla çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Ancak gerçekleştirilen literatür araştırmasında mobilya kalitesi üzerinde büyük ölçüde etkisi olan birleştirmelerin mühendislik özelliklerinin plastik teknolojisi yardımıyla geliştirilmesi konusunda yapılan

çalışmalar yetersizdir.

Dünyada hızlı nüfus artışına paralel olarak mevcut orman kaynaklarının talebi karşılamaması, ağaç malzemenin istenilen ebat ve şekilde bulunabilme gücü, orman kaynaklarından optimum yararlanma isteği, rutubete dayanıklı tutkal çeşitlerinin ortaya çıkması, küçük çaplı ve ekonomik anlamda pek fazla değeri olmayan hızlı gelişen ve az bilinen ağaç türlerinin üretimde kullanılması gibi birçok gelişme sonucunda “Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler” (MAM) ortaya çıkmıştır (Mengeloğlu ve Kurt, 2004). MAM’ların üstün direnç özelliklerine sahip olmaları, bu malzemelere olan talebi günden güne arttırmış ve geniş uygulama alanlarında kullanılmalarına yol açmıştır (Davidson ve Hanna, 2004).

1.1 Genel Bilgiler

1.1.1 Ahşap Plastik Kompozit (APK)

Gelecekte yaşam döngüsü açısından önem arz eden ormanlarımızı ve lignoselülozik esaslı hammadde kaynaklarını daha verimli halde değerlendirmek ve diğer yandan bir petrol ürünü olan plastiklerin kullanım oranını azaltarak hem maliyeti düşürmek hem de doğada kaybolma sürecini hızlandırmak amacıyla geliştirilen Ahşap Plastik Kompozit (APK) iki ayrı sektörün tek çatı altında toplanmasıyla yeni bir ekonomik pazar oluşturmuştur.

Ahşap plastik kompozit ya da diğer bir ifade ile odun plastik kompozitleri terimi; herhangi biçimdeki odun ve termosetting ya da termoplastikleri içeren kompozitleri ifade eder. Bunlardan termosetting plastikler sertleştiğinde, tekrar ısıtılması ile birlikte yumuşamaz. Örnek olarak; epoksi ve fenolik reçineler verilebilir. Bu plastikler orman ürünleri endüstrisinde iyi bilinmektedir. Termoplastikler ısıtıldığında tekrar tekrar yumuşayabilir. Örnek olarak polietilen (PE) ve polivinil klorür’ü (PVC) verebiliriz. Termo-plastikler, birçok değişik ticari ürünlerde örneğin; süt kutusu, bakkal torbası ve siding olarak kullanılmaktadır (Clemons, 2002).

Odun plastik kompozitler odun ya da diğer doğal fiberler ile takviyelenen termoplastikler olarak tanımlanır. Bu kompozitlerin üretiminde kullanılan termoplastikler polietilen (PE), polivinil klorür (PVC) ve polipropilen (PP) dir (Kuo vd., 2009). Termoplastikler birer

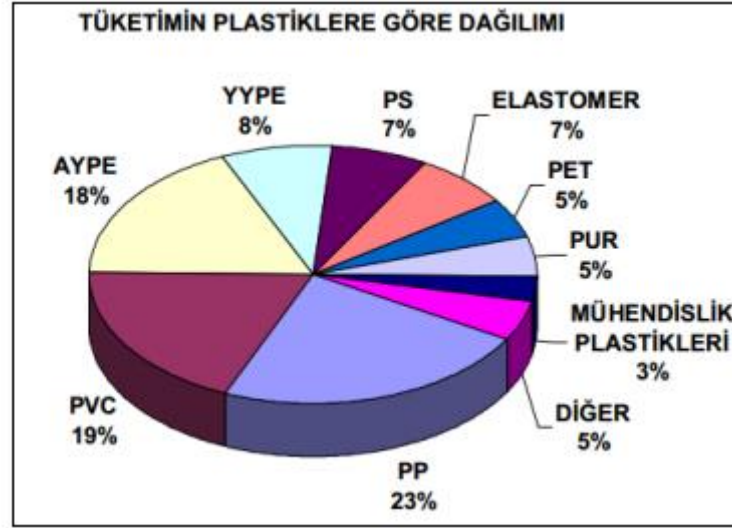
polimer olup, ısı ile işlenebilirler, soğuduktan sonra kendi şeklini muhafaza ederler (Taj vd., 2007). Odun fiberi, termoplastik kompozitlerde bol, ucuz, sağlam ve düşük yoğunluklu olduğu için kullanılır (Doroudiani ve Kortschot, 2004).

Odun ya da lignoselülozik materyaller doğada çok yaygın bulunan malzemelerdir. Biyobozunur, yenilenebilir ve çok miktarda ulaşılabilen bir kaynak olması bu materyallerin kullanım alanlarını genişletmiştir. Gelişen ve değişen teknolojiye paralel olarak bu alanda da birçok yenilikler gerçekleşmiştir. Odun polimer kompozitleri de gelişen teknolojiye paralel olarak lignoselülozik materyal ve polimer matrikslerin etkileşimi ile ortaya çıkmıştır.

APK, plastik malzemeye kıyasla daha düşük maliyetli olmaları ve doğada daha kolay bozunarak çevre dostu olmaları, ağaç malzemeye kıyasla daha iyi boyutsal stabiliteye sahip olmaları, istenilen boyut ve şekilde farklı renk ve dokuda üretilebilmeleri, çatlamalara, mantarlara ve böceklere karşı daha dayanıklı olmaları, atık malzemelerden üretilebilmeleri açısından plastik ve ahşaba göre üstün özelliklere sahiptir.

APK, plastik ve ahşap atıkların değerlendirilmesi açısından çevresel problemlerin çözümüne katkı sağlamakla beraber birçok endüstriyel alanda kullanılması sebebiyle önemli bir malzemedir. Özellikle deck ve dış cephe kaplaması başta olmak üzere teraslar, çitler, bahçe mobilyaları, peyzaj aksesuarları, kapı ve pencere doğramaları, otomotiv, iç mekân parçaları, güverte yapımı, müzik ve spor aletleri yapımı ve çeşitli kişisel kullanım malzemeleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Ülkemizde nüfusun hızlı bir şekilde artması ile talep edilen doğal ve sentetik ürünlerin yapım aşamasında ve bu malzemelerin kullanım alanlarına bağlı olarak çok miktarda atık oluşmaktadır. Özellikle plastik, metal ve selüloz esaslı atıklar çevre problemlerine sebep olmaktadır. Günlük hayatımızda büyük miktarlarda plastik madde kullanılmaktadır (Şekil 1). Kullanılan bu maddelerin çoğunun bir defa kullanılıp atılması ve hacimce çok yer kaplamaları çevre problemlerini de beraberinde getirmektedir. Bu sorunu çözmek için son yıllarda önemli çalışmalar yapılmaktadır. Daha az atık oluşturmak için kullanılan hammaddeyi azaltmak (Reduce), bir ürünün yeniden kullanılmasını sağlamak (Reuse) ve bir malzemenin geri dönüşümünün (Recycle) gerçekleştirilmesini kapsayan “3R” kuralı birçok ülkede hayata geçirilmeye çalışılmaktadır (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008).



Şekil 1: Tüketimin plastıklere göre dağılımı (AYPE: Alçak Yoğunluklu Polietilen, YYPE: Yüksek Yoğunluklu Polietilen, PS: Polistiren, PVC: Polivinil klorür, PP: Polipropilen, PET: Polietilen Teraftalat, PUR: Poliüretan)

Hızlı ve sürekli artış eğilimi gösteren odun plastik kompozitlerinin üretiminde kullanılan polimer matriks ve dolgu maddelerinin spesifik özellikleri, ürünün fiziksel ve mekanik özellikleri ile doğrudan ilgilidir. Masif odun ve odun kompozitlerine (yonga levha, lif levha vb.) alternatif olarak kullanılan APK'lar, bu materyallerin kullanım alanlarında değerlendirilebilmektedir. Biyomateryaller son yıllarda, sağlık, kullanım kolaylığı ve geri dönüşüm gibi özellikleri sebebiyle birçok alana hitap etmekte ve kullanımı teşvik edilmektedir. Özellikle Amerika, Kanada ve Avusturya gibi ülkelerde çok katlı ahşap yapıların inşası artmıştır. Biyomateryallerin tutuşabilirliği odun hammaddesinde olduğu gibi her zaman bir sorun olmuştur. Endüstri devriminin başında yaşanan acı tecrübeler bu sorunun oluşmasında önemli etkilere sahiptir. Oysa bu materyaller, çeşitli madde ilaveleri ve modifikasyonlarla yanmaya karşı etkinleştirilebilmektedir.

Polietilen, polipropilen gibi polimerler ve lignoselülozik malzemeler polimer kompozit üretiminde kullanılabilir. Polimer kompozitlerin üretiminde polimer olarak geri dönüşüm plastikler ve lignoselülozik malzemeler olarak ise orman endüstrisi atıkları ve tarımsal atıklardan elde edilen unlar kullanılabilir. Bu tip kompozit malzemeler kapı, pencere doğraması ve kamelya malzemesi gibi kullanım alanlarında değerlendirilebilmektedir. Bu malzemelerin avantajları arasında düşük yoğunluğa sahip olmaları, yüksek spesifik dirençlerinin olması ve kolay bulunabilmeleri sayılabilir. Tarımsal atıkların polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi üzerine yapılan

çalışmalarda kendir, kenevir, şeker kamışı, kapok vb. yıllık bitkiler kullanılmıştır (Chen vd., 1998; Vande ve Keiken, 2001). Buğday saplarının polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi üzerine çalışmalarda olumlu sonuçlar alınmıştır (Hornsby vd., 1997; Panthapulakkal vd., 2006; Mengeloğlu ve Karakuş, 2008).

1.1.2 Ahşap Plastik Kompozit Malzemenin Üretim Süreci

Ahşap plastik kompozit malzeme üretim yöntemlerini termoplastiklerle üretim, termosetlerle üretim ve ahşap-plastik karışımından levha üretimi şeklinde üç grupta toplayabiliriz. Termoplastik kompozitlerin imalatı çoğu kez iki aşamada gerçekleştirilir. Ham maddeler ilk olarak karıştırılır, bu işlem birleşim diye adlandırılır ve birleşmiş materyalden ürün biçimlendirilir. Birleşim için birçok seçenek mevcuttur, ya bölünerek kullanılır ya da sürekli karıştırılır. Birleştirilmiş materyal; sonraki işlem için aniden preslenebilir ya da son ürün biçimlendirilebilir (Süinanç, 2007).

Ahşap plastik kompozit malzeme üretim sürecinde; renk pigmentleri, bağlantı araçları, stabilizatörler (dayanıklılaştırıcılar), püskürtme araçları, destek araçları, köpürtme araçları, yağlayıcılar gibi elemanlar, son ürünün oluşması için, malzemenin hedef bölüme iletilmesine yardımcı olur. Malzeme, katı ya da içi boş profiller olarak, ya da kalıba enjekte edilerek şekillendirilebilir. Kullanılan organik birleşenlerin çeşitliliği ve farklı potansiyellere sahip olmaları dolayısıyla, ahşap plastik kompozit üretim prosesinde tek ve mutlak doğru olarak kabul edilen bir yöntem yoktur. Örneğin, bazı uygulamalarda termoplastik enjeksiyon kalıplama makinaları ve araçlarından faydalanılmaktadır (Klyosov, 2007).

1.1.3 Ahşap Plastik Kompozit Teknolojik Özellikleri

1.1.3.1 Ahşap Plastik Kompozit Fiziksel Özellikleri

APK'nın yoğunluğu masif ahşaba göre oldukça yüksektir. Rutubete maruz kaldığında mantarlara karşı direnç ve boyutsal stabilite açısından daha iyi özelliklere sahiptir. Yüksek ahşap içerikli kompozitler için bazı imalatçıların kullandığı katkı maddeleri, örneğin çinko borat mantarlara karşı dayanıklılığı iyileştirmektedir. Dolgu maddesi kullanılmamış plastik daha az su absorbe etme yeteneğine sahiptir. Buna rağmen birçok plastik ısıtıldığında

genleşir; ahşap ilave edildiğinde ise ısı genleşmesi azalır (Clemons, 2002).

Lignoselülozik bazlı katkı maddelerinin düşük yoğunluklu olması, kompozit özellikleri açısından otomotiv ve diğer taşıma uygulamalarında avantajlıdır. Üstelik benzer ağırlıktaki inorganik liflerin kullanımına göre; örneğin; plastik/cam liflerinden daha fazla lignoselülozik lif kullanılabilir. Tarımsal bazlı dolgu maddeleri alışlagelmiş dolgu maddelerinin yerine tamamen geçemez ama bu doğal malzeme plastik dolgu maddesi pazarında ileride söz sahibi olacaktır (Clemons, 2002).

Plastikler, lignoselülozik malzeme ile karıştırıldığında rutubet alma kabiliyeti, 24 saat su içerisinde kalması durumunda dahi % 1,5’u geçmemektedir. Bu değer ahşabın rutubet alma değerinden çok daha azdır. Lignoselülozik lifler % 200 ve daha yüksek oranda su absorbe edebilirler. Depolama şartlarına bağlı olarak selüloz lifleri % 2-12, pirinç % 8.5-9.5, pamuk lifleri ise % 17-25 arasında rutubet alır (Rowell vd., 1997).

APK’nın yüzey kalitesi su alma değerlerini önemli ölçüde etkiler, yüzey kalitesi iyi olan bir malzeme daha iyi su geçirmezlik özelliği gösterir (Soury vd., 2011). Odun unu tanecik büyüklüğü yüzey düzgünlüğünü etkilemektedir. Tanecik boyutu büyüdükçe yüzey pürüzlülüğü de artmaktadır.

1.1.3.2 Ahşap Plastik Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Kompozitlerin mekanik özelliklerinde dört ana faktör belirleyicidir. Bunlar bileşenlerin mekanik özellikleri, bileşenlerin karışım oranları, bileşenler arasındaki basınç transferi ve bileşenlerin uyumudur. WPC’nin; sağlamlık ve sertlik özellikleri karışımda kullanılan polimerin ve odun lifinin mekanik özelliklerine bağlı olmaktadır. Polimerlerin ve özellikle termoplastiklerin mekanik özellikleri genellikle, ahşap liflerine göre daha düşüktür (Groom vd., 1995).

APK’nın mekanik özelliklerini etkileyen faktörler (Kohler ve Kessler, 1999):

- 1) Bileşenlerin Mekanik Özellikleri
 - A) Lifler B) Polimerler
- 2) Kompozit Yapısı
 - A) Lif miktarı ve Lif yönlenmesi B) Lif geometrisi ve Homojenliği

3) Lif-matis adezyonu

A) Mekanik Özellikler

1-Spesifik ara yüzey2)Yüzey düzgünlüğü

B) Kimyasal Bağlar

1-Esas Bağlar (kovelent, iyonik)2-İkincil Bağlar (Van der Waals, Asit bazlı etkileşimler)

Son ürünün mekanik özellikleri; hammaddelerin ayrı ayrı özelliklerine ve iki ara yüzeyin sağlam olmasına bağlıdır. Genellikle, selülozik dolgu maddeleri termoplastiklere göre hayli yüksek elastikiyet modülüne sahip olmakta ve kompozitlerin çok yüksek sertlikte olmasına katkıda bulunmaktadır. Elastikiyet modülü; lif miktarı, lif yönü, liflerin birbirine etkisi ve lifle kalıp arasındaki adezyon gibi birçok faktöre bağlı olmaktadır. Lignoselülozik hammaddenin lif halinde eklenmesi direnç, uzama ve kertiksiz şok direnci gibi mekanik özellikleri arttırmaktadır. Bununla birlikte, üretimde karşılaşılan zorluklar nedeniyle lif halinde kullanımı sınırlıdır (Clemons, 2002).

Lignoselülozik dolgu maddeleri, ağırlık ve aşındırma göz önüne alındığında inorganik dolgu maddelerinden daha avantajlıdır. Lignoselülozik dolgu maddelerinin maksimum yoğunluğu 1.3– 1.4 g/cm³ olup diğer inorganik dolgu maddelerinden bir hayli düşüktür. Örneğin kalsiyum karbonat 2.9 g/cm³, cam lifleri 2.5 g/cm³'tür. Ek olarak yüksek dayanıklılık–ağırlık oranı bu kompozitleri otomotiv ve ambalaj uygulamalarında çekici hale getirmiştir. Bununla beraber lignoselülozik dolgu maddeleri, inorganik dolgu maddelerine göre işleme ekipmanlarını daha az aşındırmaktadır (English ve Falk, 1995).

1.1.3.3 Ahşap Plastik Kompozitlerin Özelliklerini Etkileyen Faktörler

APK, özellikle dış ortamlarda kullanımlar için çok iyi özellikler verebilmektedir. Ağaç malzemeler değişik işlemlerle muamele edilerek dış ortamlarda uzun ömürlü olarak kullanılabilirler. Ancak bunlardan bir kısmı insan ve çevre sağlığı açısından tehlike arz etmektedir. Oysa APK'lar bu anlamda tehlike arz etmemektedir. Buna bağlı olarak APK diğer birçok ahşap ve ahşap esaslı ürün pazarlarında olduğu gibi dış mekânlarda kullanılan ürün pazarlarında da yerini almaya başlamıştır. Ayrıca APK'lar sıcaklık ve rutubet değişiminden fazla etkilenmemekte, mantar ve böcek saldırılarına karşı daha dayanıklı olabilmektedir. Ahşap, plastikte dolgu maddesi olarak kullanılmakta ve birçok önemli

avantaj sağlamaktadır. Bunlara örnek olarak ürün fiyatını düşürmesi, mekanik özellikleri arttırması, termal genişmeyi azaltması ve kolay elde edilebilir olması verilebilir (Powell, 1997).

Selülozik lifler genel olarak polipropilen, polietilen, polisitren, polivinilklorür, poliamid gibi termoplastiklerle karışım halinde kullanılmaktadır. Genellikle, termoplastikler ve selülozik lifler birleştirildiğinde özellikleri iyileştirmek için dağılımı sağlayıcı maddelerin (dispersing agents) ve/veya birleştirici maddelerin (coupling agents) kullanılması gereklidir. Liflerin yüzeyine bu kimyasalların yerleşmesi lif ve matris arasındaki etkileşim kompozitin özelliklerini iyileştirmektedir. Kimyasallar ise üretim maliyetini arttırmaktadır. Genel olarak selülozik lifler termoplastiklere göre daha yüksek elastikiyet modülüne sahiptirler ve kompozitin daha yüksek sertliğe sahip olmasını sağlarlar. Kompozitin elastikiyet modülündeki artış; kullanılan lif miktarı, liflerin yönlendirilmesi, matristeki adezyon kuvveti ve etkileşim gibi faktörlere bağlıdır (Rowell vd., 1997).

Çalışmalar, plastiklerin maliyetini düşürmek ya da termoplastik tipi ürünlerin sertlik ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla ucuz dolgu malzemesi olarak ahşap materyalin plastik ürünlerde kullanılabileceğini göstermiştir. Bu araştırmaların sonucu, düşük değerli ahşap malzemenin kaynaklarını yüksek değerli ürünlere dönüştürmek amacıyla termoplastik ya da termoset reçineler ile birleştirilerek APK üretilebileceği anlaşılmıştır. APK üretiminde genel olarak %10-%70 oranında odun unu/lifi kullanılmaktadır. Bu da APK üretiminde kullanılmakta olan plastik oranının ve maliyetin azaltılmasını sağlamaktadır.

APK'nın su absorpsiyonu ve yoğunluğu kompozitin son kullanım yerini belirleyen önemli karakteristiklerdir. Su absorpsiyonu bazı özelliklerin azalmasına neden olur. Kompozitteki su absorpsiyonunu tamamıyla elimine etmek zordur. % 50 kenaf-PP kompozitinde 24 saatte su alma miktarı % 1.05 olarak tespit edilmiştir. Bu değer sentetik lifli kompozitlere göre çok yüksektir (Rowell vd., 1997).

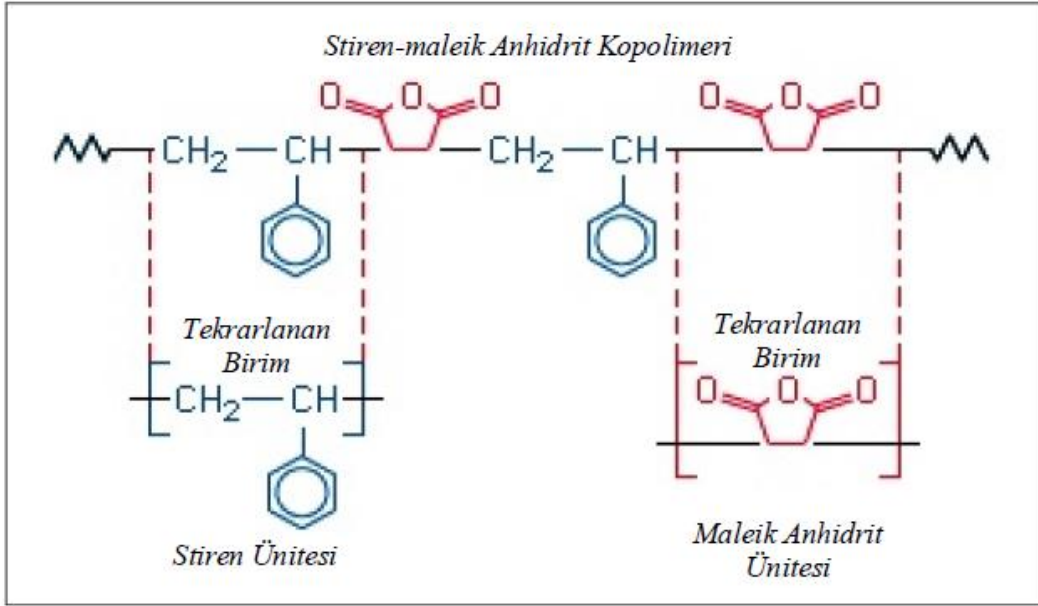
APK'da kullanılan parçacıklar tipik olarak liflerdir. Lif boyunun kalınlığa oranına narinlik oranı denir. Odun unu için bu oran 4:1 ile 3:1 arasındadır. Genellikle uzun lifler akış istikametinde yönlendirilir ve bu sayede daha iyi mekanik özellikler sağlarlar.

Tanecik büyüklüğü genellikle mesh olarak ifade edilir. APK için (30-80 mesh) 0.18-0.6 mm boyutlarındaki tanecikler kullanılır. 40 meshten büyük tanecikler kaba, 50 meshten daha küçük tanecikler ise çok ince olarak ifade edilir. Tanecik büyüklüğü APK malzemenin yüzey pürüzlülüğünü büyük oranda etkilemektedir.

Selüloz liflerinin yüzey alanı diğer mineral dolgu maddeleri ile karşılaştırıldığında çok büyük değildir. Mineral dolgu maddelerinin spesifik yüzey alanı $12 \text{ m}^2/\text{g}$ 'dır. Selüloz liflerinin ise $1 \text{ m}^2/\text{g}$ 'dır. Yapraklı ağaçlarda bu alan $1.01 \text{ m}^2/\text{g}$, iğne yapraklı ağaçlarda $1.34 \text{ m}^2/\text{g}$ 'dır (Rowell vd., 1997).

1.1.4 Mühendisleştirilmiş Termoplastik Kompozit (Köpüklendirilmiş Stiren Maleik Anhidrit- FOAMED SMA)

Stiren maleik anhidrit (SMA ya da SMAnh) amorf olan PVC gibi polimerlerin ısı yalıtma özelliklerini iyileştiren bir polimer olarak bilinmektedir. SMA çeşitli alaşım, karışım ve diğer plastiklerle kullanıldığında; termal performansı, yüzey polaritesini ve karışabilirliği iyileştirmek için, amorf termoplastik ve ko-polimerlerde ise uyumluluk sağlayıcı olarak kullanılabilir. Yüksek performanslı termoplastik polimer olarak uzun süredir kullanılan SMA, amorf ve kristalin termoplastiklerde fonksiyonel katkı maddesi ve uyumluluk sağlayıcı olarak, günümüzde çok yaygın kullanılmaktadır. SMA ko-polimeri, polar maleik anhidrit (sertlik, termal stabilite ve kimyasal reaktiviteyi önemli ölçüde etkilemektedir) ve polar olmayan stirenin (polimerin işleme zorluğunu azaltmaktadır) birleşmesiyle elde edilmektedir (URL-1, 2016). Şekil 2, SMA ko-polimerinin oluşum yapısını göstermektedir.



Şekil 2: SMA ko-polimerinin yapısı (Britanica, 2011).

Stiren, etil benzenin dehidrojenasyonu ile açık renkli bir sıvı olarak elde edilmektedir. Maleik anhidrit, benzen ya da bütenin oksidasyonu ile beyaz bir katı olarak elde edilmektedir. Bu iki monomerin serbest radikal indikatörlerle polimerize olması sağlanarak bir karışım prosesiyle karıştırılmasıyla termoplastik bir polimer elde edilmektedir. Bu şekilde elde edilen polimer, polimerik zincir boyunca iki farklı birimin tekrarlanmasıyla oluşur (Britanica, 2011). SMA'nın çeşitli karışımlarda kullanımları süresince sıcaklık değişimleri iyi kontrol edilmelidir. En iyi karışımları, çift vidalı ekstruder ile sağlanabilmektedir. Karışıma ilave edilen SMA miktarının düşük olduğu kompozitlerde tek vidalı ekstruder da kullanılabilir. Tipik ekstrüzyonda karışım şartlarında, besleme kısmının sıcaklığı 120°C ve optimum erime sıcaklığı için day sıcaklığı 220°C olmalıdır (Chow, 2003). Termoplastik bir polimer olan stiren maleik anhidrit'in bazı özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: SMA'nın bazı materyal özellikleri (Chow, 2003).

Özellik	Değer	Özellik	Değer
Yoğunluk (g.cm^{-3})	1.08	Su alma (%)	0.1
Yüzey sertliği	RL105	Yanıcılık UL94	HB
Çekme Direnci (MPa)	52	Malz. Kuruma Saati @ ($^{\circ}\text{C}$)	2@90
Elastikiyet Mod (GPa)	3	Erieme Sıcaklığı Aralığı ($^{\circ}\text{C}$)	230-270
Çentikli Şok (kJ.m^{-1})	0.03	Kalıp Şişme kalınlığı (%)	0;4
Lineer Genleşme ($^{\circ}\text{C}.10^{-5}$)	7	Kalıp sıcaklık aralığı ($^{\circ}\text{C}$)	50-70
Kopmada Uzama (%)	1.8	Maks. Proses Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	75
Sünmede Uzama (%)	2	Ses Direnci (logo ohm.cm)	15

Son zamanlarda odun ile desteklenmiş termoplastik ürünlerin kullanımının artması odun dolgularının işlenebilirliğinin kolaylığı ve düşük maliyetten dolayı araştırmacılar ve üreticiler tarafından oldukça dikkatleri çekmektedir. Dolgu desteklenmemiş plastiklere nazaran odun dolguları son ürün kompozitlerinin özelliklerini iyileştirme ve diğer özelliklerini güçlendirmektedir (Wolcott ve Englund, 1977).

Odun termoplastik kompozitleri, sentetik ve mineral dolgu termoplastikleri ile karşılaştırıldığında birçok işlem avantajlarına sahiptir. Kompozit ürünlerin yoğunluğu sentetik ve mineral termoplastiklerden daha az olmasına rağmen, odun lifleri sentetik liflerden daha az maliyette yeterli takviyeyi sağlamaktadır. Sentetik ve mineral termoplastiklerin kullanıldığında, makine aşınması ve üretim sürecindeki sıkıntı, odun liflerine nazaran daha fazla olduğu bilinmektedir. Üretim esnasındaki lif problemi, odun lifi kullanıldığında önemli ölçüde azalmaktadır (Wolcott ve Englund, 1977).

Stiren Maleik Anhidrit (SMA) ko-polimeri sadece otomobil endüstrisinde değil aynı zaman da mühendislik uygulamalarında kullanılan mühendisleştirilmiş termoplastik bir polimerdir. SMA'nın düşük molekül seviyeleri, uyumlaştırıcı, bağlayıcı ve ısıl stabilizatör olarak kullanılmaktadır.

1.1.5 Isıl İşlem Metodu

Isıl işlem, hücre çeperinin polimer bileşiklerinin kimyasal kompozisyonunda kalıcı değişmelerle sonuçlanan fiziksel bir işlemdir. Metodun temel fikri kimyasal reaksiyonların hızlandığı yaklaşık 150°C nin üzerindeki sıcaklıklarda ağaç malzemenin sıcaklık ile

muamele edilmesidir. Son 20 yılda çeşitli Avrupa araştırma grupları yalnız ısı, sıcak yağ, higrotermal (buhar, nem ve ısrının aynı anda etki ettiği koşul) ve hidrotermal (sıcak su ile elde edilen ısı enerjisinin kullanımı) esaslı ısı işlem metotları geliştirmişlerdir. Bu metotların arasındaki ana farklar; ağaç türü, yaş veya kuru olması, rutubet içeriği ve boyutlar gibi kullanılan materyale; bir veya iki işlem safhası, ıslak ve kuru işlem, ısıtma ortamı, koruyucu gaz olarak nitrojen kullanımı, ısıtma ve soğutma safhaları ve uygulama süresi gibi uygulanan işlem şartlarına ve ısı işlem kazanı ve fırını gibi ısı işlem uygulaması için gerekli ekipmanlara dayandırılmaktadır (Akkılıç vd., 2014).

Ağaç malzemenin ısıyla muamelesi eski çağlardan beri ahşap malzeme özelliklerinin değiştirilmesinde kullanılan bir kurutma yöntemidir. Günümüzde de ısıyla muamele aynı sebeplerden dolayı kullanılmaktadır (Aydemir vd., 2010). Isıl işlem bir termal modifikasyon yöntemi olarak ele alındığında, odunun 100–250°C’ler arasında normal atmosfer, azot gazı veya herhangi bir inert gaz ortamında belli bir süre bekletilmesi olarak tanımlanmaktadır. Ağaç malzemenin ısı işlemine tabi tutulması 3 amaca yönelik olarak uygulanmaktadır. Bunlardan birincisi ağaç malzemenin rutubet alışverişini azaltmak, yani ağaç malzemeye boyutsal stabilite kazandırmak, diğeri ağaç malzemenin tahrip edici organizmalara karşı biyolojik dayanıklılığını arttırmaktır. Bunun yanında ısı işlemle ağaç malzemede denge rutubeti miktarını düşürmek, permabiliteyi arttırmak, üst yüzey işlemlerinin performansını yükseltmekte mümkündür (Yıldız, 2002). Isıl işlem; ağaç malzemenin boyutsal kararlılığını arttırmak ve ağaç zararlılarına karşı dayanımını arttırmak amacıyla kimyasal madde kullanılarak emprenye yöntemine alternatif bir modifikasyon yöntemidir. Isıl işlemin ağaç malzemenin fiziksel özellikleri üzerindeki etkileri ilk olarak 1915 yılında Tiemann tarafından tespit edilmiştir (Hill, 2006). Ağaç malzemenin ısı işlem konusundaki ilk bilimsel çalışmaları 1930’lu yıllarda Almanya’da Stamm ve Hansen yapmıştır. Bu çalışmaları 1940’lı yıllarda Amerika’da White ve 1950’li yıllarda Almanya’da Bavendam, Rundel ve Buro’nun çalışmaları kayda geçmiştir. Kollman ve Schneider bu konudaki bulgularını 1960’lı yıllarda, Rusche ve Burmester 1970’li yıllarda yayınlamıştır. 1990’lı yıllarda Fransa ve Hollanda’da araştırmalar yapmış olmakla beraber en kapsamlı araştırma çalışmaları Finlandiya’da VTT (Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi) tarafından yapılmıştır (Mayes ve Oksanen, 2002).

Isıl işlem uygulamasında ticari gereksinimlerle farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler; Finlandiya’da ağaç malzemenin ısıtılmasında buhar kullanılan Thermowood

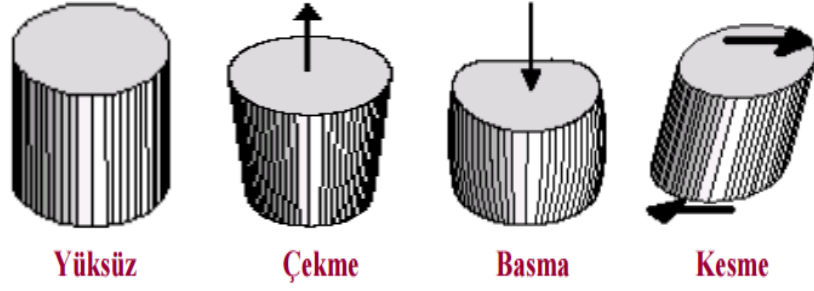
yöntemi, Hollanda'da buhar ve sıcak havanın birlikte kullanıldığı Plato yöntemi, Fransa'da inert gaz kullanılan Rectification yöntemi ve Almanya'da sıcak yağ kullanılan OHT yöntemleridir (Özçifçi vd., 2009). Isıl işlem ağaç malzemenin moleküler yapısının değişmeye yol açtığından bazı noktalarda performansını arttırmaktadır. Isıl işlem uygulaması ile artan nitelikler; mantar ve böceklere karşı biyolojik dayanıklılık, düşük denge rutubet içeriği, daralma ve genişlemedeki azalmaya bağlı olarak artan boyutsal kararlılık, artan termal izolasyon kabiliyeti, boya adhezyonu, dış hava şartlarına dayanıklılıkta artma, dekoratif renk çeşitliliği ve kullanım süresini arttırmaktadır. Bununla birlikte düşük kaliteli ağaç türlerine yeni pazar imkânı sunarak bunların daha kaliteli türlere karşı rekabet gücünü arttırmakta ve sürdürülebilir orman kaynaklarını öne çıkarmaktadır. Isıl işlem uygulaması ayrıca kompozit malzemelerde liflere ve kaplamalara; dayanıklılıkta artma, kullanım süresinde artma, ekonomik değerini artırma ve güvenilirlik gibi özellikler kazandırmaktadır. Strüktürdeki tüm bu değişimler insan ve çevre sağlığına zararlı kimyasallar kullanılmadan elde edildiğinden ısıl işlem uygulaması empenyeye ekolojik bir alternatif olarak görülmektedir (Wikberg, 2004; Enjily ve Jones, 2006).

1.1.6 Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) ile Sayısal Çözümleme

FEM'in kullanılması her türlü mühendislik alanında yaygınlaşmaktadır. FEM geçmişte tasarımın onaylanmasında kullanılmasına rağmen günümüzde tasarım aşamasının bir ögesi haline gelmiştir. FEM deki temel fikir sürekli bir sistemi sonlu sayıda elemana ayırmaktır. Her elemanın davranışı gerilim veya deformasyon fonksiyonları ile belirlenir. Elemanlar birbirlerine düğüm noktalarında bağlıdırlar. Elemanların ve düğüm noktalarının kombinasyonu sonlu elemanlar ağı olarak tanımlanır (Güntekin, 2004).

FEM, karmaşık geometriye sahip sistemlerin statik ve dinamik analizlerinin yaklaşık çözümlerinin yapılmasını sağlayan bir yöntem olarak, günümüzde çok yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Zienkiewicz ve Taylor, 1989).

Bir malzemeye yük uygulandığında malzeme üzerinde çeşitli yönlerde ve çeşitli şekillerde iç kuvvetler oluşur. Malzeme bu iç kuvvetler tesiri altında ancak deformasyona uğratılır. Şekil 3'te deformasyona neden olan yüklerin bazıları aşağıda örnekleri ile malzeme üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3: Deformasyona neden olan bazı yükler (URL-2, 2015).

Deformasyon ölçmelerinin amacı; ya gerçek bir sorunun belirlenmesi ya da bir tehlikenin ortaya çıkarılması amacıyla yapılır. Bu sorun veya tehlike zamanında belirlenip gerekli önlemler alınırsa deformasyon ölçmeleri amacına ulaşmış olacaktır (Doğanalp, 2003).

