



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**NANOPARTİKÜL TAKVİYELİ POLİVİNİL ASETAT (PVAc) TUTKALI İLE
ÜRETİLEN MOBİLYA BİRLEŞTİRMELERİNİN MEKANİK
PERFORMANSININ BELİRLENMESİ VE GÖRÜNTÜ ANALİZİ**

HAZIRLAYAN

TİMUÇİN BARDAK

DANIŞMAN

PROF.DR.ALİ NACİ TANKUT

BARTIN-2016



T.C.
BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**NANOPARTİKÜL TAKVİYELİ POLİVİNİL ASETAT (PVAc) TUTKALI İLE
ÜRETİLEN MOBİLYA BİRLEŞTİRMELERİNİN MEKANİK
PERFORMANSININ BELİRLENMESİ VE GÖRÜNTÜ ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN
Timuçin BARDAK

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman	: Prof.Dr. Ali Naci TANKUT	- Bartın Üniversitesi
Üye	: Prof.Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ	- Aksaray Üniversitesi
Üye	: Prof.Dr. Nurgül TANKUT	- Bartın Üniversitesi
Üye	: Prof.Dr. Tuncer DİLİK	- İstanbul Üniversitesi
Üye	: Doç.Dr. Deniz AYDEMİR	- Bartın Üniversitesi

BARTIN-2016

KABUL VE ONAY

Timuçin BARDAK tarafından hazırlanan “NANOPARTİKÜL TAKVİYELİ POLİVİNİL ASETAT (PVAc) TUTKALI İLE ÜRETİLEN MOBİLYA BİRLEŞTİRMELERİNİN MEKANİK PERFORMANSININ BELİRLENMESİ VE GÖRÜNTÜ ANALİZİ” başlıklı bu çalışma, 20.06.2016 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ali Naci TANKUT (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ

Üye : Prof. Dr. Nurgül TANKUT

Üye : Prof. Dr. Tuncer DİLİK

Üye : Doç. Dr. Deniz AYDEMİR

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

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

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Ali Naci TANKUT danışmanlığında hazırlamış olduğum “NANOPARTİKÜL TAKVİYELİ POLİVİNİL ASETAT (PVAc) TUTKALI İLE ÜRETİLEN MOBİLYA BİRLEŞTİRMELERİNİN MEKANİK PERFORMANSININ BELİRLENMESİ VE GÖRÜNTÜ ANALİZİ” 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.

25.06.2016

Timuçin BARDAK

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 Prof. Dr. Ali Naci TANKUTA'a,

Tez çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bana ufuk açan tez izleme komitesi üyeleri sayın Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ'ye ve sayın Prof. Dr. Nurgül TANKUT'a,

Yine bilgileri ve tecrübeleriyle beni yalnız bırakmayan sayın Doç. Dr. Deniz AYDEMİR'e,

Tez çalışmama 112R042 nolu projeyle destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'a,

Aynı laboratuvarıda beraber çalıştığım ve desteğini esirgemeyen sayın Arş. Gör. Eser SÖZEN'e

Her daim yanımda olan, sevgisini, maddi ve manevi desteğini bir an olsun esirgemeyen eşim Nilgün BARDAK'a, doğduğum günden bu güne maddi ve manevi desteğini esirgemeyen annem Naciye BARDAK'a, babam Ümral BARDAK'a ve kardeşim Selahattin BARDAK'a,

Teşekkürü bir borç bilirim

Timuçin BARDAK

ÖZET

Doktora Tezi

NANOPARTİKÜL TAKVİYELİ POLİVİNİL ASETAT (PVAc) TUTKALI İLE ÜRETİLEN MOBİLYA BİRLEŞTİRMELERİNİN MEKANİK PERFORMANSININ BELİRLENMESİ VE GÖRÜNTÜ ANALİZİ

Timuçin BARDAK

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali Naci TANKUT

Bartın- 2016, sayfa: XXIV + 144

Bu çalışmada; çeşitli nano partiküller (SiO_2 , TiO_2) belirli oranlarda (%1, %2, %4) Polivinil Asetat (PVAc) tutkalına karıştırılmıştır. Hazırlanan nanopartikül takviyeli tutkalların yapışma performansları üzerine, nanopartikül tipinin ve oranın etkileri araştırılmıştır. Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) kullanarak çeşitli partiküllerin farklı oranlarda fotoğrafları çekilmiş ve mikro yapıda dağılımı gözlenmiştir. Aynı zaman X-Işını Kırınım Analizleri (XRD) gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Doğu kayını (*Fagus orientalis L.*), Saplı Meşe (*Quercus robur*) ve Lamine ağaç malzeme ile çeşitli nanopartikül takviyeli tutkal kullanılarak oluşturulan mobilya birleştirmelerinin mekanik özellikleri değerlendirilmiş ve görüntü yöntemlerinden yararlanarak deformasyon özellikleri belirlenmiştir.

Nanopartikül takviyeli tutkalların performans sonuçlarına göre, düşük oranlarda (%1, %2) nanopartiküllerin PVAc tutkalına eklenmesi ile yapışma performansında artış görülmüştür. Bununla birlikte TEM ve XRD sonuçları incelendiğinde, düşük oranlarda nanopartiküllerin daha iyi dağıldığı gözlenmiştir. Nanopartikül tipinin, nanopartikül oranının ve malzeme türünün mobilya birleştirmelerin eğilme direnci, çekme direnci ve yorulma dayanımı üzerine etkilerini belirlemek için yapılan test sonuçlarına göre, düşük oranlarda SiO_2 ve

TiO₂ nanopartiküllerin ilavesi ile kayın ve meşe odunu kullanılarak oluşturulan birleştirmelerde en yüksek değerler görülmüştür. Deformasyon sonuçları değerlendirildiğinde ise görüntü analizi yönteminden faydalanılarak yapılan ölçümlerin, klasik yöntemler ile hesaplanan değerlere yakın olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, nanopartiküller PVAc tutkalının geliştirilmesinde ve mobilya birleştirmelerinin güçlendirilmesinde etkin bir madde olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler

Nanopartikül; nanoteknoloji; tutkal; birleştirme; mobilya; görüntü analizi

Bilim Kodu

502.08.01

ABSTRACT

Ph.D.Thesis

THE DETERMINATION OF MECHANICAL PERFORMANCE AND DIGITAL IMAGE ANALYSIS OF FURNITURE JOINTS CONSTRUCTED WITH POLYVINYL ACETATE (PVAc) ADHESIVE REINFORCED WITH NANOPARTICLE

Timuçin BARDAK

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Forest Industrial Engineering

Thesis Advisor: Prof. Dr. Ali Naci TANKUT

Bartın-2016, pp: XXIV + 144

In this study, various nanoparticles (SiO_2 , TiO_2) were mixed in a specific ratio (1%, 2%, 4%) to polyvinyl acetate adhesive. The effects of the nanoparticle type and rate on nanoparticles reinforced adhesives of bonding performance were investigated. Determination of particle dispersion and adhesive structure will be analyzed by Transmission Electron Microscopy (TEM). Besides, X-Ray Diffraction (XRD) Analyses will be done. Then the mechanical properties of furniture joints of Beech (*Fagus orientalis* L) wood, Oak (*Quercus robur*) wood, and laminated wood materials bonded with nanoparticle filled PVAc manufactured, evaluated and the deformation analysis of the joints were conducted with helping image analysis.

According to nanoparticles filled PVAc performance results, the low loading of nanoparticle (1%, 2%) to PVAc matrix increased the bonding performance. At the same time, XRD and TEM results proofed more homogenously dispersed in the low loadings (1%, 2%) of the nanoparticles. According to test results done to determine the effect of nanoparticle type, nanoparticle rate and material type on the bending strength, tension strength, and fatigue strength of the furniture joints, the maximum values were obtained in

the joints of Beech and Oak prepared with low loading of SiO_2 and TiO_2 nanoparticles. In the deformation analysis, the measurements were conducted with image analysis were found to be similar to the results obtained with the classical methods.

As a result, nanoparticles can be used to improve the PVAc adhesives and the reinforcement of the furniture joints.

Key Words

Nanoparticles; nanotechnology; adhesive; joint; furniture; Image analysis.

Science Code

502.08.01

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxiii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 Genel Bilgiler.....	3
1.1.1 Nanoteknoloji.....	3
1.1.2 Nanopartiküller.....	6
1.1.3 Mobilya Endüstrisinde Tutkallar.....	10
1.1.4 Nanopartikül Takviyeli Tutkallar.....	15
1.1.5 Mobilya Endüstrisinde Birleştirmeler.....	19
1.1.6 Görüntü Yöntemleri ile Deformasyon Analizi.....	22
1.1.7 Literatür Araştırması.....	29
1.1.7.1 Tutkallar ve Birleştirmeler ile ilgili Çalışmalar.....	29
1.1.7.2 Nanopartikül Tavkiyeli Tutkallar ile İlgili Çalışmalar.....	32
1.1.7.3 Görüntü Analizi ile Deformasyon Analizi ile ilgili Çalışmalar.....	36
BÖLÜM 2 MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
2.1 Materyal.....	39
2.1.1 Ağaç Malzeme	39
2.1.1.1 Akçaağaç (<i>Acer campestre</i>)	39
2.1.1.2 Doğu Ladini (<i>Picea orientalis</i>).....	40
2.1.1.3 Doğu Kayını (<i>Fagus orientalis L.</i>)	40
2.1.1.4 Saplı Meşe (<i>Quercus robur</i>).....	40

2.1.1.5 Lamine Ağaç Malzeme	40
2.1.2 Polivinil Asetat Tutkalı	41
2.1.3 Nanopartiküller	41
2.1.3.1 Silisyum Dioksit (SiO ₂)	41
2.1.3.2 Titanyum dioksit (TiO ₂).....	41
2.2 Deney Materyallerin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi	42
2.2.1 Yoğunluk ve Rutubet Miktarları.....	42
2.3 Yöntem.....	44
2.3.1 Nanopartikül Takviyeli PVAc Tutkalının Üretimi	44
2.4 Deney Metodu	49
2.4.1 Nanopartikül Takviyeli PVAc Tutkalının Karakterizasyonu	50
2.4.1.1 X-Işını Kırınım Analizi.....	50
2.4.1.2 Transmisyon Elektron Mikroskobu Analizi.....	51
2.4.1.3 Termogravimetrik Analiz.....	51
2.4.2 Nanopartikül Takviyeli PVAc Tutkalının Performans Testleri.....	52
2.4.2.1 Kuru Durumda Yapışma Direnci Testi.....	52
2.4.2.2 Islak Durumda Yapışma Direnci testi.....	53
2.4.2.3 Yüksek Sıcaklıkta Yapışma Direnci Testi	55
2.4.3 Nanopartikül Takviyeli PVAc Tutkalı Kullanılarak Oluşturulmuş Mobilya Birleştirmelerinin Mekanik Performans Testleri ve Deformasyon Analizi.....	56
2.4.3.1 Lambalı Zıvanalı Birleştirmelerin Eğilme Direnci Testi	57
2.4.3.2 Lambalı Zıvanalı Birleştirmelerin Çekme Direnci Testi	59
2.4.3.3 Görüntü Yöntemleri ile Deformasyon Analizi.....	62
2.4.3.4 Lamba Zıvanalı Birleştirmelerin Yorulma Direnci Testi.....	66
BÖLÜM 3 BULGULAR VE TARTIŞMA	70
3.1 Nanopartikül Takviyeli PVAc Tutkalının Karakterizasyonu.....	70
3.1.1 X-Işını Kırınım Analizi	70
3.1.2 Transmisyon Elektron Mikroskobu Analizi	77
3.1.3 Termogravimetrik Analiz	78
3.2 Nanopartikül Takviyeli PVAc Tutkalının Performans Testleri	84
3.2.1 Kuru Durumda Yapışma Direnci Testi	84

Sayfa

3.2.2 Islak Durumda Yapışma Direnci Testi.....	87
3.2.3 Yüksek Sıcaklıkta Yapışma Direnci Testi.....	91
3.3 Nanopartikül Takviyeli PVAc Tutkalı Kullanılarak Oluşturulmuş Mobilya	
Birleştirmelerinin Mekanik Performans Testleri ve Deformasyon Analizi	94
3.3.1 Lambalı Zıvanalı Birleştirmelerin Eğilme Direnci Testi	94
3.3.2 Lambalı Zıvanalı Birleştirmelerin Çekme Direnci Testi.....	99
3.3.3 Görüntü Yöntemleri ile Deformasyon Analizi	102
3.3.4 Lamba Zıvanalı Birleştirmelerin Yorulma Direnci Testi	119
BÖLÜM 4 SONUÇ VE ÖNERİLER	125
KAYNAKLAR.....	131
ÖZGEÇMİŞ.....	142

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1. İnsandan hidrojen atomuna kadar boyut karşılaştırılması.....	4
2. Bilim ve teknolojideki temel gelişmeler.....	5
3. a) süper paramanyetik nanopartiküller b) süper paramanyetik nanopartikül içeren bir manyetik sıvının uygulanan bir manyetik alan ile hareketi.....	8
4. Nanopartiküllerin doğası ve sahip olabileceği özellikler	9
5. Teorik yapışma sisteminde zincir modelinin şematik görünüşü	11
6. PVAc tutkalının kimyasal formülü	13
7. Ahşap nem içeriğinin PVA tutkalının yapışma direnci üzerine etkisi	14
8. Nanokompozit çeşitleri	15
9. Polietilen (PE) polimer zincirinin şematik gösterimi (n: mer sayısı)	16
10. Nanopartikül takviyeli polimer nanokompozitlerin tipik yapısı.	17
11. Yüzey – hacim oranı ilişkisinin gösterimi.....	17
12. Nanomalzemelerin geometrileri ve yüzey alanı-hacim ilişkisi.....	18
13. Aliminyum oksit nanopartiküllerin epoxy içinde ultrason dalgaları uygulanarak ve ultrason dalgaları uygulanmadan dağılımının TEM görüntüleri.....	19
14. Ahşap mobilya üretimde yaygın olarak kullanılan birleştirmeler	20
15. Lamba zıvanalı birleştirmelerin farklı kullanım alanları.....	21
16. Dijital görüntü işlemenin kullanım alanları.....	22
17. Sayısal görüntüde piksellerin gösterilmesi	23
18. Binarı Görüntü	24
19. Gri Renk Seviyeli Görüntü.....	24
20. Renkli Görüntü.....	25
21. Görüntü yakalama ve sayısallaştırma aşamaları.....	25
22. Deformasyona neden olan bazı yükler	26
23. Deformasyon çeşitleri.....	27
24. Dijital görüntü korelasyon yapılandırılması	28
25. Benekli yüzey	28
26. Dijital görüntü korelasyon yöntemlerinin şematik gösterimi	29
27. Farklı nanopartikül takviyeli epoksi tutkallarının çekme yapışma gücü.....	32

Şekil No	Sayfa No
28. a) nano- Al_2O_3 yapışma performansı üzerine etkileri, b) nano - Al_2O_3 SEM görüntüleri ve c) nano- Al_2O_3 takviyeli epoksinin TEM görüntüleri	33
29. Cam kompozit ile oluşturulmuş çift lambalı birleştirme: a) çift lambalı birleştirme boyutları b) çift lambalı birleştirme fotoğrafı c) 0.1 mm kalınlıkta yapışma kalınlığı fotoğrafı.....	33
30. Çift lambalı makaslama direncinin karbon siyah partikül oranına bağlı değişimi	34
31. Silis nanopartikül içeriği ile çekme dayanımı arasındaki ilişki kuru durumu	34
32. Nişasta bazlı ahşap tutkallarının termogravimetrik eğrileri 0% (SWA0), 1% (SWA1), 5% (SWA5) ve 10% (SWA10) SiO_2	35
33. Malzemenin kopması.....	36
34. Delik çapı 3,5 mm ve derinliği 9 mm olan deliğin Matlab programına aktarılmış görüntüsü	36
35. Paslanmaz çelik numunelerde (a) 20 °C, (b) 400 °C, (c) 550 °C ve (d) 600 °C. yakalanan görüntüler.....	37
36. Çelik I-profil numune ve yükleme düzenlemesi.....	37
37. Deformasyon ölçümü için seçilen pilot okul.....	38
38. Deney için kullanılan örme duvar.....	38
39. Ultrasonikasyon işlemi için kurulan deney düzeneği.....	44
40. PVAc tutkalı ile nanopartiküllerin karıştırma işlemi	48
41. XRD analizi için hazırlanan numuneler ve XRD cihazı	50
42. TEM analizi için hazırlanan numuneler ve TEM cihazı	51
43. TGA analizi için hazırlanan numuneler ve TGA cihazı.....	52
44. Test örneklerinin boyutları	52
45. Hazırlanan test örnekleri ve test düzeneği.....	53
46. Islak durumda yapışma direnci testi hazırlanan test örnekler ve tutkal hattı.....	54
47. Ahşap blok test örnekleri ve test aşamaları	55
48. Lamba zıvana örnek boyutları (a) ve deney düzeneği (b)	58
49. Lamba zıvanalı birleştirmelerin çekme direnci testi için oluşturulan deney düzeneği	60
50. Deformasyon analizi için kurulan test düzeneği.....	63
51. Deformasyon ölçümü için alınan referans (a) ve deforme olmuş görüntüler (b,c).....	63

Şekil No	Sayfa No
52. Oluşturulan kullanıcı ara yüzü	64
53. Algoritmanın yapılandırıldığı kodlama kısmı.....	64
54. Deformasyon ölçümü için geliştirilen programa ait kodlar.....	65
55. Gerinim ve deformasyon alanlarını belirlemek için oluşturulan stokastik desen	65
56. Gri alanların şematik olarak takip edilmesi	66
57. Lamba zıvanalı birleştirmelerin yorulma direnci testi için oluşturulan deney düzenineğinin önden (a) ve yandan (b) görünüşü	68
58. Saf Polivinil Asetat ait XRD kırınım deseni.....	70
59. Silisyum Dioksit nanopartikülüne ait XRD kırınım deseni.....	70
60. Titanyum Dioksit nanopartikülüne ait XRD kırınım deseni.....	71
61. %99 PVAc/%1 SiO ₂ nanopartikül numunelerine ait XRD kırınım deseni	71
62. %98 PVAc/%2 SiO ₂ nanopartikül numunelerine ait XRD kırınım deseni	72
63. %96 PVAc/%4 SiO ₂ nanopartikül numunelerine ait XRD kırınım deseni	72
64. %99 PVAc/%1 TiO ₂ nanopartikül numunelerine ait XRD kırınım deseni	72
65. %98 PVAc/%2 TiO ₂ nanopartikül numunelerine ait XRD kırınım deseni	73
66. %96 PVAc/%4 TiO ₂ nanopartikül numunelerine ait XRD kırınım deseni	73
67. Nano silisyum dioksit ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarına (%99 PVAc/%1 SiO ₂ nanopartikül, %98 PVAc/%2 SiO ₂ nanopartikül, %96 PVAc/%4 SiO ₂ nanopartikül) ait karşılaştırmalı XRD kırınım desenleri.....	74
68. Nano titanyum dioksit ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarına (%99 PVAc/%1 TiO ₂ nanopartikül, %98 PVAc/%2 TiO ₂ nanopartikül, %96 PVAc/%4 TiO ₂ nanopartikül) ait karşılaştırmalı XRD kırınım desenleri.....	74
69. Nanokompozit çeşitleri: a) Tabakalanmış Nanokompozit b) Yapraklanmış Nanokompozit.	76
70. Farklı oranlarda SiO ₂ nanopartikülü içeren PVAc tutkalının transmisyon elektron mikroskobu görüntüleri: (a) % 1 ; (b) % 2 ; (c) % 4.....	77
71. Farklı oranlarda TiO ₂ nanopartikülü içeren PVAc tutkalının transmisyon elektron mikroskobu görüntüleri: (a) % 1 ; (b) % 2 ; (c) % 4.....	77
72. Saf Polivinil Asetata ait TGA/DTG eğrisi.....	78
73. %99 PVAc/%1 SiO ₂ nanopartikül numunelerine ait TGA/DTG eğrisi	78
74. %98 PVAc/%2 SiO ₂ nanopartikül numunelerine ait TGA/DTG eğrisi	79
75. %96 PVAc/%4 SiO ₂ nanopartikül numunelerine ait TGA/DTG eğrisi	79