Sonlu Elemanlar Metodu (SEM), mühendislikte malzemelerin veya sistemlerin dış etkenlere (kuvvet, ısı, elektrik, vb.) karşı davranışlarının analizinde kullanılan nümerik bir yöntemdir. SEM yapısal statik hesaplamalarda rijitlik matrisi $[K]$ ile deformasyonlar vektörü $\{u\}$, kuvvetler vektörü $\{F\}$ eşitlenmesi ile kurulan matematik modelin nümerik çözümünü içerir. FEM'i kullanan çok sayıda bilgisayar programı mevcuttur; ALGOR™, COSMOS/M™, NASTRAN™, ADINA™, ve ANSYS™ bunlara örnek olarak verilebilir. Bu programlar genel amaçlı olup, yapılan yapısal analizlerde homojen ve izotropik (anizotropik) ve non lineer analizler yapılabilir (Güntekin, 2004).

Sonlu elemanlar metodunda çok serbestlik dereceli sistemler için;

$$\{F\} = [K]\{U\} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de gösterilmektedir. Burada;

$\{F\}$ = Kuvvet vektörü

$[K]$ = Rijitlik matrisi

$\{U\}$ = Yerdeğiştirme vektörü'dür.

Bu durumda, her bir eleman için 2 boyutlu Global eksen takımındaki k rijitlik matrisi Şekil 4'te verildiği gibidir.

$$[K] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} c^2 + 12 \frac{EI_x}{L^3} s^2 & \frac{EA}{L} cs - 12 \frac{EI_x}{L^3} cs & -6 \frac{EI_x}{L^2} s & -\frac{EA}{L} c^2 - 12 \frac{EI_x}{L^3} s^2 & -\frac{EA}{L} cs + 12 \frac{EI_x}{L^3} cs & -6 \frac{EI_x}{L^2} s \\ \frac{EA}{L} cs - 12 \frac{EI_x}{L^3} cs & \frac{EA}{L} s^2 + 12 \frac{EI_x}{L^3} c^2 & 6 \frac{EI_x}{L^2} c & -\frac{EA}{L} cs + 12 \frac{EI_x}{L^3} cs & -\frac{EA}{L} s^2 - 12 \frac{EI_x}{L^3} c^2 & 6 \frac{EI_x}{L^2} c \\ -6 \frac{EI_x}{L^2} s & 6 \frac{EI_x}{L^2} c & 4 \frac{EI_x}{L} & 6 \frac{EI_x}{L^2} s & -6 \frac{EI_x}{L^2} c & 2 \frac{EI_x}{L} \\ -\frac{EA}{L} c^2 - 12 \frac{EI_x}{L^3} s^2 & -\frac{EA}{L} cs + 12 \frac{EI_x}{L^3} cs & 6 \frac{EI_x}{L^2} s & \frac{EA}{L} c^2 + 12 \frac{EI_x}{L^3} s^2 & \frac{EA}{L} cs - 12 \frac{EI_x}{L^3} cs & 6 \frac{EI_x}{L^2} s \\ -\frac{EA}{L} cs + 12 \frac{EI_x}{L^3} cs & -\frac{EA}{L} s^2 - 12 \frac{EI_x}{L^3} c^2 & -6 \frac{EI_x}{L^2} c & \frac{EA}{L} cs - 12 \frac{EI_x}{L^3} cs & \frac{EA}{L} s^2 + 12 \frac{EI_x}{L^3} c^2 & -6 \frac{EI_x}{L^2} c \\ -6 \frac{EI_x}{L^2} s & 6 \frac{EI_x}{L^2} c & 2 \frac{EI_x}{L} & 6 \frac{EI_x}{L^2} s & -6 \frac{EI_x}{L^2} c & 4 \frac{EI_x}{L} \end{bmatrix}$$

Şekil 4: Global eksen takımında X-Y düzleminde kiriş eleman için rijitlik matrisi.

Burada c ve s çubuk elemanın yerel eksen takımında başlangıç eksenleriyle yapmış olduğu açının sırasıyla cosinüs ve sinüsü temsil etmektedir. I_x ; kesit atalet momenti, E ; elastikiyet modülü ve A ; kesit alanını temsil etmektedir.

Malzemeye kuvvet uygulandığında, malzemede meydana gelen uzamalar elastik sınırlar içinde gerilmelerle orantılıdır. Buna “Hooke Kanunu” adı verilmektedir. Elastikiyet modülü malzemeye ait karakteristik bir özelliktir. Eşitlik 2 yardımıyla elastikiyet modülü hesaplanır.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2)$$

Burada;

E = Elastikiyet Modülü (GPa)

σ = Gerilme (MPa)

ε = Birim şekil değiştirme olarak ifade edilmektedir.

Malzemeye yük uygulandığı zaman meydana gelen boy değişimine uzama (deformasyon) denir ve Eşitlik 3 yardımıyla elde edilir.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (3)$$

Burada;

ΔL = Kuvvet uygulandıktan sonra meydana gelen uzama

L = Mesnet arası mesafe

Eğilmeye maruz bir kirişte gerilme ifadesi Eşitlik 4'te verildiği gibidir.

$$\sigma_{(z)} = \frac{M}{I_x} y_{(z)} \quad (4)$$

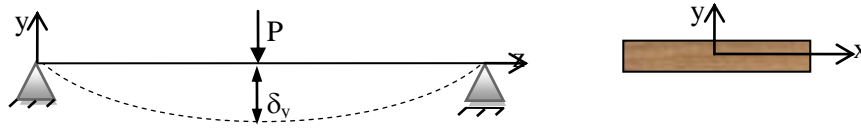
Burada;

M = çubuğun herhangi bir mesafesindeki eğilme momenti

$y_{(z)}$ = kesit üzerinde tarafsız eksene olan mesafe

$\sigma_{(z)}$ = kesit yüksekliği boyunca normal gerilme olarak ifade edilmiştir.

Şekil 5'de gösterilen 3 noktalı eğilme testine maruz bir kirişin herhangi bir z mesafesindeki düşey deformasyonu (yer değiştirmesi) Eşitlik 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5: 3 noktalı eğilme testine maruz kalan kiriş örneği.

$$\delta y = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (5)$$

Şekil 5: 3 noktalı eğilme testine maruz kalan kiriş örneği.

Burada;

δy = Düşey deformasyon,

P = Uygulanan Maksimum Kuvvettir (N).

Eğer aynı kiriş yalnızca z ekseni doğrultusunda (çubuğun birinci lokal ekseni) bir kuvvete (çekme ya da basınç) maruz tutulursa Eşitlik 6'da verildiği gibi çubuk ve kesit yüksekliği boyunca sabit bir σ_0 gerilmesi oluşur.

$$\sigma_{(z)} = \sigma_0 = \frac{P}{A} \quad (6)$$

eşitliği verilmektedir.

Deneysel olarak elde edilen sonuçların doğruluğunun sayısal modelleme teknikleri dikkate alınarak kontrol edilmesinde fayda vardır. Bu amaçla çalışmada, SAP2000 V17 sonlu elemanlar yazılımı yardımıyla deneysel veriler dikkate alınarak sayısal çözümler yapılmıştır. Ayrıca, bu sonuçlar da açık halde verilmiş olan eşitliklerden elde edilecek

sonuçlarla kıyaslanacaktır. Lineer elastik ve izotrop malzeme kabulüne göre, yapılacak olan bu czmlmelerin birbiriyle uyumlu olması beklenmektedir.

1.2 Literatür Araştırması

1.2.1 Ahşap Plastik Kompozitler (APK) ile ilgili Calışmalar

İki veya daha fazla sayıdaki aynı ya da farklı gruptaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak veya ortaya yeni bir özellik cıkarmak amacıyla, bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelere kompozit malzeme denir. Başka bir deyişle, birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemeler olarak da adlandırılabilir (Mengelolu ve Karakus, 2008).

Kompozit malzemelerin genellikle dört ana özelliğe sahip olmaları gerekmektedir. Bunlar;

- İnsan yapısı olması dolayısıyla doğal bir malzeme olmaması,
- Kimyasal bileşimleri birbirinden farklı ve belirli ara yüzeyler ile ayrılmış en az iki malzemenin bir araya getirilmiş olması,
- Farklı malzemelerin c boyutlu olarak bir araya getirilmiş olması,
- Bileşenlerinin her birinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşıması amacıyla üretilmiş olması (Broutman ve Krock, 1967).

APK lignoselülozik malzeme ile plastiklerin karıştırılması sonucunda oluşan kompozitlere verilen genel bir isimdir. Odun unlarının termoplastik esaslı polimerler polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinilklorür (PVC), polisitren (PS) gibi ile karıştırılmasıyla oluşan kompozit levhalara termoplastik esaslı kompozit malzemeler denilmektedir. Termoplastik esaslı kompozit üretiminde farklı türde ağaçlardan elde edilen unlar ya da lifler ile PE, PP, PVC ve PS gibi plastikler kullanılabilir. Bu termoplastikler, lignoselülozik yapıya sahip olan materyallerin bozunmasını önlemek için daha düşük sıcaklıklarda (150–220°C) retilbildiklerinden dolayı tercih edilmektedir (Matuana ve Heiden, 2004).

APK, yeni bir materyal grubudur. APK, polipropilen (PP)'den polivinilklorür (PVC)'e kadar değişen polimer matris tipleri ve odun unundan ketene kadar değişen dolgu

maddeleri kullanılarak üretilen ve çok farklı şekillerde olabilen kompozit materyaller olarak tanımlanabilir. Bu yeni materyaller, geleneksel ahşap kökenli levhaların (yongalevha, kontrplak, liflevha, OSB, LVL vb.) güncel konseptini, yeni alanlarda genişletmekte ve daha önemlisi yüksek performanslı yeni bir ürün jenerasyonu meydana getirmektedir (Tangram, 2002).

APK terimi; herhangi biçimdeki ahşap ve termoset ya da termoplastikleri içeren kompozitleri ifade eder. Bunlardan termoset plastikler sertleştiğinde, tekrar ısıtılması ile birlikte yumuşamaz. Örnek olarak; epoksi ve fenolik reçineler verilebilir. Bu plastikler orman ürünleri endüstrisinde iyi bilinmektedir. Termoplastikler ısıtıldığında tekrar tekrar yumuşayabilir. Örnek olarak polietilen (PE) ve polivinilklorür (PVC) verilebilir. Termoplastikler; birçok değişik ticari ürünlerde örneğin; süt kutusu, poşet ve dış cephe kaplaması olarak kullanılmaktadır (Clemons, 2002).

Plastik endüstrilerinin perspektifi son yıllarda etkileyici bir biçimde değişmiştir. Bazı APK ürünlerinin başarısıyla ahşabın iyi anlaşılması, ekipman imalatçılarının gelişmesiyle, ek satıcılarla ve yeni pazarlara girme fırsatıyla, özellikle yapı uygulama sektöründe büyük ses getirmesiyle bu alandaki ilgi artmıştır. Orman ürünleri endüstrisi kendi perspektifini de değiştirmektedir. Bazı orman ürünleri şirketleri APK kerestelerin imaline başlamış ve bir kısmı ise bu ürünlerin dağıtımını yapmaktadır (Clemons, 2002).

Katz ve Milewski (1987), dolgu maddelerinin %75'e kadar kullanımının gelecekte yaygın olabileceğini ve bu durumun da petrol bazlı plastiklerin kullanımının azalmasına çok büyük bir etki yapacağını belirtmiştir. Eğer dolgu maddelerinin önemli bir miktarı yenilenebilir zirai kaynaklardan elde edilirse, bu özellikle hem çevre hem de sosyoekonomik açıdan faydalı olabilir (Rowell vd., 1997).

Doğal liflerden APK üretiminde genellikle bitki lifleri kullanılmaktadır. Bitki lifleri sentetik liflere göre özgül ağırlığının, fiyatının ve işleme sırasındaki enerji sarfiyatının düşük olması, yenilenebilir ve biyolojik olarak bozunabilir olması, aşındırıcı olmaması gibi avantajlara sahiptir (Ray ve Rout, 2005). Tablo 2'de APK'nın, plastik ve ahşaba göre önemli özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 2: APK'nın plastik ve ahşap ile karşılaştırılması.

ÖZELLİKLER	PLASTİK	AHŞAP	APK
Doğal ahşap görünümü	√	√√√√	√√√
Neme dayanıklılık	√√√	√	√√√
Su emmeye karşı dayanıklılık	√√√√	√	√√
Kolay işlenebilirlik	√	√√√√	√√√√
Güneş ışığı ve yaşlanmaya karşı dayanıklılık	√√	√	√√√
Bakım kolaylığı	√√	√	√√√
Çivilenme kabiliyeti	√	√√√	√√
Düşük genleşme oranı	√	√√√	√√√

√: kötü √√: orta √√√: iyi √√√√: çok iyi

APK'ların avantaj ve dezavantajları aşağıda verilmiştir.

APK'nın Avantajları;

- Odun lifinin plastik karışım içerisinde kullanılmasıyla maliyet büyük oranda düşmektedir. Daha az petrol türevleri kullanılmasından dolayı karbon salınımını azdır.
- Kolay işlem görmekte, ahşap gibi kolay işlenebilmektedir.
- Üretimini kolay ve kısa olmasından dolayı çıktıyı almak daha kolaydır.
- Arzu edilen şekil özelliklerine bağlı olarak kalıplar yardımı ile istenilen her şekilde profil üretilebilir.
- Çeşitli tipteki boyar maddeler ve desen kalıpları ile yeni yüzeyler ve güzel görünümler elde edilebilir.
- Rutubete karşı boyutsal stabilizasyonu ahşap malzemeye göre çok iyidir.
- Mineral dolgu maddeleriyle karşılaştırıldığında daha düşük yoğunluğa sahiptir.
- Atık plastik ve ahşap malzemelerin kullanılabilmesinden dolayı çevreci ve geri dönüşüme etkisi büyüktür.
- Mantar ve böcek gibi zararlılara karşı dayanıklılığı yüksektir.

APK'nın Dezavantajları:

- Kullanılan ahşap malzemenin heterojen bir yapıya sahip ve üretim sıcaklığının yüksek olmasından dolayı ahşap malzemede meydana gelen değişiklikler nedeniyle renk farklılıklarının oluşması.
- APK üretiminde çalışabilecek ve üretim prosesindeki değişikliklerin sebebini çözebilecek her iki sektörü de bilen kalifiye eleman ihtiyacı.
- İki farklı yapıdaki, hidrofilik ve hidrofobik malzemenin üretimi süresince ortaya çıkan uyumlaştırma sorunları.
- Lignoselülozik hammaddenin depolanması sırasında çıkabilecek böcek mantar vb. kaynaklı bozunmalar.
- Tarımsal atıklarda fazlaca bulunan silikadan dolayı üretim makinalarında sebep oldukları aşınma.

1.2.1.1 Ahşap Plastik Kompozitin Teknolojik Özellikleri

Plastikler, lignoselülozik malzeme ile karıştırıldığında rutubet alma kabiliyeti, 24 saat su içerisinde kalması durumunda dahi %1.5'u geçmemektedir. Bu değer ahşabın rutubet alma değerinden çok daha azdır. Lignoselülozik lifler % 200 ve daha yüksek oranda su absorbe edebilirler. Depolama şartlarına bağlı olarak selüloz lifleri %2-12, pirinç %8.5-9.5, pamuk lifleri ise %17-25 arasında rutubet alır (Rowell vd., 1997).

APK'nın yoğunluğu masif ahşaba göre oldukça yüksektir. Rutubete maruz kaldığında mantarlara karşı direnç ve boyutsal stabilite açısından daha iyi özelliklere sahiptir. Yüksek ahşap içerikli kompozitler için bazı imalatçıların kullandığı katkı maddeleri, örneğin çinko borat mantarlara karşı dayanıklılığı iyileştirmektedir. Dolgu maddesi kullanılmamış plastik daha az su absorbe etme yeteneğine sahiptir. Buna rağmen birçok plastik ısıtıldığında genleşir; ahşap ilave edildiğinde ise ısı genleşmesi azalır (Clemons, 2002). Lignoselülozik bazlı katkı maddelerinin düşük yoğunluklu olması, kompozit özellikleri açısından otomotiv ve diğer taşıma uygulamalarında avantajlıdır. Üstelik benzer ağırlıktaki inorganik liflerin kullanımına göre; örneğin; plastik/cam liflerinden daha fazla lignoselülozik lif kullanılabilir. Tarımsal bazlı dolgu maddeleri alışlagelmiş dolgu maddelerinin yerine tamamen geçemez ama bu doğal malzeme plastik dolgu maddesi pazarında ileride söz sahibi olacaktır (Clemons, 2002).

Son ürünün mekanik özellikleri; hammaddelerin ayrı ayrı özelliklerine ve iki ara yüzeyin sağlam olmasına bağlıdır. Genellikle, selülozik dolgu maddeleri termoplastiklere göre hayli yüksek elastikiyet modülüne sahip olmakta ve kompozitlerin çok yüksek sertlikte olmasına katkıda bulunmaktadır. Elastikiyet modülü; lif miktarı, lif yönü, liflerin birbirine etkisi ve lifle kalıp arasındaki adezyon gibi birçok faktöre bağlı olmaktadır. Lignoselülozik hammaddenin lif halinde eklenmesi direnç, uzama ve kertiksiz şok direnci gibi mekanik özellikleri arttırmaktadır. Bununla birlikte, üretimde karşılaşılan zorluklar nedeniyle lif halinde kullanımı sınırlıdır (Clemons, 2002).

Lignoselülozik dolgu maddeleri, ağırlık ve aşındırma göz önüne alındığında inorganik dolgu maddelerinden daha avantajlıdır. Lignoselülozik dolgu maddelerinin maksimum yoğunluğu 1.3– 1.4 g/cm³ olup diğer inorganik dolgu maddelerinden bir hayli düşüktür. Örneğin kalsiyum karbonat 2.9 g/cm³, cam lifleri 2.5 g/cm³'tür. Ek olarak yüksek dayanıklılık–ağırlık oranı bu kompozitleri otomotiv ve ambalaj uygulamalarında çekici hale getirmiştir. Bununla beraber lignoselülozik dolgu maddeleri, inorganik dolgu maddelerine göre işleme ekipmanlarını daha az aşındırmaktadır (English ve Falk, 1995).

Ağaç türlerinin kompozitlerin özellikleri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Ladin ve çam türleri daha iyi mekanik özellikler, termal stabilite ve su alma özelliği gösterir. Kayın kompozit biyodegradasyon açısından çok duyarlı bulunmuştur. Ayrıca, odun unu parçacık boyutunun kompozitlerin özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. Parçacık boyutu aşağı düşükçe çekme direnci, su alma oranı, ısıl kararlılık ve kompozit malzemelerin bozunma dayanımını artırdığı görülür, ancak elastikiyet modülü, kırılma noktası ve uzama modülü üzerinde belirgin bir etkisi vardır (Agnantopoulou vd., 2009). Ahşap malzemenin önemli özelliklerinden biri zamana bağlı olarak, formunu yitirmeden yük taşıyabilme kapasitesi olan sünmedir. APK; alışılagelmiş ahşap ürünleriyle karşılaştırıldığında düşük sünme direnci göstermektedir. Yapısal uygulamalarda yük taşıma kapasitesi sınırlı kalmaktadır. APK ürünlerin sünme performansının saptanması için çeşitli araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır (English ve Falk, 1995). Dış ortam koşulları altında ışık stabilitesi, önemli bir araştırma alanıdır. Çoğu APK ürünü zamanla renk açılmasına eğilimlidir. Bazı üreticiler renk değişikliğini daha az fark edilebilir yapmak için gri pigment eklemektedir. Diğer üreticiler ise APK ürünlerinin üzerine UV stabilitesine sahip olan bir plastik tabaka ile ko-ekstrüde işleme uygulamaktadırlar (Akbulut, 2009).

Ahşap esmer çürüklük mantarlarına maruz kaldığında, üç bileşen içerisinde en fazla zararı karbonhidrat bileşenleri (hemiselüloz ve selüloz) görmekte, ligninde meydana gelen bozunum sınırlı kalmaktadır. Diğer yandan beyaz çürüklük mantarına maruz kalan odunda tüm hücre çeperi bileşenleri zarar görse de hemiselüloz ve lignin de bu daha büyük boyutta olmaktadır. Nem durumu malzemede biyolojik çürüme için bir ön koşuldur. APK'da nem çıkışı nispeten yavaş meydana gelmesine rağmen, nem düzeyi mantar saldırısı için yeterli olduğu görülmüştür. Kompozit içindeki lif oranının artması, mantar zararından dolayı kompozitin ağırlık kaybının artmasına sebep olmuştur (Akbulut, 2009).

Ahşabın çürümesine yol açan farklı tipte mantar türleri bilinmektedir ve bunların başlıcaları beyaz, esmer ve yumuşak çürüklük mantarlarıdır. Bu mantarların odunda meydana getirdiği tahribatın etkisi, odunda meydana getirdikleri ağırlık kaybı değerleri ile ölçülmektedir. Son zamanlarda odunun kimyasal yapısında meydana gelen değişikliği belirlemek amacıyla FT-IR analizi de yapılmaktadır (Faix vd., 1991). FTIR spektroskopisi çürüklük mantarına maruz kalmış odunda meydana gelen kimyasal değişimlerin tespit edilmesinde oldukça kullanışlı bir tekniktir (Schultz vd., 1985). Termoplastiklerin sıcaklık değişiminin lineer dağılımı, nem değişimine oldukça hassastır. Termoplastiklerdeki odun ilavesi termik lineer dağılımını önemli derecede düşürmektedir. Buna rağmen; APK'nın odun liflerine nazaran termik duyarlılığı oldukça hassastır (English ve Falk,1995). WPC malzemenin yanma performansı birçok yapı materyalinden farklıdır yanabildiği gibi eriyebilmektedir ve yanma dayanımı testinin yapımı güç olmaktadır. Yanma stabilitesi önemle araştırılmalıdır (Clemons, 2002).

APK, yapısal performans ve etkili tasarım ile birlikte oldukça iyi inşa edilmiştir. Ektrüzyon teknolojisiyle lisans sahiplerinin amacı, APK imalatçıları için çatı keresteleri ve duvar kaplamalarını ahşaba göre daha ucuz hale getirmektir. Diğer stratejiler, APK'nın yapısal performansını iyileştirmek kapsamında odun yerine diğer doğal liflerin kullanımı, cam kombinesi ya da odun lifleri ile birlikte karbon lifleri ve küçük miktarlarda eklenen termosetler yer almaktadır (Şekil 6).

olduğu yük taşıyıcı yapı elemanlarında, yüksek sıcaklıkta ve uzun süre ısıtıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin kullanımı uygun olmayabilir. Ancak herhangi bir kimyasal kullanılmadan hacimsel genişlemenin yaklaşık %50 düşürülebilmesi, ısıtıl işlem uygulanmış Sarıçamın özellikle boyutsal kararlılığın etkili olduğu rutubetli ortamlarda tercih edilebileceğini belirtmişlerdir. Korkut (2009), çalışmasında ülkemizde doğal olarak yetişen yapraklı kayacık odununun bazı mekanik özellikleri üzerine 120°C, 150°C, 180°C sıcaklık değerlerinde ve 2, 6, 10 saat sürelerde uygulanan ısıtıl işlemin etkisini incelemiştir. Mekanik özelliklerden liflere paralel çekme direnci, kesme direnci ve yarıma direnç değerleri tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda; ısıtıl işlem sıcaklık ve süresi arttıkça mekanik özelliklerinin %95 güven düzeyinde düşme olduğu gözlemlenmiştir.

Aydemir vd. (2010), şimdiye kadar çok fazla üzerinde durulmamış bir konu olan aynı cinsin farklı türlerinde ısı muamelesinin nasıl bir etki meydana getirdiği araştırılmıştır. Bunun için kavak odununun farklı türleri olan, Titrek kavak ve Akkavak odunları yüksek sıcaklıklarla muamelesi süresince eğilme ve elastikiyet modüllerinde nasıl bir değişim meydana geldiğini araştırmışlardır. Bu işlemi 180°C ve 4 farklı zamanda (2, 4, 6 ve 8 saat) deney örnekleri üzerinde uygulamışlardır. Yapılan analizler sonucunda Titrek kavak odunlarının Akkavak odunlarına göre hem eğilme direnci hem de elastikiyet modülleri bakımından daha düşük kayıplar verdiğini gözlemlenmişlerdir.

Güler (2010), dişbudak, Anadolu keşanesi, limba ve irokodan oluşan dört odun türüne iki farklı sıcaklık (150°C ve 180°C) ve iki farklı süre (3 ve 6 saat) olmak üzere toplam dört varyasyonda gerçekleştirilen ısıtıl işlem uygulaması sonrasında; selülozik vernik, sentetik vernik, poliüretan vernik ve su bazlı dört tür vernik uygulanmasıyla vernik film katmanlarına ilişkin yüzey pürüzlülüğü, parlaklık ve renk farkı gibi performans özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak test örnekleri hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda; dekorasyon ve yapı elemanı olarak kullanılan ağaç malzemenin ısıtıl işlem uygulaması sonrasında, selülozik ve sentetik verniklerde yüzey pürüzlülüğü ısıtıl işlem sıcaklık ve süreye bağlı olarak tüm ağaç türlerinde arttığı; poliüretan ve su bazlı verniklerde ise, yüzey pürüzlülüğü ısıtıl işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak tüm ağaç türlerinde azaldığı belirtilmiştir. Parlaklık değerlerinin ise, ısıtıl işlem sıcaklık ve süreye bağlı olarak tüm ağaç ve vernik türlerinde azaldığı görülmüştür.

Doruk vd. (2010), Türkiye’de geniş yetiştirme alanlarına sahip karaçam ve dişbudak

odunlarının fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısı işlemin etkisini araştırmışlardır. Sonuçlara göre, ısı işlem uygulaması ağaç malzemenin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinde düşümlere neden olduğu belirlenmiştir. Isıl işleme bağlı olarak en fazla etkilenen eğilme direnci olduğunu ve bununla beraber ısı işlem sonucunda ağaç malzeme renginin koyulaştığını bildirmişlerdir.

Sefil (2010), çalışmasında ısı işlem uygulanan Doğu kayını ve Uludağ göknarı odunlarının fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu iki ağaç türünden beş farklı sıcaklıkta (170, 180, 190, 200 ve 212°C) ve 2 saat süreyle ısı işlem uygulanan deney örnekleri hazırlanmıştır. Sonuç olarak; sıcaklığa bağlı olarak ağırlık kaybı artmıştır. Isıl işlem uygulamasının deney örneklerinde fiziksel özellikler üzerindeki etkisinin genel olarak olumlu yönde olduğu gözlenmiştir. Isıl işlem sıcaklığının artmasıyla birlikte denge rutubet miktarı azalmış, boyutsal stabilizasyon önemli oranda artmış, odunların ısı yalıtkanlık değerleri artmış, toplam renk homojen bir şekilde koyulaşmıştır. Mekanik özelliklerden eğilme direncinde ısı işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak düşüş gözlenmiş, elastikiyet modülünde çok az bir artış gözlenmiş ve liflere paralel basınç direnci artış göstermiştir. Ayrıca ısı işlem sıcaklığının odun türleri üzerine etkisi incelendiğinde kayın odunu özelliklerinin göknar odunu özelliklerine göre daha yüksek oranlarda değişim gösterdiği belirtilmiştir.

Karabulut (2010), çalışmasında ısı işlem ve fümigasyon yapma yetkisine sahip işletmelerden basit tesadüfi örnekleme yöntemi ile 161 tanesine ulaşılmış ve yüz yüze 23 maddelik anket uygulanmıştır. Bu sorularla Türkiye’de ısı işlem hacmi, ithalat ve ihracat boyutu, 2008 dünya ekonomik krizinin ısı işlem üzerine etkisi, kullanılan enerji türü ile karşılaşılan tüm sorunlar istatistikî olarak değerlendirilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Çalıova (2011), ısı işlem uygulanan Doğu ladini ve Sakallı kızılbaş odunlarının fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Bu iki ağaç türünden hazırlanan deney örnekleri 190°C, 205°C ve 212°C sıcaklıklarda ve iki saat süreyle ısı işleme tabi tutulmuştur. Sonuç olarak; ısı işlem uygulamasının fiziksel özellikler üzerindeki etkisinin genel olarak olumlu yönde olduğu gözlenmiştir. Isıl işlem sıcaklığının artmasıyla birlikte denge rutubet miktarı azalmış, boyutsal stabilizasyon önemli oranda artmış, odunların ısı yalıtkanlık değerleri artmış, renk homojen bir şekilde koyulaşmıştır. Mekanik özelliklerden, eğilme direncinde ısı işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak düşüş gözlenmiş, elastikiyet modülünde

önce çok az bir artış sonra azalma gözlenmiş ve liflere paralel basınç direnci ise artış gösterdiği gözlenmiştir.

Zor (2011), karaçam, Sibiryaya çamı, Doğu ladini, iroko ve dişbudak ağaç malzemelerinde ısıtma işlem uygulamasının T-tipi lamba zıvana ayak-kayıt birleştirmelerinin mekanik özelliklerini test etmiştir. Isıtma işlemiyle ağaç türlerinde elastikiyet modüllerini düşürerek, elastiklik (esneme) özelliklerini arttırdığı görülmektedir. Çekme direncinde, ısıtma işlem örneklerinin, kontrol örneklerine göre %16 oranında daha düşük çekme direnci değeri verdiği ortaya çıkmıştır. Isıtma işlem uygulanmış ağaç malzemelerde en düşük kütle kaybını %5 oranı ile Doğu ladini türü, en düşük yoğunluk kaybını %7 oranı ile dişbudak türü göstermiştir. Sonuç olarak, ısıtma işlem görmüş ağaç malzeme birleşim yerindeki mukavemetin, birleştirme tipine ve ağaç türünün anatomik özelliklerine bağlı olduğu belirtilmiştir.

Can (2011), çalışmasında Doğu ladini, karaçam, Doğu kayını ve kavak odunlarını ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve işlem sonrasında odun özellikleri üzerinde meydana gelen bazı fiziksel, mekanik ve biyolojik değişiklikleri incelemiştir. Çalışma sonucu olarak; emprenye işleminin fiziksel özellikler üzerindeki etkisi olumsuz bulunmuştur. Emprenye işlemi uygulanan iğne yapraklı ağaç türlerinin ısıtma işlemi sonrası pH değerleri azalırken yapraklı ağaç türlerinin pH değerlerinde artış gözlenmiştir. Artan ısıtma işlem sıcaklığına paralel olarak vida tutma, eğilme ve liflere paralel basınç dirençlerinde azalma, korozyon oranında artış gözlenmiştir. Isıtma işlem uygulanan iğne yapraklı ağaç türlerinde mantar çürüklük dayanımı artmıştır. Yapraklı ağaç türlerinde ise iğne yapraklı ağaçlar kadar olumlu sonuçlar elde edilmediği belirtilmiştir.

Özcan (2011), çalışmasında literatürdeki yanma deneylerinde düzeneklerin yetersiz olduğunu vurgulamış, bu çalışmada, yeni bir yanma düzenegi hazırlanmış ve ısıtma işlem görmüş Sibiryaya çamı, kayın ve meşe ağaç malzemelerin yanma özelliklerini belirlemiştir. Geliştirilen yanma düzeneginde; yüzde ağırlık kaybı, üst sıcaklık, orta sıcaklık, alt sıcaklık, kül miktarı, nem miktarı parametrelerin ölçümünü yapmıştır. Yanma sonuçlarına göre, ısıtma işlem görmüş ağaç malzemenin ağırlık kaybı değerleri, genel olarak kontrol örneği olan ağaç malzemedan düşük olduğu tespit edilmiştir. Isıtma işlem görmüş ağaç malzemenin karbon monoksit, azot monoksit ve oksijen kaybı değerleri, genel olarak kontrol ağaç malzemedan yüksek olduğu belirtilmiştir. Yıldız ve Can (2012), çalışmasında ısıtma işleme

tabi tutulan ladin, karaçam, kayın ve kavak odunu örneklerinin korozyon özellikleri ve pH değerleri araştırılmıştır. İğne yapraklı ağaç türleri; 212°C ve 220°C’de, yapraklı ağaç türleri; 180°C ve 190°C’ de, 90 ve 120’şer dakika süreyle ısıtılma maruz bırakılmıştır. Genel olarak artan sıcaklık ve süreyle birlikte metal kaybı ve korozyon derinliğinde artış gözlenmiştir. Kontrol örnekleri arasında ağaç türü olarak en yüksek metal kaybı ladinde, en az kayıp ise kavak türünde ortaya çıkmıştır. Isıtılma tabi tutulmuş ladin ve karaçam odunu örneklerinde kontrole oranla genelde asidi tenin artma eğilimine girdiği, benzer şekilde kayın ve kavak odununa ait örneklerin pH değerlerinde de kontrole oranla azalmalar gözlenmiştir. Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlara göre artan ısıtılma sıcaklık ve süresi ile birlikte İYA ve YA türlerinde korozyon değerleri artış göstermiştir. Bu nedenle rutubetin yüksek olduğu kullanım yerlerinde düşük sıcaklıklarda ısıtılma uygulanmış malzemelerin kullanılabilmesini belirtmiştir.

Çıtak (2012), çalışmasında boraks ve borik asit ile emprenye edildikten sonra ısıtılma tabi tutulmuş Doğu kayını odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemiştir. Kayın odunundan hazırlanan deney örnekleri önce %2.5’lik boraks ve borik asit çözeltisi ile emprenye edildikten sonra üç farklı sıcaklıkta (170-190-210°C) ve iki farklı zamanla (4-8 saat) ısıtılma tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda, ısıtılma sıcaklığı arttıkça ağırlık kaybı gözlemlenmiştir. Isıtılma sıcaklığı ve süresi arttıkça eğilme direnci değerlerinin düştüğü ve boraksla emprenye edilmiş deney örneklerindeki eğilme direncindeki düşüşün daha fazla olduğu belirlenmiştir. Isıtılma görmemiş ve emprenye edilmemiş deney örneklerinin elastikiyet modülü değerlerinin emprenyelilerden daha düşük olduğu gözlenmiştir. Basınç direncinin, emprenyeli ısıtılma görmüş örneklerde daha yüksek değerler verdiği belirlenmiştir. Toplam renk değişiminin emprenyeli örneklerde daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Akkuş (2012), çalışmasında renk açma işleminin termal modifikasyon yapılmış bazı ağaç malzemelere etkisini belirlemeyi amaçlamıştır. Bu amaçla ısıtılma sonrası ağaç malzemede meydana gelen bazı fiziksel bozunmaları gidermek için çeşitli renk açma kimyasalları kullanarak, malzemenin doğal renk, parlaklık ve sertlik değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Sibiryaya çamı, Sapsız meşe, Doğu kayını ve göknar odunlarından hazırlanan örnekler, farklı sıcaklıklarda (140-160°C) ve farklı zamanlarda (3-5-7 saat) ısıtılma tabi tutulmuştur. Daha sonra malzeme yüzeylerine % 18 konsantrasyondaki renk açma çözeltileri Ç1 (NaOH + H₂O₂), Ç2 (NaSiO₃ + H₂O₂) ve Ç3 (H₂C₂O₄) uygulanarak,

oluşan renk, parlaklık ve sertlik değişim değerleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, kullanılan renk açma çözeltileri ısıtma işlem görmüş ağaç malzeme yüzeylerinde, renk ve parlaklık değerlerinde azalma, sertlik değerinde ise artışa yol açmıştır. Buna göre; ısıtma işlem görmüş ağaç malzeme yüzeylerinde doğal renk, parlaklık ve sertlik değerlerine yakın sonuçlar elde edebilmek için Ç1 ve Ç2 çözelti grupları tercih edilebileceğini belirtmiştir.

Ayan (2012), çalışmasında ısıtma işlem uygulanmış Sibirya çamı ve iroko ahşap lamine panellerde ısıtma işlem uygulamasının lamine panellerin bazı fiziksel özellikleri tam kuru yoğunluğu (TKY) ve hava kurusu yoğunluğu (HKY), kalınlığına genişleme (KG) ve vida tutma dayanımı (VTD) üzerine etkilerini araştırmıştır. Sonucunda ısıtma işlem yoğunluk değerlerinde anlamlı bir değişime neden olmazken kalınlığına genişleme ve vida tutma dayanımı değerlerini düşürdüğünü belirtmiştir. Esen (2012), bu çalışmada meşe ağaç malzemenin hazırladığı deney örneklerini 170, 190 ve 210°C sıcaklıklarda 2, 6 ve 10 saat süre ile ısıtma işlemine maruz bırakmıştır. Isıtma işlem yapıldıktan sonra deney örnekleri poliüretan, fenol-formaldehit, melamin-üre-formaldehit ve melamin-formaldehit tutkalları kullanılarak yapıştırma direnci belirlemeye çalışmıştır. Isıtma işlem yapışma direncini olumsuz etkilediğini belirtmiş, en yüksek yapışma direnci melamin formaldehit tutkalı ile yapıştırılan 2 saat süre ile 170°C sıcaklıkta ısıtma işlem gören meşe ağaç malzeme belirlenmiştir. En düşük yapışma direnci 210°C sıcaklıkta 10 saat süre ile ısıtma işlem görmüş meşe ağaç malzemenin poliüretan tutkal ile yapıştırılan örneklerden elde edildiğini belirtmiştir.

Isıtma işlemli lignoselülozik dolguların eklenmesi, ısıtma işlem muamelesi esnasında yapısal değişikliğe uğramış ya da bozulmuş olan komponentlerden dolayı polimer kompozitlerin ısıtma kararlılıkları geliştirdi ifade edilmektedir (Kaboarani, 2009). Aynı zamanda, mühendisleştirilmiş termoplastik kompozit özellikleri, muamele edilmemiş lignoselülozik dolguların yüksek termal kararlılıklarından daha yüksek ısıtma muamele gerçekleştiği söylenebilir.

Isıtma muamele görmüş odununda akademik ve endüstri alanlarına karşın, ısıtma muamele edilmiş lignoselülozik dolgu polimer kompozitlerinin sadece birkaç çalışması literatürde görülmektedir. Isıtma muamele edilmiş odun destekli polimer kompozitlerinde kullanılan birçok polimer poliolefin ve polipropilen bazlı materyaller olarak Tablo 3'te gösterilmiştir. Isıtma muamele edilmiş odununu destekli SMA kompozitleri üzerine herhangi bir çalışmaya

rastlanmamıştır.

Tablo 3: Isıl işlem uygulanmış odun plastik kompozitleri (Modifiye Edilmiş Aydemir, vd., 2015a).

Polimer	Odun tipi ve sıcaklık (°C)	Yüzey modifikasyon işlemi	Üretim metodu	Karakterizasyon	Kaynak
HDPE	Bambu-160,175,190, 205,220	MAPP	Ekstrüzyon,Basınçla Şişme	Higroskopisite ve boyutsal kararlılık, FTIR and TGA	Fang vd., 2013
	Akçaağaç- 175,190,205	MAPP	Ekstrüzyon/Enjeksiyonla Şişirme	TGA	Kaboorani ve Faezipour, 2009
	Kırmızı Bangkirai- 180,200	-	Ekstrüzyon/Enjeksiyonla Şişirme	TGA,DSC,Mekanik Testler ve SEM	Lafia-Arag vd., 2012
	Akçaağaç - 175,190,205	MAPP	Ekstrüzyon/Enjeksiyonla Şişirme	Mekanik Testler ve SEM	Kaboorani vd., 2008
	Ladin ve Doğal Lif- 230	-	Industrial Mill /Enjeksiyonla Şişirme	Mekanik Testler, TGA ve SEM	Robin ve Breton, 2001
PP	Poplar-140	Polietilen Glikol Imp.	Yüksek hızda pres ve Sıcak Pres	Higroskopisite,Kalınlığa Şişme, Eğilme Testi, SEM Stress Relaxation ve Activation Energy Analysis	Luo vd., 2013;Luo vd., 2012
	Avrupa Ladini-212	-	Ekstrüzyon/Enjeksiyonla Şişirme	Su alma, UV Lazer Tekniği.. Biyolojik Kararlılık ve LV-SEM	Segerholm, 2007
	Huş ve Ladin	MAPP	Ekstrüzyon	SEM Higroskopisite, Kalınlığa Şişme ve Mekanik Testler	Butylina vd., 2011.
	Kavak-180,200	MAPP	HBI karışım sistemi	TGA, DSC	Kaboorani, 2009.
	Kavak-200	Gliserin	Ekstrüzyon, Sıcak pres	XPS, Higroskopisite, DMA, Mekanik Testler, Kalınlığa Şişme ve SEM	Luo vd., 2014.

Tablo 3.(devam ediyor).

PP	Okalıptüs- 120,150,180	-	Rotary Drum Blender/ Sıcak Pres	Hyroscopicity, Kalınlığa Şişmeand Mekanik Testler	Ayrılmış vd., 2011
	Keten-160	MAPP	Non-woven Mat	Mekanik Testler, Difüzyon, SEM ve Nem alma	Stamboulis vd., 2000
CAB	Avrupa Ladini-212	-	Ekstrüzyon/Enjeksiyonla Şişirme	Su alma, UV Lazer Tek., Biyolojik Kararlılık ve LV- SEM	Segerholm, 2007
PLA	Avrupa Ladini - 212	-	Ekstrüzyon/Enjeksiyonla Şişirme	Su alma, Bozulma Testi, SEM ve Mekanik Testler	Segerholm vd., 2012
Nylon-6	Çam ve Akçaağacı-212	-	Ekstrüzyon- Enjeksiyonla Şişirme	TGA, XRD, Mekanik Testler, Reolojik Testler	Aydemir vd., 2015a

1.2.3 Köpüklendirilmiş Stiren Maleik Anhidrit Ko-polimer ile İlgili Çalışmalar

Köpüklendirilmiş stiren odun kompozitleri ekstrüzyon yöntemi kullanılarak Maine üniversitesi Advanced Structures and Composites Merkezinde üretilmiştir (Han vd., 2013). Atmosfere yayılım aracılığıyla şişirme uyumlaştırıcısının kaybını önlemek için, yayılma noktasının karşısındaki içi dolu karışım silindirindeki meydana gelen ayrışma polimerin erimesine doğru çözülmüş ve ekstrüzyon işlemi esnasında kimyasal reaksiyon meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

Maleik anhidritin seçimindeki en önemli etken ko-polimerin özelliklerini iyileştirmesidir. SMA kullanımının önemi maleik anhidrit polipropilene (MAPP) benzer davranış göstermesi olarak söylenebilir (Takase ve Shiraishi, 1989). Otomobil endüstrisinde SMA plastiğinin kullanılmasının diğer bir avantajı başka materyaller ile bağ kurarak onların direnç özelliklerini iyileştirme yeteneğinin olması ve geri dönüştürülebilir bir malzeme olmasıdır.

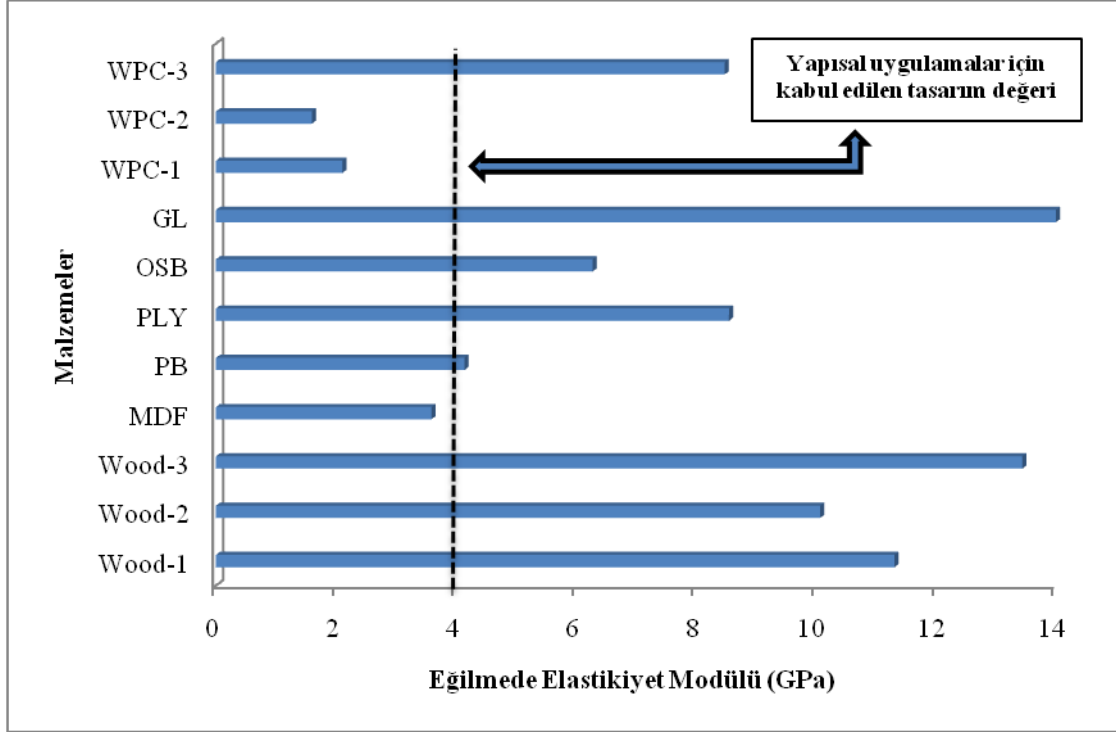
Dolgu etkisi, polimerin güçlendirilmesi, üstün mekanik özellikler cam dolgu kullanılarak geliştirilmektedir. Bu dolgular çevresel güvenlik ile ilgili olarak noksanlıklara neden olmaktadır. Doğal dolgular çevresel etkilere bağlı olarak daha olumlu etki etmektedir. Doğal dolguların kullanılması ile düşük yoğunluk, yüksek görünüm oranı, aşındırmanın olmaması gibi mekanik ve termal özellikleri geliştirecektir (Bledzki vd., 2002; Sperber, 2002; Riedel ve Nickel, 2003).

Geçtiğimiz son on yıllık sürede, köpükendirilmiş kompozitler, daha düşük yoğunluk, kompozitin birim özelliklerini hızlı üretim yapılabilmesi ve % 30-40 daha yüksek maliyet karına sahip olduğu bulunmuştur (Faruk vd., 2007; Bledzki ve Faruk, 2005; Bledzki ve Faruk, 2006).

130°C ve 140°C'de odun partikülleri içerisinde su ve hidroserol bileşimi kullanılarak köpükendirilmiş polistiren odun kompozitleri Rizvi vd., (2000) tarafından çalışılmıştır. Sonuçlar, genleşme oranının %9 ile %20 arasında olduğunu göstermiştir.

Son yıllarda, daha büyük profiller ve yoğunluk azalmaları (%5-50), tek katmanlı, kalıptan birlikte çekilmiş ve hatta üç katmanlı profiller, ABS, ASA, SAN, PVC ve PP dâhil olmak üzere köpükendirilmiş odun kompozitleri elde edilmiştir (Bledzki ve Faruk, 2006).

Şekil 7, yapısal farklılığı diğer odun kompozitleri ile karşılaştırıldığında mekanik özelliklerdeki farklılığı göstermektedir.



Şekil 7: Yapısal uygulamalarda çeşitli ahşap malzemelerin eğilmede elastikiyet modüllerinin karşılaştırılması.(Wood-1: Kırmızı Akçağaç/ Wood-2: Ak Meşe, Wood-3: Douglas Gökmar, GL: Glued laminated timber, *PLY: Kontrplak, *OSB: Yönlendirilmiş Yongalevha, *PB: Yonga levha, MDF: Lif levha (Wood Handbook, 2010), WPC-1: PP bazlı 60% odun unu kompozit (Wechsler vd., 2008), WPC-2: Geri dönüştürülmüş PE bazlı 40% odun unu (Najafi ve Khademi-Eslam, 2011), WPC-3: SMA bazlı odun plastik kompozit, Maine Üniversitesi (Han ve Gardner, 2010) (* En yüksek değerleri göstermektedir).

1.2.4 Sonlu Elemanlar Metodunda (FEM) Deformasyon Analizi ile İlgili Çalışmalar

Sonlu elemanlar metodu, günümüzde karmaşık mühendislik problemlerinin hassas olarak çözülmesinde etkin olarak kullanılan bir sayısal metottur. İlk defa 1956 yılında uçak gövdelerinin gerilme analizi için geliştirilmiş olan bu metodun, daha sonraki on yıl içerisinde uygulamalı bilimler ve mühendislik problemlerinin çözümünde de başarıyla kullanılabileceği anlaşılmıştır. Neticede sonlu elemanlar metodu ve çözüm teknikleri hızlı gelişmeler kaydetmiş ve günümüzde birçok pratik problemin çözümü için kullanılan en iyi metotlardan birisi olmuştur. Metodun değişik mühendislik alanlarında bu kadar popüler olmasının ana nedenlerinden birisi genel bir bilgisayar programının yalnız giriş verilerini değiştirerek herhangi bir özel problemin çözümü için kullanılabilmesidir. Sonlu elemanlar metodundaki temel düşünce, karmaşık bir probleme, problemi basite indirgeyerek bir çözüm bulmaktır. Esas problemin daha basit bir probleme indirgenmiş olması nedeni ile

kesin sonuç yerine yaklaşık bir sonuç elde edilmekte, ancak bu sonucun çözüm için daha fazla çaba harcanarak iyileştirilmesi ve kesin sonuca çok yaklaşılması, hatta kesin sonuca ulaşılması mümkün olmaktadır (Topçu ve Taşgetiren, 1998).

Sonlu elemanlar yöntemi, farklı mühendislik dallarınca, özel analizler gerektiren mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan nümerik bir yöntemdir. Sonlu elemanlar yönteminin ilk kullanımı 1900'lü yıllara dayanır. Sonlu elemanlar yöntemini temel alan ANSYS programı, 1971 yılından günümüze kendisine giderek daha büyük bir uygulama alanı bulacak şekilde geliştirilmiştir (Anıl ve Belgin, 2007).

Odun plastik kompozit üretimi için, farklı işlem metotları ve operasyon koşulları en kaliteli özellikle boyutsal kararlılık, mekanik özellikler gibi odun plastik kompoziti elde etmek için çalışmalar yapılmıştır (Bledzki vd., 2005; Clemons C 2002).

Önceki çalışmalarda (Guo vd., 2004; Joshi vd., 1999; Behzad ve Sain, 2005; Behzad ve Sain, 2007) sayısal yöntem analizleri, sentetik lif ya da doğal lifler ile farklı kalıplardan elde edilen termoset kompozitlerde sıcaklık dağılımı ve eğim davranışı çalışmada kullanılmıştır. Guo vd. (2004), ticari sonlu elemanlar yazılımını kullanarak ince karbon lif epoksi tabakaları için basınçlı kap eğimini simüle etmede tek yönde ısı transfer analizini kullanmıştır.

Behzad ve Sain (2005), levha kalıplama sırasında hemp lifi akrilik bazlı kompozitlerin eğrisel simülasyonunu çalıştılar ve sıcak pres işlemini simüle etmek için hem tek yönlü hem de üç yönlü çalışma geliştirdiler. Sonuçlara göre model tahmini, deneysel veriler ile mantıksal benzerlik içinde olduğunu ortaya koydular.

Mackerle (2005), tarafından yapılan bir literatür taramasında 1995-2004 yılları arasında sonlu elemanlar metodunun ahşap ile ilgili araştırmalarda kullanıldığı 300'e yakın çalışmanın olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmalar ahşabın temel özelliklerinden yapıda kullanımına kadar birçok alanı içermektedir.

Yörür (2012), tarafından yapılan doktora tezinde, ahşap köşe birleştirmelerin direnç özelliklerini geleneksel olarak kullanılan uygulamalı olarak elde edilen model ile teorik yönden elde edilen simülasyon yöntemi olan Sonlu elemanlar metodunu kullanarak

deformasyon ölçümü almıştır. Deneyde kullanılan Sarıçam ve Doğu Kayını odunlarını kullanarak, L tipi ahşap köşe bileştirmelerini diyagonal çekme ve eğilme dirençlerine tabi tutmuş olup, uygulamadan elde edilen deformasyon sonuçlarının, teorik yoldan elde edilen SEM sonuçlarına göre %90 uyumlulukta bulunduğunu ifade etmiştir.

Sonlu elemanlar metodu, mühendislik problemlerini çözmeye yarayan çeşitli disiplinlerde uygulanabilen bir sayısal metoddur. Ahşap birleştirmelerde, kutu tipi mobilyaların model yaklaşımları ve farklı analiz programları kullanılarak literatürde bu konu tartışılmaktadır (Gustaffson, 1996; Smardzewski, 1998; Tankut vd., 2014; Kaygin vd., 2016).

Ancak, çift vidalı ekstrüzyondan elde edilen ısıtılmış odununu destekli SMA kompozitlerin deneysel davranışlarının sonlu elemanlar yöntemi gibi sayısal yöntemlerle karşılaştırıldığı çalışmalar literatürde son derece kısıtlıdır. Bu amaçla, bu çalışmada gerçekleştirilmesi planlanan 3 noktalı eğilme deney sonuçlarının sonlu elemanlar yöntemi ile oluşturulmuş sayısal modellerin analizleriyle kıyaslaması ve değerlendirilmesi yapılacaktır.

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde yapı sektöründe yeni kullanılan bir mühendislik malzemesi olan APK'nın üretim teknolojileri, fiziksel ve mekanik özellikleri ile kullanım alanlarını detaylı bir literatür çalışması yaparak ortaya koymak ve kullanım yerinde APK'nın performansını etkileyen faktörleri (ısıtılmış odun oranı, plastik türü ve odun oranının kullanım oranları) belirlemektir.

Çalışmanın ana hedefi, odununu destekli SMA kompozitlerinin mekanik ve termal özellikleri üzerine ısıtılmış odun muamelesinin etkisinin incelenmesi ve deformasyon sonuçlarının nümerik yöntem olan sonlu elemanlar analizi ile karşılaştırılmasıdır.

Bu kapsamda çalışmanın içeriği,

- Fiziksel, mekanik ve termal özelliklere göre kompozitlerinin optimum karışım oranını belirlemek,
- Fiziksel (boyutsal kararlılık analizi, yoğunluk, hızlandırılmış yaşlandırma testi,

renk ölçümü ve FTIR) testler, mekanik (eğilme ve çekme direnci) ve termal testler (TGA) kullanılarak ısı muamele edilmiş ve edilmemiş belli oranlarda odun destekli SMA ko-polimer kompozitlerinin sonuçlarını karşılaştırmak,

- Taramalı elektron mikroskopisini (SEM) kullanılarak kompozitlerin dağılımını morfolojik olarak değerlendirmek,
- Kompozitlerin reolojik değişimlerini incelemek,
- Isı muamele edilmiş ve edilmemiş odun SMA kompozitlerinin deneysel deformasyon analizi ile sonlu elemanlar metodu (SEM) ile deformasyon analizini açık ve kapalı sayısal modelleme formülü ile karşılaştırmak.

BÖLÜM 2

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

Çalışmada, polimer matrix olarak Stiren Maleik Anhidrit (SMA) kullanılmış ve Amerikanın Nova Kimysal Ltd. Sti şirketinden tedarik edilmiştir. SMA (XIRAN® SE700) malzemesinin özellikleri Tablo 4'te gösterilmiştir. Dolgu malzemesi olarak kullanılan Doğu Beyaz Veymut Çamı (*Pinus strobus* L.) Amerika'da bulunan Maine Üniversitesi Advance Structure and Composite Merkezinden tedarik edilmiştir.

Tablo 4: SMA(XIRAN® SE700) ko-polimerinin teknik özellikleri.

Özellikler	Değerler
Maleik anhidrit içeriği, (wt %)	10
Melt flow, g/10 min (at 240°C/10.0 kg)	22
Yoğunluk (g/cm ³)	1.05
Su emilimi (%)	0.2
Kuruma Süresi at 90°C h	2-3
Erime Noktası (°C)	230–240
Çekme Direnci (psi)	305000
Eğilme Direnci (psi)	1.23E+6
Şok Direnci, (kJ/m ²)	2.4

2.2 Isıl İşlem Metodu

Çalışmada kullanılan veymut çamı odunu örnekleri, Amerika'nın Maine eyaletinde bulunan Pittsfield şehrindeki Wicks Lumber fabrikasından boyuna yönde diri odun kısmından kesim yapılarak elde edilmiştir. Kesim yapılan odun örnekleri 20°C and 50% bağıl nem ortamında 3 hafta süre ile bekletilmiş ve ağırlık tartımı ile klimatize edilmiştir.

Kullanılan metot Viitaniemi'nin çalışmasında (Viitaniemi, 1997) uyguladığı yöntemle uygun bir şekilde yapıldı ve buna göre örneklerin ısıl işlem muamelesi, sıcaklık duyarlılığı $\pm 1^\circ\text{C}$ olan bir etüv kullanılarak hava ortamında ve su buharının koruması altında ısıyla

muamele edildi. Isıl işlem sonunda etüvden çıkarılan örneklerin ağırlık ve boyutları ölçüldükten sonra, birkaç gün süre ile rutubetlerinin dengelenmesi için beklenmiş ve tekrar $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde tutularak ısıl işlem sonrası tam kuru ağırlıkları ve boyutları tespit edilmiştir. Örnekler daha sonra %12 rutubete getirilmek üzere iklimlendirme makinesine yerleştirilmiştir.

Deneyde için ısıl muamele süresi ve sıcaklığı, etüvde 212°C 'de 8 saat sürmüştür (Şekil 8). Fırında belirtilen sürede örnekler yerleştirildikten sonra sıcaklığa ulaşması yaklaşık 60 dakika sürmüştür. Isıl muamele sonrası, odun örnekler fırından alınarak öğütücü makinesi yerleştirilmiştir. 60 meshten elde edilen veymut çamı odunu unları, odun unu destekli SMA kompozitlerini elde etmek için dolgu maddesi (güçlendirici) olarak kullanılmıştır. Isıl muamele edilmemiş odun unu örnekleri ise kontrol örneği olarak kullanılmıştır.



Şekil 8: Kurutma fırınında Isıl işlem.

2.3 Odun unu ile desteklenmiş SMA Kompozitlerinin Hazırlanması

Isıl işlem uygulanmamış odun unu, ısıl işlem uygulanmış odun ve SMA 16 saatlik 105°C 'de kurutma fırınında %1 daha az nem içeriği elde edilene kadar kurutmaya bırakılmıştır. Polimer matriks olan SMA, ısıl işlem uygulanmış odun unu ve uygulanmamış odun unu ile belirli oranlarda karıştırılmıştır. Çift vidalı ekstrüzyon makinasını 230°C 'de, motor hızını ise 60 rpm olarak ayarlanmıştır. Isıl işlem uygulanmamış odun unu ve uygulanmış odun unu polimer erime sağladığında karışıma

eklenmiştir. Odun unu ile desteklenmiş SMA kompozitlerinin karışımı laboratuvar tipi öğütücüler kullanılarak öğütülmüştür (Şekil 9). Öğütülen partikülleri, enjeksiyon kalıplama ile ASTM test örneklerini elde etmeden önce 16 saatlik 105 °C’de kurutma fırınında kurumaya bırakılmıştır.

Tüm materyallerin karıştırılması süresince extruder zone sıcaklıkları 210°C (örnek girişi), 220°C (extruder iç sıcaklığı) ve 210°C (day çıkış sıcaklığı) olarak ayarlanmıştır. Bunun yanında diğer extruder değişkenleri olan vida hızı 50 devir/dk, karışım süresince uygulanan basınç, 40 PSI ve kuvvet 34 Nm olarak kullanılmıştır (Şekil 10). Partiküller, polimer besleme ünitesine doldurulmuştur. Burada materyaller yoğunluklarına bağlı olarak farklı hızlarda extruder içerisine verilmiştir. Extruder’da karışım süresince yüksek sıcaklıkta partiküller ve SMA fonksiyonel grupları arasında reaksiyon meydana gelmiş ve elde edilen bu yan ürün su (yüksek sıcaklık yardımıyla oluşan su buharı) kompozit karışımını çekirdeklendirme (köpüklendirmenin başlangıcı) amacıyla kullanılmıştır. Çekirdeklenen örnekler extruder sonuna doğru köpük hücresinin meydana gelmesini sağlamış ve extruder çıkışında basınç farkından örnekler genişleyerek hücre büyümesi meydana gelmiştir. Ayrıca extruder’ın ucunda kullanılan 1 mm çapına ve 100 mm uzunluğuna sahip bir day vasıtasıyla serbest köpüklenmenin daha yüksek bir hızda ve daha yüksek bir basınç altında olması sağlanmıştır. Day çıkışı köpüklenen ve genişleyen kompozitler, bir soğutucu yardımıyla, soğutulmuş ve bir kumpas yardımıyla örnek genişlemesi ölçülmüştür. Köpüklenme sonrası gerçekleştirilen hızlı soğutma işlemi, elde edilen köpük hücrelerinin birleşmelerini engellemek ve hücre çökmelerinin olmaması için gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada ağırlıkça odun dolgu oranları sırasıyla %10, %20, %30, %40 ve %50 olarak hazırlanmıştır. %20 oranında ısıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozit örneği Şekil 11’de gösterilmiştir. Kompozitlerin karışım oranları Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5: Isıl işlem uygulanmış, uygulanmamış ve SMA malzemelerinin karışım oranları (%)

SMA (%)	UT*	T**
100	-	-
90	10	-
80	20	-
70	30	-
60	40	-
50	50	-
90	-	10
80	-	20
70	-	30
60	-	40
50	-	50

*: untreated wood,

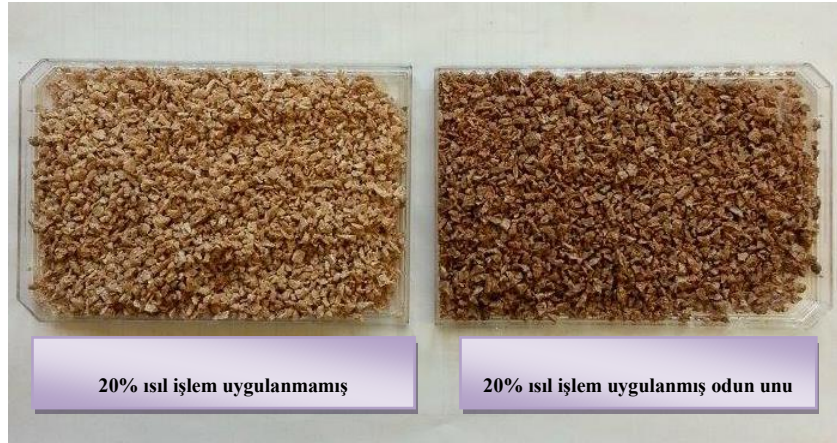
** : heat treated wood.



Şekil 9: Çalışmada kullanılan kompozit öğütücü.



Şekil 10: Çalışmada kullanılan enjeksiyon makinası.



Şekil 11: %20 odun unu destekli SMA kompozit örnekleri.

2.4 KULLANILAN METOTLAR

Örneklerin fiziksel özelliklerinden; yoğunluk, su alma oranı ve kalınlığına şişme oranı ve hızlandırılmış yaşlandırma analizi belirlenmiştir. Mekanik özelliklerden; eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü ve bu özelliklere ait spesifik direnç özellikleri belirlenmiştir. Aynı zamanda ısı özelliklerinden; termogravimetrik analiz (TGA) ve türev termogravimetrik analiz (DTGA) , morfolojik ve reolojik özellikleri belirlenmiştir. ASTM D4762 – 11 (2011) standardına göre örnekler test edilmiştir.

2.4.1 Deney Materyallerin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

2.4.1.1 Yoğunluk ve Boyutsal Stabilizasyon Deneyi

Yoğunluk Deneyi

Belirli oranlarda karışım sağlanan ısıtılmış odun/SMA termoplastik kompozitlerinin yoğunluklarını belirlemek için örnekler $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 1 gün etüvde kurutulmuştur. Yoğunluk belirlenirken tüm çalışmalar ASTM D 792-98 standardına uygun yürütülmüştür. Yoğunluk testi, örnek boyutu standartta herhangi bir boyut olarak ifade edildiğinden basınçta elastikiyet modülü belirlenmesi sonrası kalan örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney örneklerinin ilk olarak havadaki ağırlıkları belirlenmiş, ardından örnekler bir batırıcı yardımı ile $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki destile su içerisine tamamen daldırılarak sudaki ağırlıkları ölçülmüştür. Eşitlik 7 yardımıyla yoğunluk değerleri belirlenmiştir.

$$d = 0.9975 \times (A_h/A_s) \quad (7)$$

Burada;

d = Kompozitlerin yoğunlukları,

A_h = Kompozitlerin etüv sonrası ağırlıkları,

A_s = Kompozitlerin etüv sonrası hacimlerini göstermektedir.

Boyutsal Stabilizasyon Deneyi (Su alma ve Kalınlığa Şişme)

Çalışmada su alma özellikleri ASTM D 1037 ve kalınlığına şişme EN 317 standardına göre yapılmıştır. Bu standartlara göre her bir kompozit çeşidi için toplam altı örnek $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 24 saat etüvde kurutulmuştur. Kurutulmuş örnekler 0.001 g hassasiyetle 'Precision' marka hassas terazide tartılmıştır. Örnekler daha sonra su banyosunda saf suya konulmuş ve oda sıcaklığında 24 saatten 1 haftaya kadar tutulmuştur. Her seferinde örnekler su banyosundan çıkarılmıştır. Örnek yüzeyleri bir bez yardımıyla silinmiş ve örneklerin ağırlıkları tekrar belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre; örneklerin su absorpsiyonu aşağıdaki Eşitlik 8 yardımıyla hesaplanmıştır;

$$W = (W_{\text{son}} - W_{\text{ilk}}) / W_{\text{ilk}} \quad (8)$$

Burada;

W = Kompozitlerin su alma değerleri (%),

W_{son} = 24 saat su banyosunda bekletilen kompozitlerin doğun ağırlığı (%),

W_{ilk} = Kompozitletin tam kuru ağırlığı (%)

Örneklerin kalınlığına genişlemesi (şişme) belirlenirken absorpsiyon deneyindeki kurallar uygulanmıştır. Tam kuru ağırlık ve 24 saatten 1 haftaya değişen sürelerde su içerisinde bekletilmiş örneklerin kalınlıkları 0.001 mm duyarlılıktaki bir kumpasla ölçülmüştür. Elde edilen veriler aşağıdaki Eşitlik 8 ile hesaplanmıştır;

$$G = (K_{\text{son}} - K_{\text{ilk}}) / K_{\text{ilk}} \quad (9)$$

Burada;

G = Kompozitlerin % cinsinden kalınlığa şişme değerleri,

K_{son} = 24 saat su banyosunda bekletilen kompozitlerin kalınlıkları,

K_{ilk} = Kompozitletin tam kuru haldeki değerleri.

2.4.1.2 Hızlandırılmış Yaşlandırma Testi

Yaşlandırma, Q-LAB QUV model yaşlandırma cihazı kullanılarak gerçekleştirilen yaşlandırma deneyi 8 saat UV ve 15 dk su püskürtme olmak üzere toplam 500 saat sürmüştür. Deneyde ASTM G154 standardına uyulmuştur. UV dalga boyu 4 aşamada da 0.75 olarak, sıcaklık ise 50°C olarak ayarlanmıştır.

2.4.1.3 Renk Ölçümü

Yaşlanma işlemi sonrasında, renk ölçümü ISO 7724 standartına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. CIE Lab sistemi; L, a ve b (renklilik koordinatları) olmak üzere üç parametreden oluşmaktadır. $a > 0$ kırmızı, $a < 0$ yeşil, $b > 0$ sarı, $b < 0$ mavi rengi temsil etmekte olup, L sıfır (siyah) ile 100 (beyaz) arasında değişmektedir.

Renklilik koordinatlarına (L, a ve b) her bir örnek için yaşlandırma öncesi ve sonrasında bakılmıştır. Renk ölçümü D65 ışık kaynağı cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonrası bulunan bu değerler renk değişiminin bulunmasında kullanılmıştır. Renk değişiminin hesaplanmasında aşağıdaki denklemlerden yararlanılmıştır; (Eşitlik 10)

$$\Delta L = L_f - L_i;$$

$$\Delta a = a_f - a_i;$$

$$\Delta b = b_f - b_i;$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (10)$$

ΔL , Δa , Δb : renklerin ilk hali (i) ile son hali (f) arasında oluşan değişiklikler, ΔE : Renklerin L, a ve b yönlerinde meydana gelen toplam renk değişikliklerini göstermektedir. Yaşlanma sonrası kompozitlerin yüzeylerinde meydana gelen değişimler SEM ile incelenerek, yaşlanmayla yüzeyde meydana gelen bozulmalar tespit edilmiştir.

2.4.1.4 Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi

Bartın Üniversitesi Orman Endüstrisi Mühendisliği bölümünde Shimadzu Marka Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi cihazı kullanılarak testler yapılmıştır. Shimadzu model cihaza uygun olarak PIKE marka ATR Diamond/ZnSc aparatı kullanılarak örneklerde herhangi bir bozunmaya neden olmadan yüzeyden katı ölçüm yapılmıştır. Her örneğin spektrası 4 cm^{-1} çözünürlükte ve 4000-6000 tarama aralığında yapılmıştır. Her bir örnek üzerinde 20 tarama yapılmış ve yaşlandırma testi öncesi ve sonrası ölçümler değerlendirilmiştir.

2.5 Deney Materyallerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Spesifik Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü

Deney örneklerinin eğilme özellikleri (eğilme direnci, σ_e ; eğilmede elastikiyet modülü, E) Instron 8801 Üniversal Test Makinesi kullanılarak ASTM D 790-07 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney esnasında levha örneklerinin yerleştirildiği dayanaklar arasındaki açıklık 80 mm ve test hızı 1.27 mm/dk. olarak ayarlanmıştır. Bu deney 3 nokta eğilme testi olarak gerçekleştirilmiştir. Kompozitlerin eğilme direnci Eşitlik 11 ve eğilmede elastikiyet modülü Eşitlik 12'ye göre hesaplanmıştır. Buna göre;

$$\sigma_e = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times d^2} \quad (11)$$

Eğilmede Elastikiyet Modülü;

$$E = \frac{F \times L}{4 \times b \times d^3 \times \Delta} \quad (12)$$

F= Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N),

L= Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm),

d= Örnek kalınlığı (mm),

b= Örnek genişliği (mm)

Δ = Eğilme miktarı (sehim) (mm) olarak ifade edilmektedir.

Her tip kompozit için 7 farklı tekerrür kullanılmıştır ve elde edilen verilerin aritmetik ortalaması kullanılmıştır. Isıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozit örneklerinde önemli olan spesifik eğilme direnci olduğu için elde edilen değerler ait oldukları kompozitin yoğunluğuna bölünerek belirlenmiştir.

Spesifik Çekme Direnci ve Çekmede Elastikiyet Modülü

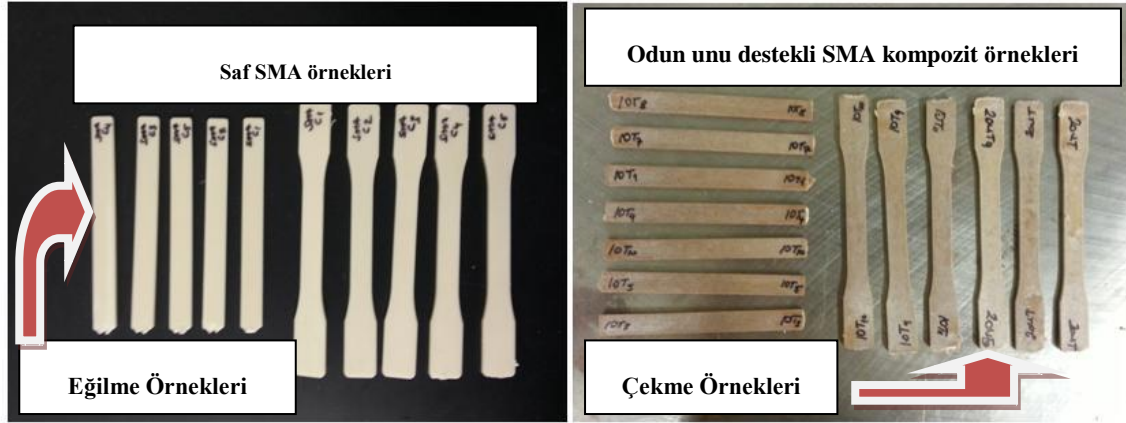
Isıl işlem uygulanmış odun destekli SMA kompozit örnekleri ve kontrol örnekleri ASTM D695–10 standardı kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmanın yapılması için Instron Mekanik test makinası kullanılmıştır. Tüm çekme testleri, 1.27 mm/dk hızda gerçekleştirilmiştir (Şekil 12). Çalışmada kullanılan çekme örnekleri 22 mm genişlik ve 127 mm uzunluğunda olacak şekilde hazırlanmıştır. Kompozitlerin çekmede direnci Eşitlik 13'e göre hesaplanmıştır. Buna göre;

$$\sigma_{\zeta} = \frac{F_{\max}}{a \times b} \quad (13)$$

σ_{ζ} = Çekme Direnci (MPa),

F_{\max} = Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N),

a= Örnek kalınlığı (mm), b= Örnek genişliği (mm) olarak ifade edilmiştir.