Şekil No	Sayfa No
76. %99 PVAc/1% TiO ₂ nanopartikül numunelerine ait TGA/DTG eğrisi.....	80
77. %98 PVAc/2% TiO ₂ nanopartikül numunelerine ait TGA/DTG eğrisi.....	80
78. %96 PVAc/4% TiO ₂ nanopartikül numunelerine ait TGA/DTG eğrisi.....	81
79. Saf PVAc ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarına (%99 PVAc/%1 SiO ₂ nanopartikül, %98 PVAc/%2SiO ₂ nanopartikül, %96 PVAc/%4 SiO ₂ nanopartikül, %99 PVAc/%1 TiO ₂ nanopartikül, %98 PVAc/%2 TiO ₂ nanopartikül, %96 PVAc/%4 TiO ₂ nanopartikül) ait karşılaştırmalı TGA eğrileri.....	81
80. Saf PVAc ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarına (%99 PVAc/%1 SiO ₂ nanopartikül, %98 PVAc/%2 SiO ₂ nanopartikül, %96 PVAc/%4 SiO ₂ nanopartikül, %99 PVAc/%1 TiO ₂ nanopartikül, %98 PVAc/%2 TiO ₂ nanopartikül, %96 PVAc /%4 TiO ₂ nanopartikül) ait karşılaştırmalı DTG eğrileri	82
81. Nanopartiküllerin PVAc tutkalının yapışma direnci üzerine etkileri.....	84
82. Nanopartikül takviyeli tutkalların, kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında elde edilen yüzde değişimleri	85
83. Nanopartiküllerin PVAc tutkalının ıslak durumda yapışma direnci.....	88
84. Nanopartikül takviyeli tutkalların, kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında elde edilen yüzde değişimleri	89
85. Nanopartikül takviyeli polimer ile takviyesiz polimerin difüzyon yolu	90
86. Nanopartiküllerin PVAc tutkalının yüksek sıcaklıkta yapışma direnci üzerine etkileri	92
87. Nanopartikül takviyeli tutkalların, kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında elde edilen yüzde değişimleri	93
88. Nanopartiküllerin eğilme direnci testi üzerine etkileri.....	96
89. Nanopartiküllerin çekme kuvveti testi üzerine etkileri	100
90. Kayın türü ve %100 PVAc ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek...	103
91. Meşe türü ve %100 PVAc ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek...	103
92. Lamine ağaç malzeme türü ve %100 PVAc ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek	103
93. Kayın türü ve %99 PVAc / %1 SiO ₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.....	104

Şekil No	Sayfa No
94. Meşe türü ve %99 PVAc / %1 SiO ₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek	104
95. Lamine ağaç malzeme türü ve %99 PVAc / %1 SiO ₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek	104
96. Kayın türü ve %98 PVAc / %2 SiO ₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek	105
97. Meşe türü ve %98 PVAc / %2 SiO ₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek	105
98. Lamine ağaç malzeme türü ve %98 PVAc / %2 SiO ₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek	105
99. Kayın türü ve %96 PVAc / %4 SiO ₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek	106
100. Meşe türü ve %96 PVAc / %4 SiO ₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek	106
101. Lamine ağaç malzeme ve %96 PVAc / %4 SiO ₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek	106
102. Kayın türü ve %99 PVAc / %1 TiO ₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiği grafiğine bir örnek	107
103. Meşe türü ve %99 PVAc / %1 TiO ₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek	107
104. Lamine ağaç malzeme ve %99 PVAc / %1 TiO ₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek	107
105. Kayın türü ve %98 PVAc / %2 TiO ₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek	108
106. Meşe türü ve %98 PVAc / %2 TiO ₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek	108
107. Lamine ağaç malzeme ve %98 PVAc / %2 TiO ₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek	108
108. Kayın türü ve %96 PVAc / %4 TiO ₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek	109
109. Meşe türü ve %96 PVAc / %4 TiO ₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.....	109

110. Lamine ağaç malzeme ve %96 PVAc / %4 TiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek 109
111. Kayın türü ve %100 PVAc ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksen boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksen boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....111
112. Meşe türü ve %100 PVAc ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksen boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksen boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....110
113. Lamine ağaç malzeme ve %100 PVAc ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksen boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksen boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm)....111
114. Kayın türü ve %99 PVAc / %1 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksen boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksen boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm) 112
115. Meşe türü ve %99 PVAc / %1 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksen boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksen boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....112
116. Lamine ağaç malzeme ve %99 PVAc / %1 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksen boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksen boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....112
117. Kayın türü ve %98 PVAc / %2 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksen boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksen boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm) 113
118. Meşe türü ve %98 PVAc / %2 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksen boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksen boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....113

119. Lamine ağaç malzeme ve %98 PVAc / %2 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....113
120. Kayın türü ve %96 PVAc / %4 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....114
121. Meşe türü ve %96 PVAc / %4 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....114
122. Lamine ağaç malzeme ve %96 PVAc / %4 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....114
123. Kayın türü ve %99 PVAc / %1 TiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....115
124. Meşe türü ve %99 PVAc / %1 TiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....115
125. Lamine ağaç malzeme ve %99 PVAc / %1 TiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....115

Şekil	Sayfa
No	No
126. Kayın türü ve %98 PVAc / %2 TiO ₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....	116
127. Meşe türü ve %98 PVAc / %2 TiO ₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....	116
128. Lamine ağaç malzeme ve %98 PVAc / %2 TiO ₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....	116
129. Kayın türü ve %96 PVAc / %4 TiO ₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....	117
130. Meşe türü ve %96 PVAc / %4 TiO ₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....	117
131. Lamine ağaç malzeme ve %96 PVAc / %4 TiO ₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).....	117
132. Nanopartiküllerin yorulma dayanımı üzerine etkiler.....	120

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
1. Nano yapıları içeren bazı materyaller	7
2. Nanoparçacıkların güncel ve gelişmekte olan uygulamaları	10
3. Orman endüstrisinde kullanılan tutkallar direnç özelliklerine göre sınıflandırılması.	12
4. Kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri.....	43
5. Çalışmada kullanılan ultrasonik karıştırıcıya ait özellikler	44
6. Nanopartikül su karışımının optimizasyonu için seçilen güç – frekans sıklığı değerleri.....	45
7. Sıvı formda PVAc tutkalı ile nanopartikül su çözeltisi karışımının optimizasyonu için seçilen güç – frekans sıklığı değerleri.....	46
8. Nanopartikül takviyeli PVAc tutkalların hazırlanma yöntemi	47
9. Nanopartikül takviyeli PVAc tutkalların bileşimleri	49
10. Kuru durumda yapışma direnci testi için deneme deseni.....	53
11. Islak Durumda Yapışma Direnci testi için deneme deseni.....	54
12. Yüksek sıcaklıkta yapışma direnci testi için deneme deseni.....	56
13. Lamba zıvanalı birleştirmelerin eğilme direnci testi için deneme deseni	59
14. Lamba zıvanalı birleştirmelerin çekme direnci testi için deney deseni.....	61
15. Lamba zıvanalı birleştirmelerin yorulma direnci testi için deneme deseni.....	67
16. Nanopartikül takviyeli PVAc ile yapıştırılan T birleştirmelerin yorulma dayanımı testi örneklerine ait yükleme değerleri.....	69
17. Saf Polivinil asetat, nanopartiküller ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkalların karakteristik XRD kırınım açısı ve bazal boşluk değerleri	75
18. Saf PVAc ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarına ait Termal Özellikleri.....	83
19. Nanopartiküllerin PVAc tutkalının kuru durumda yapışma dirençleri	84
20. Nanopartiküllerin PVAc tutkalının kuru durumda yapışma direnci üzerine etkilerine ait tek yönlü varyans analizi sonuçları.....	86
21. Nanopartiküllerin PVAc tutkalının kuru durumda yapışma direnci üzerine etkilerine etkisine ait Duncan testi sonuçları	86
22. Nanopartiküllerin PVAc tutkalının ıslak durumda yapışma dirençleri	87
23. Nanopartiküllerin PVAc tutkalının ıslak durumda yapışma direnci üzerine etkilerine ait tek yönlü varyans analizi sonuçları.....	89

Tablo	Sayfa
No	No
24. Nanopartiküllerin PVAc tutkalının ıslak durumda yapışma direnci üzerine etkilerine ait Duncan testi sonuçları	90
25. Yüksek sıcaklıkta yapışma direnci testi örneklerine ait ortalama değerler, standart sapma ve varyasyon katsayısı.....	91
26. Nanopartiküllerin, yüksek sıcaklıkta yapışma testi üzerine etkilerine ait tek yönlü varyans analizi sonuçları	93
27. Nanopartiküllerin PVAc tutkalının yüksek sıcaklıkta yapışma direnci üzerine etkilerine ait Duncan testi sonuçları.....	94
28. Lamba zıvanalı birleştirmelerin eğilme direnci testi örneklerine ait ortalama değerler, maksimum eğilme momenti, standart sapma, varyasyon katsayısı.....	95
29. Nanopartikül tipinin, nanopartikül oranının ve malzeme türünün lamba zıvanalı birleştirmelerin eğilme testi üzerine etkilerine ait çoklu varyans analizi sonuçları ...	96
30. Eğilme direncinde nanopartikül tipine ait Duncan sonuçları	97
31. Eğilme direncinde nanopartikül oranına ait Duncan sonuçları.....	97
32. Eğilme direncinde Malzeme türüne ait Duncan sonuçları.....	98
33. Nanopartikül takviyeli PVAc ile yapıştırılan Lambalı zıvanalı birleştirmelerin çekme direnci testi örneklerine ait ortalama maksimum çekme kuvveti, maksimum çekme direnci, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri	99
34. Nanopartikül tipinin, nanopartikül oranının ve malzeme türünün lamba zıvanalı birleştirmelerin çekme testi üzerine etkilerine ait çoklu varyans analizi sonuçları..	100
35. Çekme kuvvetinde nanopartikül tipine ait Duncan sonuçları.....	101
36. Çekme kuvvetinde nanopartikül oranına ait Duncan sonuçları.	101
37. Çekme kuvvetinde malzeme türüne ait Duncan sonuçları.	102
38. Geleneksel yöntem ve görüntü analiz yöntemiyle elde edilen deformasyonların karşılaştırılması.....	110
39. Nanopartikül takviyeli PVAc ile yapıştırılan lamba zıvanalı birleştirmelerin yorulma dayanımı testi örneklerine ait yorulma dayanımı değerleri.....	119
40. Yükleme Seviyesi, nanopartikül tipi, nanopartikül oranı ve malzeme türünün lamba zıvanalı birleştirmelerin yorulma direnci üzerine etkilerine ait çoklu varyans analizi sonuçları	121

Tablo	Sayfa
No	No
41. Yükleme seviyesi faktörünün yorulma dayanımı üzerindeki etkileri ait Duncan testi sonuçları	122
42. Nanopartikül tipi faktörünün yorulma dayanımı üzerindeki etkileri ait Duncan testi.	122
43. Nanopartikül oranı faktörünün yorulma dayanımı üzerindeki etkileri ait Duncan testi.....	123
44. Malzeme türü faktörünün yorulma dayanımı üzerindeki etkileri ait Duncan testi ...	123



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

nm	:	Nanometre
MPa	:	Megapascal
R	:	Tam kuru yoğunluk
M	:	Tam kuru ağırlık
V	:	Tam kuru hacim
H	:	Rutubet
m_H	:	Örneğin rutubetli haldeki ağırlığı
m_o	:	Örneğin tam kuru haldeki ağırlığı
$\bar{X}$	:	Aritmetik Ortalama
s	:	Standart sapma
v	:	Varyasyon katsayısı
2θ	:	X-ışınları demeti arasındaki açı
Al_2O_3	:	Alüminyum Oksit
$CaCO_3$	:	Kalsiyum Karbonat
SiO_2	:	Silisyum Dioksit
TiO_2	:	Titanyum Dioksit
mm	:	Milimetre

KISALTMALAR

PVAc	:	Polivinil asetat
TS	:	Türk standartları
EN	:	Avrupa standardı
TEM	:	Transmisyon elektron mikroskobu
PÜ	:	Poliüretan
LVL	:	Lamine ağaç malzeme

ASTM : American society for testing and materials
TGA : Termogravimetrik Analiz
DTG : Diferansiyel Termo Gravimetrik Analiz
XRD : X-Işını Kırınım Analizi



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Nanoteknoloji alanındaki çok hızlı gelişmeler nedeniyle, bu teknolojinin gelecekteki yeni bir sanayi devriminde itici güç olacağına inanılmaktadır. Bu teknoloji birçok endüstriyi yeniden şekillendirecek büyük bir fırsat olarak akademik çevrede ve dünyada hızla artan bir ilgi görmektedir. Yakın bir gelecekte, bir ülkenin nanoteknolojideki seviyesi o ülkenin gücünün bir göstergesi olabilecektir (URL-1, 2016).

En genel tanımı ile Nanoteknoloji, maddeyi atomik ve moleküler seviyede kontrol etme bilimidir. Nano partiküller, bu teknolojinin önemli bir parçası olup; bu partiküller boyutu genellikle 100 nanometre (nm) daha az olan mikroskopik parçacıklardır.

Günümüzde nanoteknoloji çok sayıda endüstriyi değiştirmektedir. Bu değişim merkezinde nanomalzemelerin özellikleri ve karakteristikleri vardır. Her geçen gün nanopartiküller yeni endüstriyel ürünler ile günlük hayatımıza hızlı bir şekilde girmektedir. Nanoboyutlu malzemeler üzerine gerçekleştirilen çalışmalar son yıllarda tek başına önemli bir alan olma doğrultusunda büyük bir gelişme göstermektedir. Nanoboyutlu malzeme olarak tanımlanan yapılar; nanokristaller, nanopartiküller, nanotüpler, nanoteller, nanoçubuklar veya nano ince filmler gibi farklı sınıflara ayrılmaktadır.

Boyutları 100 nm ve altında kalan tozlar olarak tanımlan nanopartiküller nanoboyutlu malzemelerin dolayısıyla nanoteknolojinin temelini oluşturmaktadır. Nano partiküller kullanılarak birçok geleneksel malzemenin özellikleri değiştirilebilir. Çünkü büyük parçacıklar ile karşılaştırıldığında ağırlık başına yüzey alanı çok daha büyüktür. Bu sayede diğer moleküllerle daha reaktif olabilmektedir. Son zamanlarda nano partiküllerin ekonomik ve çevre dostu tutkal üretimi için kullanımı ön plana çıkmıştır.

Sıkı rekabet koşulları ve daha yüksek kalite gereksinimleri mobilya üreticilerini sürekli yeni ürünler geliştirmeye zorlamaktadır. Son yıllarda mobilya endüstrisinde nanoteknolojinin rolü olumlu bir ivme kazanmıştır. Mobilya üretimde kullanılan boya ve verniklere nanomalzemeler ile yeni özellikler katmak amacıyla çok sayıda çalışma

yapılmaktadır. Ancak gerçekleştirilen literatür araştırmasında mobilya kalitesi üzerinde büyük ölçüde etkisi olan birleştirmelerin mühendislik özelliklerinin nanoteknoloji yardımıyla geliştirilmesi konusunda çalışmalara rastlanmamıştır.

Mobilya mühendisliğinde mevcut uygulamada ürünün estetiğinden daha ziyade performansı üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bunun sonucu olarak genellikle aşırı büyüklükte birleştirmeler kullanılmaktadır. Bu hem odun israfına neden olmakta aynı zamanda imalat maliyetlerini yükseltmektedir. Mobilya tasarımının objektif fonksiyonu malzeme kullanımını azaltırken elemanlarının ve birleştirmelerin dirençlerini yükseltmektir (Yılmaz ve Güntekin, 2012).

Mobilyanın kullanım süresi boyunca yüklerin büyük bir bölümü birleştirmeler üzerinde olmaktadır. Bununla birlikte mobilya yapısında en zayıf kısımlarda birleştirmelerdir. Mobilyayı oluşturan elamanlar yükleri taşımak için yeterince güçlü olsa da, eğer birleştirmeler düzgün tasarlanmamışsa yapı servis ömründe başarısız olacaktır. Bu bakımdan mobilya birleştirme tasarımına nanoteknolojiyi entegre etmek amacıyla yapılacak çalışmalar oldukça bir büyük öneme sahiptir. Bu konuda gerçekleştirilecek yeni çalışmalar hem dünya literatüründeki boşluğun doldurulmasına hemde daha güvenli, yüksek kaliteli ve ekonomik mobilyaların üretilmesine katkı sağlayacaktır.

Devrim niteliğinde ve bilgisayar biliminde en önde olan teknolojik gelişmelerden biride görüntü analizidir. Dijital görüntüler birçok araştırma ve uygulama alanlarında son zamanlarda yaygın olarak kullanılan önemli veri kaynaklarıdır. Dijital görüntü işleme konusunda uzun yıllardır birçok çalışma yapılmış ve günümüzde de yapılmaya devam edilmektedir (Çayırılı, 2006).

Sayısal görüntü işleme, bilgisayarla bütünleşik olarak birçok endüstriyel uygulamalarda kullanılabilen bilgisayar çalışmasıdır (Samtaş ve Gülesin, 2012). Günümüzde modern üretim teknolojilerinin gelişmesi ile ölçümlerin yüksek hassasiyetli ve hızlı olması gerekmektedir. Geleneksel muayene yöntemleri modern üretimin ihtiyacını karşılayamamaktadır. Görüntü yöntemlerinin esnekliği ve kullanım kolaylığı büyük avantajlar sağlamaktadır. Bu yöntemler geleneksel yöntemlere göre daha hızlı, daha ucuz ve güvenilirdir. Aynı zamanda Bütün test prosedürü izlenip kayıt altına alınabilir. Böylelikle kayıtlar üzerinde geri dönüp tekrar inceleme yapma imkânı doğar (Güler vd.,

2007). Görüntü analizindeki son teknolojik gelişmeler daha güvenilir ve temassız deformasyon analizi için büyük olanaklar sunmaktadır (Aydilek vd., 2004).