Şekil 12: Deneylerde kullanılan ASTM standardı eğilme ve çekme test örnekleri.

Yapışma Direncinin Belirlenmesi

Yapışma direnci tutkalın kalitesini ve en iyi yapışma ile yüzey özelliklerinin kombinasyonu için kullanılır. Orman ürünleri endüstrisinde yaygın tercih edilen poliüretan (PU) ve polivinilasetat (PVAc) tutkalı çalışmada kullanılmıştır.

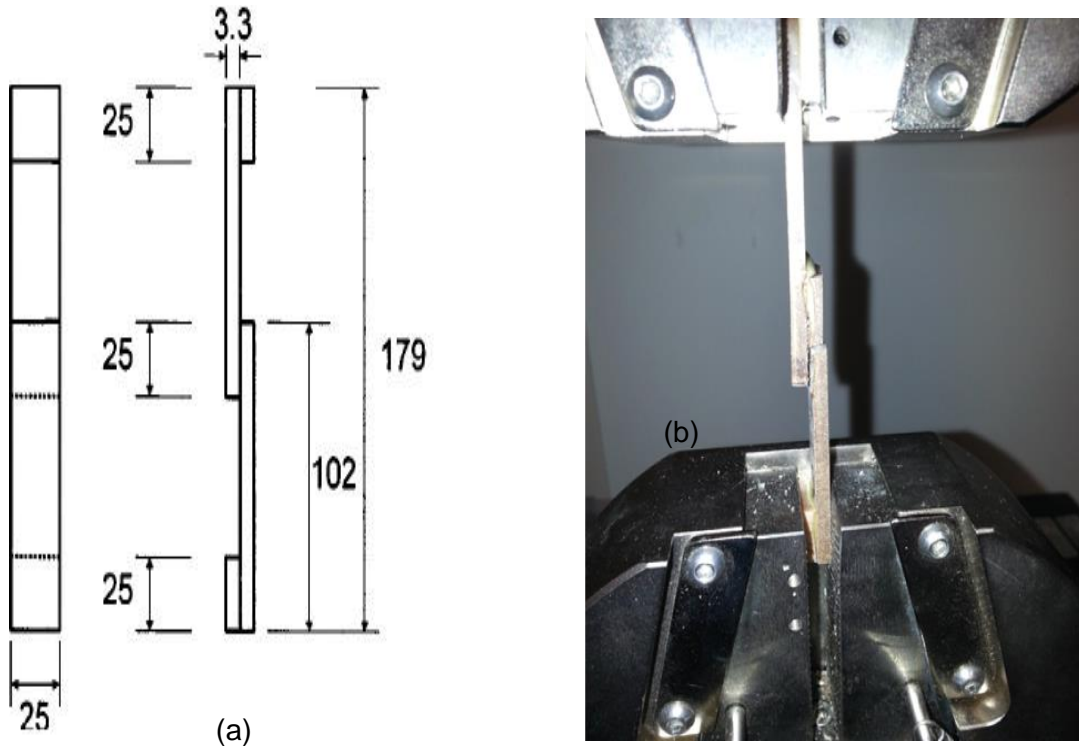
Poliüretan tutkalı (PU) Wurth™ den tedarik edilmiştir. Tek komponentli, serbest uçucu tutkalı olarak ahşap endüstrisinde geniş yelpazede kullanılmaktadır. Viskozitesi, 25°C'de 14 ± 3 Pa olup, yoğunluğu 1.11 ± 0.02 g/cm³. Özellikle yüksek neme maruz kalan yerlerde kullanılması önerilmektedir. Soğuk uygulamalarda, hızlı yapışma özelliği ve hızlı kuruma gibi özelliklerinden dolayı kullanışlı olduğu söylenebilir. Katı madde oranı %60, yoğunluğu 1.08 g.cm⁻³ ve pH değeri 5 olan Polivinilasetat tutkalı (PVAc), Wurth™ den tedarik edildi. Tablo 6'da yapışma dayanımı testi için deneme deseni verilmiştir.

Tablo 6: Yapışma testi için deneme deseni.

Test Adı	Tutkal Tipi	Boyutu (mm)	Standardı	Tekerrür
Yapışma Testi	Poliüretan(PU) tutkalı	5 × 25 × 102	ASTM D 3163	15
	Polivinilasetat(PVAc) tutkalı			15
Toplam				30

Çalışmada, ASTM D 3163 standardını kullanarak oda sıcaklığında, ucuca birleştirerek yapışma testleri gerçekleştirilmiştir. Her bir örnek için, malzemelere yük deformasyon

cihazı yerleştirildi ve her bir örnek arasında, yapışma dayanımının kararlılığını ölçmek için karşılaştırma yapılmıştır. En yüksek yükleme direnci N (Newton) olarak kaydedilmiştir. Poliüretan ve Polivinil asetat tutkalları tek yüzeye sürüldükten sonra 25 mm orta yapışma alanı üst üste getirilerek yerleştirildi. Her iki kenar için, odun unu destekli SMA kompozitlerinden elde edilen genişliği 25 mm'lik yapışma alanları oluşturulmuştur (Şekil 13). Saf SMA ile %30 oranında odun unu destekli SMA kompozitlerinin yapışmaya karşı gösterdiği direnç değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 13: Yapışma testi örneklerinin boyutları (a) ve yapışma testi deney düzeneği (b).

2.6. Deney Materyallerin Termal Kararlılığının Belirlenmesi

TGA örnek ağırlığının, deney esnasında sıcaklık ya da zamana göre değişiminin ölçümüdür. DTG ise TGA eğrilerinin sıcaklık ya da zamana bağlı birinci türevi alınarak elde edilmektedir. Bu değerlerde ağırlık değişimini göstermektedir. TGA ölçümleri yaklaşık 10 mg'lık örnekler üzerinde TGA/SDRA851 model bir Mettler Toledo analiz cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney öncesi TGA kapsülleri temizlenmiş ve daraları alınmıştır. Bunu takiben örnekler kapsüllere yerleştirilmiş ve deney başlatılmıştır. Oksidasyonu engellemek için her örnek 20 ml/dk'ya eşit akış oranında nitrojen gazı altında 10°C/dk ısıtma hızıyla sıcaklığı oda sıcaklığından 600°C kadar tarama yapılmıştır.

Öğütülen örneklerden rastgele alınan üç farklı örnek TGA analizi için kullanılmıştır ve sonuçlar test edilen örneklerin ortalaması olarak ifade edilmiştir (Kızıлтаş vd., 2011).

2.7 Deney Örneklerinin Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Kompozitlerin taramalı elektron mikroskopu analizleri Hitachi-TM 3000 marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örneklerden kesitler alınmış ve temiz bir kırık yüzey elde edilmiştir. Bu yüzeylerde parlamının önlenmesi için bu yüzeyler altın tozuyla kaplanmıştır.

2.8 Deney Örneklerinin Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Saf SMA ve odun unu destekli SMA kompozitlerinin reolojik özellikleri 230 °C de Bohlin Gemini (Malvern Instruments, UK) akış ölçer gerinim kontrollerinde ölçülmüştür. Küçük genlikli salınım makaslama direnci, depolama modülünü (G') elde etmek için 1.00 mm boşluğa 25 mm örnek çapı ile örnek kabı ile birlikte elde edilmiştir. Düşük makasama oranı aralığında saf SMA ve SMA kompozitlerinin açık viskozitesini (g) elde etmek için reolojik test uygulanmıştır. %1 gerinim sıklığında her bir örneğin doğrusal viskoelastik bölgede reolojik değerleri elde edilmiştir.

2.9 Sonlu Elemanlar Metodu ile Sayısal Çözümleme

Odun unu destekli SMA kompozit elemanlarının sonlu elemanlar analizi SAP2000 V17 programı kullanılarak yapılmıştır. Analizler, deneysel verilere dayanan sayısal tasarım modelleri oluşturularak gerçekleştirilmiştir. 3 noktalı eğilme deneyi ile elde edilen maksimum kuvvet, elastikiyet modülü ve yoğunluk verileri kullanılarak sayısal modellemelerden elde edilen normal gerilmeler deneyden elde edilen normal gerilmeler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca sonlu elemanlar yöntemi ile çubuğun herhangi bir noktasındaki düşey deformasyon değeri de elde edilmiştir. Bu çalışmada, kuvvetin uygulandığı çubuğun orta noktasındaki düşey deformasyonlar verilmiştir. Sayısal çözümlemelerde deformasyona katkısı çok küçük olduğu için malzemenin kendi ağırlığı ihmal edilmiştir. Modelin numerik çözümleme için programa girilen bazı mekanik değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7: Malzemelerin programa girilen bazı mekanik değerleri.

Malzeme Özellikleri	Kontrol	UT*					T**				
		%10	%20	%30	%40	%50	%10	%20	%30	%40	%50
Yoğunluk (gr.cm ⁻³)	1,05	1,07	1,10	1,11	1,14	1,18	1,08	1,09	1,12	1,16	1,18
Eğilmede Elastikiyet Modülü (GPa)	1,96	2,52	2,69	3,50	4,61	4,65	2,66	2,99	3,81	4,54	5,32
Poisson Oranı	0,3										
	Eğilme Gerilmesi										
Uygulanan Yük (N)***	128	120	119	121	119	115	119	120	121	119	118
Kesit Özellikleri	127 × 22 × 3,2 (mm) (uzunluk × genişlik × kalınlık)										

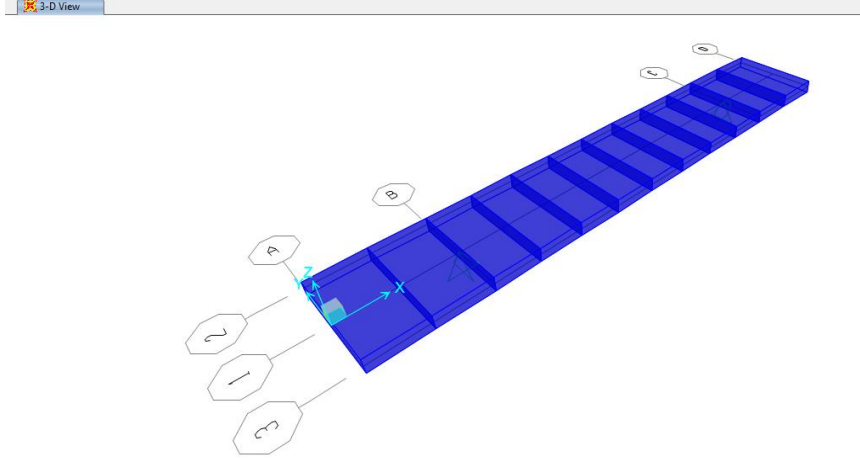
*: ısıt işlem uygulanmamış odun unu destekli SMA kompoziti,

** : ısıt işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompoziti,

Sonlu elemanlar metoduyla problemin çözümü için programda izlenen adımlar;

- 1-Modelin Oluşturulması
- 2-Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması (Tablo 7)
- 3-Elemanlara ayırma (meshing)
- 4-Sınır şartlarının uygulanması
- 5-Analiz ve Sonuçların değerlendirilmesi

3 boyutlu sayısal modelleme örneği Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14: Eğilmeye maruz bırakılan çubuğun 3 boyutlu tasarım örneği.

2.10 İstatistik Yöntem

Elde edilen kompozitlerin testleri sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi amacıyla, basit varyans analizi (BVA) kullanılmıştır. Kompozitler arasında değişkenlerin etkilerinin anlamlı olup, olmadıkları belirlenmiştir. Etkilenmenin anlamlı çıkması halinde ortalama değerler Duncan testi ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla SPSS 16.0 İstatistik paket programı kullanılarak değerler incelenmiştir.

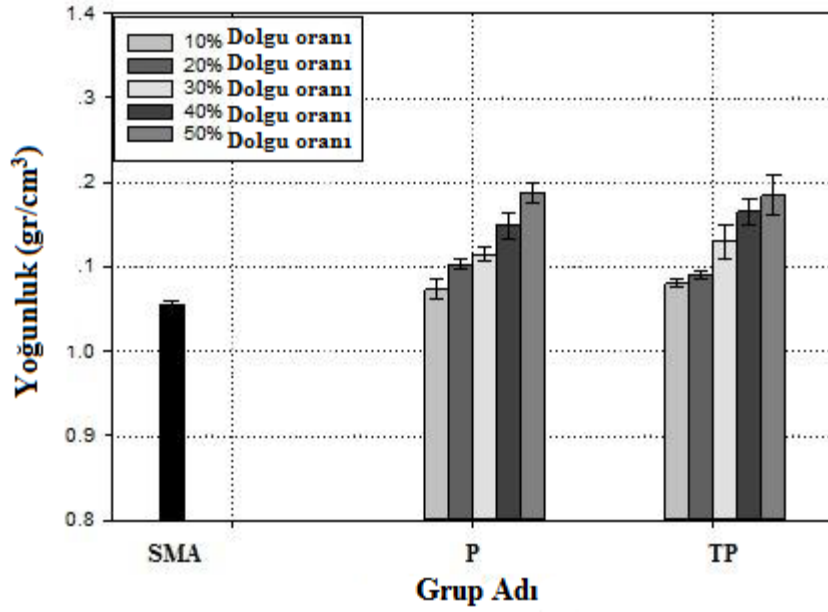
BÖLÜM 3

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Isıl İşlem Uygulanmış Odun Unu Destekli SMA Kompozitlerinin Fiziksel Özelliklerine Ait Bulgular

3.1.1 Yoğunluk

Şekil 15’de saf SMA ve doğal liften elde edilen kompozitlerin yoğunluğu gösterilmiştir. Saf SMA ($1,08 \text{ gr/cm}^3$), odun unu destekli SMA kompozitleri ile karşılaştırıldığında daha az yoğun olduğu söylenebilir.



Şekil 15: Doğal lif destekli SMA kompozitlerinin yoğunluk değerleri.

Han ve Gardner (2010), yaptıkları çalışmada, SMA ve odun unu karışımları yan ürün su (hidroksil grubu ile maleik anhidrit gruplarının reaksiyonu sonucunda oluşan su) ile köpüklenmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, kompozitlerin özünde elde edilen köpük hücrelerinin heterojen ve büyük boyutlarda olduğu ve ayrıca hücre yoğunluğunun yüzey tabakalarına göre daha az olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca bazı hücrelerin köpüklenme süresince aşırı büyüyerek birbirlerinin sınırlarına girdikleri ve daha sonra birleşerek büyük hücreleri oluşturdukları belirlenmiştir. Bu durumun kompozitlerde yoğunluğu veya ağırlığı

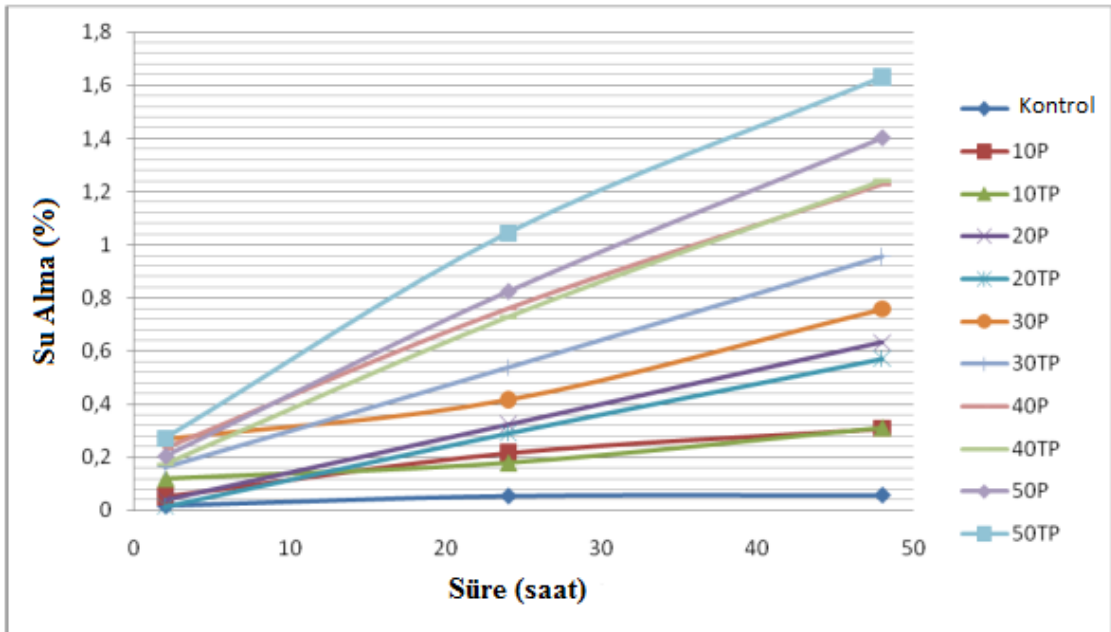
azalttığı için önemli bir avantaj olabileceğine vurgu yapılmıştır.

Odunun masif halde yoğunluğu yaklaşık 0.56-0.80 gr/cm³ arası değişmekte olup, bu durum odunun poroz yapısından dolayı yoğunluğu düşürmektedir. Kompozitlerin üretiminde öğütülmeye verilen odun örnekleri, grinder sonrası un şekline geldiğinde, odun ununun poroz yapısına sahip olmaması ve iç yapışmanın daha yüksek olması halindeki yoğunluğu yaklaşık 1.30 gr/cm³ civarındadır. Bu sebepten dolayı, ısı işlem ile odunun yoğunluğunu düşürmeye çalışılmış ve kompozitin yoğunluğu yaklaşık %15 oranında azalttığı görülmüştür.

Şekil 15'e göre, yoğunluklar arasında istatistiksel anlamda bir farklılık bulunamadığı için Duncan testi yapılmamıştır.

3.1.2 Boyutsal Stabilizasyon (Su alma ve kalınlığa şişme)

Isıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitleri oldukça düşük boyutsal değişim göstermiştir. Su alma değerleri ısı işlem uygulanmamış odunu destekli SMA kompozitleri ile Şekil 16'da karşılaştırılmıştır. Su alma oranı 2, 24 ve 48 saatler için odun unu oranı arttıkça kompozitin su alma değeri artmaktadır. Benzer sonuçlar Bhaskar vd. (2012), tarafından odun unu ekledikçe sonuçların arttığını ifade etmektedir.

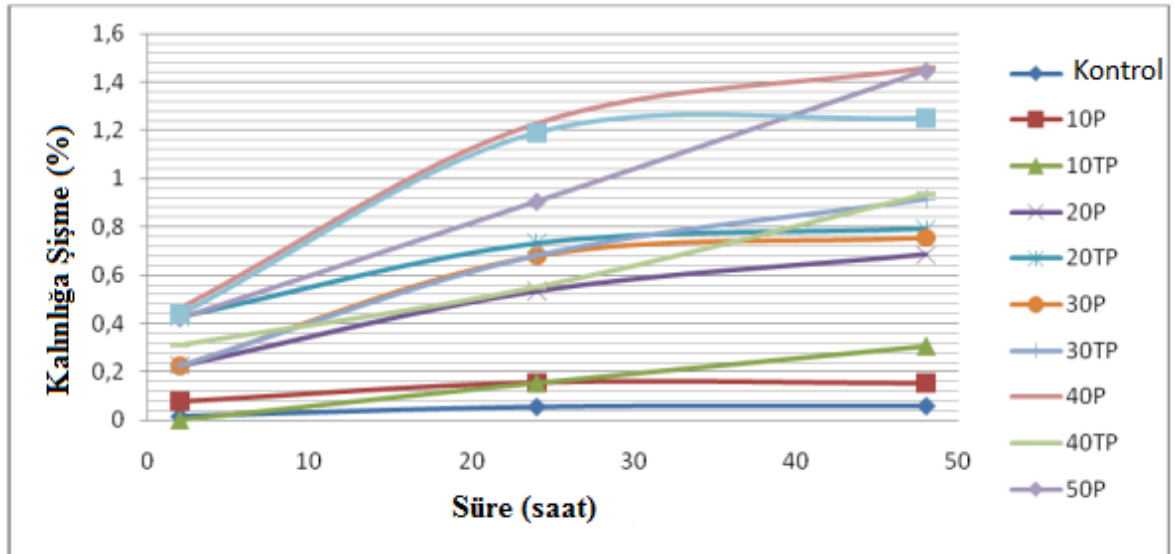


Şekil 16: Isıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitlerinin su alma değeri.

Şekil 16'ya göre, en az su alma değerinin 48 saat sonra sonunda saf SMA polimerine ait olduğu görülmektedir. İlerleyen süre birçok polimer matriks kompozit için su alma değerinde yükselme sağlamıştır. En yüksek artışın, yüksek kristalite sahip grup olan, %50TP kompozitlerinde olduğu belirlenmiştir.

Şekil 17'de odun unu destekli SMA kompozitlerinin kalınlığa şişme üzerine SMA ve odun ununa etkisi gösterilmiştir. Kalınlığa şişme değerleri ısıl işlem uygulanmamış odunu destekli SMA kompozitleri ile Şekil 18'de karşılaştırılmıştır. Kalınlığa şişme oranı 2, 24 ve 48 saatler için odun unu oranı arttıkça kompozitin kalınlığa şişme değeri artmaktadır. Kompozitlerin kalınlığa şişme sonuçları, su alma sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

Odunun doğal hidrofilik yapısı, odunu unu ile desteklenmiş SMA kompozitlerinde su alma ve kalınlığa şişme olayını meydana getirmektedir. Benzer sonuçlar Kord (2012), tarafından odun unu ekledikçe sonuçların arttığını ifade etmektedir.



Şekil 17: Isıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitlerinin kalınlığa şişme değeri.

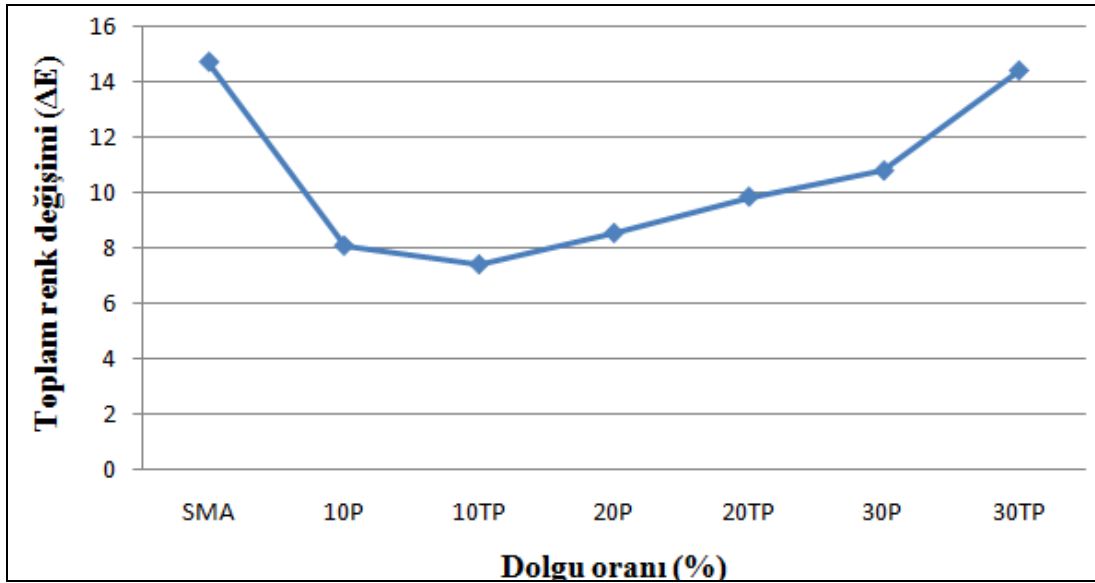
Aslında su absorpsiyonu materyalin dış katmanında oluşmakta ve iç kısımlara doğru ilerledikçe azalmaktadır. Bu miktar 24 saatlik su içerisinde bekletmenin ardından tüm su absorbe edilen suyun %15'ini oluşturmaktadır. Yüksek miktarda su absorbe eden kompozitler dirençte olası düşümlere, malzemede dönüklük miktarının artmasına, şişmesi sonucunda yanında bulunan elemente yaptığı baskı sonucunda burulma çarpılma, mantar

gelişimine ve bunu takip eden yapısal bozunmalar ile sonuçlanmaktadır (Klyosov, 2007).

OPK malzemenin su absorpsiyonu, kendisinin sahip olduğu poroziteye, selüloz lifi miktarına ve bu liflerin su alma becerilerine bağlıdır (Klyosov, 2007).

3.1.3 Hızlandırılmış Yaşlandırma Testi

Q-LAB QUV model yaşlandırma cihazı deney için kullanılmıştır. Yaşlandırma deneyi 8 saat UV ve 15 dk su püskürtme olmak üzere toplam 500 saat sürmüştür. Yapılan deneyde ASTM G154 standartlarına uyulmuştur. UV dalga boyu 4 aşamada 0.75 olarak 50°C sıcaklıkta ayarlanmıştır. Bu deneyden çıkan numunelerin deney özellikleri SEM analizi ile incelenmiştir (Şekil 18).



Şekil 18: Hızlandırılmış yaşlandırma testi sonrası örneklerdeki renk değişimi.

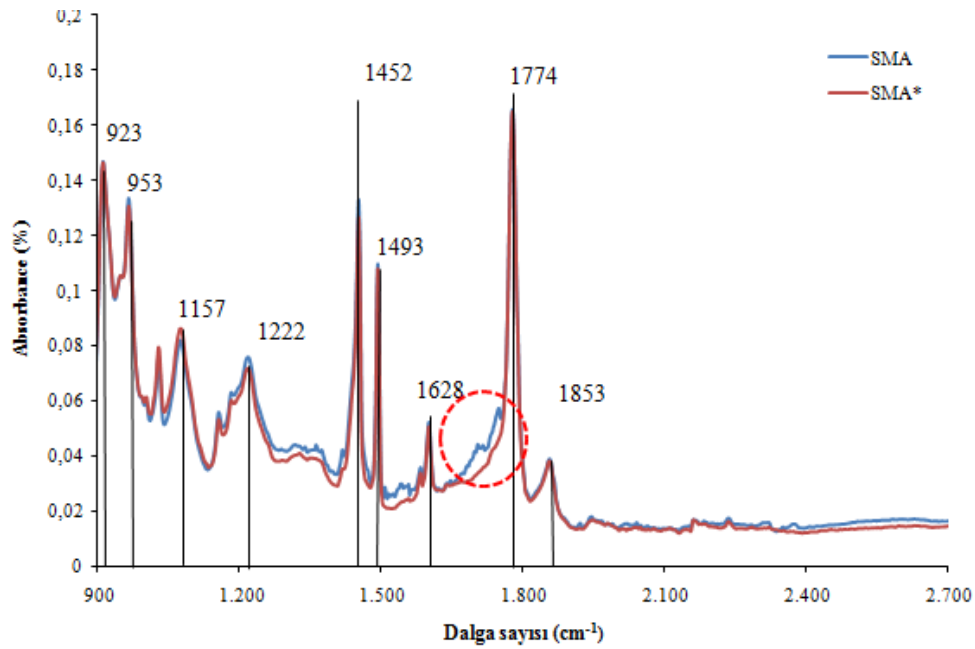
Şekil 18'e göre, odun unu dolgu oranı %10'dan %30'a arttıkça kompozitlerin renk değişiminde ciddi oranda fark olduğu görülmektedir. En yüksek renk değişimi kontrol grubu olan SMA kompozitlerinde (14.69) bunu takiben %30TP grubunda (14.38) ve en düşük renk değişimi ise %10TP grubunda (7.39) görülmüştür. Isıl işlem muamelesi ile degrade olan kompozit malzemeler, dolgu oranı arttıkça renk değişimi belirginleşmektedir. Buda ısıl muamele ile selüloz ve hemiselülozların parçalanmasıyla lignin miktarının artması, malzeme de renk değişimini önemli ölçüde belirginleştirmektedir. Isıl işlem

sonrası, malzemedeki lignin miktarının artışı ile renk değişimi daha koyu hale geldiği gözlemlenmiştir.

Literatürdeki birçok çalışmada, zamana göre renk değişim değerinin (ΔE) aynı tarzda değiştiği tespit edilmiştir (Temiz vd., 2007; Evans vd., 2002; Aloui vd., 2007; Custódio vd., 2006; Deka vd., 2008; Jebrane vd., 2009; Zhang vd., 2009; Özgenç ve Yıldız, 2011; Özgenç vd., 2012). Bu durum, iyi UV absorplayıcı olması nedeniyle açık hava koşulları etkisine maruz bırakılması halinde odunda ilk bozulan maddenin lignin olmasına atfedilebilir. UV ışığı etkisi ile degrade olan lignin yağmur suları ile yıkanarak ağaç malzemedan uzaklaşmaktadır (Pandey, 2005). Ağacın türüne göre içeriği ve miktarı değişmekle birlikte odun bileşenleri arasında en yüksek orana sahip olan ligninin, dış ortam degradasyonu sırasında hızlı renk değişimine sebep olduğu düşünülmektedir.

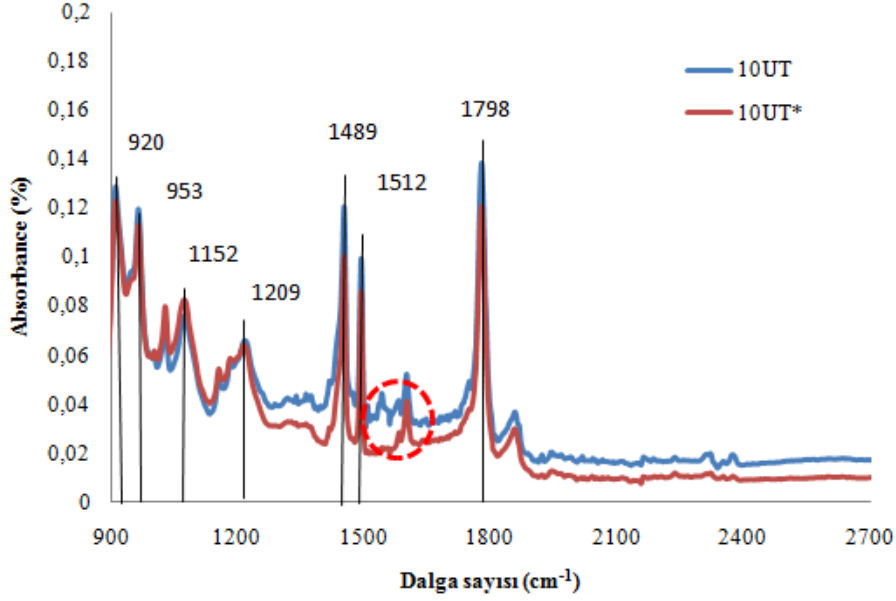
3.1.4. FT-IR analizi

FT-IR analizi hidrojen bağlarının kuvvetini ve bu bağ ile bağlanmış kısımların incelenmesi için önemlidir. FT-IR analizine ilişkin kontrol örneği (saf SMA) Şekil 19'da, %10UT grubu için Şekil 20, %10T grubu için Şekil 21, %20UT grubu için Şekil 22, %20T grubu için Şekil 23, %30UT grubu için Şekil 24 ve %30T grubu için ise Şekil 25'de verilmiştir.



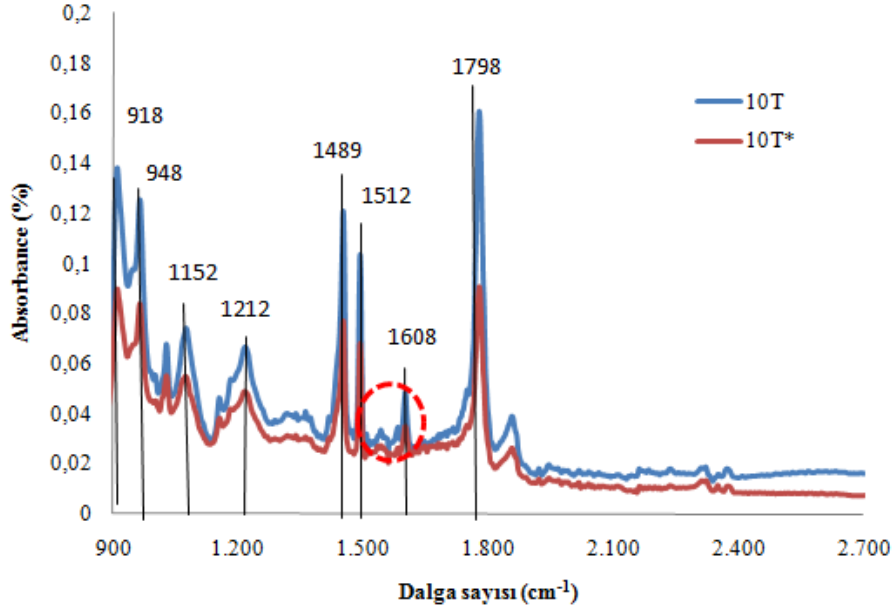
Şekil 19: Kontrol grubu örneği için FT-IR analizi grafiği (*: grubun yaşlandırma testi sonrasını ifade etmektedir.).

Şekil 19'a göre, 1650 cm^{-1} absorpsiyon piki değişiminin, karbonil fonksiyonların salınımı gerçekleştiği ifade edilebilir. 1157 civarındaki pikler, lignin ve selülozların ana karbonhidratlardan C-O-C ve C-O bağı göstermektedir. 1750 cm^{-1} dalga sayısı civarındaki ufak sapsmalar olduğu görülmekte olup bu durum büyük bir önem teşkil etmemektedir.



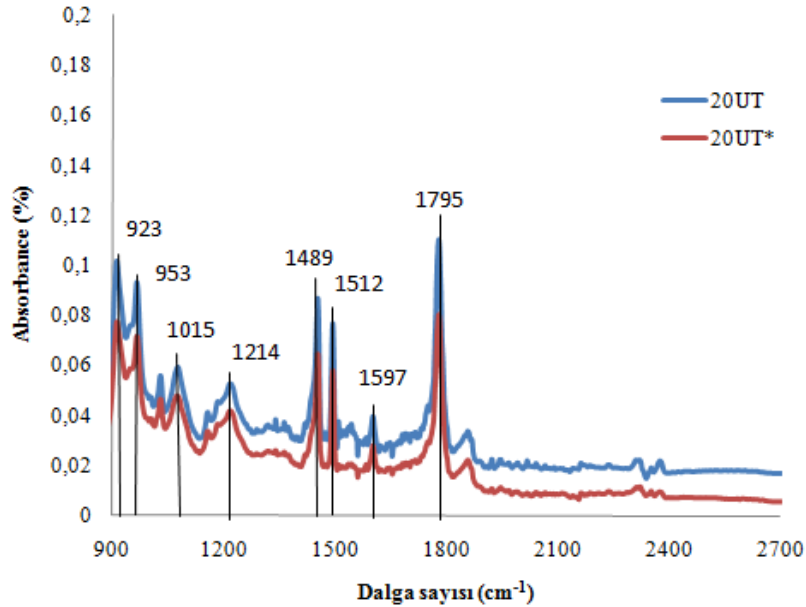
Şekil 20: %10UT grubu için FT-IR analizi grafiği (*: grubun yaşlandırma testi sonrasında ifade etmektedir.).

Şekil 20'ye göre, %10 oranında ısıl işlemsiz odun unu destekli kompozitlerin yaşlandırma öncesi ve sonrası dalga sayılarına göre benzerlik gösterdiği, sadece 1650 cm^{-1} civarındaki dalga sayısındaki farklılığın karbonil fonksiyon salınımının yetersizliğinden kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 21: %10T örneği için FT-IR analizi grafiği (*: grubun yaşlandırma testi sonrasında ifade etmektedir.).

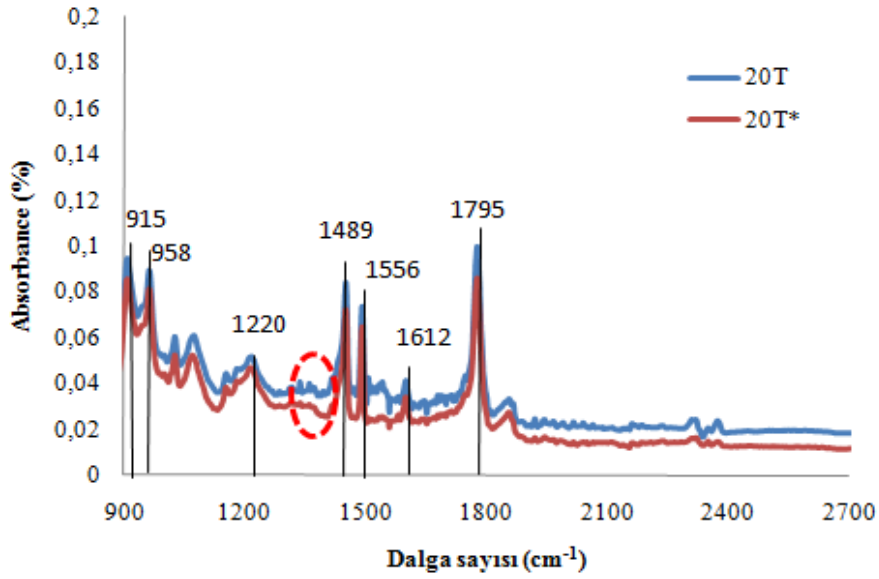
Şekil 21'e göre, 1561 cm^{-1} civarı dalga sayısındaki sapmanın polimerdeki C-O karbonil bağdan kaynaklandığı söylenebilir. %10 oranında ısıtılmış odun unu destekli kompozitlerin yaşlandırma öncesi ve sonrası aralarında ciddi bir fark görülmemektedir.



Şekil 22: %20UT örneği için FT-IR analizi grafiği (*: grubun yaşlandırma testi sonrasında ifade etmektedir.).

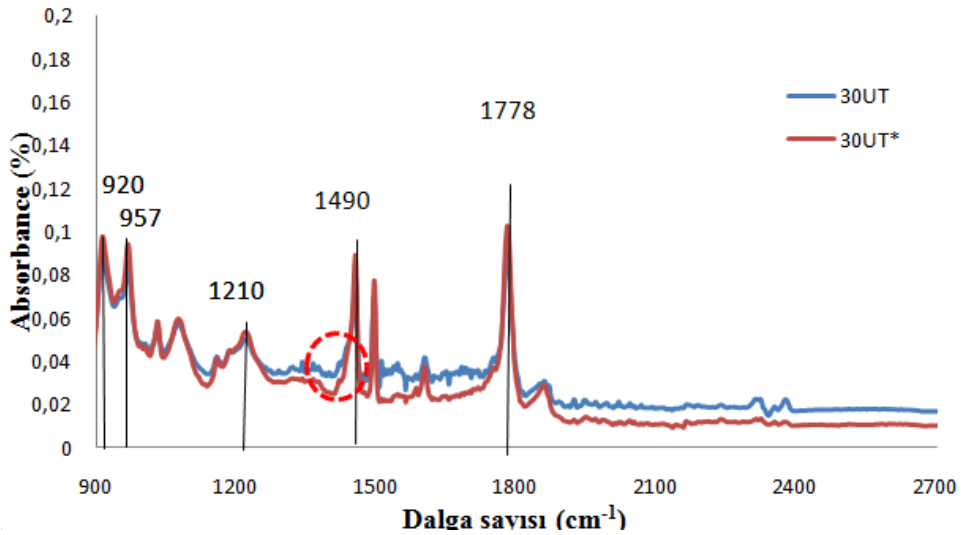
Şekil 22'ye göre, %20 oranında ısıtılmamış odun unu destekli kompozitlerin yaşlandırma

öncesi ve sonrası dalga sayılarına göre benzerlik gösterdiği söylenebilir.



Şekil 23: %20T örneği için FT-IR analizi grafiği (*: grubun yaşlandırma testi sonrası ifade etmektedir.)

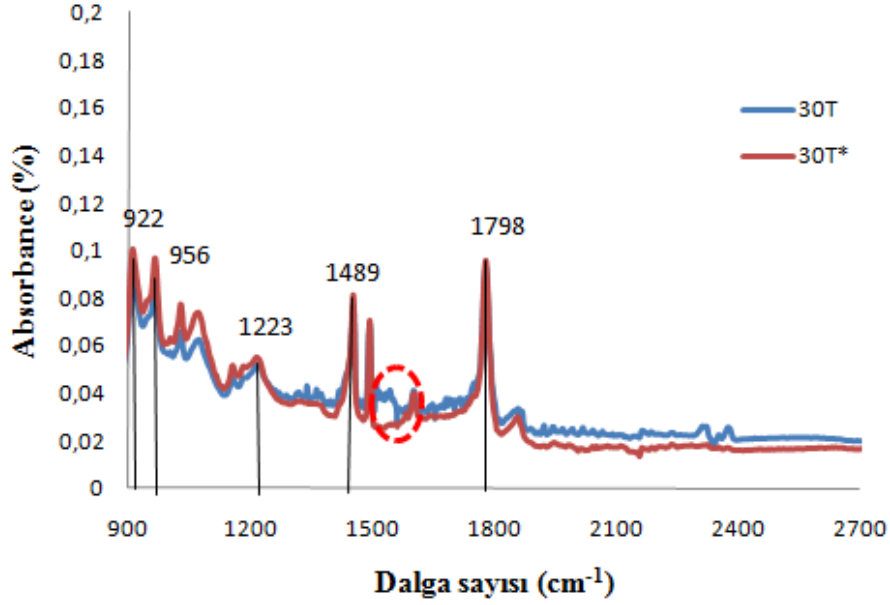
Şekil 23'e göre, %20 oranında ısıl işlemlili odun unu destekli kompozitlerin yaşlandırma öncesi ve sonrası dalga sayıları arasında ciddi farklılık olmadığı görülmektedir. 1450 cm^{-1} civarında dalga sayısındaki ufak farklılık aromatik C-C bağının salınımından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 24: %30UT örneği için FT-IR analizi grafiği (*: grubun yaşlandırma testi sonrası ifade etmektedir.).

Şekil 24'e göre, 1450 cm^{-1} civarında dalga sayısındaki ufak farklılık aromatik C-C bağının

salınımından kaynaklandığı söylenebilir. %30 oranında ısı işlemsiz odun unu destekli kompozitlerin yaşlandırma öncesi ve sonrası dalga sayıları arasında ciddi fark görülmemektedir.



Şekil 25: %30T örneği için FT-IR analizi grafiği (*: grubun yaşlandırma testi sonrasında ifade etmektedir.).

Şekil 24'e göre, 1640 cm^{-1} civarında dalga sayısındaki ufak farklılık karbonil C-O bağının salınımından kaynaklandığı söylenebilir. %30 oranında ısı işlemlili odun unu destekli kompozitlerin yaşlandırma öncesi ve sonrası dalga sayıları arasında ciddi fark görülmemektedir.

Saf SMA ve %10, %20, %30, %40 ve %50 T ve T* grupları kompozitlerinin ana karakteristik pikleri Tablo 8'de verilmiştir. Elde edilen tüm grubun pik değerlerine bakıldığında, genel itibariyle kimyasal yapılarının benzer olduğunu söylenebilmektedir. Yaşlandırma testi sonrası kompozitlerin kimyasal yapılarında ciddi bir değişim görülmediği fark edilmiştir. Isıl işlem uygulanmış odun unu ilavesinin bu pik aralıklarını çok fazla değiştirmemiştir.

Tablo 8: Saf SMA ve %10, %20, %30, %40 ve %50 T ve T* kompozitlerinin fonksiyonel grupları.

Dalga Boyu (cm ⁻¹)	Fonksiyonel gruplar
3300	Selülozun hidroksil grupları (-OH)
2950, 2918, 2868, 2839	C-H uzama titreşimi
1601	Hemiselülozdan C=C uzaması
1457	-CH ₂ eğilme titreşimi
1376	-CH ₃ eğilme titreşimi
1167	Simetrik -CH ₃ deformasyon titreşimi
1043	Selüloz ve ligninin C-O-C ve C-O grupları
998, 973	-CH ₃ sallanma titreşimi

Bu değerler; 3000 cm⁻¹ , 3350 cm⁻¹ ve 3400 cm⁻¹ - 3500 cm⁻¹ arası O-H bağı, 2880 cm⁻¹ , 2800 cm⁻¹ - 2900 cm⁻¹ arası C-H bağı, 1100 cm⁻¹ - 1160 cm⁻¹ C-O-C bağı, 1035 cm⁻¹ - 1060 cm⁻¹ arası C-O bağı, 1300 cm⁻¹ C-H bağı ve 1400 cm⁻¹ CH₂ bağı göstermektedir (Halib vd., 2012; Gomes vd., 2013).

Başka bir çalışmada, 2900 değeri hidroksil (-OH) grupları varlığında CH₂'e işaret etmektedir. Diğer taraftan, 3300-3400 cm⁻¹ arası ise molekül içi hidrojen bağı göstermektedir. Bu değer, hidrojen bağlarının desenini aydınlatması bakımından önemlidir. Hidrojen bağı artan kuvvetiyle azalan bir frekansta (sıklıkta) farklı hidroksil grupları tek band şeklinde uzar (Sturcova vd., 2004).

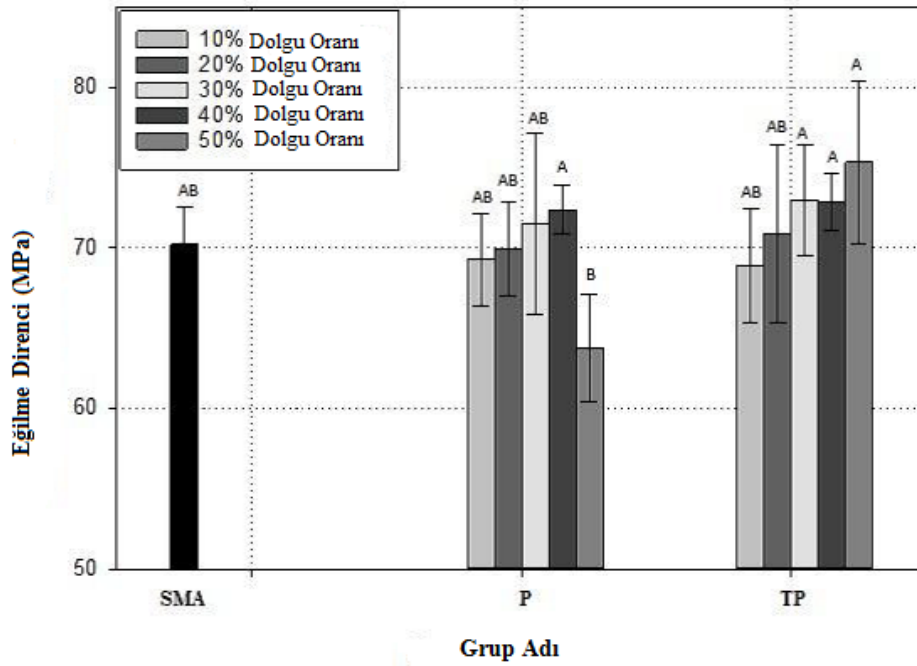
3.2 Isıl İşlem Uygulanmış Odun Unu Destekli SMA Kompozitlerinin Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular

3.2.1 Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü (FMOE)

Strien malik anhidrit ko-polimeri yüksek yoğunluklu termoplastik polimerdir ve yüksek direnç özellikleri gösterir. Polimerin köpüklenmesi boşluklu yapıları meydana getirir ve kompozitin hem eğilme direncini hem de eğilmede elastikiyet modül değerlerini azaltır. Bu da, yüksek genişleme oranı, düşük yoğunluk ve heterojen çekirdeklenmeyi meydana getirir.

Şekil 26'da, farklı dolgu oranlarının eğilme direnci üzerine etkisi gösterilmektedir. %50P

en düşük eğilme direnci (63.74 MPa) değeri, en yüksek eğilme direnci değerini ise %50TP (73.31 MPa) göstermiştir. Sonuçlara göre, %50 oranında ısıl işlemlili odunu unu destekli SMA kompozitleri, tüm grupların içerisinde en yüksek eğilme direnç değeri göstermiştir. Saf SMA ile karşılaştırıldığında, %7.26 oranında eğilme direncinde artış göstermektedir. Kompozitteki odun unu oranı arttıkça, malzemenin yoğunluğuna bağlı olarak eğilme mukavemeti de arttığı görülmektedir. %40 odun unu oranı ilavesinden sonra kompozitlerin eğilme direncindeki azalma dolgu malzemesi olan odunu eklendikçe yüksek sıcaklık altında, hücresel yığılma ve bozulmalar meydana geldiğini ortaya çıkartmaktadır.



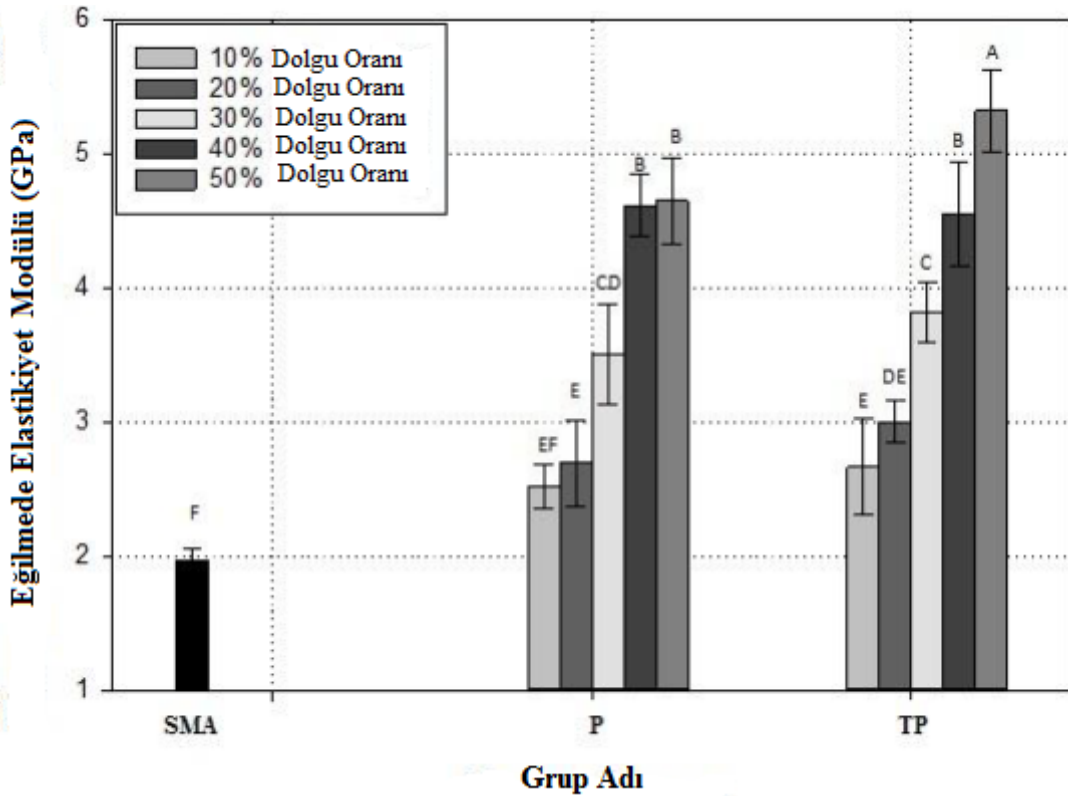
Şekil 26: Odun unu destekli SMA kompozitlerinin eğilme direnci üzerine odun unu ilavesinin etkisi.

Şekil 26’da Odun unu destekli SMA kompozitlerinin odun unu ilavesinin eğilme direnci üzerine etkisinde Duncan testine sonuçlarına göre, P gruplarındaki %10, %20 ve %30 odun unu dolgu oranının ve TP gruplarındaki %10 ve %20 ile %30, %40 ve %50’nin kendi aralarında anlamlı olmadığı belirlenmiştir. %50P grubu malzemenin homojenliğini kaybetmesinden dolayı kontrol örneğine göre ciddi oranda düşük bir direnç değeri göstermektedir.

Yapılan bir çalışmada, SMA ve Odun unu kullanılarak elde edilen kompozitler, maleik anhidrit ve odun arasında meydana gelen reaksiyonla elde edilen yan ürün su ile

köpüklendirilmiş ve bu köpüklendirme işleminde tek vidalı ekstruder kullanılmıştır. Örnekler tek tip kalıp kullanılarak yüzeyi yüksek yoğunluklu iç kısmı porozlu düşük yoğunluklu numuneler elde edilmiştir. Elde edilen kompozitlerin eğilme direncinin 19.62 MPa ile 25.43 MPa arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bazı değerlerin çok düşük olmasının sebebi ise yapılan köpüklendirmenin bazı kısımlarda yoğun, bazı kısımlarda da daha az olmasından kaynaklanabileceği ifade edilmiştir (Han vd., 2009).

Şekil 27’de odunu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA ko-polimerinin eğilme elastikiyet modülü (FMOE) değeri gösterilmektedir. Saf SMA ko-polimerinin eğilme elastikiyet modülü değeri 1.96 GPa’dır. Odun unu oranının artması ile doğrusal oranda FMOE değeri de artmaktadır. %50 oranında odun unu destekli SMA kompoziti, tüm gruplar içerisinde en yüksek FMOE değeri vermiş ve saf SMA ko-polimer ile karşılaştırıldığında %171.42 oranında FMOE değerinde artış olduğu görülmektedir.



Şekil 27: Odun unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA ko-polimerinin FMOE değeri.

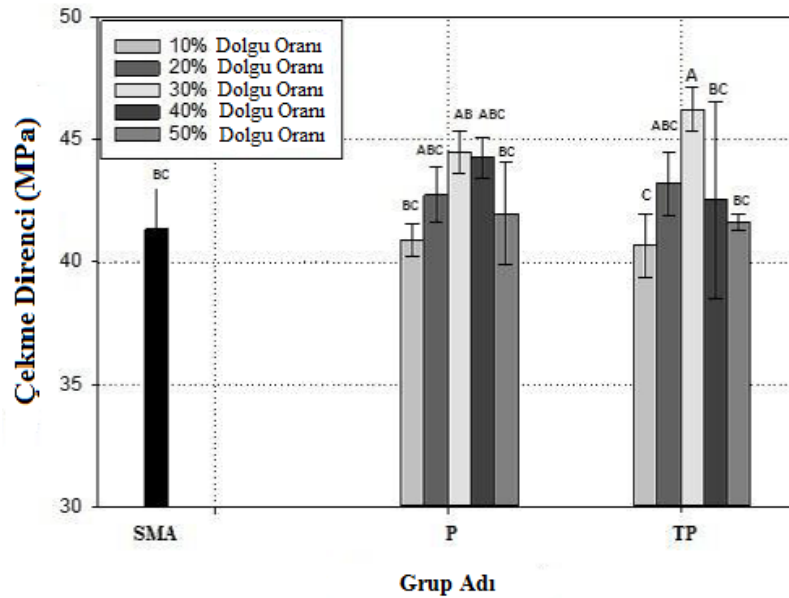
Şekil 27’de odun unu destekli SMA kompozitlerinin odun unu ilavesinin eğilme elastikiyet modülü üzerine etkisinde Duncan testine sonuçlarına göre, P grubu %40 ve %50 dolgu oranları arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüş, TP grupları arasında anlamlı

bir farklılık olduğu görülmektedir. Bu farklılık, malzemede odun unu oranı artması ile ısıl işlemin de etkisiyle malzemede dayanım gücünü arttırmakta ve daha kararlı bir yapı elde edildiği söylenebilir.

Simonsen vd. (1998), odun ununun SMA (%14) üzerinde ne kadar güçlendirme etkisinin olacağını araştırdığı bir çalışmada, saf SMA polimer kompozitlerinin eğilmede elastikiyet modülleri 6 GPa civarı olduğu belirlenmiştir. SMA polimer kompozitine %30 oranında odun unu ilave edilmesiyle bu modülün 5.5 GPa'a düştüğü saptanmıştır. SMA/odun unu kompozitlerinin elastikiyet modülünün %40 odun unu ilavesi ile maksimum seviyeye çıkararak 7 GPa'a yükseldiği bulunmuştur.

3.2.2 Çekme Direnci ve Çekmede Elastikiyet Modülü (TMOE)

Şekil 28'de %30 oranın ısıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitleri tüm gruplar içerisinde en yüksek çekme direnç değerini göstermiş ve saf SMA ile karşılaştırıldığında %11.87 oranında çekme direncinde artma meydana geldiği görülmektedir (Tablo 9).

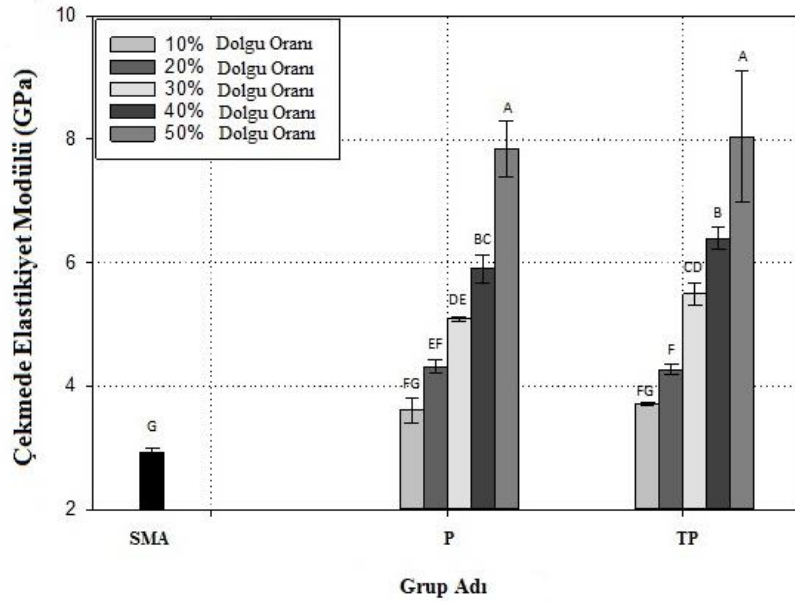


Şekil 28: Odun unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA ko-polimerinin çekme direnci değerleri.

Şekil 28'de odun unu destekli SMA kompozitlerinin odun unu ilavesinin çekme direnci üzerine etkisinde Duncan testine sonuçlarına, P gruplarında %10 ve %50 ile %20 ve %40

dolgu oranları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı görülmektedir. %30 dolgu oranında elde edilen kompozitin yapısının daha homojen bir birleşime sahip olması, çekme gerilmesini de aynı oranda iyileştirdiği sonucu ortaya çıkmaktadır. TP gruplarına göre, %40 ile %50 arasında anlamlı bir farklılık olmadığı görülmektedir. %30 oranında TP grubu örneklerin yeterli oranda homojen birleşme göstermesi çekme gerilmesini de arttırdığı şeklinde ifade edilebilir.

Şekil 29’da odunu unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA ko-polimerinin çekmede elastikiyet modülü (TMOE) değeri gösterilmektedir. Saf SMA ko-polimerinin TMOE değeri 2.93 GPa’dır. Odun unu oranı arttıkça sistematik olarak odun unu destekli SMA kompozitlerinin TMOE değeri arttığı söylenebilir. %50 oranın ısıtılmış odun unu destekli SMA kompozitleri tüm gruplar içerisinde en yüksek TMOE değerini göstermiş ve saf SMA ile karşılaştırıldığında %74.40 oranında TMOE değerinde artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 29: Odun unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA ko-polimerinin TMOE değeri.

Şekil 29’da odun unu destekli SMA kompozitlerinin odun unu ilavesinin çekmede elastikiyet modülü üzerine etkisinde Duncan testi sonuçlarına göre, P ve TP gruplarının tüm dolgu oranları arasında anlamlı bir fark olduğu ortaya çıkmıştır.

Tablo 9: Odun unu destekli SMA kompozitlerinin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması.

Properties	SMA	10%P	10%TP	20%P	20%TP	30%P	30%TP	40%P	40%TP	50%P	50%TP
Flexural Stress (MPa)	AB	AB (NC)	AB (NC)	AB (NC)	AB (NC)	AB (NC)	A (3.93%)	A (3.08%)	A (3.79%)	B (-9.22%)	A (7.26%)
Flexural Modulus (GPa)	F	EF (28.57%)	E (35.71%)	E (37.24%)	DE (52.55%)	CD (78.57%)	C (94.38%)	B (135.20%)	B (131.63%)	B (137.24%)	A (171.42%)
Tensile Stress (MPa)	BC	BC (NC)	C (-1.57%)	ABC (3.38%)	ABC (4.54%)	AB (7.61%)	A (11.87%)	ABC (7.06%)	A (2.87%)	BC (NC)	BC (NC)
Tensile Modulus (MPa)	G	FG (22.86%)	FG (26.62%)	EF (47.09%)	F (45.73%)	DE (73.37%)	CD (97.37%)	BC (101.36%)	B (118.08%)	A (167.57%)	A (174.40%)

3.2.3 Yapışma Direnci

Tablo 10'da yapışma dayanımı test sonuçları verilmiştir. PU ile birleştirilen kompozitler yüksek yapışma direnci (2.56 MPa) değerini, PVAc ile birleştirilen kompozitler düşük yapışma direnci (1.73 MPa) değeri göstermiştir. Test sonuçlarına göre poliüretan bazlı tutkallardan elde edilen birleşimler daha iyi sonuç verdiğini ortaya çıkartmaktadır. Benzer olarak, Kral vd., 2015, hidrotermal ısının tutkal tipi (PU ve PVAc) ve odun türüne (Meşe Odunu ve Kayın Odunu) etkisi araştırmışlardır. PU tutkalı meşe odunlarının birleşiminde en iyi performansı göstermiş olduğunu ortaya çıkartmıştır.

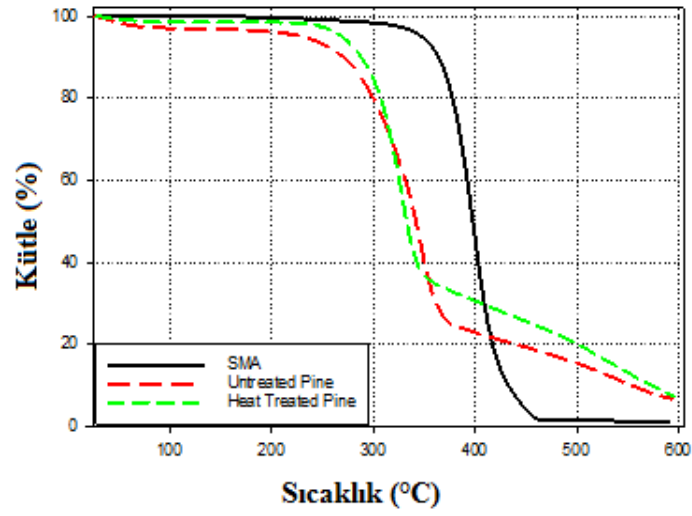
Tablo 10: Yapışma dayanımı testi.

Malzeme Grubu	Yapışma Direnci (MPa)			
	PU	Standart Sapma	PVAc	Standart Sapma
Saf SMA	3.07	0.72	0.61	0.011
% 30P	2.56	0.69	1.73	0.063
% 30TP	1.73	0.29	1.33	0.051

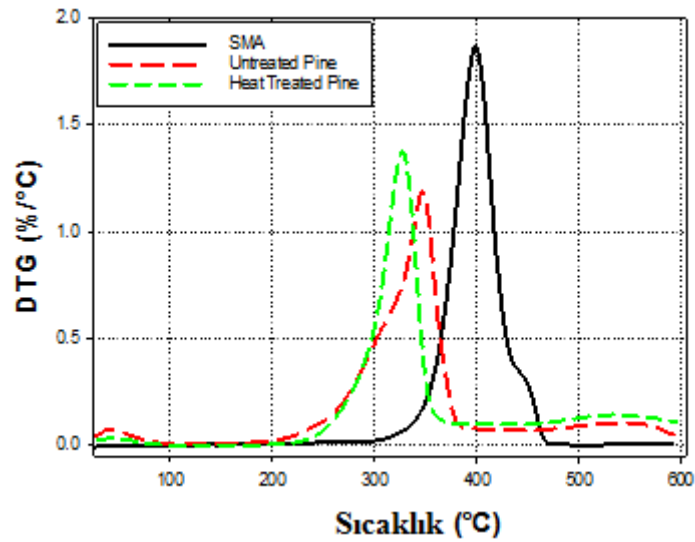
3.3 Isıl İşlem Uygulanmış Odun Unu Destekli SMA Kompozitlerinin Isıl Özelliğine Ait Bulgular

3.3.1 Termogravimetrik Analiz (TGA)

Isıl işlem uygulanmış ve ısıl işlem uygulanmamış odun ununun TGA ve DTGA eğrileri Şekil 30 ve 31’de gösterilmiştir. Isıl işlem uygulanmış ve ısıl işlem uygulanmamış odun ununun 500°C’de ağırlık kaybı sırasıyla %84.88 ve %79.95 iken 600°C sırasıyla %93.25 ve %92.6 oranında olduğu söylenebilir.



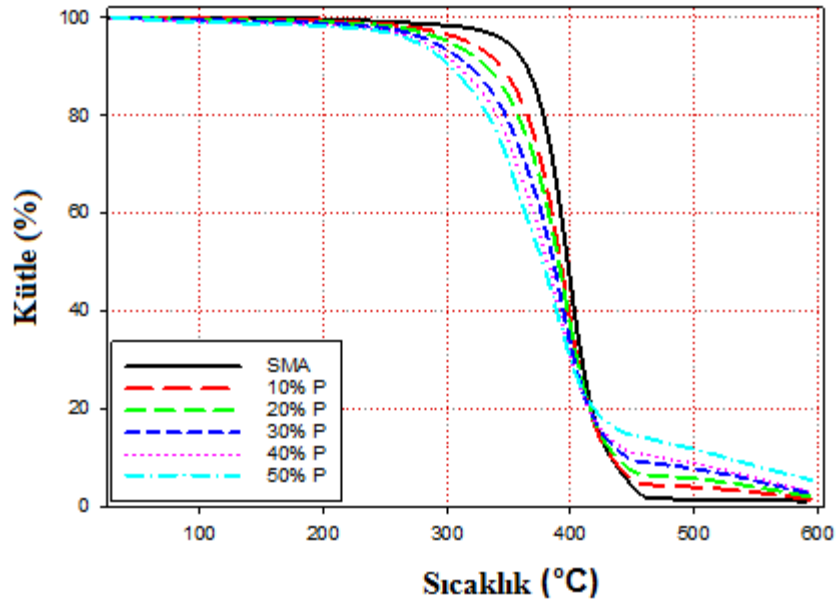
Şekil 30: Isıl işlem uygulanmış odun unu, ısıl işlem uygulanmamış odun unu ve saf SMA ko-polimerinin TGA eğrileri.



Şekil 31: Isıl işlem uygulanmış odun unu, ısıl işlem uygulanmamış odun unu ve saf SMA ko-polimerinin DTGA eğrileri.

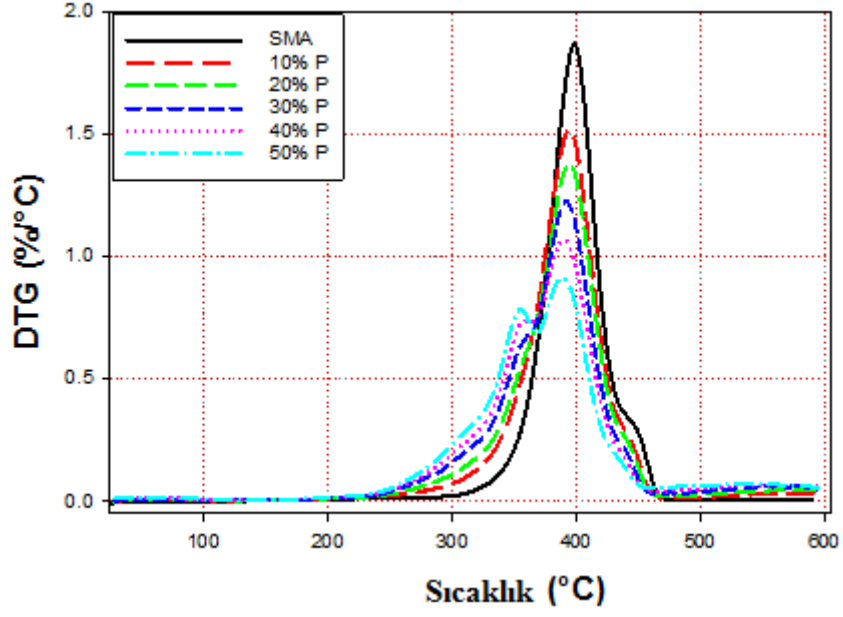
SMA ko-polimerinin ısııl bozulması 367.90°C’de başlamakta ve bozulma oranı bu noktada odundan oldukça yüksek olduğu söylenebilir (Şekil 32, 33, 34 ve 35). Isıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitleri, ısııl işlem uygulanmış odun ve ısııl işlem uygulanmamış odunun bozulma sıcaklığı, saf SMA ko-polimerine göre daha düşüktür. Fakat bozulma oranı oldukça yavaştır. Isıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitleri, beklenildiği gibi ısııl işlem uygulanmamış odun unu destekli SMA kompozitlerinden daha ısııl kararlılığa sahiptir.

Odunun ısııl muamalesi, hemiselülozların yoğun bir şekilde bozulmasından meydana gelir. Buna ek olarak, ısııl işlem, oldukça duyarlı odun komponentlerinin yapısını harekete geçirmektedir (Kaboaroni, 2009; Xing ve Li, 2014). Isıl işlem uygulanmamış odun unu destekli SMA kompozitleri ve ısııl işlem odun ununun ilk bozulma sıcaklığı sırasıyla yaklaşık 220°C ve 200°C olduğu söylenebilir (Cavdar vd., 2015).

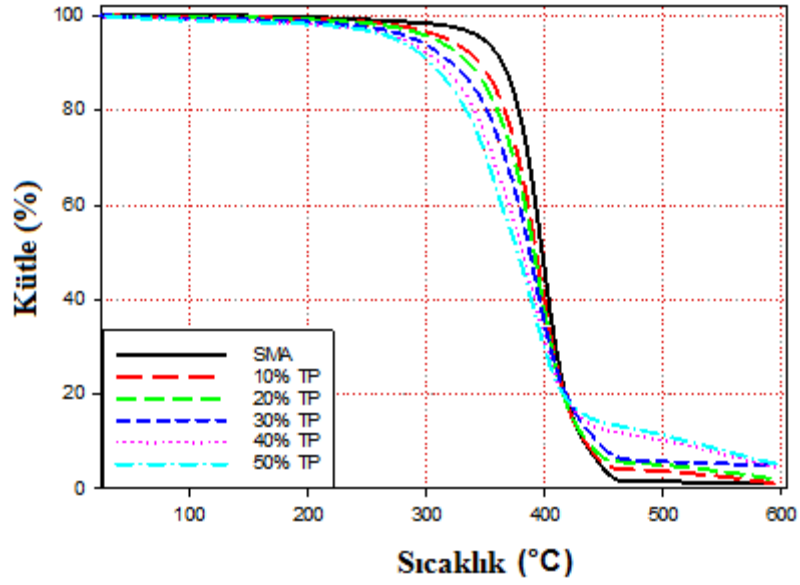


Şekil 32: Isıl işlem uygulanmamış odun unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA ko-polimerinin TGA eğrileri.