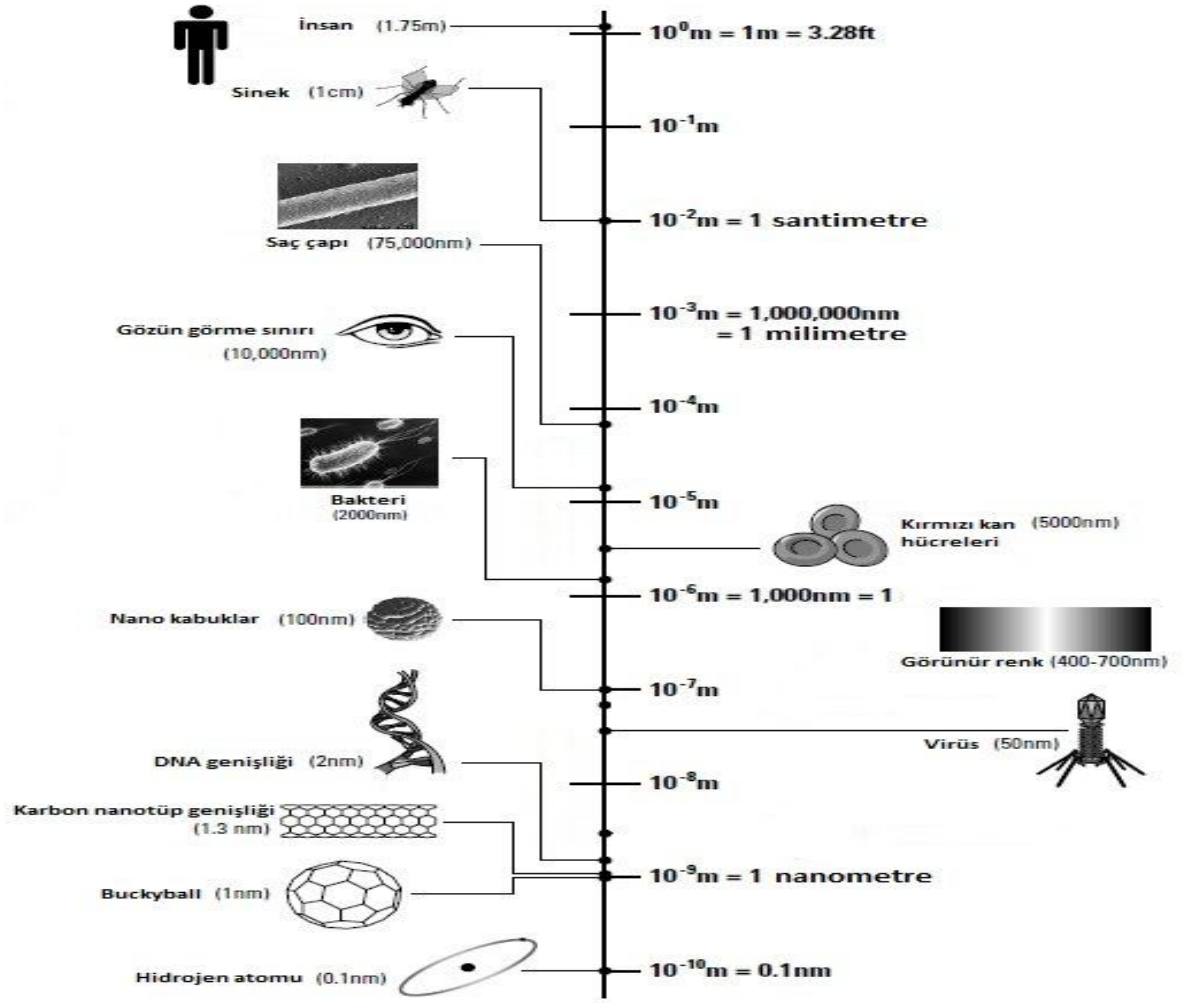
Çalışmanın ana hedefi, daha güvenli, yüksek kaliteli ve ekonomik mobilyalar için nanopartiküller ilave edilerek fiziksel ve mekanik özellikleri geliştirilmiş PVAc tutkallı mobilya birleştirmelerinin mekanik performanslarını ve görüntü yöntemlerinden yararlanarak deformasyon özelliklerini belirlemektir.

1.1 Genel Bilgiler

1.1.1 Nanoteknoloji

Nanoteknolojinin kavramsal temelleri ilk olarak 1959 yılında fizikçi Richard Feynman'ın "There's plenty of room at the bottom (Aşağıda daha çok yer var)" adlı konferansında atılmıştır (Var ve Sağlam, 2015).

Nanoteknoloji 1-100 nanometre (nm) ölçek arasında bulunan malzemeler, sistemler ve işlemler ile ilgilidir. Bir nm bir mikrometrenin (μm) binde biri, bir milimetrenin milyonda biri ve bir metrenin (mm) milyarda biridir (Alfadul ve Elneshwy, 2010). Şekil 1'de İnsandan hidrojen atomuna kadar boyut karşılaştırılması gösterilmiştir.

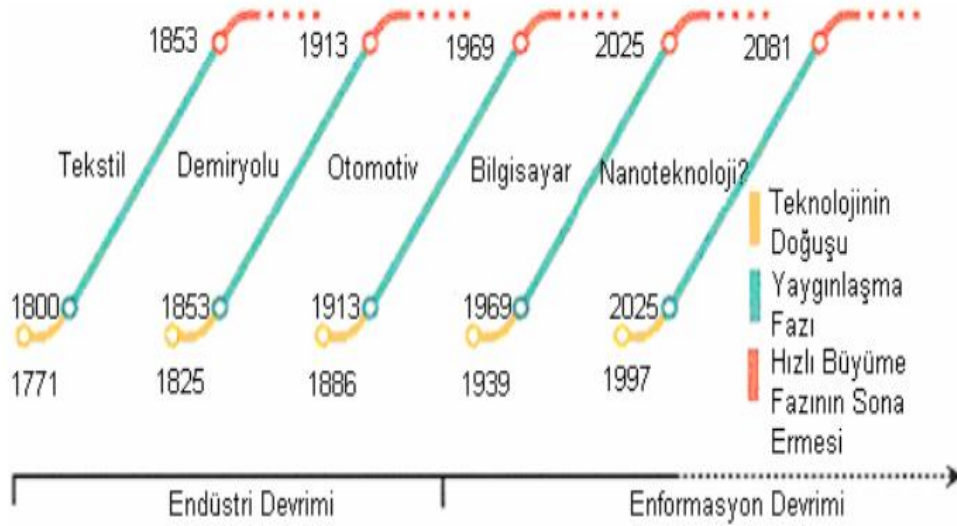


Şekil 1: İnsandan hidrojen atomuna kadar boyut karşılaştırılması (Booker ve Boysen, 2005).

Nanoteknoloji, amaç ve hedeflerimize teknik çözümler sunmak üzere işlenmiş atomlar ve moleküller ile çalışmaktadır. Nanoteknoloji çok geniş bir uygulama alanına sahiptir: insan vücudunda hücreler seviyesinde faaliyet gösteren cihazlar, atıkları çok faydalı ürünlere dönüştürebilen malzemeler bunlardan sadece birkaçıdır (Hongladarom, 2009). Bu teknoloji, her türlü nesnenin yapıtaşı olan atomları, istenilen şekilde düzenleme şansına sahip olmayı ve her alanda, daha dayanıklı, daha hafif ve doğaya daha az zarar vererek üretim yapılmasını sağlayacak bir teknolojidir (Özdoğan vd., 2006).

Nanoteknoloji alanındaki araştırmalarda sürekli bir güncellenme ve yeniden değerlendirme yapılmaktadır. Son yıllarda küresel nanoteknoloji yayınlarında oldukça büyük bir artış yaşanmıştır. Araştırmalar nanoteknoloji alanındaki bilimsel yayın üretiminde Amerika Birleşik Devletlerinin (ABD) 1990 ortalarına kadar tek büyük üretici olduğunu göstermektedir. Ancak daha sonra 27 üye ülkeden oluşan Avrupa Birliği bilimsel

yayın sayısında ABD'yi geride bırakmıştır. (Youtie vd., 2008). Nanoteknoloji bir çok ülkede sorumlu devlet kurumları tarafından stratejik öneme sahip anahtar bir alan olarak tanımlanmakta ve uygulamalı araştırmalara önemli kaynaklar ayrılmaktadır. Nanoteknolojinin gelecekteki bilimsel ve ekonomik kalkınmadaki önemli rolü nedeniyle 60'tan fazla ülkede ulusal projelere veya programlara büyük destek verilmektedir. Farklı teknoloji alanlarının gelişimini değerlendirmek için patent analizi önemli bir göstergedir. Nanoteknoloji alanındaki patent sayısı dünya çapında 2000 ve 2008 yılları arasında yaklaşık %34,5 artmıştır (Dang vd., 2010). (Kharaziamin, 2015). Nanoteknoloji bilgisayar devrimini izleyen ve 21. yüzyıla damgasını vuracak bir teknoloji devrimi olarak değerlendirilmektedir. Şekil 2'de her asırda iki kez insanoğlunun refahını arttıran bilim ve teknolojiadaki temel gelişmeler gösterilmiştir.



Şekil 2: Bilim ve teknolojiadaki temel gelişmeler (Celep, 2007).

Gelecekte kilit bir öneme sahip olacak nanoteknoloji alanında bu nispeten başlangıç sürecinde yetkinlik kazanmak ve doğru adımları atmak, Türkiye’de güvenlik ve refah seviyesinin yükseltilmesi, rekabetçi ve sürdürülebilir bir kalkınma hedefi doğrultusunda çok önemli bir adım teşkil edecektir. Dünya’da 1990’lı yılların başlarında gelişmekte olan nanoteknoloji politikaları Türkiye’de 2000’li yılların başından itibaren çeşitli adımlar atılmaya başlanmıştır. Bunların en önemlilerinden birisi de 2023 yılı Türkiye vizyonu çerçevesinden nanoteknolojiyi bu vizyona ulaşılmasında gerekli ve öncelikli 11 teknolojik faaliyet alanlarından biri olarak tanımlayan Vizyon 2023 Strateji Belgesidir (Candan, 2012).

1.1.2 Nanopartiküller

Nanoboyutlu malzemeler üzerine gerçekleştirilen çalışmalar son yıllarda tek başına önemli bir alan olma doğrultusunda büyük bir gelişme göstermektedir (Gürmen ve Ebin, 2008).

Günümüzde araştırma konusu olan tipik nano boyutlu malzemeler:

1. Nanopartiküller
2. Nanotüpler
3. Nanoelyaflar
4. Fulerinler (elmas ve grafit haricinde karbon allotropu) (Sepet, 2014).

Nanoyapıların elde edilmesinde iki ana yöntem bulunmaktadır. Aşağıdan yukarıya “bottom-up” ve yukarıdan aşağıya “top down” olarak adlandırılan bu iki yaklaşımı şu şekilde özetleyebiliriz:

1-Bottom-up: Aşağıdan yukarıya yaklaşımı (küçükten büyüğe), moleküler nanoteknoloji olarak tanımlanabilir. Bu yaklaşım, organik veya inorganik yapıları, maddenin en temel birimi olan atomlardan başlayarak atom atom, molekül molekül inşâ edilmesi yöntemini ifade eder.

2-Top-down: Yukarıdan aşağıya yaklaşımı (büyükten küçüğe), makineler, asitler ve benzeri mekanik ve kimyasal yöntemler kullanılarak nano yapıların fabrikasyonu ve imâl edilmesi yöntemlerini ifade eder. Teknolojinin bugünkü seviyesi nedeni ile yapılan çalışmaların birçoğu yukarıdan aşağıya (top-down) klasmanında değerlendirilir (Tepe, 2007).

Normal sıcaklık ve basınçlarda katı olan binlerce madde; metaller, seramikler, yarı iletkenler, kompozitler ve polimerler olarak alt bölümlere ayrılabilir. İlave olarak biyomateryaller, katalitik materyaller, kaplamalar, camlar, manyetik ve elektronik

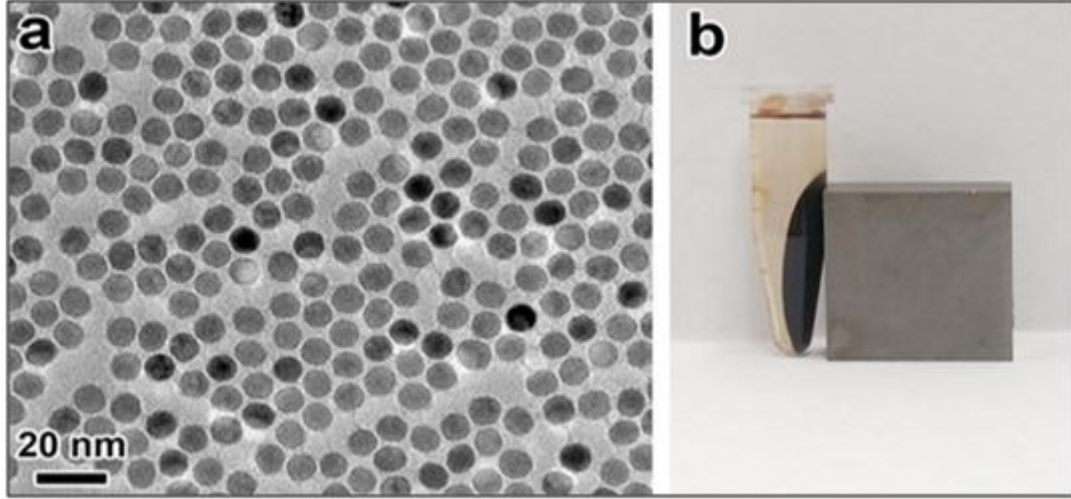
materyaller şeklinde bir sınıflandırma da mümkündür. Tablo 1’de nano yapılara ait 9 yaklaşık boyut aralıkları ve bu yapılar kullanılarak elde edilen materyalleri göstermektedir.

Tablo 1: Nano yapıları içeren bazı materyaller (Tepekozcan, 2013).

Materyaller	Boyut (yaklaşık)	Örnekler
Nano kristaller ve demetler (kuantum noktalar)	1–10 nm	Metaller, yarı iletkenler, manyetik materyaller
Diğer nanopartiküller	1–100 nm	Seramik oksitler
Nanoteller	1–100 nm	Metaller, yarı iletkenler, oksitler, sülfidler, nitritler
Nanotüpler	1–100 nm	Karbon, tabakalı metal kalkojenitler
Nano gözenekli katılar	0,5–10 nm (gözenek yarıçapı)	Zeolitler, fosfatlar
2-Boyutlu nanopartiküller	Birkaç nm ² -µm ²	Metaller, yarı iletkenler, manyetik materyaller
Yüzeyler ve ince filmler	1-1000 nm (kalınlık)	Çeşitli materyaller
3-Boyutlu yapılar	Üç boyutta birkaç nm	Metaller, yarı iletkenler, manyetik materyaller

Her geçen gün, nano yapıları materyaller geliştikçe bu alanda birçok isim ve tanımlama kullanılmaktadır. Nanopartikül üretimi spesifik özelliklerin, nanokristal, nanopartikül veya nanolayer seviyede gerçekleşmesi nedeniyle nanoteknolojinin önemli bir bileşenidir (Rocco, 1999). Nanopartiküller 100 nm’den küçük ve boyutlarına özgül özelliklere

(elektron tutucu etki, geçici mıknatıslık özelliği, yüzey plazmonrezonansı gibi) sahip bileşiklerdir (Portakal, 2008). Şekil 3’de süper paramanyetik nanopartikül içeren bir manyetik sıvının uygulanan bir manyetik alan ile hareketi gösterilmiştir.



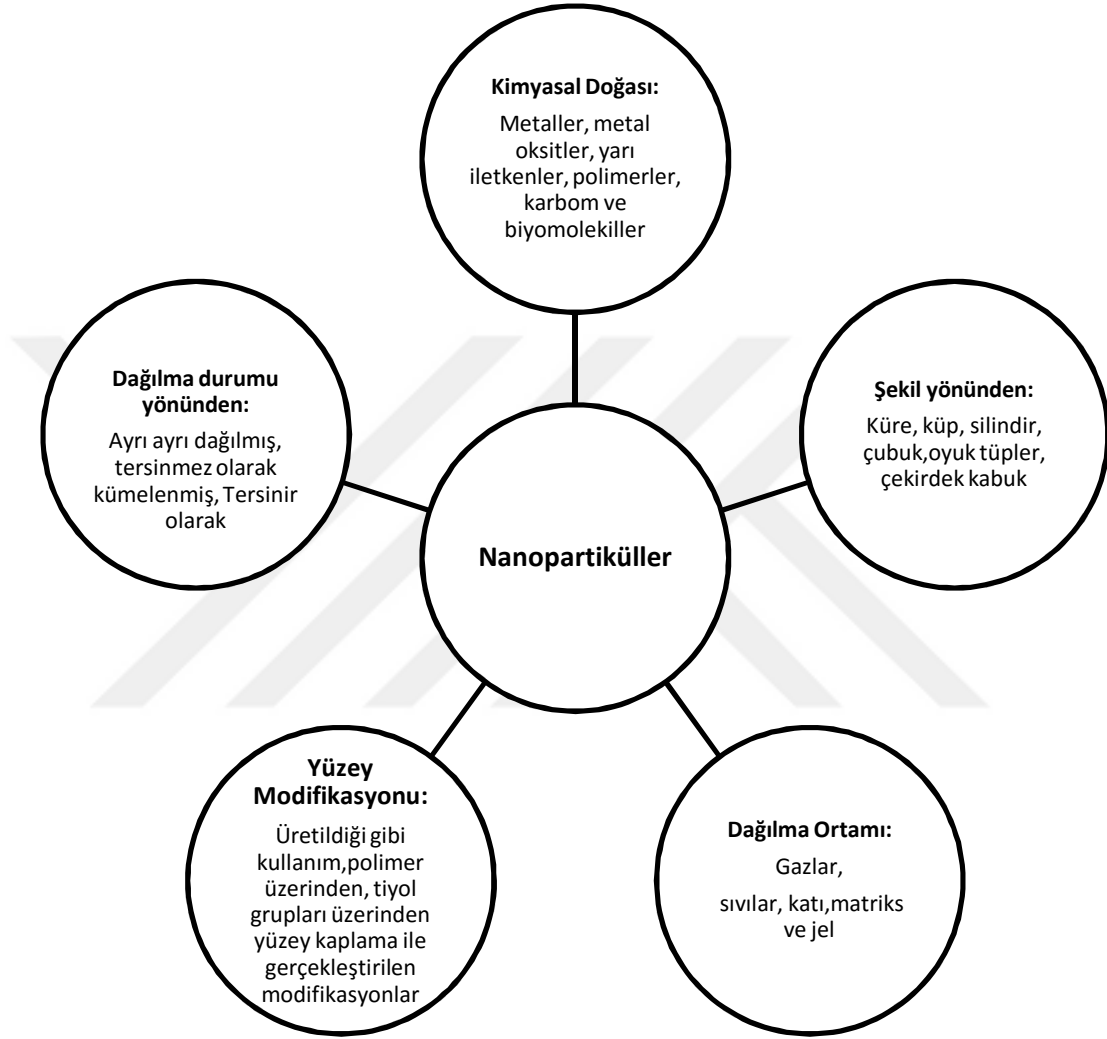
Şekil 3: a) Süper paramanyetik nanopartiküller b) süper paramanyetik nanopartikül içeren bir manyetik sıvının uygulanan bir manyetik alan ile hareketi (URL-2, 2015).

Nanopartiküller diğer ticari malzemelerden genelde farklı ve üstün kabul edilen özellikler göstermektedir. Sıkça belirtilen nanopartikül özelliklerinin çekiciliğinin günümüzde bilinen nedenleri ise; kuantum boyut etkileri, elektronik yapısının boyut bağımlılığı, yüzey atomlarının benzersiz karakterleri ve yüksek yüzey/hacim oranı olarak ön plana çıkmaktadır (Gürmen ve Ebin, 2008). Bir parçacık nano boyuta indirildiğinde hakim başına daha büyük bir yüzey alanı elde edilir. Ve dahada önemlisi parçacık yüzeyinde molekül veya atom oranlarında yüksek bir artış olur. Nano yapılı malzemelerin bu özel nitelikleri yeni tutkalların geliştirilmesinde son derece önemlidir (Dongguang vd., 2002).

Nanoteknolojik malzemelerin çıkış noktasını oluşturan nanopartiküller geniş bir kimyasal aralık ve morfolojide üretilebilirler. Günümüzde çekirdek-kabuk, katkılı, sandviç, boşluklu, küresel, çubuk benzeri ve çok yüzlü gibi farklı morfolojilere sahip metal, metal alaşımı, seramik ve polimer esaslı veya bunların karışımından istenilen özelliklere sahip nanopartiküller hazırlanabilir (Gürmen ve Ebin, 2008).

Nanopartiküller genellikle, spesifik uygulamalara uygun yüzey modifikasyonlarının kolaylıkla gerçekleştirilebilmesi için uygun şekilde dizayn edilirler. Nanopartiküller

kimyasal yapılarındaki bu büyük çeşitlilik, şekil ve morfolojileri, bulundukları ortama uygunlukları ve ortamda dağılma şekilleri nedeniyle bilim dünyasında önemli uygulama alanlarında aktif olarak kullanılmaktadır. Şekil 4’de Nanopartiküllerin doğası ve sahip olabileceği özellikler gösterilmiştir.



Şekil 4: Nanopartiküllerin doğası ve sahip olabileceği özellikler (Pekdemir, 2011).

Nanoteknoloji aralığında özel ilgi uyandıran bazı bileşik sınıfları, örneğin tıp alanında madde taşıyıcılar olarak uygulanılabilecek olan fullerenerler ya da dendrimerlerdir (tanımlanmış boşlukları olan, ağaca benzer moleküller) Tablo 2’de Nanoparçacıkların Güncel ve Gelişmekte Olan Uygulamaları gösterilmiştir.

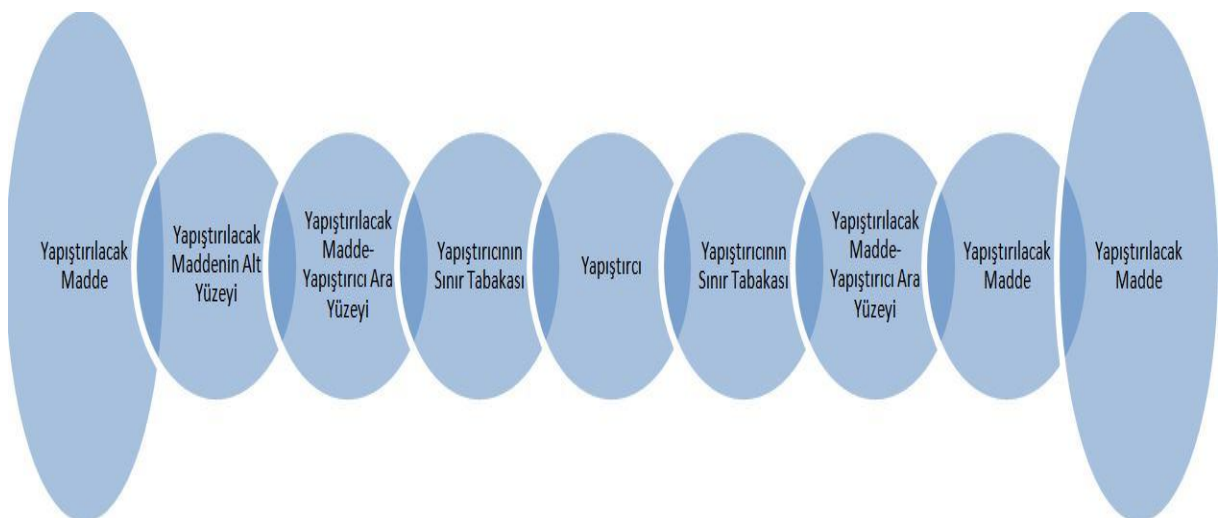
Tablo 2: Nanoparçacıkların güncel ve gelişmekte olan uygulamaları (TUSİAD, 2008).

Elektronik, Optoelektronik ve Manyetik Uygulamalar	Biyomedikal, İlaç ve Kozmetik Uygulamalar	Enerji, Katalizör ve Yapısal Uygulamalar
Kimyasal-mekaniksel cilalama	Anti-mikrobiyeller	Otomotiv katalizörü
Elektro-iletken kaplamalar	Biyo-geciktirme ve imleme	Seramik membranlar
Manyetik akışkan contalar	MRG ¹⁰ kontrast ajanları	Yakıt pilleri
Çoklu-tabakalı seramik kondansatörler	Ortopedi ve implantlar	Fotokatalizörler
Optik fiberler	Koruyucu güneş kremleri	Propellantlar
Fosforlar	Termal spreycaplamalar	Çizilmeye dayanıklı kaplamalar
Kuantum optik aygıtlar		Yapısal seramikler
		Güneş pilleri

1.1.3 Mobilya Endüstrisinde Tutkallar

Bugün ve yıllar boyunca mobilya endüstrisinde çok büyük bir kullanıcı kitlesi ile tutkallar önemli bir yer sahibidir (Tout, 2000). Mobilya üretiminde sentetik reçinelerin geliştirilmesiyle teknik ve yapısal değişimler olmuş; tablalı (panel tipi) ve masif mobilya üretiminde mekanik birleştirmelerin (çivi, vidakinişli, kamalı vb) yerini tutkallı birleştirmeler almıştır (Atar, 2007).

Yapıştırıcı maddeler, yapıştırılacak malzemeyi yüzeysel tutum (adhezyon) ve iç direnç (kohezyon) özellikleri ile diğerine bağlayan ve yapıştıran maddenin yapısını önemli bir şekilde değiştirmeyen maddelerdir (Altınok ve Kılıç, 2004).



Mobilya; birden çok elemandan oluşan bir sistem bütünüdür. Özellikle ahşap mobilyanın birleşme yerlerinin stabil olarak kalmasını sağlayan tutkaldır. Tutkal sayesinde mobilya elemanları bir bütün olarak davranma özelliği kazanır (Yılmaz, 2006). En düşük kalitedeki mobilyadan en yüksek kalitedeki mobilya konstrüksiyonuna kadar, en önemli olan, kullanılacak olan tutkalın seçimi ve uygulama şeklidir (Yörür, 2007).

Mobilya birleştirmelerinde tutkal kullanımının birçok avantajı vardır. Bunlardan bazıları; uniform stress dağılımı, geniş yüzeyleri birleştirebilme, farklı malzemelerin

birleştirebilmesi, çatlak korozyonu olmaması, özellikle geniş alanların birleştirilmesinde diğer yöntemlere göre daha ucuz olması ve iyi sönümlene özelliğidir. Bununla birlikte sıcaklık ve su dayanımının istikrarlı olmaması, uzun vadede kullanımda özelliklerinin değişiyor olabilmesi, mekanik birleştirme yöntemlerine göre mukavemetin düşük olması gibi dezavantajları da mevcuttur (Silvia vd., 2010).

Tutkallı birleştirmelerin performansı üzerinde, tutkalın özellikleri yanında, yapıştırılan malzemenin yapısı, tutkal bileşimi, tutkal tabakasının nitelikleri etkili olmaktadır. Tutkallı birleştirmelerin başarısını etkileyen tutkal özelliklerinden katı madde oranı, viskozite, kül miktarı ve pH önemli sayılırken, birleştirmelerin performansını değerlendirmek için standartlara uygun test metotları kullanılır (Yıldırım, 2008).

Ağaç işleri endüstrisinde kullanılan tutkallar direnç özelliklerine göre Tablo 3’de sınıflandırılmıştır.

Tablo 3: Orman endüstrisinde kullanılan tutkallar direnç özelliklerine göre sınıflandırılması (TS 5430 EN 204, 2003; Yıldırım, 2008).

Sınıflar	Direnç Özellikleri
A	Sıcaklık ve hava rutubetiyle temas halinde olmayan, genellikle düşük rutubetli kapalı yerlerdeki şartlara dayanıklı olup, kuru ortamdaki oda kapılarında ve mobilyalarda kullanılır.
B	Mutfak ve banyo gibi kısa süreli yüksek rutubet ve zaman zaman su etkilerine maruz kalan kapalı yerlerdeki hava şartlarına karşı dayanıklıdır.
C	Pencere, dış kapı ve dış merdiven gibi zaman zaman yüksek rutubet ve kısa süreli su tesirlerine maruz kalan ortamlardaki şartlara dayanıklıdır.
D	Banyo ve duş kabinleri gibi ekstrem klima değişiklikleri ve su etkilerine maruz kalan kapalı ortam şartlarıyla; dış pencere, dış kapı gibi ekstrem klima şartlarına sahip olan açık hava ortamındaki kullanımlara dayanıklıdır.

D sınıfı tutkallar dayanıklılıklarına göre; D1, D2, D3, ve D4 olarak gruplandırılır. Bu tutkalların kullanım alanları

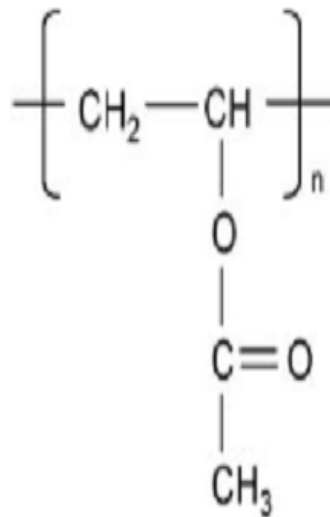
D1 :Sıcaklığın 50 °C civarında, rutubetin maksimum %15 olduğu iç mekanlar

D2 : Akan veya yoğunlaşan suya kısa aralıklarla maruz kalan iç mekanlar

D3 : Kısa aralıklarla akan yada yoğunlaşan suya veya rutubete maruz kalan iç mekanlar

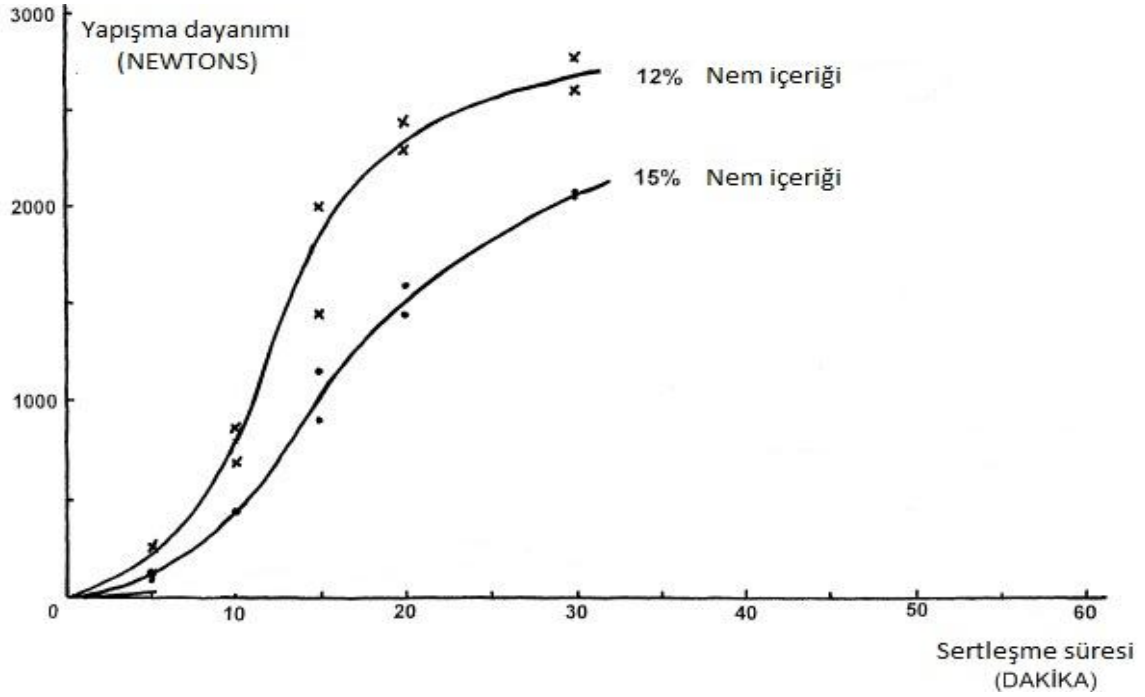
D4: Sık sık uzun süre ile akan ya da yoğunlaşan suya maruz kalan iç ve dış mekanlar (TS 5430 EN 204., 2003; Yıldırım., 2008).

PVAc tutkalı mobilya üretiminde hala baskın bir şekilde kullanılmaktadır (Tout, 2000). PVAc tutkalları, Poliadişyon Polimerizasyonu ile üretilen tutkallar olup, soğuk olarak uygulanan, Termoplastik özellikli, kullanma esnasında herhangi bir sertleştirici yada katalizör ilavesine ihtiyaç göstermeyen tutkallardır. PVAc tutkalları 21 C' de 2000 ile 3000 centipois (Cp) arasında değişen viskozitelerde sıvı forma gelmektedir (Kim ve Kim, 2005). Bu tür tutkallar, daha çok mobilya yapımında, suyla teması olmayan iç mekanlardaki tutkallamalarda kullanılırlar (Demirel, 2008). Şekil 6'da PVAc tutkalının kimyasal formula gösterilmiştir.



Şekil 6: PVAc tutkalının kimyasal formülü (Cao, 2010).

PVAc tutkalının mobilya yapımında sağladığı avantajlar yanında uygulandıktan sonra sıcaklık arttıkça yumuşama ile birlikte mekanik direnci azalması, 70 °C den sonra ise istenilen bağlayıcılığı gerektiği gibi sağlayamaması ve su dayanımının düşük olması gibi dezavantajları vardır (Perçin vd., 2009). PVAc tutkalları 16-32 °C arası çalışma sıcaklıklarında uygulanmalıdır (Ebnesajjad, 2008). Şekil 7’de ahşap nem içeriğinin PVAc tutkalının yapışma direnci üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 7: Ahşap nem içeriğinin PVA tutkalının yapışma direnci üzerine etkisi (Tout, 2000).

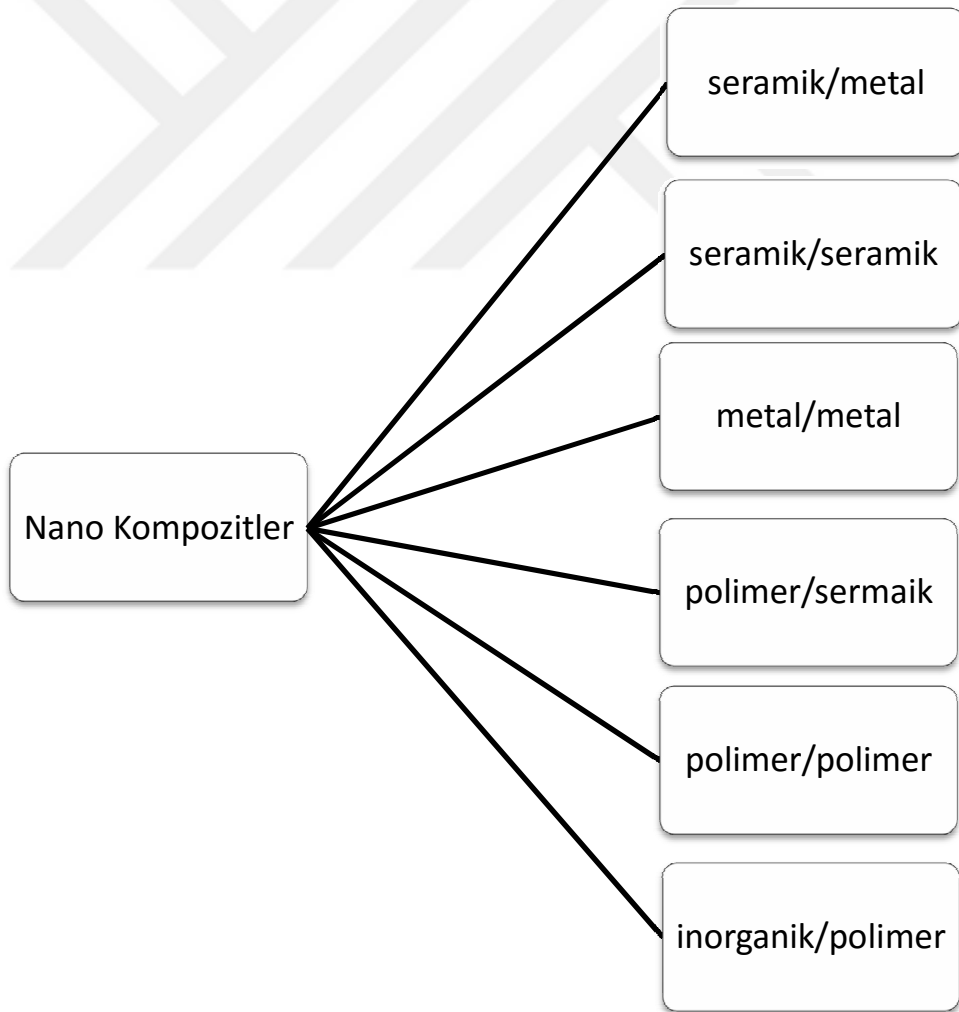
Birleştirme yapılacak malzemenin cinsi ve yüzey özelliklerine göre 150–200 gr/cm² tutkalın birleştirme yapılacak yüzeylerden birine uygulanması iyi bir yapışma için yeterli olmaktadır (Perçin vd., 2009). Normal ortam koşullarında PVAc tutkalının yapışma gücü yaklaşık 15 dakika içerisinde gelişir (Tout, 2000).

Bu tür tutkallar, daha çok mobilya yapımında, suyla teması olmayan iç mekanlarda ki tutkallamalarda kullanılırlar. Sürekli bir yük altında eğilmeye neden oldukları için taşıyıcı birleşimlerde konstrüksiyon tutkalı olarak kullanılmaları uygun değildir (Yılmaz, 2001).

1.1.4 Nanopartikül Takviyeli Tutkallar

Kompozit malzeme, iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir (Arpacı, 2014).