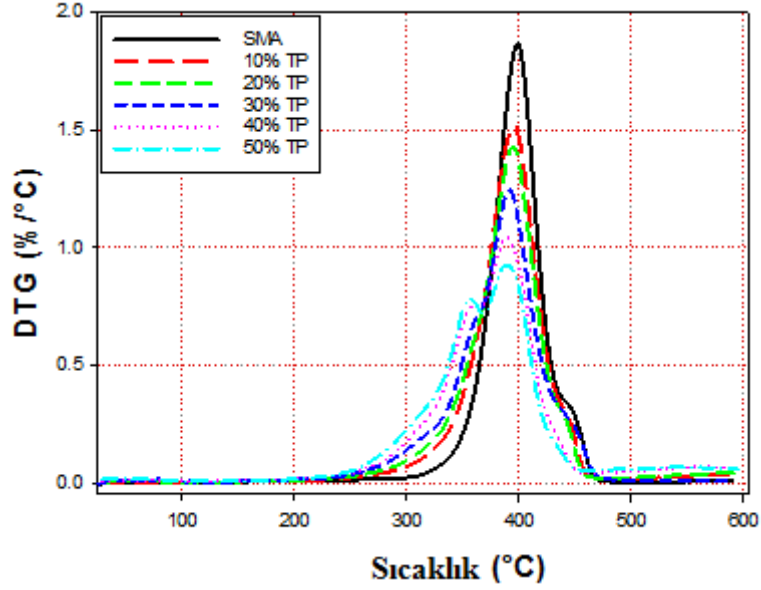
Isıl işlem uygulanmamış odun unu destekli SMA kompozitleri saf SMA polimerine göre daha az ısııl kararlılığa sahip olduğu Şekil 32’de görülmektedir.



Şekil 33: Isıl işlem uygulanmamış odun unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA kopolimerinin DTGA eğrileri.



Şekil 34: Isıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA kopolimerinin TGA eğrileri.



Şekil 35: Isıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA ko-polimerinin DTGA eğrileri.

Isıl işlem uygulanmış odun unu destekli, ısıl işlem uygulanmamış odun unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA ko-polimerinin %10 ve %50 deki ağırlık kayıpları Tablo 11’de gösterilmiştir.

Tablo 11: Odun unu destekli SMA kompozitleri ve saf SMA ko-polimerinin ısıl değerleri.

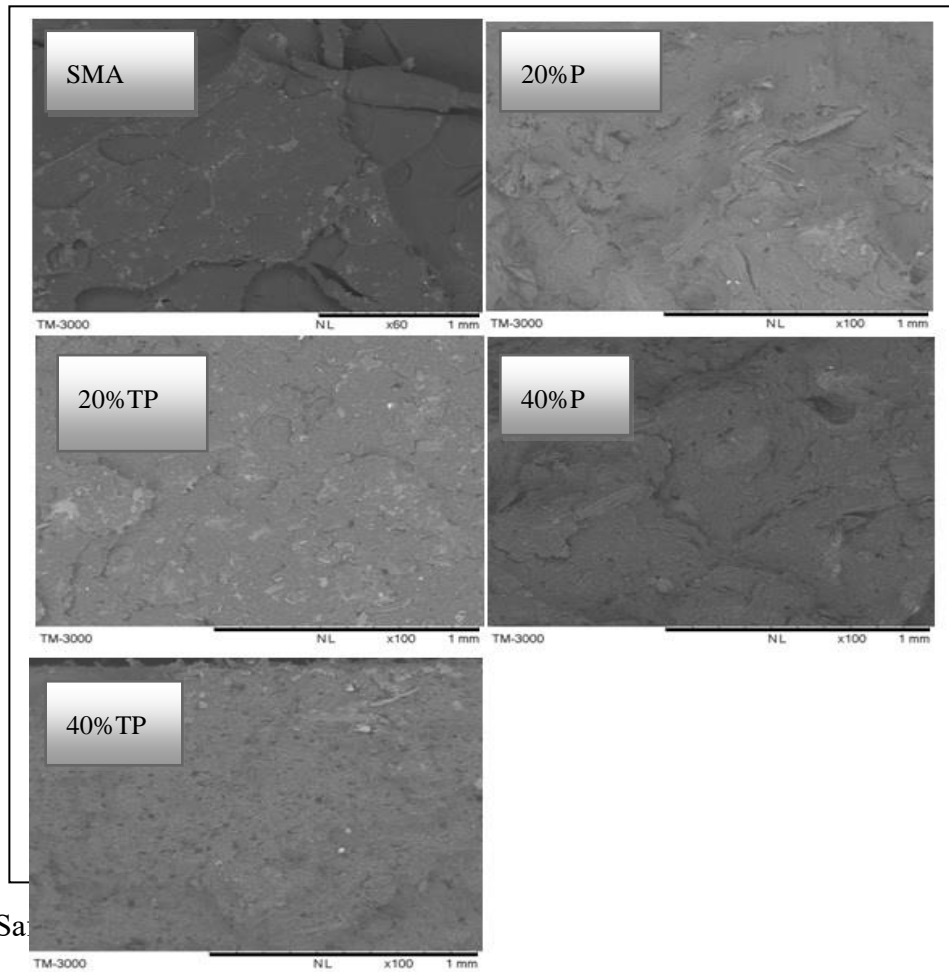
Gruplar	T _{10%} (°C)	T _{50%} (°C)
SMA	363.70	433.97
10% P	343.34	436.57
10% TP	342.14	433.30
20% P	330.01	435.47
20% TP	335.35	436.76
30% P	318.09	444.43
30% TP	319.65	443.85
40% P	308.56	467.39
40% TP	310.09	497.06
50% P	302.81	537.13
50% TP	305.68	529.09

Tablo 11’e göre, kompozitlerin T%10 değeri incelendiğinde saf SMA’nın değeri genellikle tüm kompozitlerin üstündedir. T%50 değerine bakıldığında ise kompozitlerin değerleri saf

SMA'nin değerlerine yakın ya da daha üstte olduğu belirlenmiştir. Buradan da T%50 değeri, hem kontrol odunları hemde ısıl işlem görmüş odunların iyileştirdiği söylenebilir. Birim zamandaki maksimum kütle (DTG) kayıplarına bakıldığında en yüksek sıcaklıklar saf SMA için 410°C olarak saptanırken, saf ısıl işlemsiz odun unu için 320°C, ısıl işlemlı odun unu için yaklaşık 350°C olarak belirlenmiştir.

3.4 Isıl İşlem Uygulanmış Odun Unu Destekli SMA Kompozitlerinin Morfolojik Özelliğine Ait Bulgular

Saf SMA ve doğal lif içeren odun unu arasındaki içyüzey yapışmalarını karşılaştırmak üzere taramalı mikroskop (SEM) cihazı kullanılmış ve iç yüzey etrafında bazı zayıf etkileşimlerden kaynaklı kırılmalar olduğu gözlemlenmiştir. Odun unu ve saf SMA arasındaki zayıf etkileşim özellikle %20 ve %40 oranlarındaki TP ve P gruplarında Şekil 36'da görölmektedir.



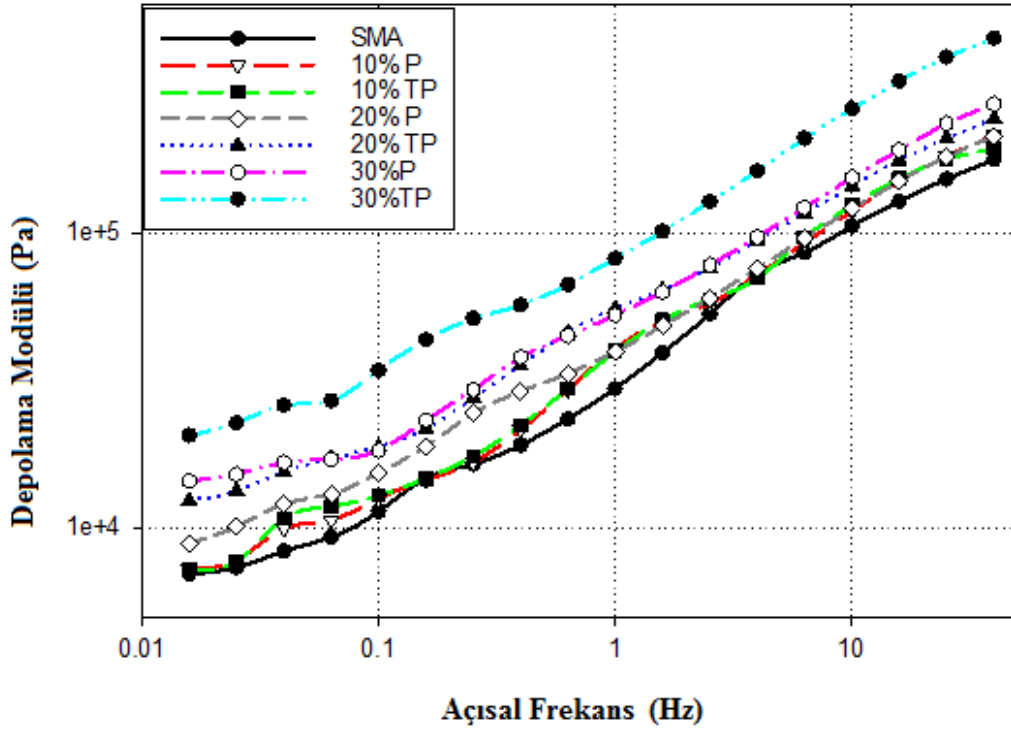
Şekil 36: Sa

(100).

3.5 Isıl İşlem Uygulanmış Odun Unu Destekli SMA Kompozitlerinin Reolojik Özelliğine Ait Bulgular

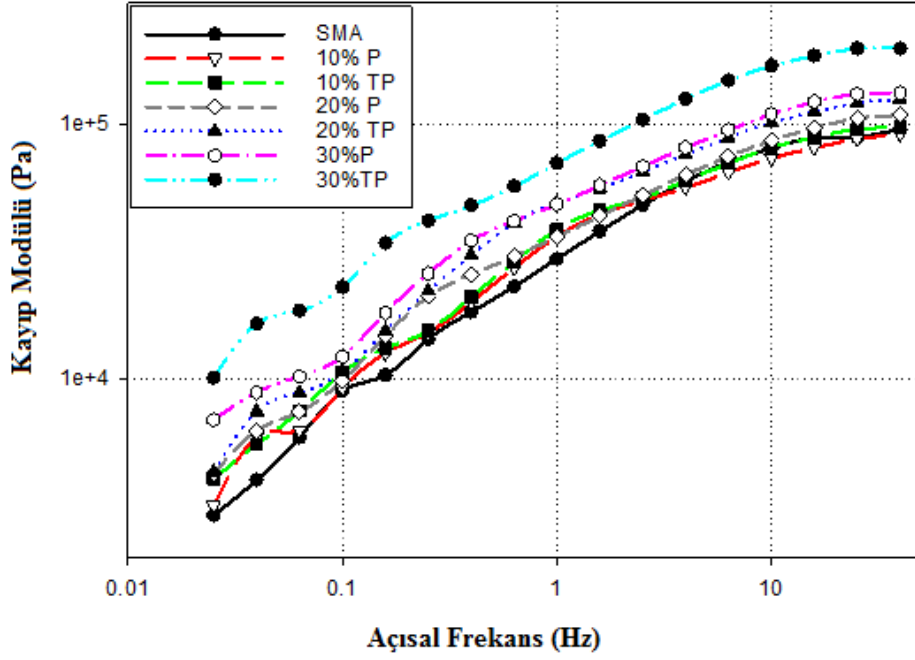
Polimer kompozitlerde yapı-özellik ilişkilerini anlamak için bu malzemelerin eriyik haldeki reolojik davranışını anlamak çok önemlidir. Diğer yandan eriyik reoloji ölçümleri, makroskopik bakış açısından önemli olan görece büyük malzemenin davranışını açıklayabilmektedir. Reolojik ölçümlerde, önce örneklerin viskoelastik özelliklerinin gerinim bağımlılığını tanımlamak ve doğrusal viskoelastik bölgeyi belirlemek için hazırlanan bu örneklere dinamik sürüklenme testi uygulanmıştır. Depolama modülü (G') kompozitlerin yapısal değişimlerine kayıp modülünden (G'') daha duyarlı olduğu için bu çalışmada depolama modülü eğrileri, kayıp modülü ve dinamik viskozitenin kayma hızına bağımlılığı eğrileri verilmiştir. Örneklerin %40 ve %50 grupları homojen bir yapıda birleşmediğinden, yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında malzeme istenilen akışkanlık sağlanamayacağından, %30'a kadar olan grupların akışkanlık analizi yapılmıştır.

Şekil 37'de saf SMA ve SMA kompozitlerinin ısıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış farklı oranlarının karıştırılması ile hazırlanan APK örnekleri için depolama modülünün açısal frekansa (Hz) bağımlılığı gösterilmiştir. Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış odun unu ilavesinin depolama modül üzerine olan etkisi ve bu etkinin özellikle düşük frekanslı bölgede daha belirgin olduğu net olarak görülmektedir. Odun unu oranı artarken, G' büyüklüğü artmakta ve (G'')'nin eğimi düşük frekanslı bölgede azalmaktadır.



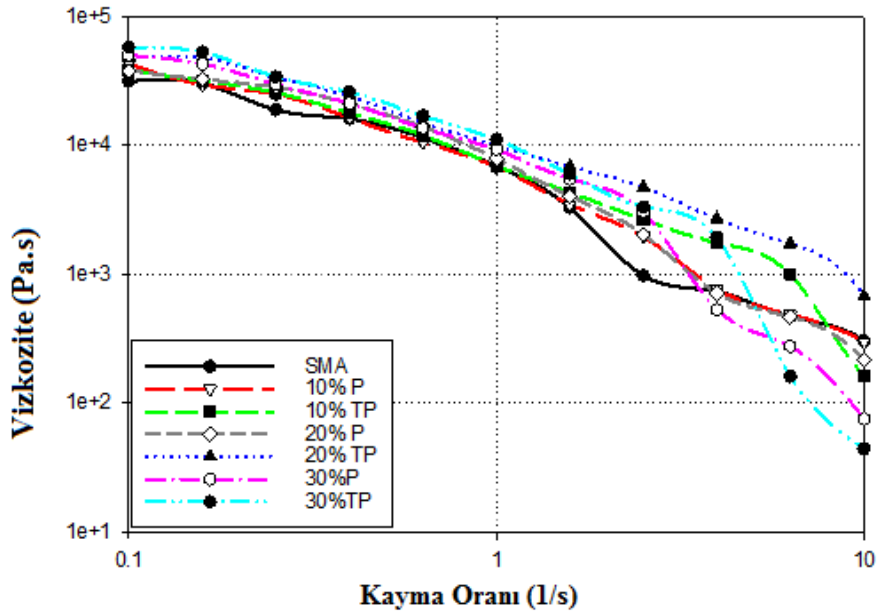
Şekil 37: Örneklerin depolama modülünün açısal frekansa bağımlılığının eğrisi.

Diğer yandan APK örneklerinin yüksek frekanslı bölgede farklı reolojik davranış sergilediği de gözlenmiştir. Kayıp modül (G''), örneklerin viskoz davranışını gösterdiğinden ve yüksek frekanslı modül genellikle polimer matriks tarafından bastırıldığından farklı oranlarda ısıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış örnekler için kayıp modülünün yüksek frekanslı bölgedeki frekansa bağımlılığı Şekil 38'de verilmektedir. Kayıp modülün artan odun unu oranı miktarıyla kolayca arttığı görülmektedir. Fakat bu artış, odun unu oranının miktarına bağlı olarak saf SMA miktarının azalmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 38: Örneklerin kayıp modülünün açısal frekansa bağımlılığının eğrisi.

Örnekler için dinamik viskozitenin kayma hızı (1/s) bağımlılığı Şekil 39'da verilmektedir. Kullanılan polimer matris SMA için % 30 TP ve % 20 TP gruplarının dinamik viskozitesi düşük frekanslı bölgede önemli bir artış göstermektedir ki bu, karakteristik bir kesme inceltici davranıştır, oysaki örnekler bir non-Newtonian plato (frekansa bağımlı olan davranış) sergilemektedir.



Şekil 39: Örneklerin dinamik viskozitenin kayma hızına bağımlılığının eğrisi.

3.6 Sonlu Elemanlar Metodu ile Deformasyon Analizi

Kapalı çözümlerin sağlandığı bu bölümde, Eşitlik 5 yardımı ile elde edilen veriler ile deneysel deformasyon sonuçlarının kıyaslaması Tablo 12’de verilmiştir. Malzemenin kendi ağırlığı ihmal edilerek elde edilen linner elastik davranışı SAP2000 programı yardımıyla sayısal olarak çözümlenmiştir.

Tablo 12: 3 noktalı eğilme yüklemesine göre açık ve kapalı çözümlerin karşılaştırılması.

Malzeme Adı	Açık Çözüm (mm)	Sayısal Çözüm (mm)	Fark (%)
Kontrol	11.59	11.66	0.60
10UT	8.45	8.49	0.47
10T	7.87	7.91	0.50
20UT	7.85	7.98	1.62
20T	7.30	7.34	0.54
30UT	6.08	6.11	0.49
30T	5.45	5.47	0.36
40UT	4.58	4.60	0.43
40T	4.69	4.71	0.42
50UT	4.39	4.41	0.45
50T	4.005	4.02	0.37

Tablo 12’ye göre, 3 noktalı eğilme yüklemesine göre, Eşitlik 5 yardımıyla elde edilen deformasyon sonuçları, SAP2000 sayısal olarak elde edilen deformasyon sonuçları birbirine oldukça yakın elde edilmiştir.

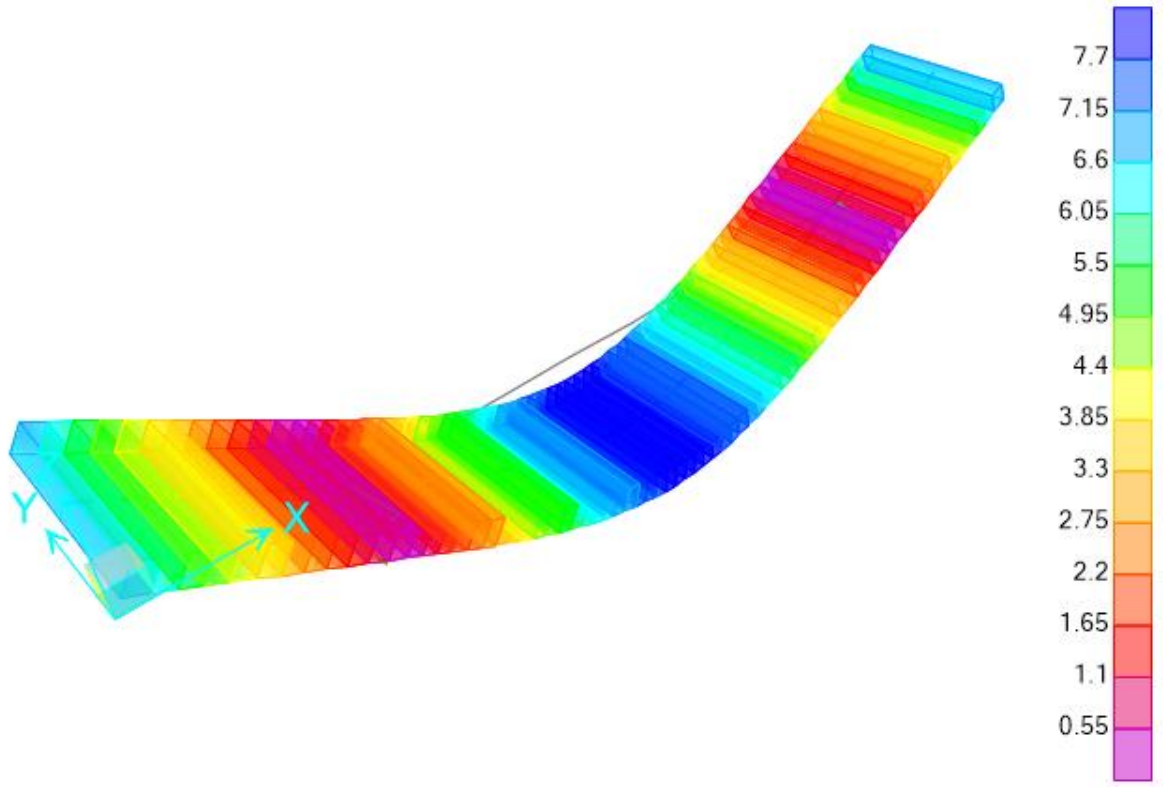
Tablo 13’de eğilme mukavemetine maruz kalan örneklerin deneysel çözümlene sonucu elde edilen maksimum gerilme ile numerik modelleme sonucu elde edilen maksimum gerilmelerin sonuçları verilmiştir.

Tablo 13. 3 noktalı eğilme yüklemesi ile deneysel olarak elde edilen gerilmelerin kapalı ve açık çözümlerinin karşılaştırılması.

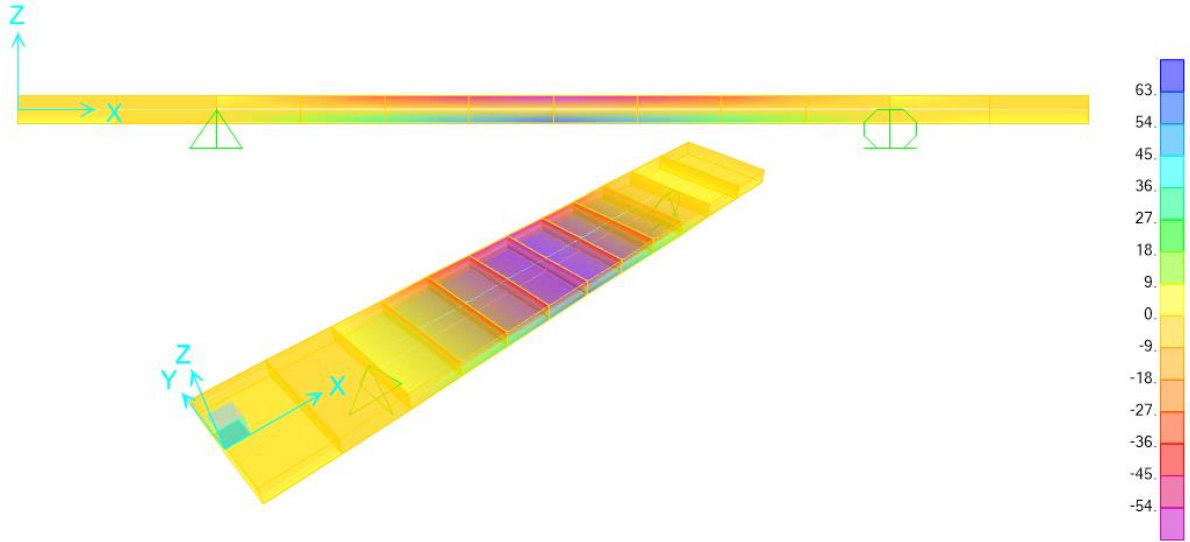
Malzeme Adı	Deneysel Çözümleme (MPa)	Kapalı Çözüm (MPa)	Fark (%)	Açık Çözüm (MPa)	Fark (%)
Kontrol	70.21	68.18	2.89	68.18	2.89
10UT	69.25	63.89	7.74	63.92	7.70
10T	68.9	62.86	8.76	63.38	8.01
20UT	63.89	60.39	5.47	63.38	0.8
20T	70.89	65.52	7.57	63.92	9.83
30UT	71.5	63.92	10.6	64.45	9.86
30T	70.97	63.39	10.68	64.45	9.19
40UT	72.37	63.39	12.40	63.38	12.42
40T	72.87	63.92	12.28	63.38	13.02
50UT	71.74	61.26	14.60	61.25	14.62
50T	75.31	63.92	15.12	62.85	16.54

Tablo 13'e göre, 3 noktalı eğilme yüklemesinde, deneysel verilerin doğruluğunu tespit etmek amacıyla sayısal modelleme tekniği SAP2000 yazılımı kullanılarak elde edilen veriler ile birbirine yakın sonuçlar çıkardığı görülmektedir. Bu sonuçlar örnek dağılımı %40 UT grubundan sonra değişiklik göstermektedir. Bu da enjeksiyon makinesinde üretim yapılırken odun unu oranı arttıkça yüksek sıcaklık altında malzeme homojen olarak istenilen özellikte elde edilememesi ve malzeme kendisine gelen yükler altında mevcut özelliğini kaybettiği için lineer izotrop malzeme davranışını göstermemektedir.

Şekil 40'da kontrol örneği olan saf SMA örneklerinin 3 noktalı eğilme sonucu oluşan maksimum gerilme ve deformasyon gösterilmiştir.



a) Çubuğun toplam deformasyon diyagramı (mm)

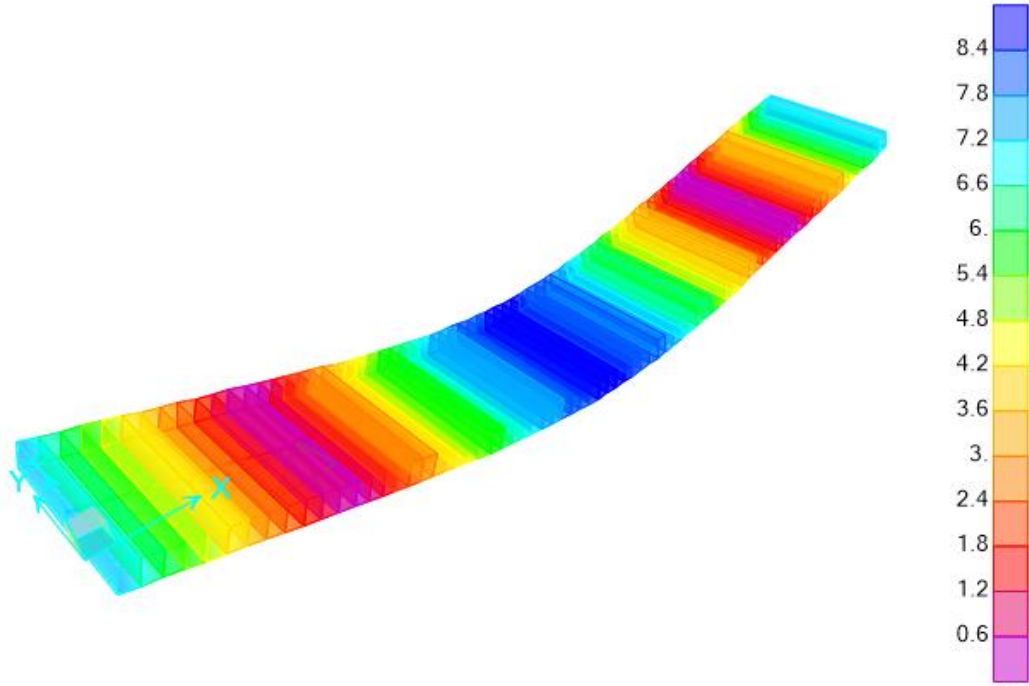


b) Çubuğun 3 boyutlu ve 2 boyutlu Maksimum asal gerilme diyagramları (Pa)

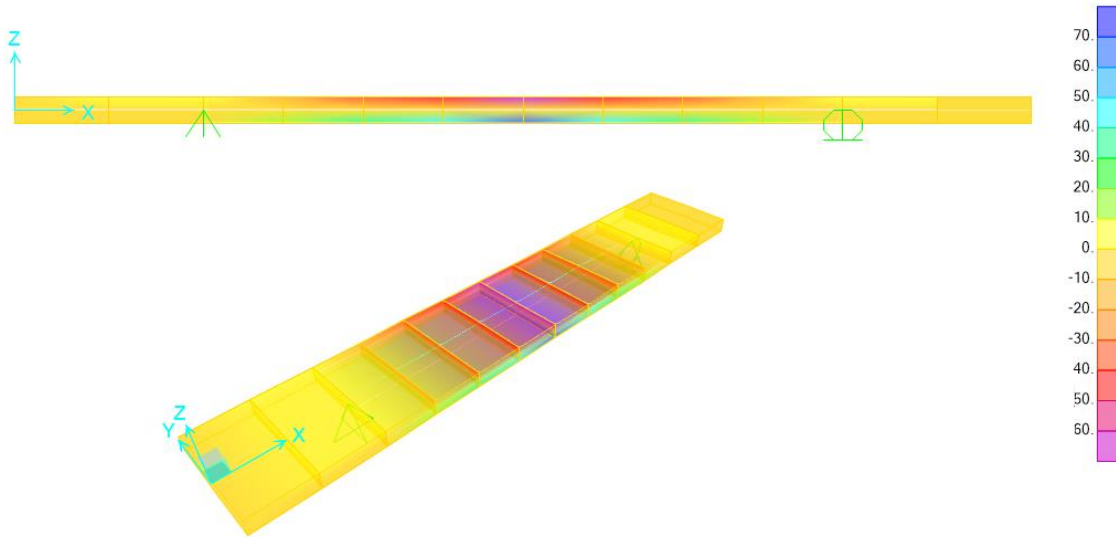
Şekil 40. Kontrol grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b)

Şekil 40'a göre, kontrol grubu olan SMA ko-polimerinin 3 noktalı eğilmeye maruz kalması durumunda kapalı çözümler, 2 boyutlu gerilme değeri 68.18 MPa ve deformasyon miktarı -11.66 mm olarak elde edilmiştir. Deney ve açık çözüm yaklaşımlarına göre, deformasyon miktarı farkı %0.6, gerilme değeri farkı %2.89'tür.

Şekil 41’de %10UT örneklerinin 3 noktalı eğilme sonucu oluşan maksimum gerilme ve deformasyon gösterilmiştir.



a) Çubuğun toplam deformasyon diyagramı (mm)



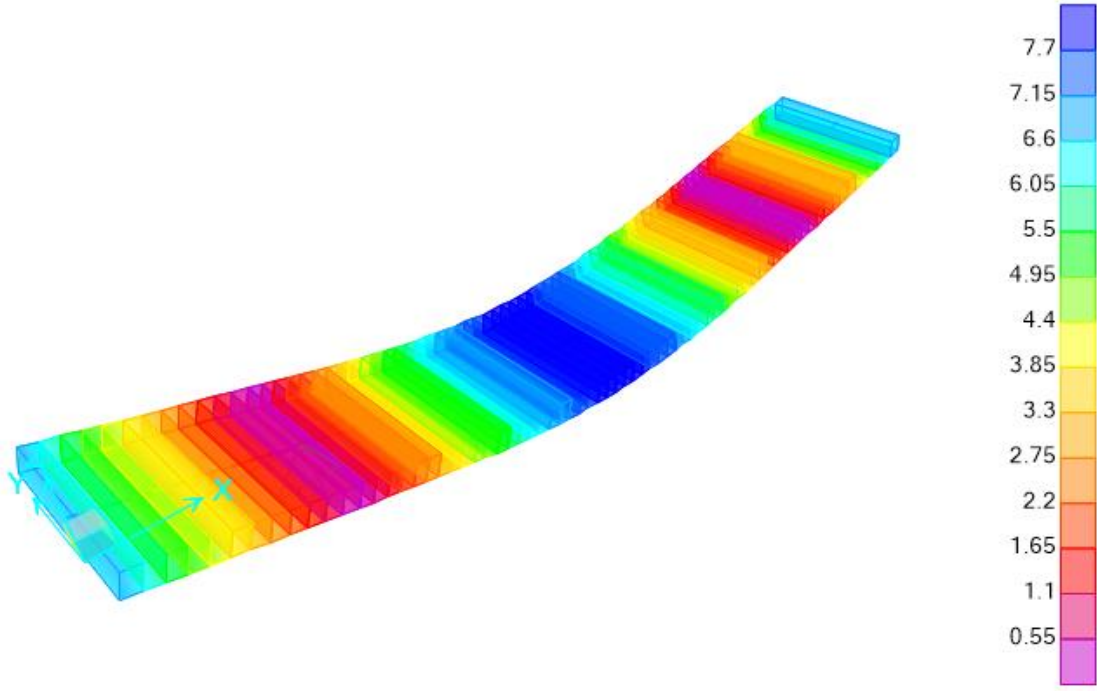
b) Çubuğun 3 boyutlu ve 2 boyutlu Maksimum asal gerilme diyagramları (Pa)

Şekil 41. %10UT grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b)

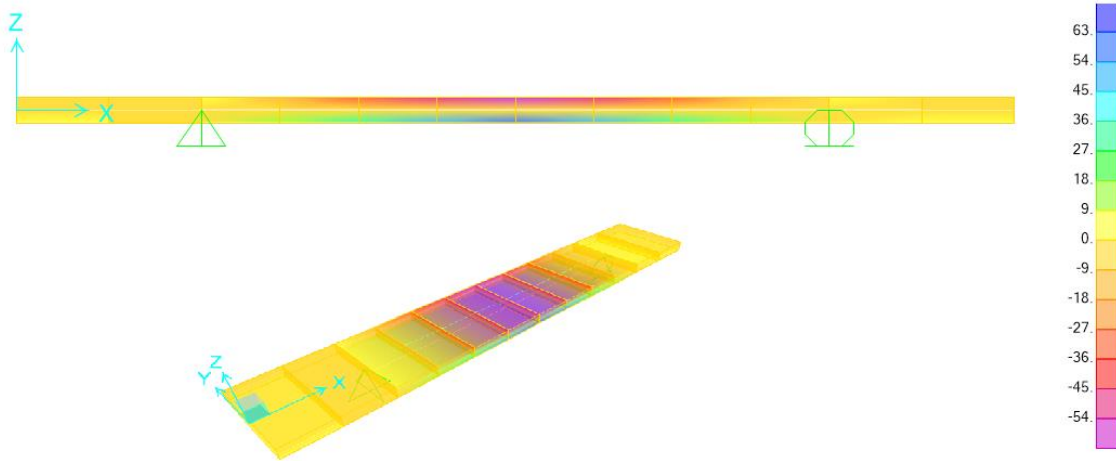
Şekil 41’e göre, %10UT grubu olan kompozitin, 3 noktalı eğilmeye maruz kalması durumunda kapalı çözümler, 2 boyutlu gerilme değeri 68.18 MPa ve deformasyon miktarı - 8.49 mm olarak elde edilmiştir. Deney ve açık çözüm yaklaşımlarına göre, deformasyon

miktarı farkı %0.47, gerilme değeri farkı %7.74'tür.

Şekil 42'de %10T örneklerinin 3 noktali eğilme sonucu oluşan maksimum gerilme ve deformasyon gösterilmiştir.



a) Çubuğun toplam deformasyon diyagramı (mm)



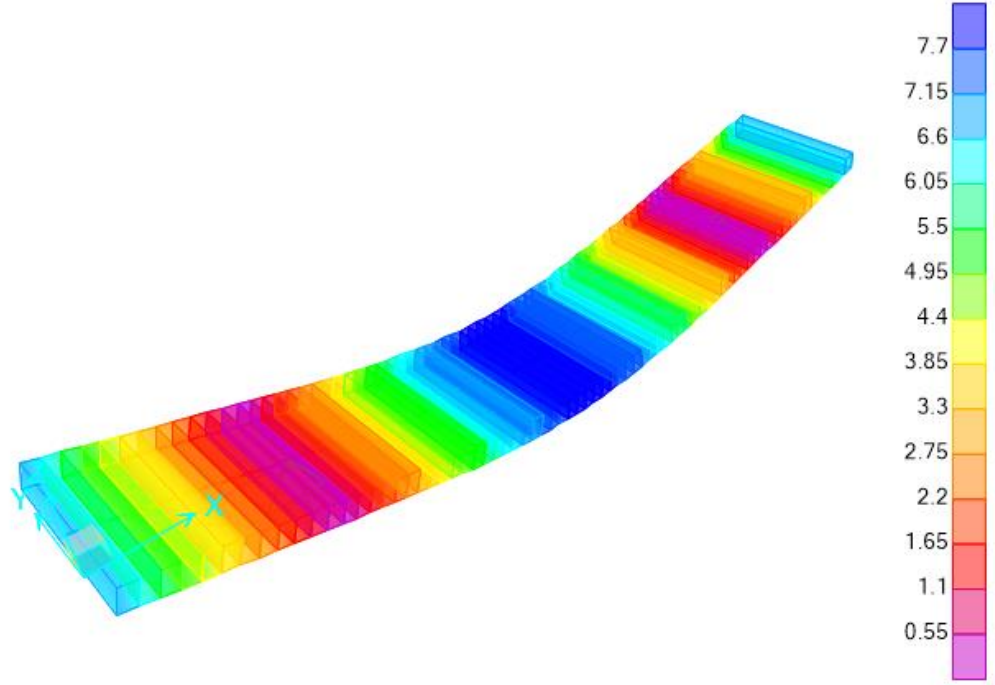
b) Çubuğun 3 boyutlu ve 2 boyutlu Maksimum asal gerilme diyagramları (Pa)

Şekil 42. %10T gurubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b)

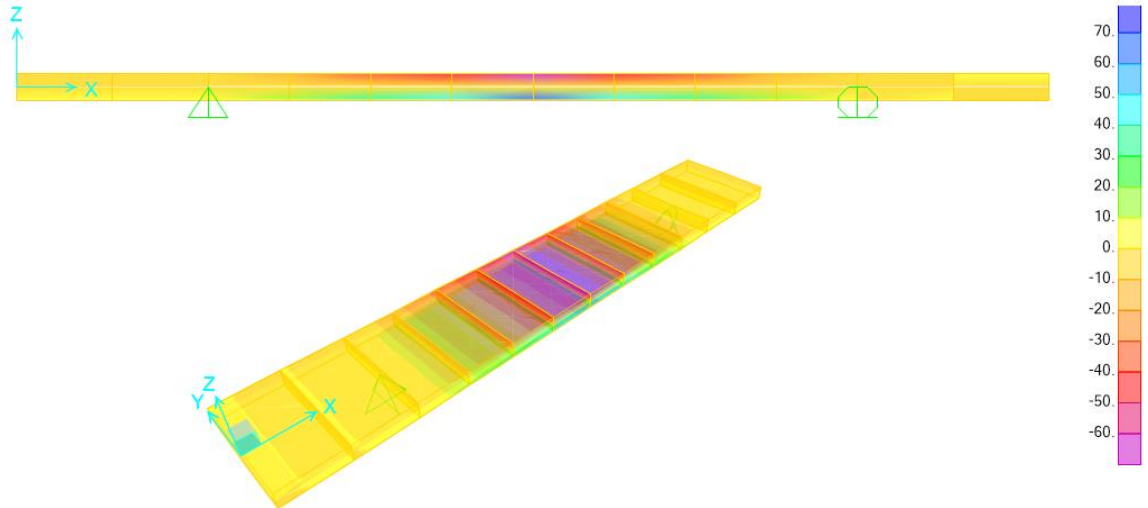
Şekil 42'e göre, %10T grubu olan kompozitin, 3 noktali eğilmeye maruz kalması durumunda kapalı çözümler, 2 boyutlu gerilme değeri 62.86 MPa ve deformasyon miktarı - 7.91 mm olarak elde edilmiştir. Deney ve açık çözüm yaklaşımlarına göre, deformasyon

miktarı farkı %0.50, gerilme değeri farkı %8.76'dır.