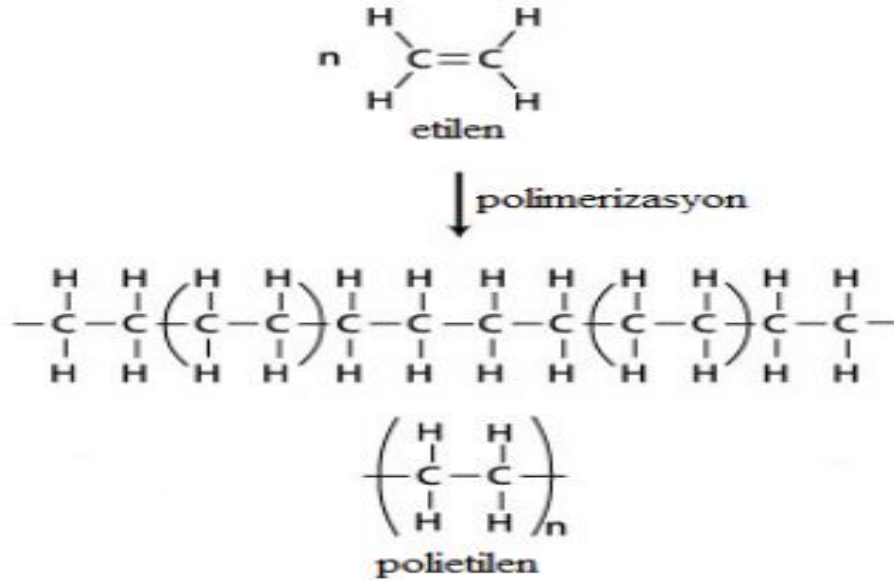
Nanokompozitler ise bir matrise eklenen katkının matris içinde nano boyutta dağılması ile oluşmuş malzemedir. Nano boyuttan kasıt en az bir boyutun 100 nm'nin altında olmasıdır. Nanokompozitlerin üretim amacı ilk malzemenin ısı, mekanik ve gaz/su geçirgenliği özelliklerini geliştirmektir. Nanokompozitler, nano katkıların seramik, metal veya polimer matris içine eklenmesiyle üretilenlerinden farklı çeşitlerde olmaktadır. Şekil 8'de nanokompozit çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 8: Nanokompozit çeşitleri (Vatansever, 2015).

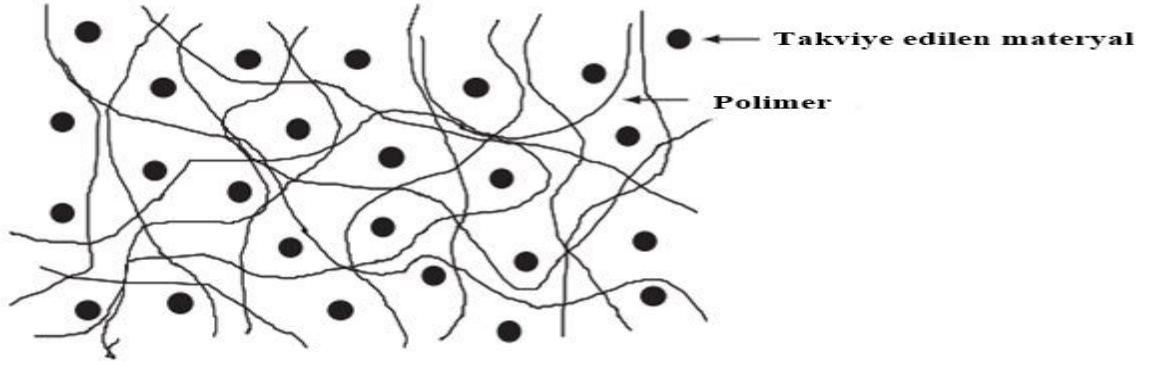
Polimerik nanokompozitler konusunda ilk çalışmalara 1987 yılında Toyota Araştırma Laboratuvarlarında (Toyota Central Research and Development Laboratories, JAPAN) başlanmış ve geliştirilen Nylon-6/doğal kil (montmorillonit) nanokompozitinin, poliamide (PA) ve konvansiyonel dolgularla hazırlanan PA kompozitlere göre birçok fiziksel üstünlükleri olduğu saptanmıştır. 1989 yılında bu çalışmanın sonuçlarının yayınlanmasından sonra tüm dünyada polimerik nanokompozit çalışmaları hızla yaygınlaşmış ve farklı yapıdaki polimerlerin ve dolgu maddelerinin nanokompozit yapısı ve özelliklerine etkilerinin araştırılması yönünde büyük bir ivme kazanmıştır (Arpacı, 2014).

Polimer molekülleri, ‘mer’ler (tekrarlanır birimler)’den oluşur. Mer sayısının çok küçük olması halinde polimerin özel ismi ‘oligomer’, mer sayısının çok büyük olması halinde ise polimer sisteminin özel ismi ‘makromolekül’ şeklindedir. Şekil 9’da Polietilen (PE) polimer zincirinin şematik gösterimi (n: mer sayısı).



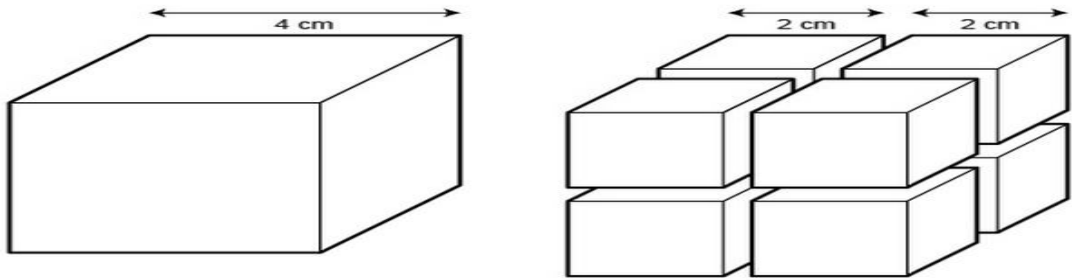
Şekil 9: Polietilen (PE) polimer zincirinin şematik gösterimi (n: mer sayısı) (Arslan, 2011).

Nanopartiküllerin geliştirilmesi ve ticarileştirilmesi tutkal uygulamalarına nano ölçekte yeni olanaklar sunmuştur. Nanopartikül takviyesi ile tutkalların geliştirilmesi günümüzde malzemebilimi ve mühendisliğinin en çok araştırılan konuları arasında yer almaktadır (May vd., 2010). Şekil 10’da Nanopartikül takviyeli polimer nanokompozitlerin tipik yapısı gösterilmiştir.



Şekil 10: Nanopartikül takviyeli polimer nanokompozitlerin tipik yapısı (Kestur vd., 2009).

Yapılan çalışmalarda polimer malzemelerin nanopartiküller ile yüklendiğinde daha yüksek mekanik mukavemet, yüksek ısı iletkenlik ve geliştirilmiş elektriksel performans gösterdiği saptanmıştır. Bunun başlıca nedeni nanopartiküllerin boyutlarının küçük ve yüzey alanına geniş olmasıdır. Şekil 3’de bu fikir gösterilmektedir. Sağdaki ve soldaki küp aynı hacme sahiptir. Fakat soldaki küpün toplam yüzey hacmi sağdakine göre çok daha büyüktür. Nanopartiküllerin bu özellikleri polimer ve nanopartikül arasında muazzam ara yüzey alanının oluşmasını sağlar (Zhai vd., 2008). Şekil 11’de yüzey-hacim oranı ilişkisinin gösterilmiştir.



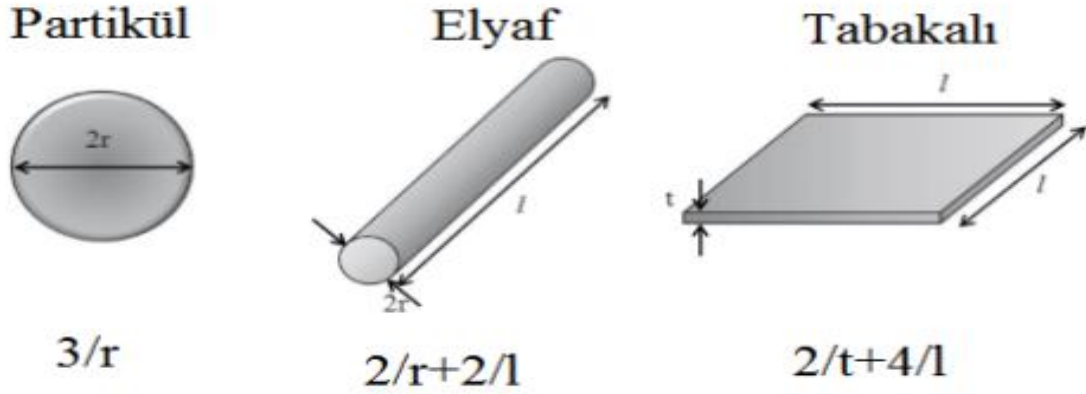
Toplam Yüzey alanı=
 $(4\text{cm} \times 4\text{cm}) \times 6 \text{ yüzey} = 96 \text{ cm}^2$

Bir Küpün Yüzey alanı=
 $(2\text{cm} \times 2\text{cm}) \times 6 \text{ yüzey} = 24 \text{ cm}^2$
 Toplam Yüzey Alanı $24 \text{ cm} \times 8 \text{ küp} = 192 \text{ cm}^2$

Şekil 11: Yüzey – hacim oranı ilişkisinin gösterimi (URL-3, 2015).

Bir nanokompozit malzemeden istenen mekanik, termal, fiziksel, elektriksel gibi özellikler takviye malzemesinin doğru seçimi ile sağlanabilir. (Sepet, 2014).

Nanopartiküllerin birim hacim başına düşen yüzey alanı çapları ile ters orantılıdır. Daha küçük nanomalzeme çapı daha büyük yüzey alanına sahip olur. 2/l ve 4/l oranlarına sahip nanomalzemeler, nanopartikül malzemelere kıyasla çok daha düşük etkiye sahiptir. Polimer nanokompozitlerin hazırlanmasında kullanılan nano boyutlu takviye malzemeleri farklı türde, yapıda ve geometride olabilmektedir. Şekil 12’de Nanomalzemelerin geometrileri ve yüzey alanı-hacim ilişkisi gösterilmiştir.



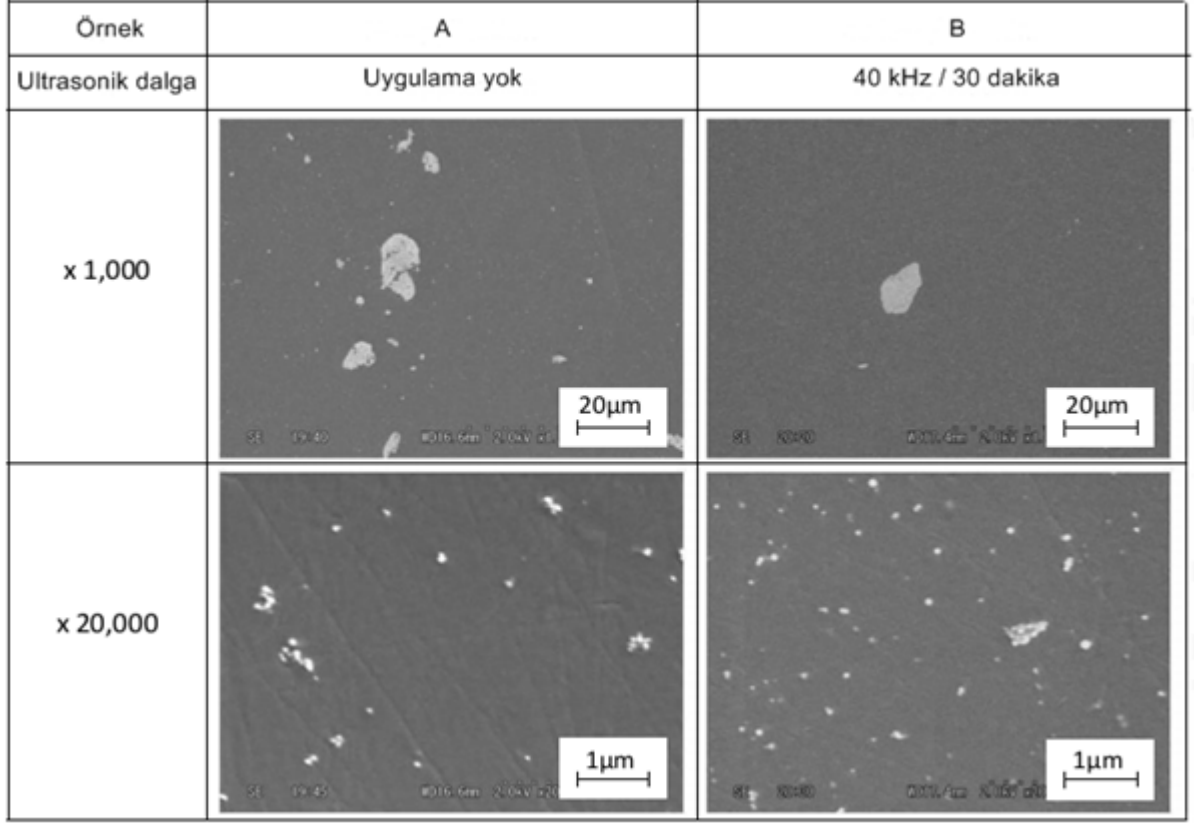
Şekil 12: Nanomalzemelerin geometrileri ve yüzey alanı-hacim ilişkisi (Sepet, 2014).

Yapıştırıcı formülasyonlarında kullanılan başlıca nano dolgu malzemeleri şunlardır: Silis, alüminyum oksit, magnezyum oksit, titanyumdioksit, zirkonyumoksit, gümüş, bakır ve nikel dir (Licarive ve Swanson, 2011). Nanopartiküller ile tutkalların geliştirilmesinde birçok parametre etkilidir. Bu parametrelerden en önemlisi nanopartiküllerin tutkal içerisinde homojen dağılımıdır. Tutkalların nanopartiküller ile geliştirilmesi açısından diğer önemli parametreler ise kullanılan nanopartiküllerin özellikleri ve oranıdır.

Tutkallara nanopartiküller ilave edilirken iyi bir dağılımın gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Çünkü nanopartiküllerin karıştırılması zordur ve genellikle yığılma eğilimindedirler. Nanopartiküllerin homojen dağılma derecesi tutkalların mekanik, termal ve elektronik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir (Rangarive vd., 2007). Son yıllarda araştırmacılar tarafından yüksek yoğunluklu polimer malzemeler ile nanopartikülleri karıştırmak için ultrasonikasyon yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem nanopartiküllerin karıştırılmasında oldukça etkili bir yöntemdir (Hielscher, 2005).

Nanopartiküllerin epoxy tutkalı içerisinde dağılımda ultrasonic dalgaların etkisinin araştırıldığı bir çalışmada ultrason dalgaların yığılmaları azalttığı ve daha iyi bir dağılma

sağladığı ortaya konmuştur. Şekil 13’de Alimunyum oksit nanopartiküllerin epoxy içinde ultrason dalgaları kullanılarak ve ultrason dalgaları kullanılmadan dağılımının TEM görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 13: Alimunyum oksit nanopartiküllerin epoxy içinde ultrason dalgaları uygulanarak ve ultrason dalgaları uygulanmadan dağılımının TEM görüntüleri (Kurimoto vd., 2010).

1.1.5 Mobilya Endüstrisinde Birleştirmeler

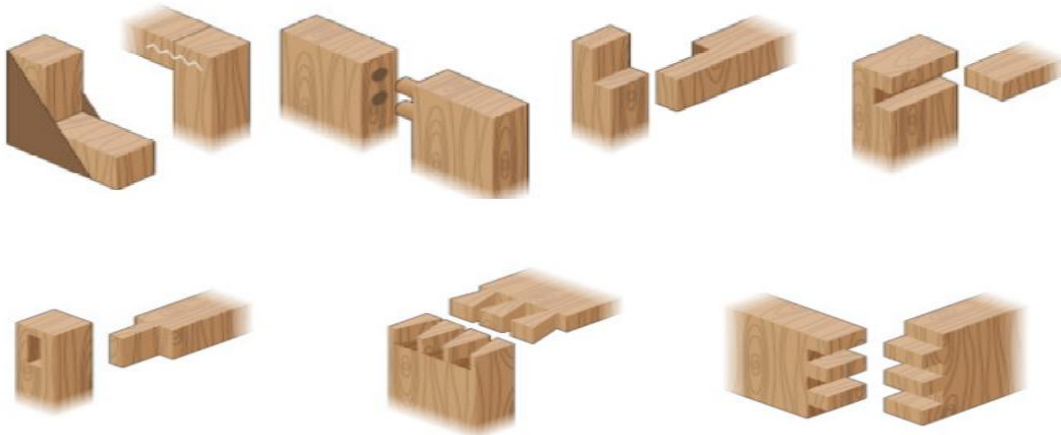
Mobilya elamanları tasarlanırken fonksiyonları, boyutları ve estetik görünümü ön planda tutulmaktadır. Mobilya, bu faktörlerden biri ya da hepsi değerlendirilerek satın alınmaktadır. Kullanım yeri ve amacına göre maliyet ikinci planda yer almaktadır. Mobilyanın kullanım ömrünü ise bu etkenlerin dışında, oluşumunu sağlayan konstrüksiyon doğrudan etkilemektedir (Örs vd., 1999).

Mobilya ve yapı elemanları konstrüksiyon olarak birden çok elemanın çeşitli şekil ve metodlarla birleştirilmesiyle oluşan, bu esnada birtakım özellik ve fonksiyonlar kazanan bir yapı bütünüdür. (Kurtoglu vd., 1990).

Mobilya tasarımı gerçekten bir bilim olduğu kadar bir sanattır. Hem estetik hem de mühendislik yönüyle yetiştirilen tasarımcılar olmasına rağmen, bütün mobilya tasarımcılarının yapısal mekanik konusunda iyi yetiştirilmelerini beklemek makul değildir. (Karaman, 2012).

Birleştirme kavramından, eleman uçlarının uygun gereçlerle birbirine bağlanması ile oluşan bir sistem anlaşılmaktadır. Özellikle ahşap birleştirme teknikleri, yan yana (en), uç uca (boy), köşe ve T-tipi birleştirmeler olarak sıralanabilir (Efe vd., 2012).

Ahşap mobilya üretiminde kullanılan birleştirmeler için dünyada Hint standardı bulunmaktadır. Bu standartta birleştirmeler 19 farklı türle açıklanır. Şekil 14’de Ahşap mobilya üretimde yaygın olarak kullanılan birleştirmeler gösterilmiştir. (Nandanwar vd., 2013).

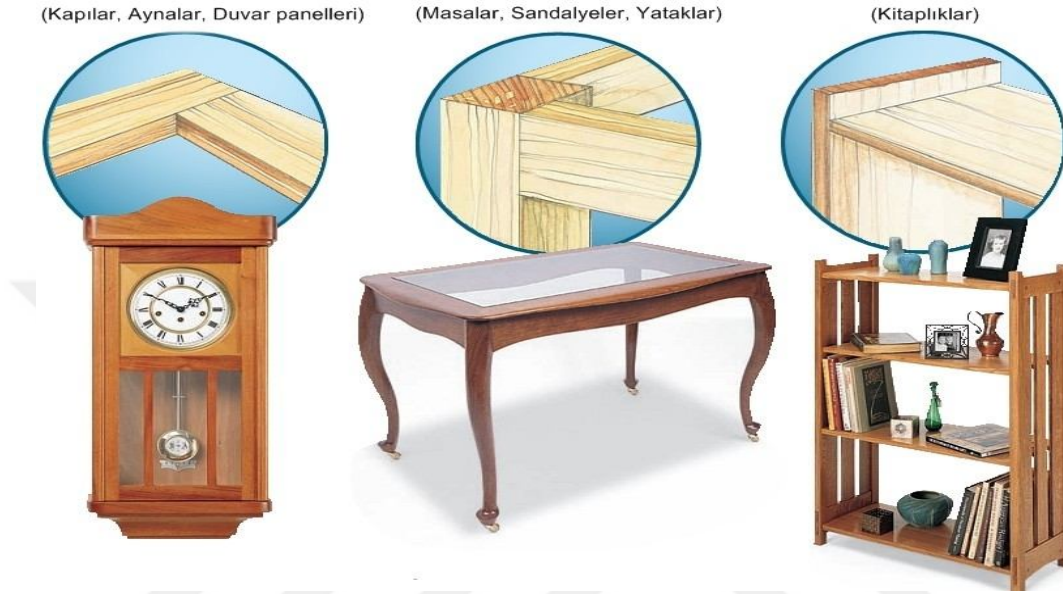


Şekil 14: Ahşap mobilya üretimde yaygın olarak kullanılan birleştirmeler (URL-4, 2015).

Ağaç işleri endüstrisinde birleştirmeler, ahşap malzemeyi değerlendirmek, daha geniş yüzeyler elde etmek ve bir mobilyayı meydana getirmek için tutkal haricinde yabancı gereç kullanmadan mobilya elemanlarını birleştirmek için kullanılır (Kürelî, 1988).

Kavelalı birleştirmelerin artmış olmasına rağmen zıvanalı birleştirmeler yüzyıllardan beri yaygın olarak kullanılmaktadır. Zıvanalı birleştirme; bir elemanın ucunda yapılan zıvananın diğer elemanda açılan deliğe yerleştirilmesi suretiyle meydana getirilen birleştirmedir (Tokgöz ve Uzer, 2007). Bu birleştirmeler hala bir çok konstrüksiyonda özellikle sandalye çerçevelerinde tercih edilmektedir (Tankut ve Tankut, 2005).

Yıllar geçtikçe zıvanalı birleştirmelerin tasarımı değişik nedenlerden ötürü çeşitlenmiştir. Ancak temel prensipleri aynı kalmıştır. Çerçeve köşe birleştirmelerinde, T tipi birleştirmelerde ve ayak kayıt birleştirmelerde kullanılan; açık zıvanalı, yarım açık zıvanalı, hampaylı zıvanalı vb gibi çeşitli zıvanalı birleştirme teknikleri vardır (Yörür, 2012). Şekil 15’de lamba zıvanalı birleştirmelerin farklı kullanım şekilleri gösterilmiştir.



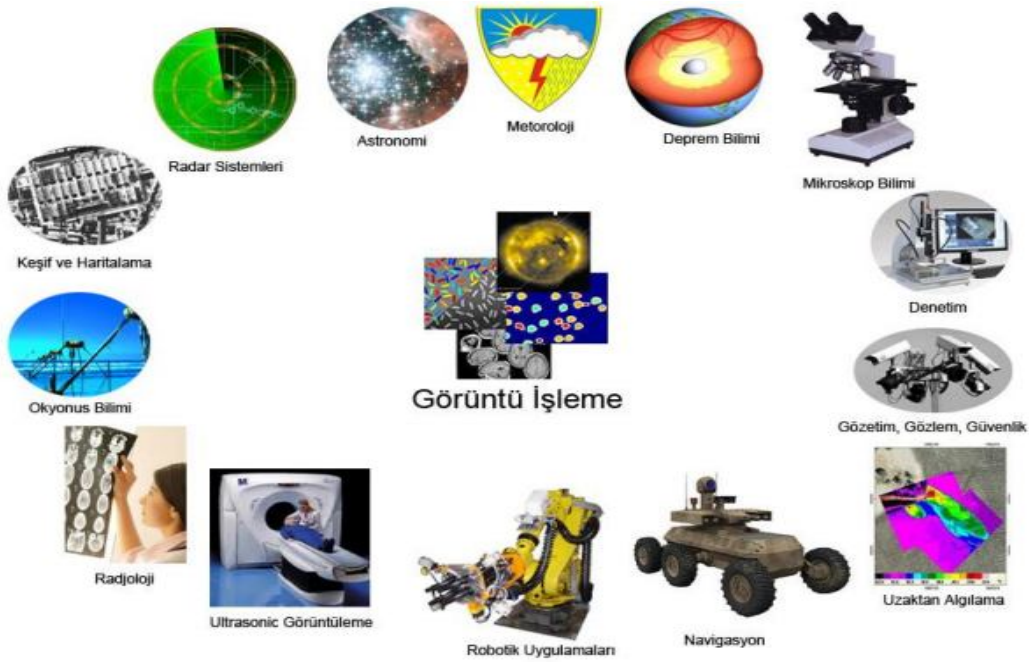
Şekil 15: Lamba zıvanalı birleştirmelerin farklı kullanım alanları (Kirby, 2001).

Tüm endüstriyelerde olduğu gibi mobilya endüstrisinde de maliyetleri azaltma yolları aranmaktadır. Günümüzdeki tasarımlar iş verimi ve emniyetini arttırmaya, boyutları ve ağırlığı küçültmeye, aynı zamanda malzeme ve imalat masraflarını azaltmaya yöneliktir. Buna paralel olarak birleştirme tekniği, sürekli bir şekilde yeni problemlerle karşı karşıya kalmaktadır (Şen vd., 2010). Mobilya yapıları için güvenilir birleştirmeler geliştirmek önemli bir çalışma alanı haline gelmiştir. Çünkü birleştirmeler mobilyanın değerini belirlemektedir. Mobilya üretiminde verimlilik büyük ölçüde birleştirmelere bağlıdır.

Mobilya ürünleri (çekmece rafları, arka paneller) farklı kullanımlarından dolayı farklı yüklere maruz kalırlar. Dış kuvvetler panellerin birleştirme yerinde ya da mobilyada baskı ve germe etkisi yapmaktadırlar (Atar, 2009). Genellikle ahşap mobilyalarda yükler altında deformasyonlar birleştirme yerlerinde oluşmaktadır (Wang ve Lee, 2014). Bu nedenle mobilya birleştirmelerin tasarımı oldukça önemlidir.

1.1.6 Görüntü Yöntemleri ile Deformasyon Analizi

Görüntü işleme genel olarak, bir uygulamadan özel, ilave bilgileri elde etmek için alınan görüntülerin analizi ve düzeltilmesini ifade etmektedir. Görüntü işlemenin düzeltme kısmı görselliğin artırılabilmesi işlemlerini içerirken analiz kısmı, elde edilen bilgilerin değerlendirilebilmesi için istatistik metotlarını kullanmaktadır (Sözen, 2008). Şekil 16'da görüntü işlemenin kullanıldığı bazı alanlar verilmiştir (Çomak vd., 2011).

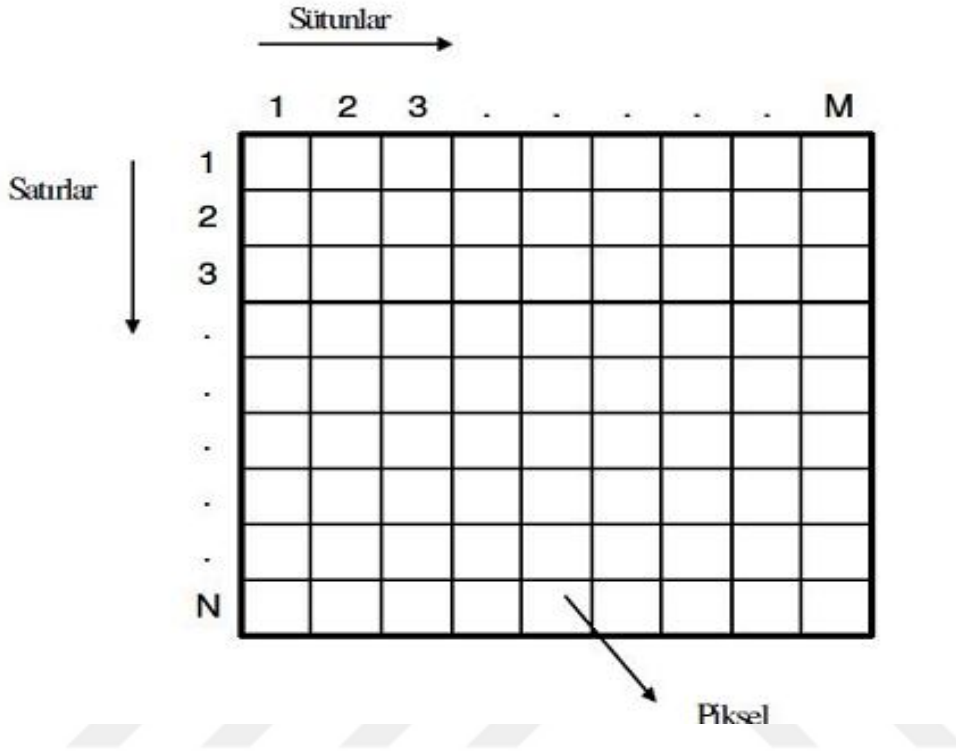


Şekil 16: Dijital görüntü işlemenin kullanım alanları (Çomak vd., 2011).

Görüntü, görme ve görünüm ile ilgili bir kavramdır. Nesnelerin, yüzeylerine çarpan veya içlerinden geçen ışınları yansıtmaları yoluyla algılanmalarına görme; söz konusu nesnelerin bu yoldan algılanabilen içeriğine görünüm; görünümün herhangi bir biçimde sağlanmış iki-boyutlu (2-B) çizgesi ise görüntü olarak adlandırılır (Hisar, 2011).

Görüntü yöntemlerinin temel ögesini oluşturan dijital görüntüler, genelde endüstriyel kameralar kullanılarak elde edilmektedir. Görüntüler, kameralardan bilgisayara aktarılarak kullanıcı tarafından geliştirilen veya bu amaçla hazırlanmış ticari yazılımlar kullanılarak analizleri yapılmaktadır. Bu işlemleri ayrıca eş-zamanlı (real-time) yapabilen sistemler de geliştirilmiştir (Güler vd., 2007).

Bir görüntünün temel bileşeni; piksel-resim elemanı (pixel-picture element) dir. Dolayısı ile görüntü deyince $M \times N$ boyutlu piksellerden oluşan bir matris akla gelmelidir. Şekil 17’de Sayısal görüntüde piksellerin gösterilmiştir. (Aba, 2014).



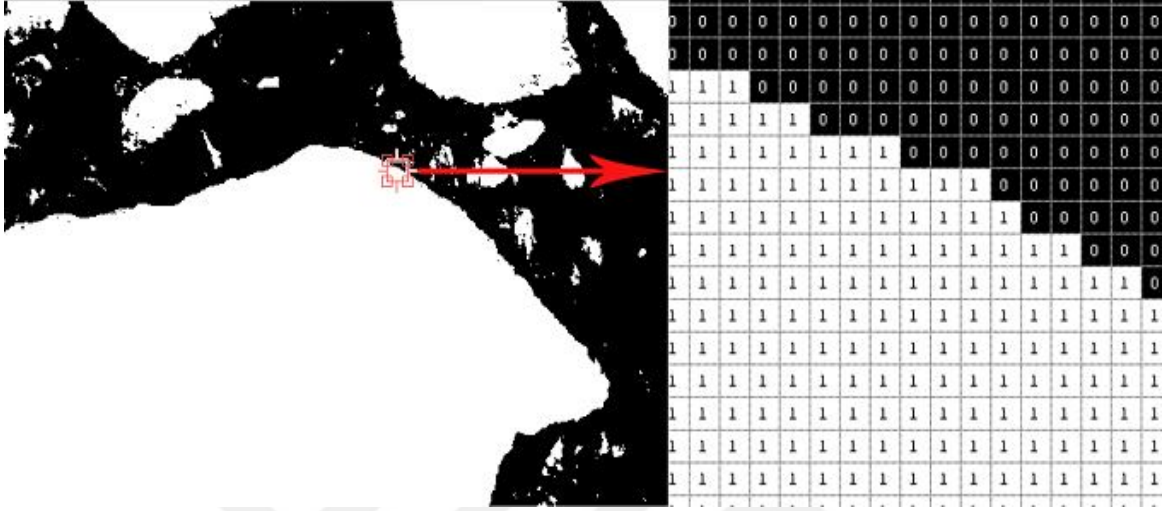
Şekil 17: Sayısal görüntüde piksellerin gösterilmesi (Aba, 2014).

Gerçek yaşamda, bir görüntü basit iki değişkenin bir fonksiyonu olarak tanımlanır. $f(x,y)$ gibi bir fonksiyonla ifade edilen bir resimde f bir şiddet birimi (örneğin parlaklık) ve x ve y değişkenleri ise görüntünün gerçek koordinatlarıdır. Dijital bir görüntü, elemanları, uzaydaki x,y konumlarına karşılık gelen noktaların $f(x,y)$ parlaklık değerlerini içeren matristir. (Perihanoğlu, 2015).

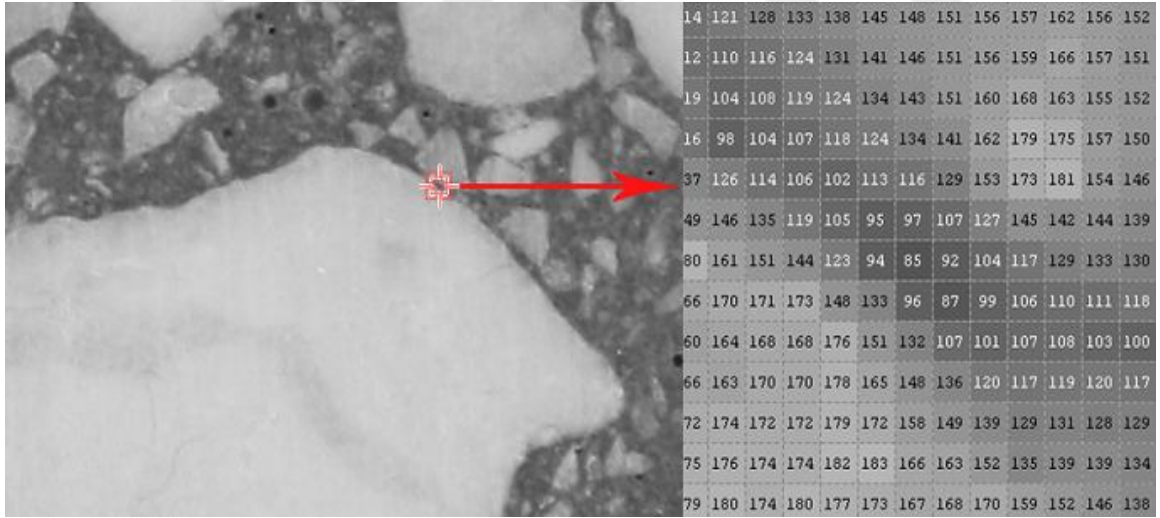
Genel olarak dijital görüntüler 3 farklı grupta toplanmaktadır

- 1) Binari Görüntü: 0 veya 1 olmak üzere 2 değer (siyah ve beyaz) alırlar.
- 2) Gri Renk Seviyeli Görüntü: Tek renkli görüntülerdir. Renk bilgisi içermez sadece parlaklık bilgisi içerirler.

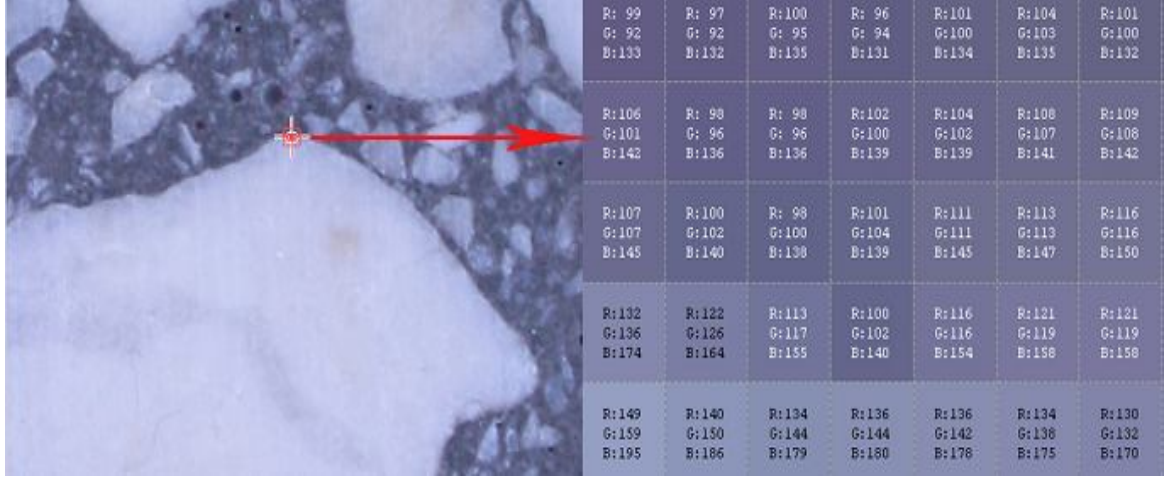
- 3) Renkli Görüntü: bilgisayar ekranlarında 24 bitlik veri olarak görüntülenir. Görüntüleme R(Kırmızı), G(Yeşil), B(Mavi) kodlanmış aynı objeye ait üç adet gri düzeyli görüntünün üst üste ekrana iletilmesi ile oluşur. Şekil 18,19, 20’de dijital görüntü çeşitleri gösterilmiştir (Perihanoğlu vd., 2015).



Şekil 18: Binari görüntü (Perihanoğlu vd., 2015).

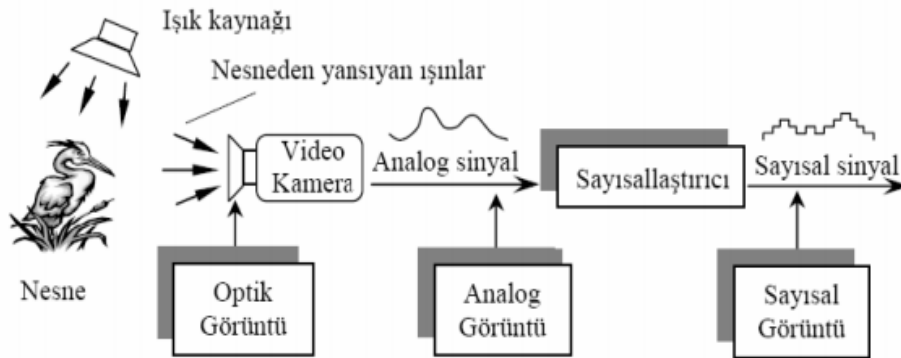


Şekil 19: Gri renk seviyeli görüntü (Perihanoğlu vd., 2015).



Şekil 20: Renkli görüntü (Perihanoğlu vd., 2015).

Görüntü işlemenin birinci aşaması görüntü edinme işlemidir. Görüntü yakalama aşamaları kabaca şematize olarak Şekil 21’de gösterilmiştir. Bu şemada bir ışık kaynağı ile aydınlatılmış nesne mevcuttur. Nesneden yansıyan ışınlar optik formda kameraya aktarılır. Nesneyi tanımlayan bu ışınlar, kamerada elektrik sinyallerine dönüştürülür. Böylece görüntü analog forma çevrilmiş olur. Analog sinyaller bir sayısal dönüştürücüde sayısal sinyallere dönüştürülür. Son aşamada sayısal forma dönüştürülen görüntü artık bilgisayar ortamına aktarılarak işlenecek hale getirilmiş olur. Bu işlem için görüntü sensörü ve bu sensörün üretmiş olduğu sinyalleri dijital forma dönüştürebilecek sistemlere ihtiyaç vardır (Beyaz, 2008).