Şekil 43'de %20UT örneklerinin 3 noktalı eğilme sonucu oluşan maksimum gerilme ve deformasyon gösterilmiştir.



a) Çubuğun toplam deformasyon diyagramı (mm)



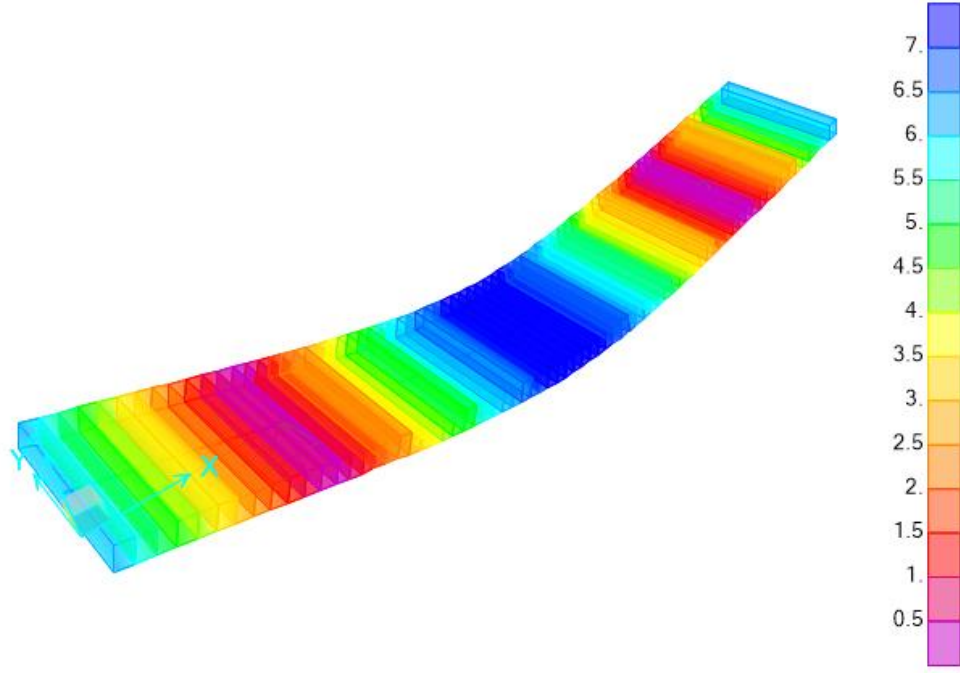
b) Çubuğun 3 boyutlu ve 2 boyutlu Maksimum asal gerilme diyagramları (Pa)

Şekil 43. %20UT grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b)

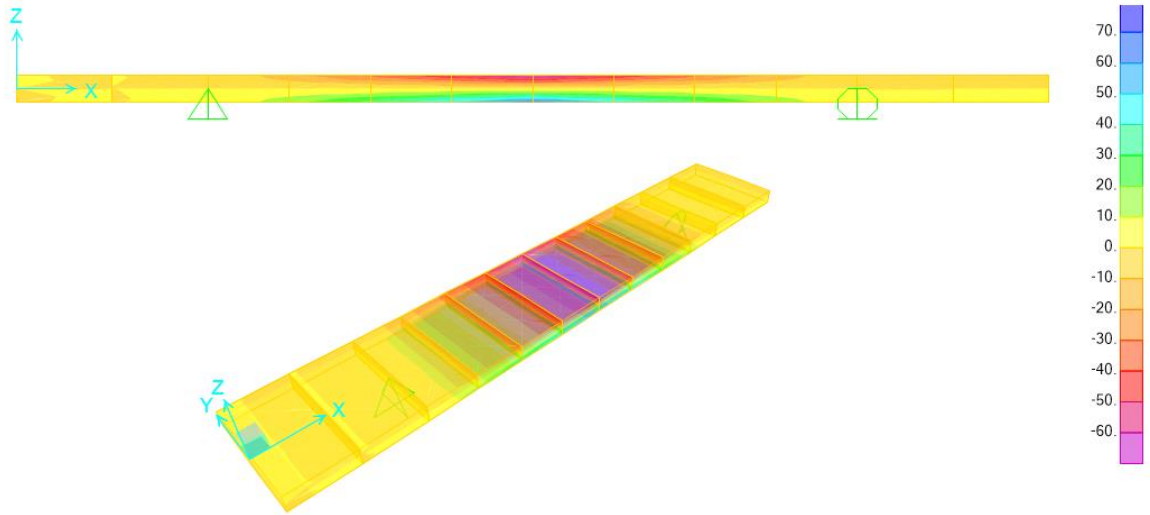
Şekil 43'e göre, %20UT grubu olan kompozitin, 3 noktalı eğilmeye maruz kalması durumunda kapalı çözümler, 2 boyutlu gerilme değeri 60.39 MPa ve deformasyon miktarı -

7.98 mm olarak elde edilmiştir. Deney ve açık çözüm yaklaşımlarına göre, deformasyon miktarı farkı %1.62, gerilme değeri farkı %5.47'dir.

Şekil 44'de %20T örneklerinin 3 noktalı eğilme sonucu oluşan maksimum gerilme ve deformasyon gösterilmiştir.



a) Çubuğun toplam deformasyon diyagramı (mm)



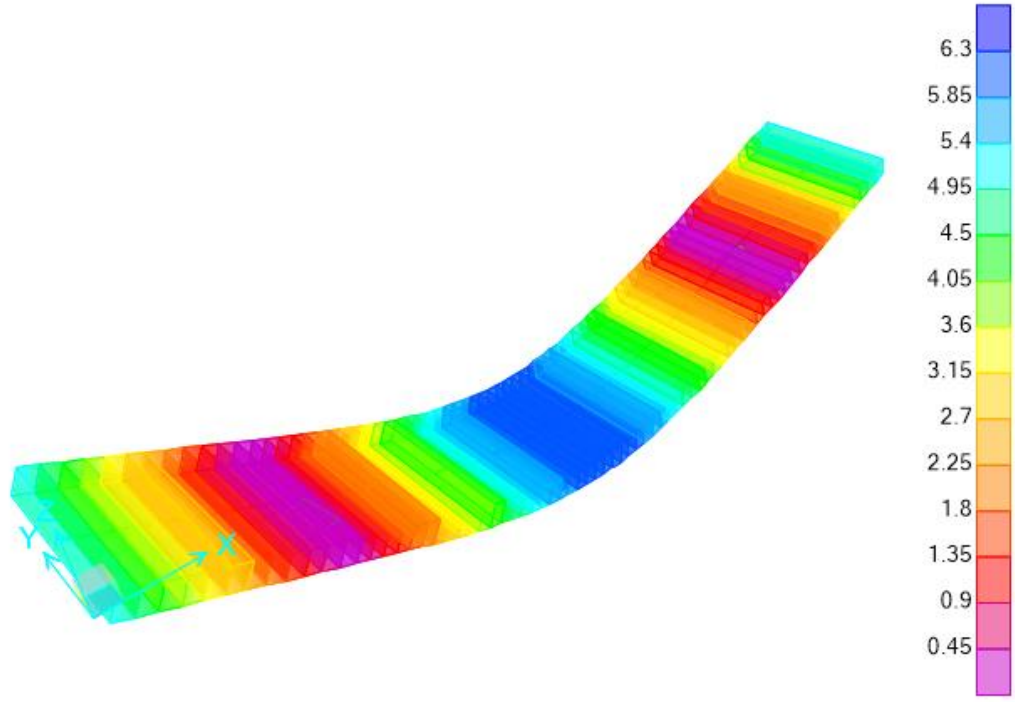
b) Çubuğun 3 boyutlu ve 2 boyutlu Maksimum asal gerilme diyagramları (Pa)

Şekil 44. %20T gurubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b)

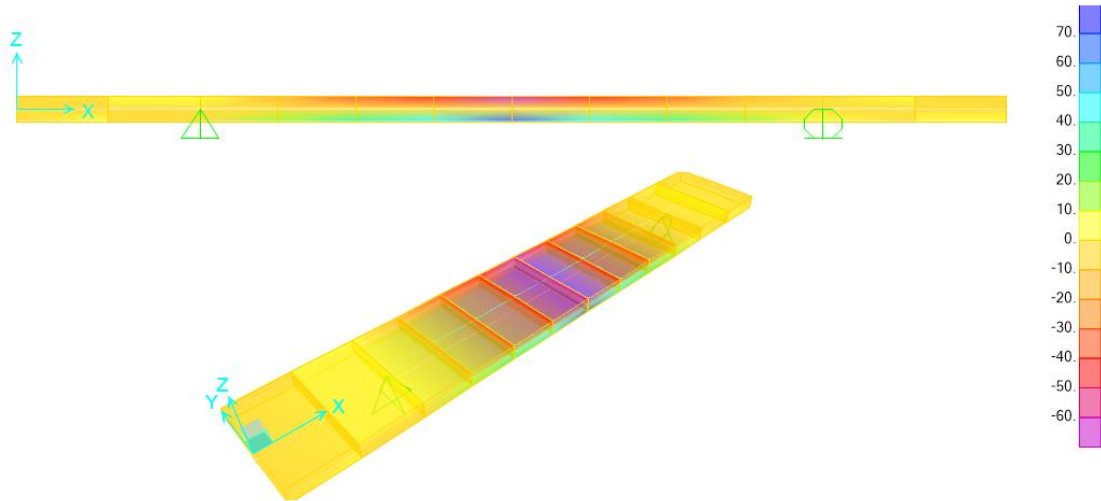
Şekil 44'e göre, %20T grubu olan kompozitin, 3 noktalı eğilmeye maruz kalması

durumunda kapalı çözümler, 2 boyutlu gerilme değeri 65.52 MPa ve deformasyon miktarı - 7.34 mm olarak elde edilmiştir. Deney ve açık çözüm yaklaşımlarına göre, deformasyon miktarı farkı %0.54, gerilme değeri farkı %7.57'dir.

Şekil 45'de %30UT örneklerinin 3 noktalı eğilme sonucu oluşan maksimum gerilme ve deformasyon gösterilmiştir.



a) Çubuğun toplam deformasyon diyagramı (mm)

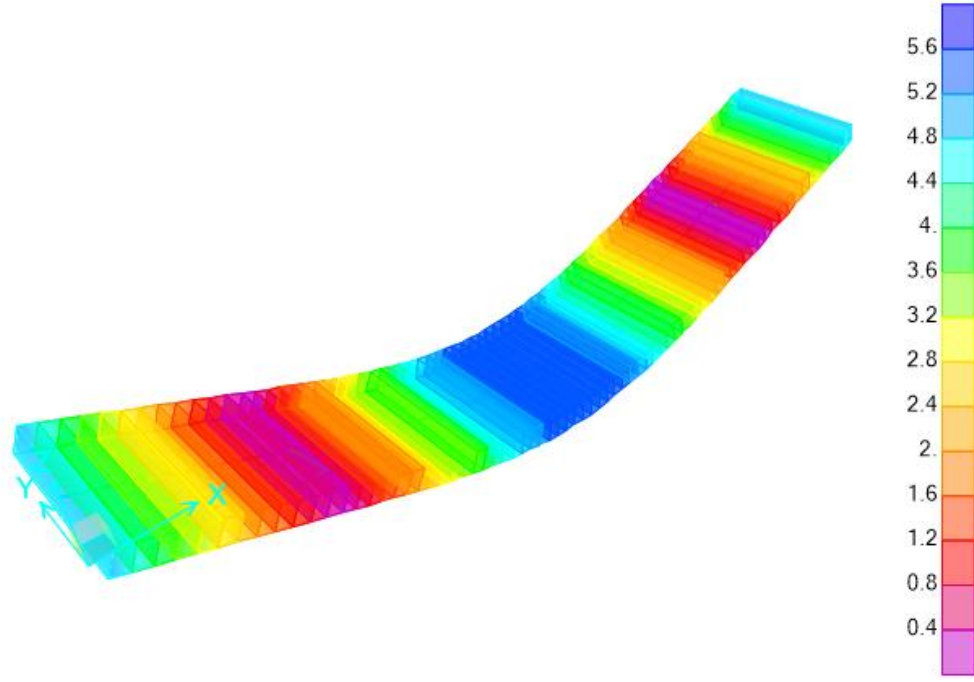


b) Çubuğun 3 boyutlu ve 2 boyutlu Maksimum asal gerilme diyagramları (Pa)

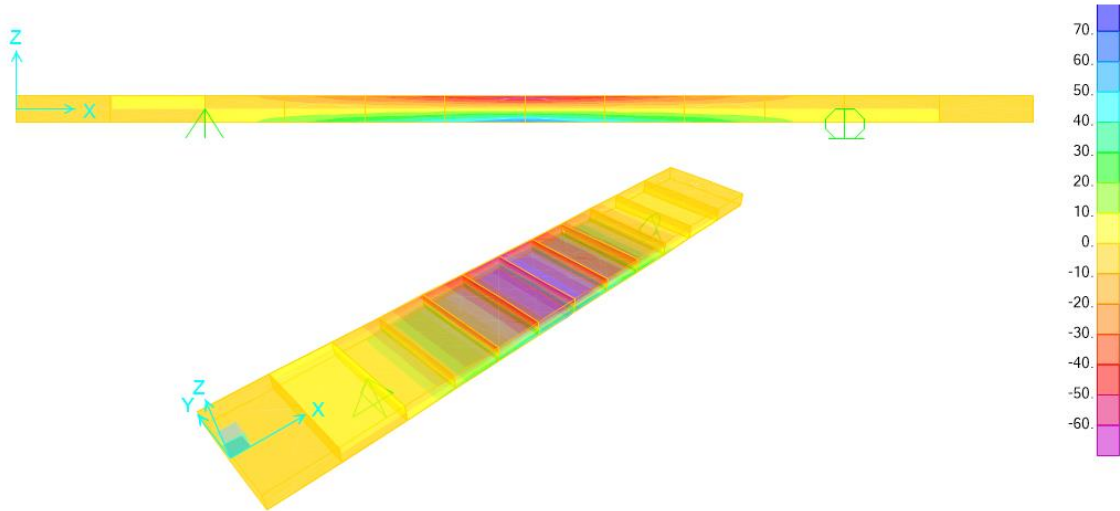
Şekil 45. %30UT grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b) Şekil 45'e göre, %30UT grubu olan kompozitin, 3 noktalı eğilmeye maruz kalması durumunda kapalı çözümler, 2 boyutlu gerilme değeri 63.92 MPa ve deformasyon miktarı -

6.11 mm olarak elde edilmiştir. Deney ve açık çözüm yaklaşımlarına göre, deformasyon miktarı farkı %0.49, gerilme değeri farkı %10.60'dır.

Şekil 46'da %30T örneklerinin 3 noktalı eğilme sonucu oluşan maksimum gerilme ve deformasyon gösterilmiştir.



a) Çubuğun toplam deformasyon diyagramı (mm)



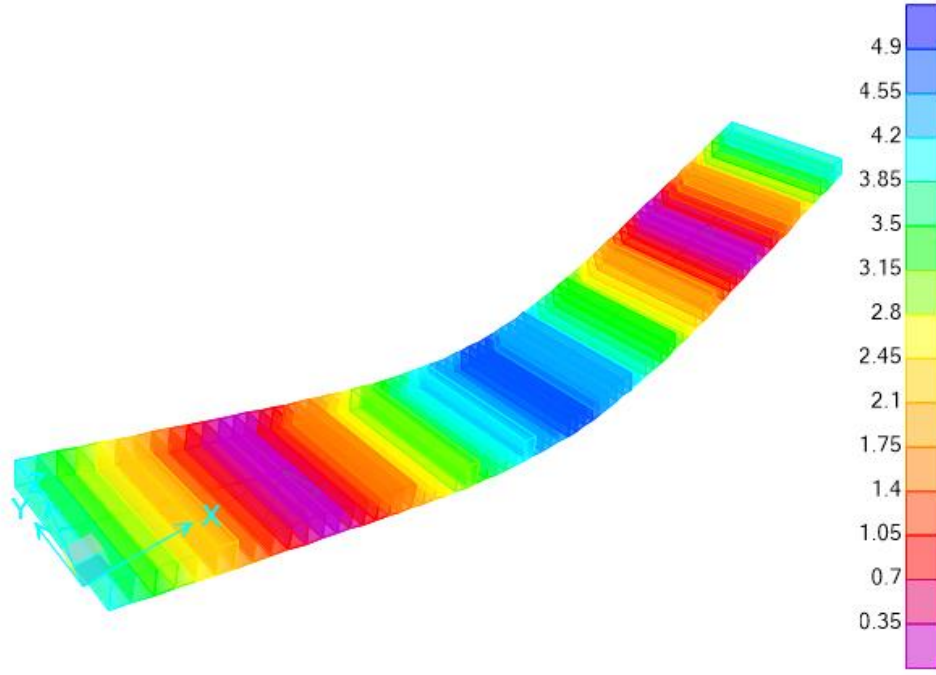
b) Çubuğun 3 boyutlu ve 2 boyutlu Maksimum asal gerilme diyagramları (Pa)

Şekil 46. %30T gurubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b)

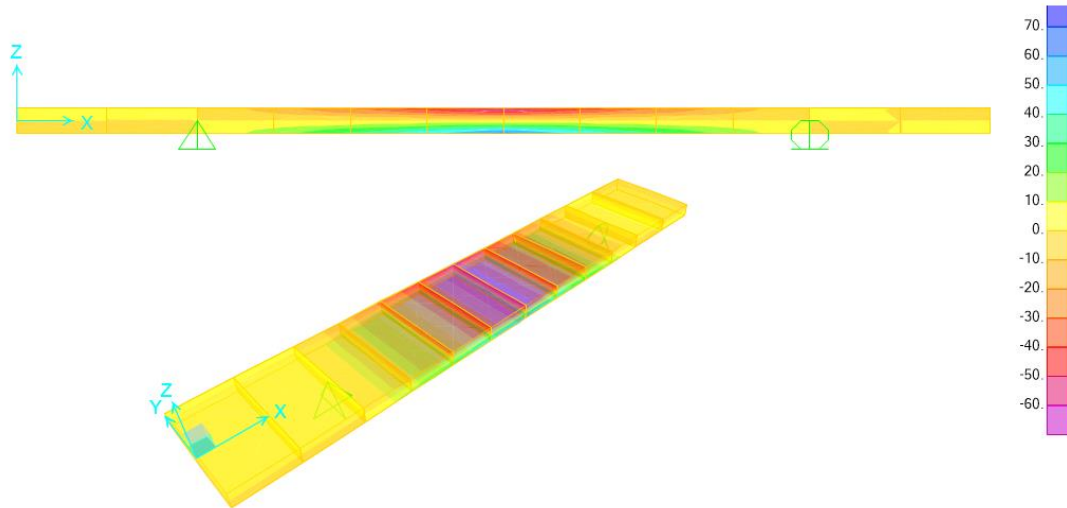
Şekil 46'ya göre, %30T grubu olan kompozitin, 3 noktalı eğilmeye maruz kalması durumunda kapalı çözümler, 2 boyutlu gerilme değeri 63.39 MPa ve deformasyon miktarı -

5.47 mm olarak elde edilmiştir. Deney ve açık çözüm yaklaşımlarına göre, deformasyon miktarı farkı %0.36, gerilme değeri farkı %10.68'dir.

Şekil 47'de %40UT örneklerinin 3 noktall eğilme sonucu oluşun maksimum gerilme ve deformasyon gösterilmiştir.



a) Çubuğun toplam deformasyon diyagramı (mm)



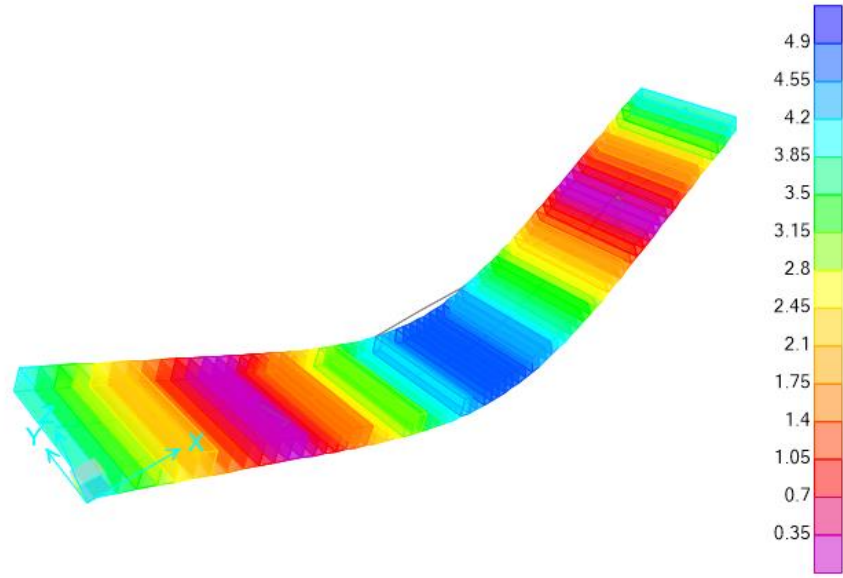
b) Çubuğun 3 boyutlu ve 2 boyutlu Maksimum asal gerilme diyagramları (Pa)

Şekil 47. %40UT grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b)

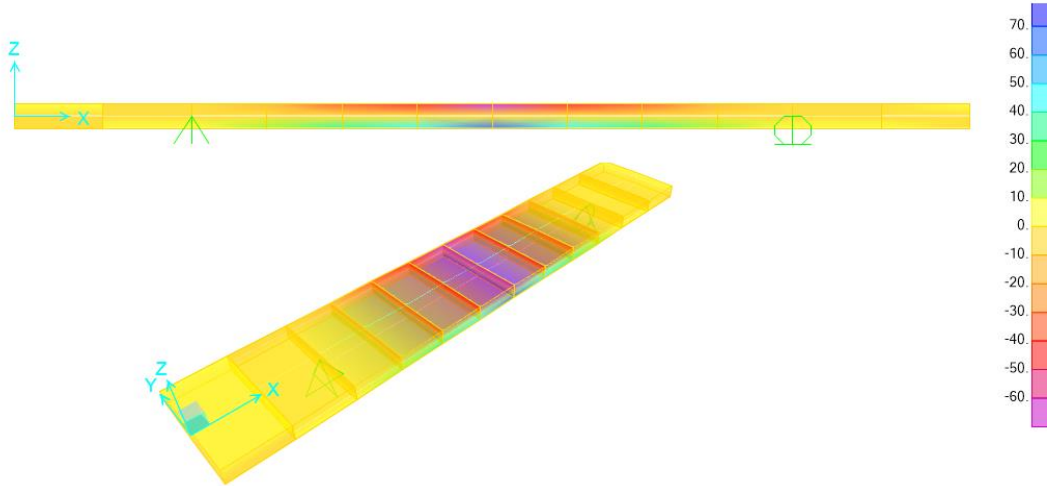
Şekil 47'ye göre, %40UT grubu olan kompozitin, 3 noktall eğilmeye maruz kalması durumunda kapalı çözümler, 2 boyutlu gerilme değeri 63.39 MPa ve deformasyon miktarı -

4.60 mm olarak elde edilmiştir. Deney ve açık çözüm yaklaşımlarına göre, deformasyon miktarı farkı %0.43, gerilme değeri farkı %12.40'dır.

Şekil 48'de %40T örneklerinin 3 noktalı eğilme sonucu oluşan maksimum gerilme ve deformasyon gösterilmiştir.



a) Çubuğun toplam deformasyon diyagramı (mm)



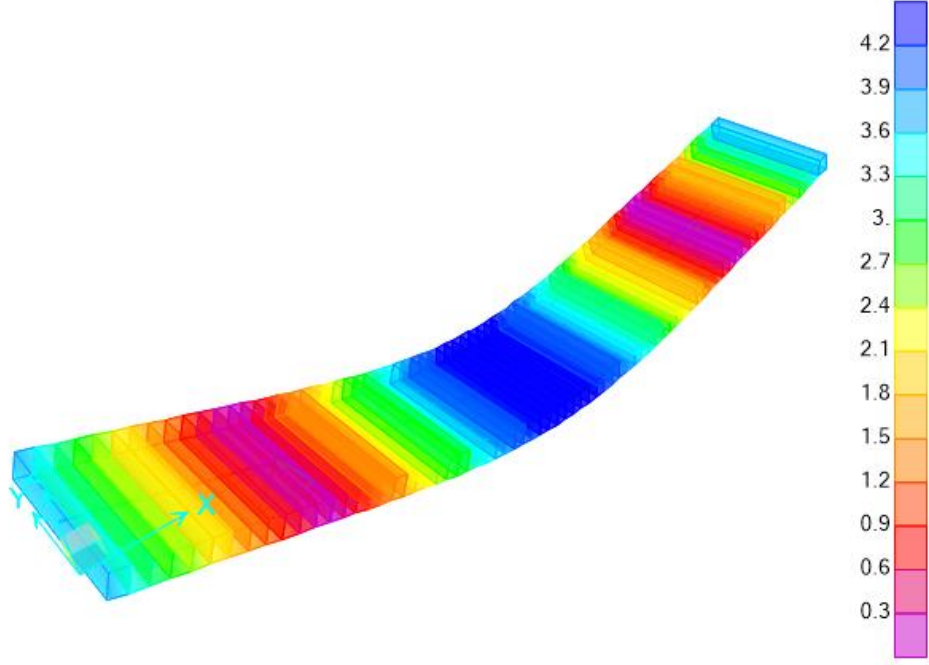
b) Çubuğun 3 boyutlu ve 2 boyutlu Maksimum asal gerilme diyagramları (Pa)

Şekil 48. %40T grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b)

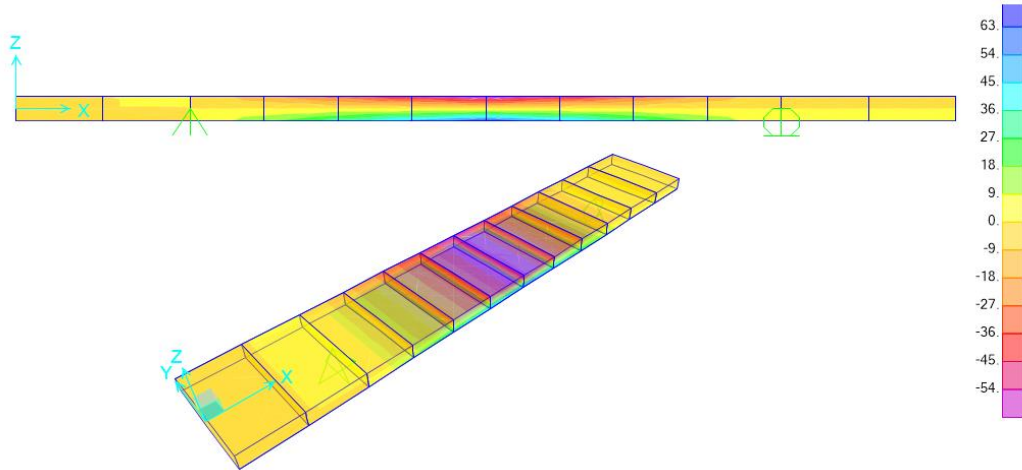
Şekil 48'e göre, %40T grubu olan kompozitin, 3 noktalı eğilmeye maruz kalması durumunda kapalı çözümler, 2 boyutlu gerilme değeri 63.92 MPa ve deformasyon miktarı -4.71 mm olarak elde edilmiştir. Deney ve açık çözüm yaklaşımlarına göre, deformasyon

miktarı farkı %0.42, gerilme değeri farkı %12.28'dir.

Şekil 49'da %50UT örneklerinin 3 noktalı eğilme sonucu oluşan maksimum gerilme ve deformasyon gösterilmiştir.



a) Çubuğun toplam deformasyon diyagramı (mm)

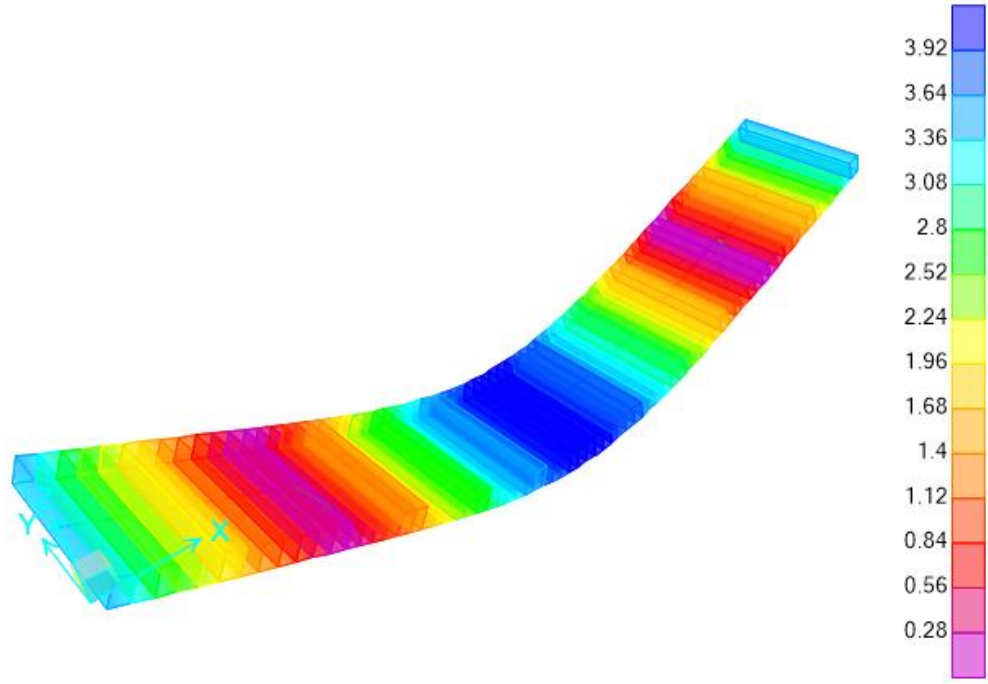


b) Çubuğun 3 boyutlu ve 2 boyutlu Maksimum asal gerilme diyagramları (Pa)

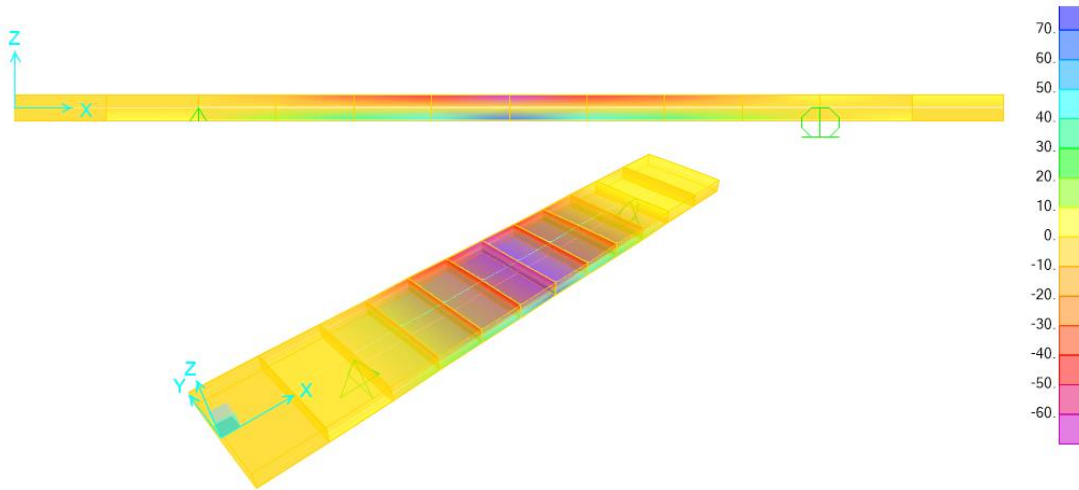
Şekil 49. %50UT grubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b)

Şekil 49'a göre, %50UT grubu olan kompozitin, 3 noktalı eğilmeye maruz kalması durumunda kapalı çözümler, 2 boyutlu gerilme değeri 61.26 MPa ve deformasyon miktarı - 4.41 mm olarak elde edilmiştir. Deney ve açık çözümlerine göre, deformasyon miktarı farkı %0.45, gerilme değeri farkı %14.60'dır.

Şekil 50'de %50T örneklerinin 3 noktalı eğilme sonucu oluşan maksimum gerilme ve deformasyon gösterilmiştir.



a) Çubuğun toplam deformasyon diyagramı (mm)



b) Çubuğun 3 boyutlu ve 2 boyutlu Maksimum asal gerilme diyagramları (Pa)

Şekil 50. %50UT gurubu örneğe ait deformasyon (a) ve gerilme kontur diyagramları (b)

Şekil 50'ye göre, %50T grubu olan kompozitin, 3 noktalı eğilmeye maruz kalması durumunda kapalı çözümler, 2 boyutlu gerilme değeri 63.92 MPa ve deformasyon miktarı - 4.02 mm olarak elde edilmiştir. Deney ve açık çözümlerine göre, deformasyon miktarı farkı %0.37, gerilme değeri farkı %15.12'dir.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Mühendislik malzemeleri olarak da adlandırılan değişik polimelerden elde edilen ahşap plastik kompozitleri, yeni ve gelişmiş malzemelere olan talep gün geçtikçe arttığı şu dönemde, bilimin yeni buluşları yeni teknoloji ve sayısız teknikler sayesinde birçok yeni materyalleri ortaya çıkmakta ve bu malzemelerin kullanımı ve AR-GE çalışmaları ile son ürünün özelliklerinde gelişmeler sağlanmaktadır. Bu gelişmeler sayesinde malzeme seçimindeki geleneksel yaklaşım da ortadan kalkmaktadır. Malzeme alanındaki bu gelişmelere bağlı olarak duyulan ihtiyaç sonucunda, birçok sektörde geniş kullanım alanına sahip olan ahşap ve plastik malzemelerin bir araya gelmesi ile ahşap plastik kompozit (APK) malzeme ortaya çıkmıştır. Ahşap malzeme endüstrisi başta olmak üzere, plastik endüstrisi, otomobil endüstrisi, peyzaj sektörü vb. birçok sektörde kullanılabilen bir malzeme olan APK'nın kullanım yerlerindeki göstereceği performansın bilinmesi oldukça önemli olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada, yapı ve inşaat sektörü uygulamaları başta olmak üzere mühendislik uygulamalarında yeni yeni kullanılmaya başlanan APK'lardan biri olan odun unu destekli Strien Maleik Anhidrit (SMA) Kompozitlerinin üzerine ısıtma işlemi uygulanmış odun ununun ve odun unu dolgu oranının etkisi belirlenmiştir. Belli oranlarda elde edilmiş olan odun unu destekli SMA kompozitlerinin deneysel olarak incelenen teknolojik özelliklerini (fiziksel, mekanik, termal ve morfolojik), son yıllarda bilim adamları tarafından sıkça tercih edilen bir mühendislik tasarımı yaklaşımı olan sayısal yöntem analizlerinden sonlu elemanlar metodunu kullanarak elde edilen mekanik davranışları karşılaştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen veriler dayanarak çıkarılan sonuçlar maddeler halinde sunulmuştur.