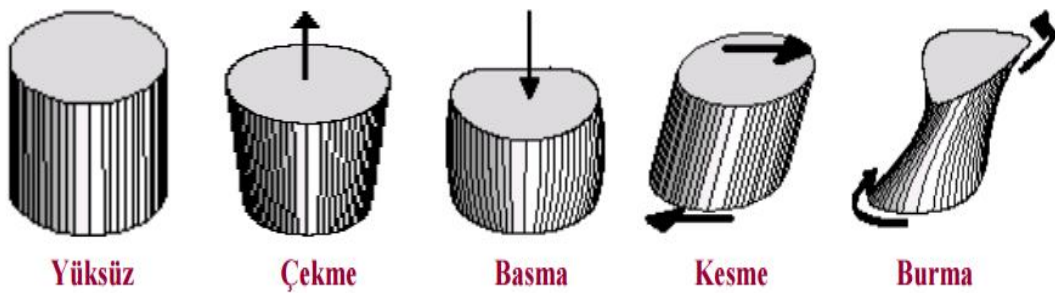
Şekil 21: Görüntü yakalama ve sayısallaştırma aşamaları (Beyaz, 2008).

Sayısal resim elde edildikten sonraki basamak ise ön-işlemedir. Adından da anlaşıldığı gibi ön-işleme, elde edilen sayısal resmi kullanmadan önce daha başarılı bir sonuç elde edebilmek için, resmin bazı ön işlemlerden geçirilmesidir. Bu işlemlere örnek olarak;

kontrastın ayarlanması, resimdeki gürültülerin azaltılması ve/veya yok edilmesi, resimdeki bölgelerin birbirinden ayrılması gibi işlemleri verebiliriz. Ön-işlemler bittikten sonra görüntü biçimlendirme (segmentation) basamağına geçilir. Görüntü biçimlendirme, bir görüntüdeki nesne ve artalanın veya resim içerisindeki ilgilenilen değişik özelliklere sahip bölgelerin birbirinden ayrıştırılması işlemidir. Biçimlendirme görüntü işlemenin en zor uygulamasıdır ve biçimlendirme tekniklerinin sonuçlarında belli bir hata oranı olabilmektedir. Görüntü biçimlendirmeden sonraki basamak, görüntünün gösterimi ve resmin tanımlanmasıdır. Ham bilgiler görüntüde ilgilenilen ayrıntı ve bilgilerin ön plana çıkarılması bu aşamada yapılır. En son kısım ise tanıma ve yorumlamadır. Bu aşamada ise görüntü içerisindeki nesnelerin veya bölgelerin önceden belirlenen tanımlamalara göre etiketlenmesidir. Bütün bu işlemler sırasında görüntü bilgisinden sürekli yararlanılmaktadır. Ham görüntünün ilk durumunda var olan bilgilerde işlemlerden önce gözden geçirilmeli ve görüntü işleme teknikleri esnasında da sürekli görüntüden bilgi alınarak onun analizi sağlanmalıdır (Özkan, 2012).

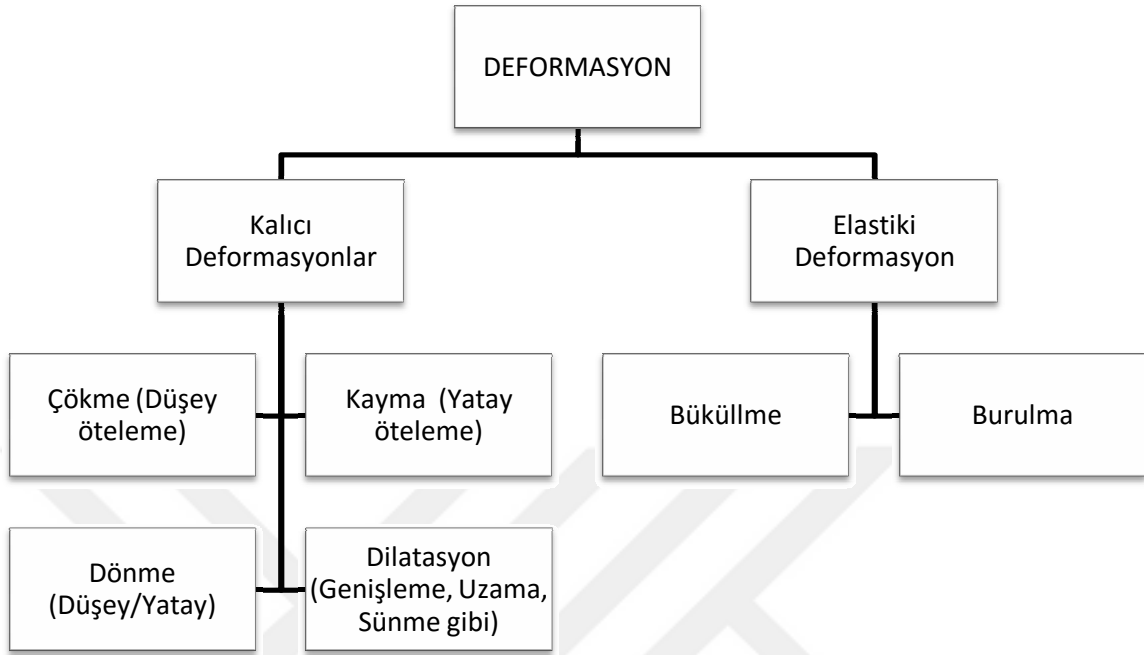
Deformasyon analizi, birleştirmelerin performansı açısından oldukça kritik bir konudur. Birleştirmelerindeki herhangi bir hasar, mobilyanın kullanım ömrü ve güvenlik açısından önemli problemlere yol açabilir. Bu nedenle yük taşıyan birleştirmeler mekanik açıdan kararlı ve dayanıklı olmalıdır.

Bir malzemeye yük uygulandığında malzeme üzerinde çeşitli yönlerde ve çeşitli şekillerde yükler oluşur. Malzeme bu yükler tesiri altında ancak hasara (yani deformasyona) uğratılır. Şekil 22’de deformasyona neden olan yüklerin bazıları aşağıda örnekleri ile malzeme üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 22: Deformasyona neden olan bazı yükler (URL-4, 2015).

Deformasyonlar, şekil değişimlerinin yapısına ve cinsine göre kalıcı ve elastiki olmak üzere ikiye ayrılırlar Şekil 23’de deformasyon çeşitleri gösterilmiştir.



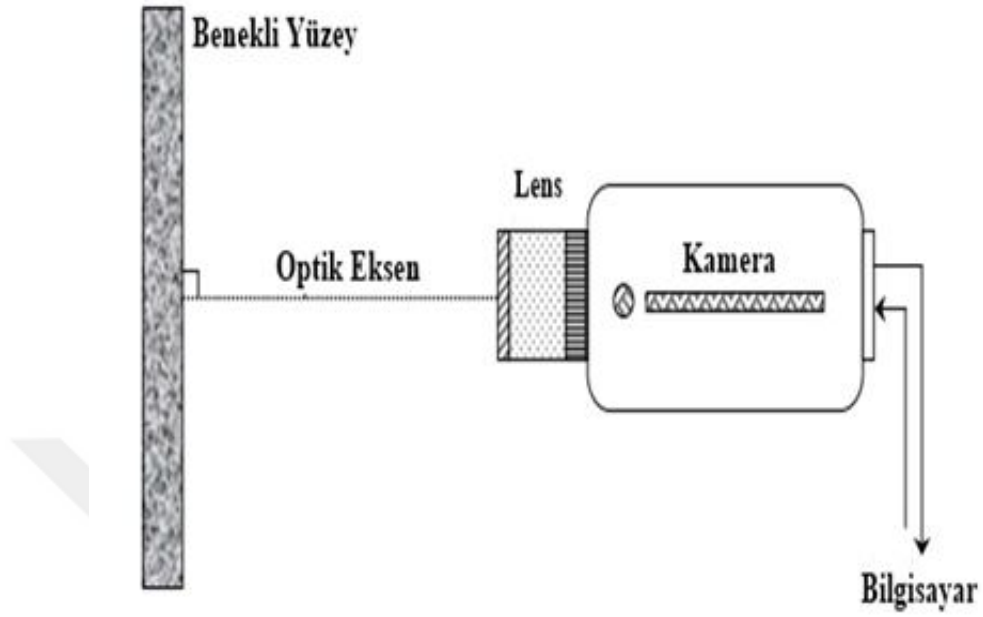
Şekil 23: Deformasyon çeşitleri (Doğanalp, 2003).

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

Görüntü yöntemleri kullanılarak çeşitli malzemelerin (beton, tekstil) yük altında deformasyon davranışlarının incelenmesi son yıllarda ilgi duyulan araştırma konularından birisidir. Bunun nedeni temel olarak, görüntü kullanılarak yapılan ölçümlerde mekanik yöntemlerin aksine malzeme yüzeyine doğrudan temas olmadan ölçüm yapılabilmesi, karmaşık ve pahalı ekipman gerektirmeden ölçüme imkan veriyor olmasıdır. Görüntü yöntemlerinin esnekliği ve kullanım kolaylığı büyük avantajlar sağlamaktadır. Bu yöntemler geleneksel yöntemlere göre daha hızlı, daha ucuz ve güvenilirdir. Aynı zamanda Bütün test prosedürü izlenip kayıt altına alınabilir. Böylelikle kayıtlar üzerinde geri dönüp tekrar inceleme yapma imkânı doğar (Güler vd., 2007).

Şekil 24’de Dijital görüntü korelasyon yapılandırılması şematik olarak gösterilmiştir. Kamera optik eksenini benekli yüzeye dik olarak ayarlanmıştır. Sistemde dijital kameradaki

sensor görüntüyü yakalar ve farklı yoğunlukta matrilere çeviri daha sonra ileri analizler için bilgisayara dijital veri olarak aktarılır.



Şekil 24: Dijital görüntü korelasyon yapılandırılması (Tiwari, 2008).

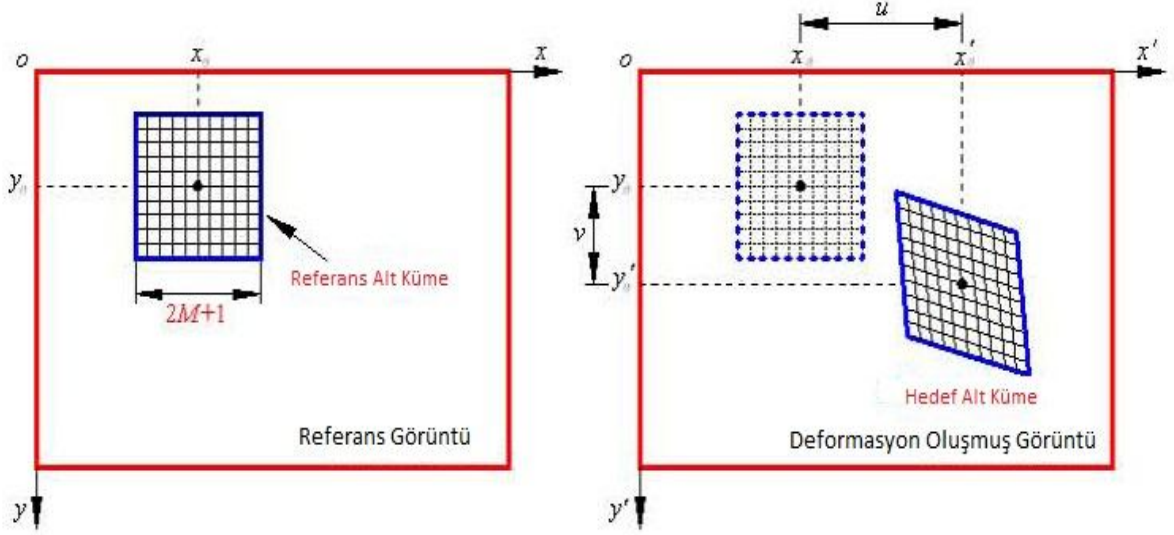
Benekli yüzey beyaz taban üzerine siyah renk püskürterek oluşturulabilir. Şekil 25’de deformasyon analizi için kullanılabilecek benekli yüzey gösterilmiştir.



Şekil 25: Benekli yüzey gösterilmiştir (Sztefek vd., 2010).

Dijital görüntü korelasyon yöntemleri ile deformasyon ölçmenin altında yatan fikir deformasyondan önce ve sonra iki görüntü arasındaki piksellerin takip edilmesidir.

Referans görüntü küçük alt kümeler bölünür ve konumları belirlenir. Yük altında deformasyon sonrası alt kümeler en son geçerli konum ile eşleştirilir (Pereira vd., 2012). Bu sayede deformasyon ve gerinim bilgileri elde edilmiş olur. Şekil 26’da dijital görüntü korelasyon sistemleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 26: Dijital görüntü korelasyon yöntemlerinin şematik gösterimi (Pan vd., 2008).

1.1.7 Literatür Araştırması

1.1.7.1 Tutkallar ve Birleştirmeler ile ilgili Çalışmalar

Masif kontrol ile değişik tutkal türleri kullanılarak üretilen lamine malzemelerin su buharı etkisi sonucunda ağırlık, kalınlık ve genişlik bakımından meydana gelen değişiklik incelenmiş, sonuçta su buharlı ortamda kullanılacak lamine malzemeler üretiminde yoğunluğu az olan ağaç türü ve tutkal olarak PVAc tutkalı kullanımı önerilmiştir (Uysal vd., 2005).

Gönye-burun çerçeve köşe birleştirmelerde uygulanan birleştirme elemanının ve kullanılan yapıştırıcı türünün birleştirmenin çekme ve basınç direnci etkisi araştırılmıştır. Bu amaç için çerçeve malzemesi olarak 15 mm. kontrplak, birleştirme türü olarak gönye burun, birleştirme elemanı olarak kavela ve PVC plastikten kırlangıç kuyruğu, ve yapıştırıcı olarak PVAc ve Poliüretan kullanılmıştır. Sonuç olarak; basınç direnci açısından PVC plastikten kavela birleştirme elemanı ve Poliüretan tutkalı birleştirmelerin, çekme

dayanımı açısından da kavela birleştirme elemanlı ve PVAc tutkallı birleştirmelerin daha iyi olduğu tespit edilmiştir (Burdurlu vd., 2005).

Yapılan bir çalışmada nominal olarak aynı şartlarda ve farklı biçimlerde yuvarlatılmış lamba-zıvana, dikdörtgen lamba-zıvana, dikdörtgen zıvanalı/yuvarlatılmış lambalı birleştirmelerin direnç değerleri araştırılmış, her üç biçim farklı kayıt genişliklerinde ve iki zıvana genişliğinde karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, dikdörtgen zıvanalı birleştirmelerin hem yuvarlatılmış zıvanalı hem de dikdörtgen zıvanalı/yuvarlatılmış lambalı birleştirmelerden yaklaşık %15 daha dirençli olduğunu göstermiştir. Ayrıca birleştirme geometrisi, birleştirmelerin direnci üzerinde 34 önemli derecede etkili çıkmıştır. Zıvana genişliği ve uzunluğu arttıkça birleştirmelerin direnci iyileşmiştir (Tankut ve Tankut, 2005).

Tablalı mobilya üretiminde, çeşitli teknikler ile elde edilen köşe birleştirme işlemlerinin, çekme ve basma direncine etkileri araştırılmıştır. Bu maksatla; tablalı mobilya üretiminde yaygın kullanılan 18 mm kalınlığındaki melamin reçineli kağıt kaplı yonga levhadan, birleşme yerlerine ayrı ayrı tek komponentli poliüretan tutkalı ve BECK-çift komponentli poliüretan tutkalları sürmek suretiyle, plastik kavela, plastik kavela+vida, ahşap kavela, ahşap kavela+vida ve vidalı olmak üzere hazırlanan örneklerle çekme ve basma deneyleri uygulanmıştır. Sonuç olarak; çekme ve basınç direnci değeri, en yüksek tek komponentli poliüretan tutkalı+vidalı köşe birleştirmede elde edilmiştir (Altınok, 2006).

Tutkal hattı kalınlığı, yapıştırma tipi ve rutubet oranının, lamba-zıvana birleştirmenin direnç üzerine etkisi araştırılmıştır. PVAc, PÜ ve hayvansal tutkal kullanılmış ve bunlar 3 farklı tutkal hattı kalınlığında kombine edilmiştir. Sonuçlar, lamba-zıvana birleştirme arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermiştir (Tankut, 2007).

Fenol formaldehit ve melamin formaldehit yapıştırıcılarla yapıştırılmış Lamine ağaç malzeme (LVL) ek yerlerindeki birleştirmelerin mekanik performansı üzerindeki geometrinin rolü araştırılmıştır. Sonuç olarak ek yerindeki birleştirme açısı küçüldükçe LVL'nin eğilme direnci ve elastikiyet modülünün arttığı görülmüştür (Özçifçi, 2007).

Polivinil Asetat Tutkalı, Poliüretan tutkalı ve D2 bazlı beyaz tutkalı ile 3 katmanlı lamine edilmiş sarıçam (*Pinus Sylvestris*) ve kayın (*Fagus Silvatica*) odunlarının bazı mekaniksel

özellikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak; laminasyonda farklı tutkalların kullanımı, ahşap malzemenin bazı mekaniksel özellikleri üzerine etkisi açıkça görülmüştür (Perçin, 2009).

Kutu tipi mobilya üretiminde en fazla kullanılan 2 malzeme çeşidi (yonga levha, orta yoğunlukda lif levhadan) ve bu malzemelerde birleştirme elemanı olarak kullanılan Doğu kayını kavela ile bunlara alternatif olabileceği düşünülen plastik kavelaların kesme kuvveti kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda kutu tipi mobilyalarda yaygın olarak kullanılan kavelalı birleştirme tekniğinde Doğu kayını kavelaya alternatif olarak düşünülen plastik kavelanın farklı mekanik davranış özellikleri gösterdiği gözlenmiştir (Kasal vd., 2012).

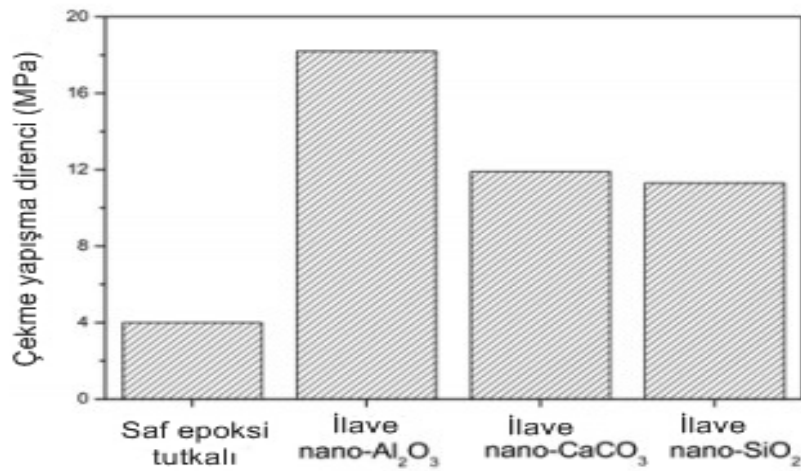
Yapılan bir çalışmada ısıtma işlem ve basıncın kurşun kalem ardıcının (*Juniperus virginiana*) bazı mekanik özellikleri (yapışma direncinin, sertlik ve yüzey kalitesi) üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Örneklerde PVAc tutkalı kullanılmış ve 3 farklı sıcaklıkta (120 °C, 160 °C ve 190 °C) 6 saat süre ile ısıtma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra 5 dakika süre ile 2.5 megapascal (MPa) basınç altında örnekler sıkıştırılmıştır. Sonuç olarak yapışma direncinde ve sertlikte en düşük ortalama azalma 120 °C sıcaklıkta tespit edilmiştir. Ayrıca ısıtma işleminin genel olarak yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu bir etkisi olduğu bulunmuştur (Dilik ve Hiziroğlu, 2012).