- Odun unu destekli SMA kompozitlerinin ısıtma işlemi uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitleri üzerine yoğunluk etkileri incelendiğinde, saf SMA kontrol örneklerinin, odun unu destekli SMA kompozitlerine göre daha az yoğun olduğu, ısıtma işlemi uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitleri arasında ciddi bir yoğunluk farkı olmadığı söylenebilir. Bu durum, kompozit oluşumunda kullanılan odun unularının

yoğunluğu saf SMA yoğunluğuna neredeyse yakın olduğundan, kompozitlerde homojen bir boşluklu yapı oluşmamaktadır. Bu yüzden malzemede ısıtma işlemi ciddi oranda yoğunluğu düşürmemektedir.

- Odun unu destekli SMA kompozitlerinin ısıtma işlemi uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitleri üzerine boyutsal stabilizasyon etkileri incelendiğinde, ısıtma işlemli kompozitler oldukça düşük boyutsal değişim göstermektedir. Su alma oranları; 2, 24 ve 48 saatler için odun unu oranı arttıkça kompozitin su alma değeri artmaktadır. Aynı şekilde odun unu oranı arttıkça saat artıma bağlı olarak kalınlığa şişme oranı da artmaktadır. Bu da odunun doğal hidrofilik yapısı, odun unu ile desteklenmiş SMA kompozitlerinde boyutsal bir değişim meydana getirmektedir.
- Odun unu destekli SMA kompozitlerinin ısıtma işlemi uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitleri üzerine hızlandırılmış açık hava testlerinin etkileri incelendiğinde, ısıtma işlemi muamelesiyle odunda hemiselüloz ve selülozların parçalanmasıyla hücre çeperinde lignin kalması, malzemede renk değişiminin ciddi oranda etkilemektedir. Bu yüzden ısıtma işlemli odun unu dolgu oranı arttıkça malzemenin renklerinde değişim görülmektedir. Bu bağlamda ısıtma işlemi dolgu oranı en az olan %10 oranındaki malzeme grupları renk değişiminde en iyi sonucu vermiştir.
- Odun unu destekli SMA kompozitlerinin ısıtma işlemi uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitleri üzerine mekanik sonuçlar incelendiğinde, %50P en düşük eğilme direnci (63.74 MPa) değeri, en yüksek eğilme direnci değerini ise %50TP (73.31 MPa) göstermiştir. Sonuçlara göre, ısıtma işlemli uygulanmış odun unu destekli SMA kompoziti, saf SMA ile kıyaslandığında %7.26 oranında eğilme direncinde artış göstermektedir. %40 odun unu oranı ilavesinden sonra kompozitlerin eğilme direncindeki azalma dolgu malzemesi olan odun unu ekledikçe hücresel yığılma ve bozulmaları meydana getirdiği gerçeğini ortaya çıkartmaktadır. Saf SMA kompozitlerinin eğilme elastikiyet modülü (FMOE) değeri 1.96 GPa'dır. Odun unu oranı artmasıyla doğrusal oranda FMOE değeri de artmaktadır. ısıtma işlemli en yüksek FMOE değeri veren kompozitin, saf SMA ko-polimeri ile karşılaştırıldığında

%171.42 oranında FMOE değerinde artış olduğu görülmektedir. En yüksek çekme direnci değeri %30 oranında odun unu destekli SMA kompozitlerinde görülmüş ve saf SMA ile karşılaştırıldığında, %11.87 oranında çekme direncinde artış meydana geldiği görülmektedir. Aynı şekilde odun unu oranı arttıka sistematik olarak odun unu destekli çekmede elastikiyet modülü (TMOE) değeri arttığı söylenebilir. Isıl işlemli en yüksek TMOE değeri veren kompozit ile saf SMA kıyaslandığında %74.40 oranında TMOE değerinde artış meydana geldiği görülmektedir. Yapışma direnci sonuçlarına göre, PU tutkalı (2.56 MPa) ile birleştirilen kompozitler değerini, PVAc tutkalı (1.73 MPa) ile birleştirilen kompozitlere göre yüksek yapışma direnci göstermiştir.

- TGA sonuçlar değerlendirildiğinde, ısıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitlerinin 500°C’de ağırlık kaybı %84.88, ısıl işlem uygulanmamış odun unu destekli SMA kompozitinin 500°C’de ağırlık kaybı %79.95’tir. SMA ko-polimerinin ısıl bozulması 367.90°C’de başlamakta ve bozulma oranı bu noktada odundan oldukça yüksektir. Isıl işlem uygulanmış odun unu destekli SMA kompozitleri, ısıl işlem uygulanmamış kompozitlere nazaran daha ısıl kararlılığa sahiptir.
- Morfolojik sonuçlar değerlendirildiğinde, saf SMA ve odun unu arasındaki i yüzey yapışmalarını karşılaştırmak üzere yapılan deneyde, i yüzey etrafında bazı zayıf etkileşimlerden kaynaklı kırılmalar olduğu gözlemlenmiştir.
- Reolojik sonuçlar incelendiğinde, ısıl işlemli odun unu ilavesinin depolama modülü üzerine etkisi, düşük frekanslı bölgede daha belirgin olduğu görülmekte ve odun unu oranı arttarken depolama modülü de artmaktadır. Diğer yandan; kayıp modülün, örnekler de viskoz davranış göstermesi, artan odun unu oranı miktarına bağlı olarak saf SMA miktarının azalmasından kaynaklı olduğu söylenebilir.
- Sonlu Elemanlar Metodu ile yapılan sayısal çözümlerler sonucunda, kiriş boyunca eğilmede normal gerilmeler elde edilmiştir. Maksimum normal gerilmeler, SAP2000 yazılımı kullanılarak yapılan sayısal zmlerlerden

elde edilen normal gerilme değerleri Eşitlik 4 kullanılarak yapılan açık çözümle kıyaslandığında sonuçların birbirine son derece yakın olduğu görülmektedir. Bu değerler deneysel sonuçlarla kıyaslandığında ise, %40 ve sonrası odun oranı içeren kompozitler için elde edilen değerlerde farkların arttığı görülmüştür. Bunun temel sebebi, deney yapım esnasında da fark edilen malzemenin homojen izotrop ve lineer davranışını kaybetmeye başlaması olarak ifade edilebilir.

- Sayısal çözümleme ile Eşitlik 5 kullanılarak elde edilen deformasyon değerleri kıyaslandığında ise sonuçların birbirleriyle son derece yakın olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, odun unu destekli SMA kompozitlerden elde edilen %30 oranında ısıl işlemlili dolgu oranından elde edilmiş bu APK malzemelerinin, fiziksel, mekanik, termal ve morfolojik deneysel analizlerinin sonucunda optimum değerler vermiş olup, bu sebepten dolayı orman endüstrisi sektöründe bu kompozitler yer alabileceği söylenebilir.

Ahşap veya ahşap esaslı kompozit elemanlarının tasarımı ve analizlerinde bilgisayar teknolojisinin kullanılması; tasarlanan bir malzemenin üretimine geçilmeden önce kullanım yerinde maruz kalacağı yükler etkisindeki mukavemeti hakkında ön bilgilerin elde edilmesi ve bu bilgiler ışığında gerekli değişikliklerin yapılarak tasarımın iyileştirilmesi bakımından ürün tasarımcılarına önemli kolaylıklar sağlayabilmektedir. Bu sonuçlar ışığında sonlu elemanlar yönteminin mühendislik tasarımında kullanılması önerilebilir.

Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle elde edilen elde edilen bu mühendislik malzemeleri birçok endüstride rahatlıkla kullanılabilir. Yüksek mukavemet özelliklerinden dolayı çeşitli mobilyalarda, taşımacılıkta taşınan ürünleri koruma amacıyla, yapı sektöründe dolgu ve dış mekân kaplamalarında kullanılabilir. Ayrıca poroz yapısından dolayı tutunmayı artıracığından atletizm salonlarında, marinalarda, tıbbi olarak dekore edilmesi mecburi binaların iç dekorasyonunda yer kaplaması olarak veya ısı izolasyon amaçlı kullanımı tavsiye edilebilir.

Hızlı nüfuz artışına paralel olarak orman kaynaklarına olan talep ülkemizde gün geçtikçe artmaktadır. Buna bağlı olarak, bu kaynakların talebe karşılık verememesi, yeni bir

materyal arayışını zorunlu hale getirmektedir. Ülkemizde atıl halde bulunan atıkların değerlendirilmesiyle, ormanlar üzerinde bulunan baskıyı da azaltmış olacaktır. Ayrıca alternatif yeni malzemelerin üretilmesi ve geliştirilmesi, Türkiye ekonomisine ve endüstrisine katkı sağlamış olacaktır. Saf plastik malzemeden elde edilen ürünlere göre atık malzemeden elde edilen plastik kompozitler geri dönüşüm açısından daha avantajlıdır. Kullanım ömrü dolan malzemenin yeniden geri dönüştürülmesi kolay olduğu gibi yeni atık oluşumunu önlemektedir.

KAYNAKLAR

- Agnantopoulou, E., Tserki V., Marras S., Philippou J., ve Panayiotou C. (2009). Development of biodegradable composites based on wood waste flour and thermoplastic starch, *Journal of Applied Polymer Science*. Volume 126, Issue 1: 272-280.
- Akbulut, T. (2009). Ahşap Polimer Kompozitleri, Yayınlanmamış Doktora Ders Notları, G.Ü. Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul (Basılmamıştır).
- Akkılıç, H., Kaymakçı A. ve Ünsal Ö. (2014). Isıl işlem uygulanmış ahşap malzemenin dış cephe kaplaması olarak değerlendirilme potansiyeli, 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu Yıldız Teknik Üniversitesi, Beşiktaş – İstanbul.
- Akkuş, M. (2012). Renk Açma İşleminin Termal Modifikasyon Yapılmış Bazı Ağaç Malzemelere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Düzce, 170s.
- Aloui F., Ahajji A., Irmouli Y., George B., Charrier B. ve Merlin A. (2007). Inorganic UV absorbers for photostabilisation of wood-clearcoating systems: Comparison with organic UV absorbers. *Applied Surf Sci* 253: 3737-374.
- Anıl, Ö. ve Belgin, M. Ç., (2007). Monotonik yükleme etkisi altındaki dikdörtgen kesitli betonarme kirişlerin sonlu elemanlar yöntemi ile doğrusal olmayan analizi, *Gazi Üniversitesi. Mühendislik-Mimarlık Fak. Dergisi*, Ankara, 22 (1): 191-197.
- ASTM D 3163, “Standard test method for determining the strength of adhesively bonded rigid plastic lap shear joints in shear by tension loading” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2002.
- ASTM D 570-98 (1998). Standard Test Method for Water Absorption of Plastics, Philadelphia, PA, USA.
- ASTM D 638-03. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.
- ASTM D 790-03 (2003). Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastic and Electrical Insulating Materials, ASTM International.
- ASTM D 792-98, Standard methods for density and specific gravity of composite by displacement.
- ASTM D1037-99 (2001). Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials.
- ASTM-D 1761-06 (2006). Standard test methods for mechanical fasteners in wood.
- Ayan, S.(2012). Isıl işleminin ahşap lamine panellerin bazı fiziksel özellikleri ve vida tutma dayanımına etkisinin belirlenmesi, *İleri Teknoloji Bilimler Dergisi*, Ankara, 1 (1) :35-46.
- Aydemir, D. ve Gündüz, G. (2009). Ahşabın fiziksel, kimyasal, mekaniksel ve biyolojik özellikleri üzerine ısıyla muamelenin etkisi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 11

(15):71-81.

- Aydemir, D., Kızıldaş, A., Erbaş Kızıldaş, E., Gardner, D., J. ve Gündüz, G. (2015a). Heat treated wood-nylon 6 composites. *Composites: Part B*, (68):414-423.
- Aydemir, D., Zor, M., Özden, S. ve Gündüz, G. (2010). Isıl İşlem Görmüş Titrek Kavak (*Populus tremula*) ve Ak Kavak (*Populus alba*) Odunlarının Eğilme Direnci Ve Elastikiyet Modülü Üzerine Muamele Süresinin Etkisi, *III. Ulusal Karadeniz Ormanlık Kongresi*, 20-22 Mayıs, (5):1810-1818.
- Behzad, T. ve Sain, M. (2007). Finite element modelling of polymer curing in natural fibre reinforced composites. *Composites Science and Technology*, 67:1666–73.
- Behzad, T. ve Sain, M., (2005). Cure simulation of hemp fibre acrylic based composites during sheet moulding process. *Polymer and Polymer Composites*, 13(3):235-44.
- Bhaskar, J., Haq, S., Pandey, A. K. ve Srivastava, N., (2012). Evaluation of properties of propylene-pine wood plastic composite. *J. Mater. Environ. Sci.*, 3(3):605-612.
- Bledzki A, K.; Sperber, V. E. ve Faruk, O. (2002). *Rapra Review Reports*, Vol.13, N. 8.
- Bledzki, A. K., Letman, M., Viksne, A. ve Rence, L. (2005). A comparison of compounding processes and wood type for wood fibre-PP composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36:789-97.
- Bledzki, A.K. ve Faruk, O. (2006) Effects of the chemical foaming agents, injection parameters, and melt-flow index on the microstructure and mechanical properties of microcellular injection-molded wood-fiber= polypropylene composites. *J. Appl. Polym. Sci.*, 97:1090–1096, <http://doi:10.1002/app.21685>.
- Britanica (2011). Properties of Styrene-Maleic Anhydride Copolymer, Britanica Ansiklopedisi. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/1551219/styrenemaleic-anhydride-copolymer> (14 July 2011).
- Broutman, L. J. ve Krock, R. H. (1967). *Modern Composite Materials*, AddisonWesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.
- Butylina, S., Martikka, O. ve Karki, T. (2011). Properties of wood fibre-polypropylene composites: effect of wood fibre source. *Appl Compos Mate*, 18(2):101–11.
- Can, A. (2011). Endüstriyel ölçekli ısıl işlem ve borlu bileşiklerle emprenyenin odunun bazı fiziksel, mekanik ve biyolojik özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 125 s.
- Cavdar, A. D., Mengelöglu, F. and Karakus, K. (2015). Effect of boric acid and borax on mechanical fire and thermal properties of wood flour filled high density polyethylene composites. *Measurement*, 60, 6-12. DOI:10.1016/j.measurement.2014.09.078.
- Chen, X.Y., Guo, Q.P. ve Mi, X.L. (1998). Bamboo fiber reinforced polypropylene

- composites. A study of the mechanical properties. *J. Appl. Polym. Sci.*, 69: 1891-1899.
- Chow, C.D. (2003). Molecular weights of styrene–maleic anhydride copolymers. *Journal of Applied Polymer Science*, 20 (6): 1619-1626.
- Clemons, C. (2002). Wood-Plastic Composites in the United States The Interfacing of Two Industries. *Forest Product Journal*, 52 (6): 10-17.
- Custódio, J.E.P. ve Eusébio, M.I. (2006). Waterborne acrylic varnishes durability on wood surfaces for exterior exposure. *Prog in Org Coating*, 56: 59-67.
- Çalıova, Z. (2011). Kızılağaç ve doğu ladini odunlarının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısı işlemin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 92 s.
- Çehreli, T. H. (1981). Yönlendirilmiş Yongalı Levhaların Üretimi, teknolojik özellikleri ve kullanma Yerleri. *K.T.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 4(1): 98-120.
- Çıtak, O. (2012). Boraks ve borik asit ile emprenye edilmiş ve ısı işleme tabi tutulmuş kayın odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 125 s.
- Davidsoni A., Hanna, D. (2004). Engineered Wood Products: Prospects for Australia, Abare ereport 04.14 Prepared for the Forest and Wood Products Research and Development Corporation, Canberra, August. ISSN 1447-817X, ISBN 1-920925, 16(3):5.
- Deka, M. ve Petrič, M. (2008). Photo-degradation of water borne acrylic coated modified and non-modified wood during artificial light exposure. *BioResources* 3(2): 346-362.
- Doğanalp, S. (2003). Kalman Filtreleme Yöntemiyle Deformasyon Analizi. Yüksek Lisans Tezi, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, Konya, 42 s.
- Doroudiani, S. ve Kortschot, M. (2004). Expanded Wood Fiber Polystyrene Composites: Processing– Structure Mechanical Properties Relationships. *Journal of Thermoplastic Composite*, 17 (1):13-30.
- Doruk, Ş., Altınok, M. ve Perçin, O. (2010). Isıl işlemin ağaç malzemenin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Isparta, 14(3):262-270.
- English, W.B. ve Falk, H.R. (1995). Factors that Affect the Application of Woodfiber-Plastic Composites. *Woodfiber-Plastic Composites Virgin and Recyled Wood Fiber and Polimer for Composites*, May 1-3 1995 Madison USA, 189-194.
- Enjily, V. ve Jones, D. (2006). The potential for modified materials in the panel products industry. *Wood Resources and Panel Properties Conference*, 12-14 June, Spain,

Cost action E44/E49.

- Esen, R. (2012). Isıl işlemin meşe ağaç malzemedeki yapışma direncine etkileri. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, Isparta, 13: 150-154.
- Evans, P.D., Owen, N.L., Schmid, S. ve Webster, R.D. (2002). Weathering and photostability of benzoylated wood. *Poly Degr and Stabil*, 76: 291-303.
- Faix, O., Bremer, J., Schmidt, O. ve Stevanović, T. (1991). Monitoring of chemical changes in white-rot degraded beech wood by pyrolysis-gas chromatography and Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 21:147–162.
- Fang, H., Wu, Q., Hu Y,Wang, Y. ve Yan, X. (2013). Effects of thermal treatment on durability of short bamboo-fibers and its reinforced composites. *Fibers Polym*,14(3):436–40.
- Faruk, O., Bledzki, A. K. ve Matuana, L. M. (2007). Microcellular foamed wood plastic composites by different processes: a Review. *Macromolecular Materials and Engineering*, 292: 113-127, <http://doi:10.1002/mame.200600406>.
- Gomes, F.P., Silva, N.H.C.S., Trovatti, E., Serafim, L.S., Duarte, M.F., Silvestre, A.J.D., Neto, C.P., Freire, C.S.R. (2013). Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter sacchari* using dry olive mill residue. *Biomass and Bioenergy*, 55: 205-211.
- Groom, H.L. ve diğerleri. (1995). The Mechanical Properties of Individual Lignocellulosic Fibers. *Woodfiber-Plastic Composites Virgin and Recycled Wood Fiber and Polymer for Composites*, May 1-3, Madison USA, 33-40.
- Guo, Z.S., Du, S. ve Zhang, B. (2004). Temperature distribution of thick thermoset composites. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering* 12(3):443–52.
- Gustafsson, S. I., 1996: Finite Element Modeling versus reality for birch chairs. *Holz Roh Werkst*, 54: 355-359. <http://dx.doi.org/10.1007/s001070050200>.
- Güler, F.D. (2010). Bazı ağaç türlerinde ısıl işlem uygulamasının vernik katman özellikleri üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Düzce, 166 s.
- Güntekin, E. (2004). Kavelalı mobilya köşe birleştirmelerinin sonlu elemanlar analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 1:159-169.
- Halib, N., Amin, M.C.I.M., Ahmad, I. (2012). Physicochemical properties and characterization of nata de coco from local food industries as a source of cellulose. *Sains Malaysiana*, 41(2): 205–211.
- Han, Y. ve Gardner, D.J., (2010). Foamed styrene-based WPC using physical blowing agent created during reactive extrusion, 10th International Conference on Wood and Biofiber Plastic Composites and Cellulose Nanocomposites Symposium,

Madison, WI, May 11–13.

- Han, Y., Gardner, D.J. ve West, C. (2013). Structural wood plastic composite foams via reactive extrusion. *Window & Door Manufacturers Association Technical Conference*. Milwaukee, Wisconsin, May, 2013, <http://www.forestprod.org/fiberpolymer/about.html>, Accessed: 02.17.2016.
- Hill, C.A.S. (2006). Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes, Wiley Series in Renewable Resources. *John Wiley & Sons Inc.*, 260 s, Chichester, UK. ISBN: 978-0-470-02172-9.
- Hornsby, P.R., Hinrichsen, E. ve Tarverdi, K. (1997). Preparation and properties of polypropylene composites reinforced with wheat and flax straw fibres, Part I. Fibre characterization. *Journal of Materials Science*, (32): 443-449.
- Jebrane, M., Sèbe, G., Cullis, I. ve Evans, P.D. (2009). Photostabilisation of wood using aromatic vinyl esters. *Poly Degr and Stabil*, 94(2): 1-7.
- Joshi, S.C., Liu, X. ve Lam, Y. A. (1999). Numerical approach to the modelling of polymer curing in fibre-reinforced composites. *Composite Science and Technology*, 59:1003–13.
- Kaboorani, A. (2009). Thermal properties of composites made of heat treated wood and polypropylene. *Journal of Composite Materials*, 43(22): 2599-2607.
- Kaboorani, A., Faezipour, M. ve Ebrahimi, G. (2008). Feasibility of using heat treated wood in wood/thermoplastic composites. *J Reinf Plast Compos*, 27(16–17):1689–99.
- Kaboorani, A., ve Faezipour, M. (2009). Effects of wood preheat treatment on thermal stability of HDPE composites. *J Reinf Plast Compos*, 28(24):2945–55.
- Karabulut, A. (2010). Türkiye orman ürünleri sanayisinde ISPM 15 standardına göre ısıtım işlem uygulayan işletmeler üzerine bir araştırma. Bartın Üniversitesi, Bartın, Yüksek Lisans Tezi, 69 s.
- Karakaş, G. (2008). Ahlât (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) odununun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde ısıtım işlemin etkisi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, Yüksek Lisans Tezi, 71 s.
- Katz, H.S. ve Milewski, J.V., (1987). Handbook of Fillers for Plastics, *Van Nostrand Reinhold*, New York, USA.
- Kaygin, B., Yörür, H. ve Uysal, B. (2016). Simulating strength behaviours of corner joints of wood constructions by using finite element method, *Drvna Industrija*, 67(2):133-140.
- Kızıldaş, A., Gardner, D.J., Han, Y. ve Yang, H.S. (2011). Dynamic mechanical behavior and thermal properties of microcrystalline cellulose (MCC)-filled nylon 6 composites. *Thermochimica Acta*, 519: 38–43.

- Klyosov, A.A. (2007). Wood-Plastic Composites, *John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey*, 702 s.
- Korkut, S. (2009). Gürgen Yapraklı Kayacık (*Ostrya carpinifolia Scop.*) Odununun Bazı Mekanik Özellikleri Üzerine Isıl İşlem Sıcaklık ve Süresinin Etkisi, *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5(1): 121-130.
- Kohler, R. Ve Kessler, R.W. (1999). Designing natural fiber for advanced materials. *The Fifty International Conference on Wood fiber-Plastic Composites*, Madison, Wisconsin.
- Kord, B., (2012). The Impact of Plastics Virginity on Water Absorption and Thickness Swelling of Wood Plastic Composites. *World Applied Sciences Journal*, 17(2):168-171.
- Kral, P., Klimek, P. ve Decky, D., (2015). Comparison of the bond strength of oak (*Quercus L.*) and beech (*Fagus sylvatica L.*) wood glued with different adhesives considering various hydrothermal exposures. *Journal of forest science*, 61 (5): 189-192.
- Kuo, P., Wang, S., Chen, J., Hsueh, H. ve Tsai, M. (2009). Effects of material compositions on the mechanical properties of wood-plastic composites manufactured by injection molding. *Materials and Design*, 30 (9): 3489-3496.
- Lafia-Araga, R.A., Hassan, A., Yahya ,R., Rahman, N.A., Hornsby, P.R., ve Heidarian J. (2012). Thermal and mechanical properties of treated and untreated Red Balau (*Shorea dipterocarpaceae*)/LDPE composites. *J Reinf Plast Compos*, 31(4):215-24.
- Luo, S., Cao, J. ve Peng, Y. (2014). Properties of glycerin-thermally modified wood flour/polypropylene composites. *Polym Compos*, 35(2):201-7.
- Luo, S., Cao, J. ve Wang, X. (2013). Investigation of the interfacial compatibility of PEG and thermally modified wood flour/polypropylene composites using the stress relaxation approach. *Bioresources*, 8(2):2064-73.
- Luo, S-P., Cao, J-Z. ve Wang, X. (2012). Properties of PEG/thermally modified wood flour/ polypropylene (PP) composites. *Forestry Stud. China*, 14(4):307-14.
- Mackerle, J. (2005). Finite element analyses in wood research: a bibliography. *Wood Science and Technolog*, 39(7): 579-600.
- Matuana, L.M. ve Heiden, P.A. (2004). Wood Composites, in: Encyclopedia of Polymer Science and Technology, J. I. Kroschwitz, Ed., *John Wiley & Sons, Inc.*, New York.
- Mayes, D. ve Oksanen, O. (2002). *Thermowood handbook*, Finnforest, Finland, 5-15.
- Mengelöglü, F. ve Karakus K. (2008). Polymer-composites from recycled high density polyethylene and waste lignocellulosic materials. *Fresenius Environmental*

Bulletin, 17(2):211-217.

- Mengeloğlu, F. Ve Kurt R. (2004). Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler Tabakalanmış Kereste (TAK) ve Tabakalanmış Ağaç Malzeme (TAM). KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(1), Sayfa:39-44.
- Najafi, A. ve Khademi-Eslam, H. (2011): Lignocellulosic filler/reycyled HDPE composites: effect of filler type on physical and flexural properties. *BioResources* 6(3): 2411-2424.
- Özcan, C. (2011). Yeni bir yanma düzeneğinin hazırlanması ve ısı işlem görmüş ağaç malzemelerin yanma özelliklerinin belirlenmesi. Bartın Üniversitesi, Bartın, Doktora Tezi, 127s.
- Özçiğci, A., Altun,S. ve Yapıcı, F. (2009). Isıl işlem uygulamasının ağaç malzemenin teknolojik özelliklerine etkisi. *5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs.
- Özgenç, O., Hızıroğlu, S. ve Yıldız, U.C. (2012). Weathering properties of wood species treated with different coating applications. *BioResources*, 7(4): 4875-4888.
- Özgenç, Ö. ve Yıldız, Ü.C. (2011). Induline SW 900 Su bazlı emprenye maddesi uygulanan odunun hızlandırılmış dış ortam testine olan dayanımı, *KSU Mühendislik Bil. Der. Özel sayı*.
- Pandey, K.K. (2005). Study of the effect of photoirradiation on the surface chemistry of wood. *Poly Degr and Stabil*, 90: 9-20.
- Powell, R.M. (1997). Treatments that enhance physical properties of wood. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, *General Technical Report FPL-50*, 1987.
- Ray, D. ve Rout, J. (2005). Thermoset Biocomposites, In: *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites Mohanty*, 291-345 s, Boca Raton.
- Riedel, U. ve Nickel, J. (2003). *Seventh International Conference on Wood fiber-Plastic Composites*, May 19–20, Madison, Wisconsin, USA.
- Rizvi, G., Matuana, L.M. ve Park, C.B. (2000). Foaming of PS=wood fiber composites using moisture as a blowing agent. *Polym. Eng. Sci*, 40 (10): 2124–2132, doi:10.1002/pen.11345.
- Robin, J. J. ve Breton, Y. (2001). Reinforcement of recycled polyethylene with wood fibers heat-treated. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 20 (14): 1253-1262.
- Rowell, R.M., Young, R.A. ve Rowell, J.K. (1997). Paper and Composites from Agro – Based Resources, CRC Press, Inc., 2000 Corporate Blvd., N.W., Boca Raton, Florida, USA, ISBN 1-56670-235-6.
- Schultz, T.P., Templeton, M.C., ve Ginnis, G.D. (1985). Rapid Determination of

Lignocellulose by Diffuse Reflectance Fourier Transform Infrared Spectrometry. *Analytical Chemistry*, (57): 2867–2869.

- Sefil, Y. (2010). Thermowood yöntemiyle ısıtılmış işlem uygulanmış göknar ve kayın odunlarının fiziksel ve mekanik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 125s.
- Seegerholm, B.K., Ibach, R.E. ve Westin, M. (2012). Moisture sorption, biological durability, and mechanical performance of WPC containing modified wood and polylactates. *Bioresources*,7(4):4575–85.
- Seegerholm, K. (2007). Wood plastic composites made from modified wood-aspects on moisture sorption, micromorphology and durability. Licentiate Thesis, KTH, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Smardzewski, J., 1998: Numerical analysis of furniture constructions. *Wood Sci Technol*, 32: 273-286. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00702895>.
- Sperber, V. E. (2002). *Fourth International Wood and Natural Fiber Composites Symposium*, April 10–11, Kassel, Germany.
- Soury, E., Behraves A. H., Jafarian Jam N., Haghtalab A. (2011). An experimental investigation on surface quality and water absorption of extruded wood–plastic composite, *Journal of Thermoplastic Composite Materials* published.
- Stamboulis, A., Baillie, C.A., Garkhail, S.K., Van Melick, H.G.H. ve Peijs, T. (2000). Environmental durability of flax fibres and their composites based on polypropylene matrix. *Appl Compos Mater*, 7(5–6):273–94.
- Sturcova, A., His, I., Apperley, D.C., Sugiyama, J. ve Jarvis, M.C. (2004). Structural details of crystalline cellulose from higher plants. *Biomacromolecules*, 5: 1333-1339.
- Süinanç, Ö.F. (2007). Odun Plastik Kompozitlerin Üretimi, Özellikleri ve Kullanım Yerleri Üzerine Araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, F.B.E. Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programı, İstanbul
- Taj, S., Munawar, A. ve Khan, S. (2007). Natural Fiber-reinforced Polymer Composites. *Pakistan Acad. Sci.*, 44(2) :129-144.
- Takase, S. ve Shiraishi, N. (1989). Studies on composites from wood and polypropylenes. *II. J. of Applied Polymer Sci*, (37):645-659, <http://doi:10.1002/app.1989.070370305>.
- Tangram. (2002). Wood-Plastic Composites; A technical review of materials, processes and applications. *Tangram Technology*, Hitching, UK
- Tankut, N.; Tankut, A. N.; Zor, M., 2014: Finite Element Analysis of Wood Materials. *Drvna industrija*, 65: 159- 171. <http://dx.doi.org/10.5552/drind.2014.1254> .

- Temiz, A., Terziev, N., Eikenes, M. ve Hafren, J. (2007). Effect of accelerated weathering on surface chemistry of modified wood. *Applied Surf Sci*, (253): 5355-5362.
- Topçu, M. ve Taşgetiren, S., (1998). Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ders Kitapları, Denizli, Yayın No: 007, 1-4.
- URL-1 (2016). <http://www.plastemart.com/Plastic-Technical-Article.asp?LiteratureID=1630> &Paper=styrene-maleic-anhydride-SMA-is-an-excellent-compatibilizer-for-ABSand-PMMA, Plastemart Web Site, Information of SMA, 14 July 2016.
- URL-2 (2015). <http://akgunalsaran.com/doc/7-deformasyon-3808.pdf>, Malzemelerin Deformasyonu, 31 Aralık 2015.
- Vande Velde, K. ve Keikens, P. (2001). Thermoplastic polymers; Overview of several properties and their consequences in flax fiber reinforced composites. *Polym. Testing.*, (20): 885-893.
- Viitaniemi, P. (1997). Decay-resistant Wood Created in a Heating Process. *Industrial Horizons*, (23): 77-85.
- Wechsler, A., Hızıroğlu, S. ve Ballerini, A. A. (2008): Some of the Properties of Wood Plastic Composites. *Proceedings of the 51st International Convention of Society of Wood Science and Technology*, November 10-12, Concepción, CHILE.
- Wikberg, H. (2004). Advanced solid state nmr spectroscopic techniques in the study of thermally modified wood. University of Helsinki, Helsinki.
- Wolcott, P. M. ve Englung, K. (1977). A technology review of wood-plastic composites. *33rd International Particleboard/Composite Materials Symposium*, Washington State University, USA.
- Wood Handbook, (2010). Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture Forest Service, Madison, Wisconsin.
- Yıldız, S. (2002). Physical, Mechanical, Technological and Chemical Properties of *Fagus orientalis* and *Picea orientalis* Wood Treated by Heat. PhD Thesis, Blacksea Technical University, Trabzon, Turkey, p.245.
- Yıldız, S. ve Can, A. (2012). Isıl işlem uygulanmış ladin karaçam kayın ve kavak odunlarının korozyon özellikleri. *I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, KSÜ Mühendislik Bildiriler Dergisi*, Özel Sayı.
- Yörür, H. (2012). Ahşap Malzemeden Üretilen Köşe Birleştirmelerin Simülasyon (Ansys) Ortamında Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Bartın, 161s.
- Zhang, J., Kandem, D.P. ve Temiz, A. (2009). Weathering of copper-amine treated wood. *Applied Surf Sci*, (256): 842-846.
- Zienkiewicz, O.C. ve Taylor, R.L., (1989). The finite element method. *McGraw-Hill Co.*,

New York, 499 s.

Zor, M. (2011). Bahçe mobilya konstrüksiyonlarında ısıı işlem uygulanmış ağaç malzemenin kullanım imkanlarının mühendislik tasarımı yaklaşımlıyla incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bartın, 143s.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mustafa ZOR
Doğum Yeri ve Tarihi : ZONGULDAK- 21.08.1986
Medeni Durumu : Evli

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : 2004 – 2008 İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi,
Orman Endüstri Mühendisliği
Yüksek Lisans Öğrenimi : 2008 – 2011 Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi,
Orman Endüstri Mühendisliği
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyet/Yayınlar : **Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler (SCI & SSCI & Arts and Humanities):**

1.Tankut, N., Tankut, A. N. & Zor, M. (2014). Mechanical properties of heat-treated wooden material utilized in the construction of outdoor sitting furniture, Turk J Agric For (2014) 38: 148-158 © TÜBİTAK doi:10.3906/tar-1211-9.

2.Zor, M.,Tankut, N., Kızıldaş, A., Gardner, D.J., Yazıcı, H. (2016). The Feasibility of Using Foamed Styrene Maleic Anhydride (SMA) Copolymer in Wood Based Composites, Drvna Industrija, 67(4):399-407.

3.Tankut, N., Tankut, A. N. & Zor, M. (2014). Finite Element Analysis of Wood Materials, , Drvna Industrija, 65(2):159-171.

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler :

1.Zor, M., Bardak, T., ve Sözen, E. (2016). Lamine Ahşap Malzemenin Mekanik Performansları ve Görüntü Analizi Yöntemiyle Eğilme Direnci Testinde Deformasyonun Belirlenmesi, Uluslararası Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 18(2), 126-136.

Uluslararası bilimsel konferanslarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler:

1.Tankut, N., Zor, M., Tajvidi, M., Gardner, D.J., Yazıcı, H. (2016). Water Absorption and Thickness Swelling Behavior of Thermally Treated Lignocellulosic Reinforced Styrene Maleic Anhydride (SMA) Composites, 27th International Conference on Wood Science and Technology 2016, ISBN: 978-953-292-047-5.

Erasmus Değişimi:

1.Hayat Boyu Öğrenme-ERASMUS Öğretim Elemanı Ders Verme Hareketliliği Programı kapsamında misafir öğretim elemanı, İsveç, Litvanya (2013 ve 2015 yıllarında).

Çalıştığı Kurumlar : Bülent Ecevit Üniversitesi (2012- devam ediyor)

İletişim

E-Posta Adresi : mustafa.zor@beun.edu.tr

Tarih : 06/01/2017 (Tez sınav tarihi)