Farklı tropik ağaç malzemelerden hazırlanan numuneler çeşitli tutkallarla yapıştırılarak gösterdikleri yapışma dirençleri incelenmiştir. Sonuçlara göre ağaç türü ve tutkal çeşidinin önemli ölçüde etkili olduğu tespit edilmiştir (Kesik vd., 2014).

Tutkal miktarının (180, 200, 220 g/m²) ahşap elemanlarda eğilme direnci üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaç için ladin, göknar ağaç malzeme ve poliüretan tutkalı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda aşırı tutkal miktarının yapışma direncini düşürdüğü bulunmuştur (Obucina vd., 2014).

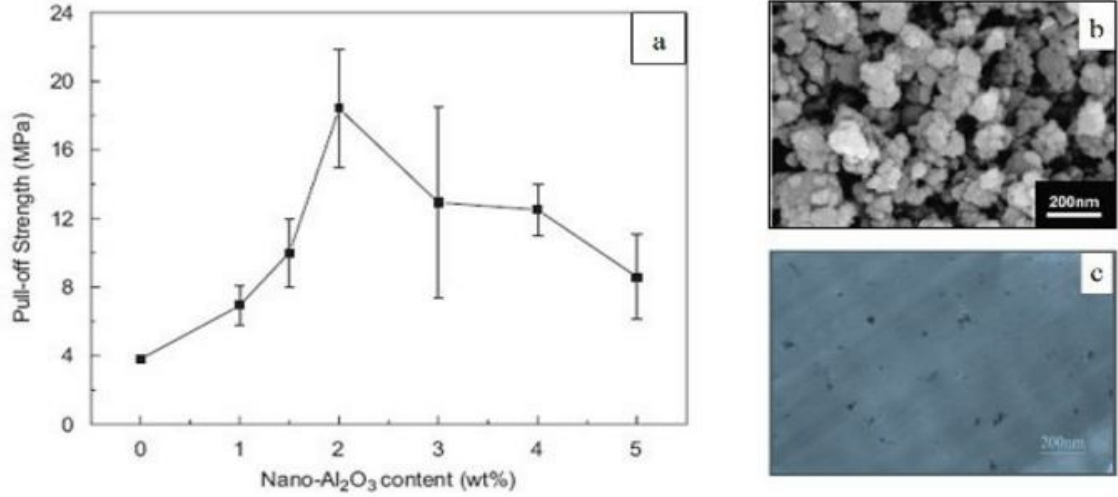
1.1.7.2 Nanopartikül Tavkiyeli Tutkallar ile İlgili Çalışmalar

Farklı nanopartiküllerin (nano- Al_2O_3 , nano- CaCO_3 ve nano- SiO_2) epoxy tutkalının yapışma direnci üzerine etkisinin araştırıldığı karşılaştırmalı bir çalışmada ağırlıkça %2 nanopartikül ilavesi ile yapışma direncinde önemli bir artışın olduğu saptanmıştır (Zhai vd., 2006). Nanopartiküllerin tutkalın fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirilmesi bu artışın sebebi olarak gösterilmektedir (Silvia vd., 2010). Şekil 27’de farklı nanopartiküllerin epoksi tutkalının çekme yapışma gücü üzerine etkisi gösterilmiştir.



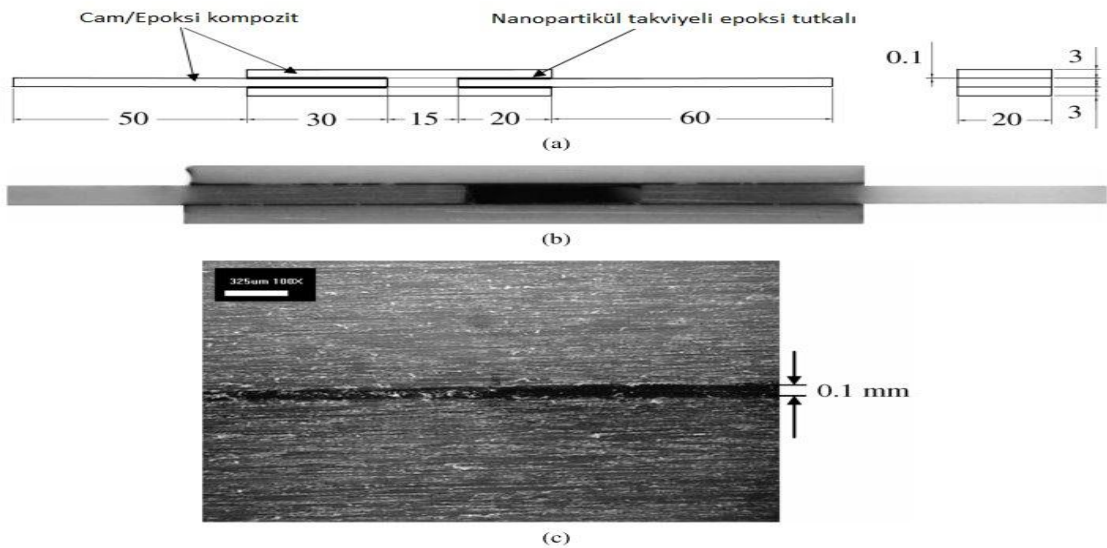
Şekil 27: Farklı nanopartikül takviyeli epoksi tutkallarının çekme yapışma gücü (Zhai vd., 2006).

Lanlan Zhai ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada epoksi yapıştırıcılara nano- Al_2O_3 ilave edilmiş ve etkisi incelenmiştir. Bu amaç için çelik yüzeylere nanopartikül takviyeli epoksi tutkalı sürülmüş ve çekme dirençleri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak yapışma direncinde ciddi bir artış görülmüş ve en yüksek değerler %2 oranında görülmüştür. Şekil 28’de a) nano- Al_2O_3 yapışma performansı üzerine etkileri, b) nano - Al_2O_3 SEM görüntüleri ve c) nano- Al_2O_3 takviyeli epoksinin TEM görüntüleri gösterilmiştir.



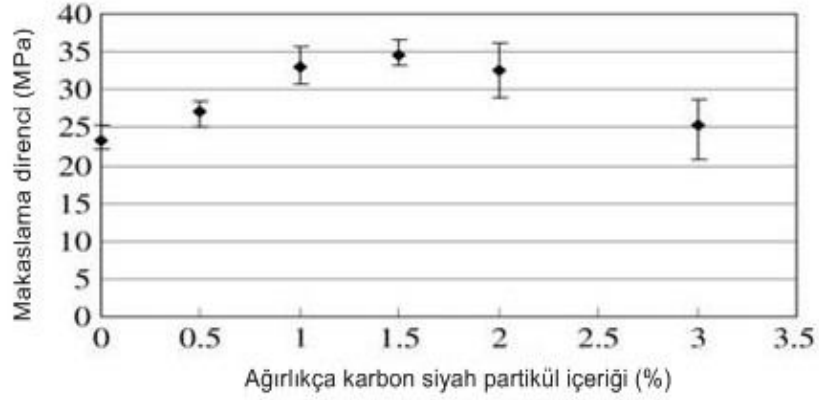
Şekil 28: a) nano- Al₂O₃ yapışma performansı üzerine etkileri, b) nano - Al₂O₃ SEM görüntüleri ve c) nano- Al₂O₃ takviyeli epoksinin TEM görüntüleri (Zhai vd., 2008).

Nano partiküllerle takviye edilmiş epoxy yapıştırıcılar kullanılarak oluşturulmuş lambalı birleştirmelerde nanopartiküllerin makaslama direnci üzerine etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada ağırlıkça % 1,5 karbon siyah nanopartikül içeren lambalı birleştirmelerin makaslama direnci nanopartikülsüz birleştirmelerden % 48 daha yüksek olduğu saptanmıştır. Şekil 29'da Cam kompozit ile oluşturulmuş çift lambalı birleştirme gösterilmiştir.



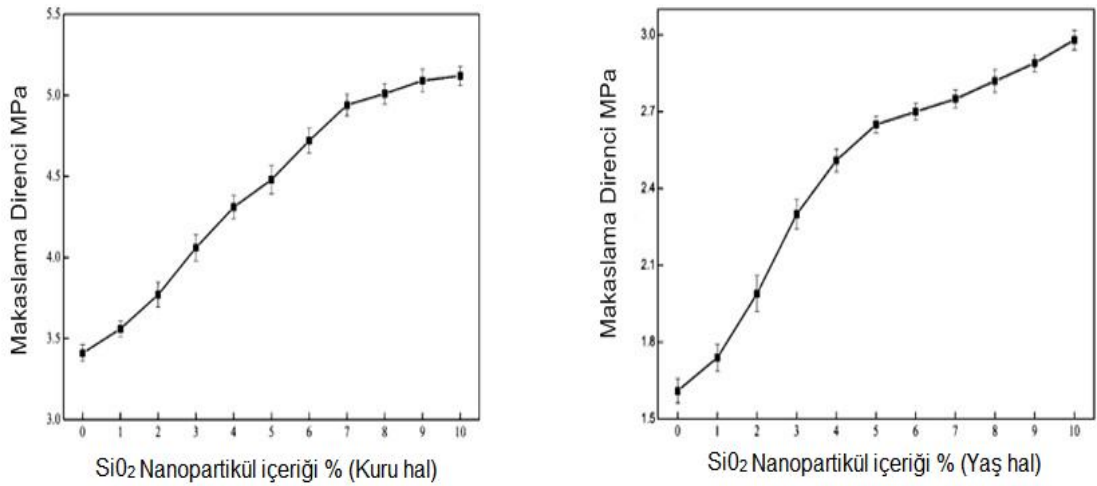
Şekil 29: Cam kompozit ile oluşturulmuş çift lambalı birleştirme: a) çift lambalı birleştirme boyutları b) çift lambalı birleştirme fotoğrafı c) 0.1 mm kalınlıkta yapışma kalınlığı fotoğrafı (Lee vd., 2009).

Şekil 30'da Çift lambalı makaslama direncinin karbon siyah partikül oranına bağlı değişimi gösterilmiştir.



Şekil 30: Çift lambalı makaslama direncinin karbon siyah partikül oranına bağlı değişimi (Lee vd., 2009).

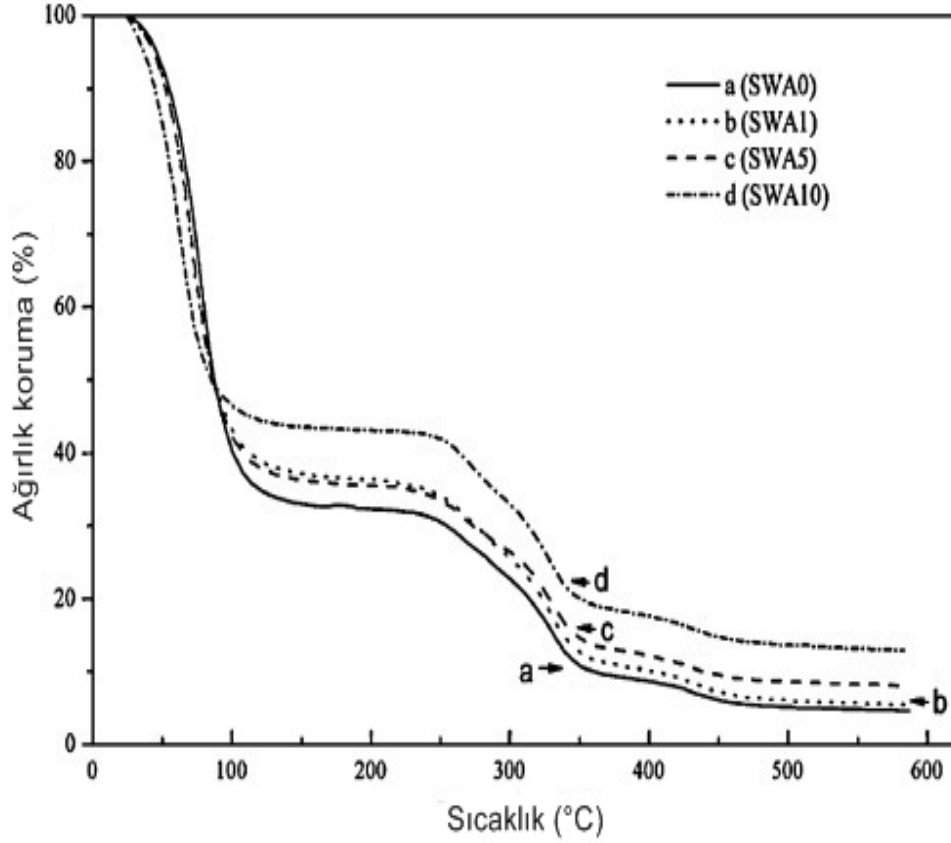
Silisyum Dioksit (SiO_2) nanopartiküllerin nişasta bazlı ahşap tutkalı üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada: SiO_2 nanopartikülleri içermeyen kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, % 10 nanopartikül içeren tutkalların kuru halde % 50,1 ve yaş halde % 84,0 makaslama direncinin arttığı saptanmıştır. Ayrıca su dayanımı da %20 artışı ortaya konmuştur (Wang vd., 2011). Şekil 31'de SiO_2 nanopartikül içeriği ile çekme dayanımı arasındaki ilişki durumu gösterilmiştir.



Şekil 31: Silis nanopartikül içeriği ile çekme dayanımı arasındaki ilişki kuru durumu (Wang vd., 2011).

Yine aynı çalışmada SiO_2 nanopartiküllerin ilavesi ile nişasta bazlı ahşap tutkalının termal kararlılığında anlamlı bir artış olduğu gösterilmektedir. Termal kararlılıktaki artış daha

geniş sıcaklık aralıklarında tutkalın kullanımına olanak sağlamaktadır. Şekil 32’de SiO₂ nanopartikül takviyeli nişasta bazlı ahşap tutkalının Termogravimetrik Analiz (TGA) verileri gösterilmiştir.

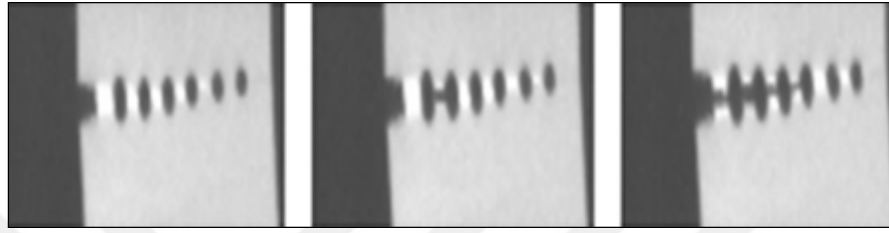


Şekil 32: Nişasta bazlı ahşap tutkallarının termogravimetrik eğrileri 0% (SWA0), 1% (SWA1), 5% (SWA5) ve 10% (SWA10) SiO₂ ile (Wang vd., 2011).

Yapılan bir çalışmada SiO₂ Nanopartiküllerin yönlendirilmiş yonga levhanın (OSB) bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaç için üre formaldehit tutkalına SiO₂ nanopartikülleri ilave edilmiştir. Sonuç olarak OSB’nın mekanik (elastisite modülü, vida ve çivi çekme dayanımları) ve fiziksel (kalınlık şişme ve su emme) özellikleri artmıştır (Salari vd., 2013).

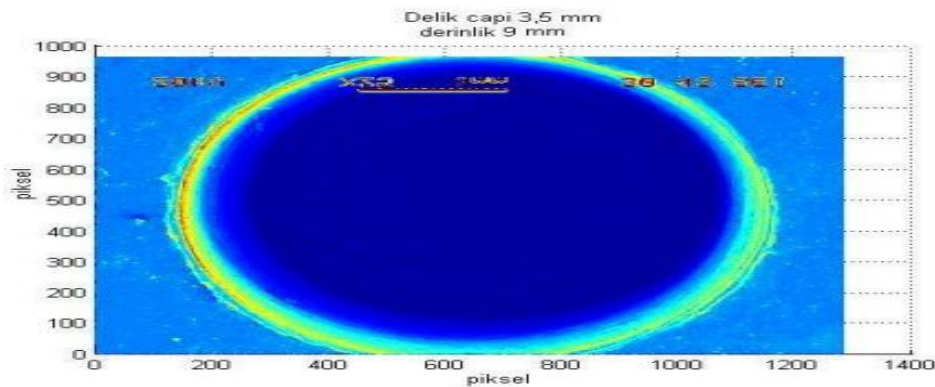
1.1.7.3 Görüntü Analizi ile Deformasyon Analizi ile ilgili Çalışmalar

Yapılan bir çalışmada polipropilen malzemede çekme testi esnasında çatlak ilerlemesi görüntü işleme teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Diğer yollarla ölçülemeyen çekme deneyine ait delik alanları, delik alanlarının büyüme hızları ve uzamanın zamana bağlı değişimi gibi önemli bilgiler görüntü işleme yoluyla elde edilerek test malzemesi hakkında önemli bilgilere ulaşılmıştır. Şekil 33’de malzemenin kopması gösterilmektedir.



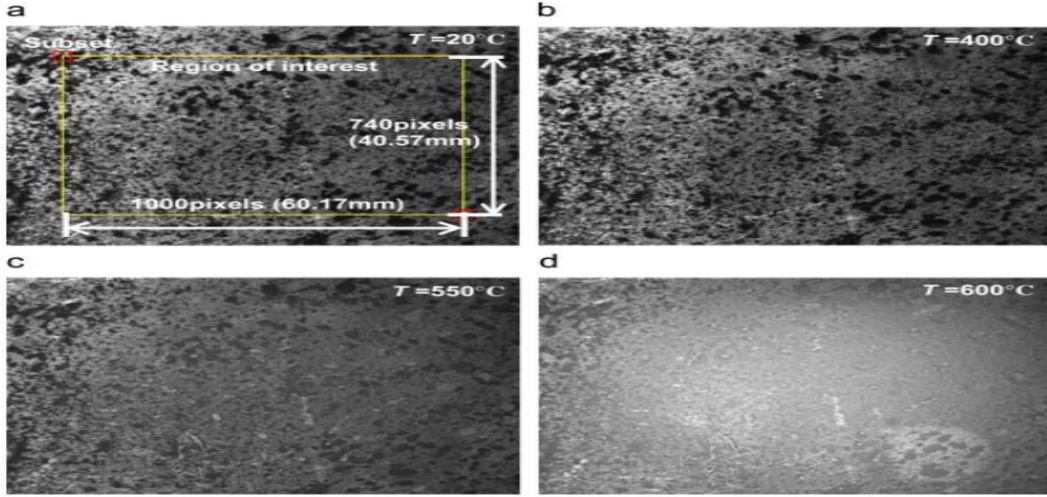
Şekil 33: Malzemenin kopması (Coşar vd., 2005).

Çelik numune üzerinde farklı çap ve derinlikte oluşturulmuş deliklerin taramalı elektron mikroskop ile fotoğrafları elde edilmiş, daha sonra matlab programı yardımı ile piksel cinsinden derinlikler bulunmuş ve bunlar üzerinde inceleme yapılmıştır. Sonuç olarak gerçek oyuk derinlik değeri ile görüntü işleme yöntemi kullanılarak belirlenen derinlik değerleri karşılaştırılmış ve maksimum % 6,5 bağıl hata ile gerçek oyuk derinliklerinin belirlendiği sonucuna varılmıştır. Şekil 34’de delik çapı 3,5 mm ve derinliği 9 mm olan deliğin Matlab programına aktarılmış görüntüsü gösterilmiştir.



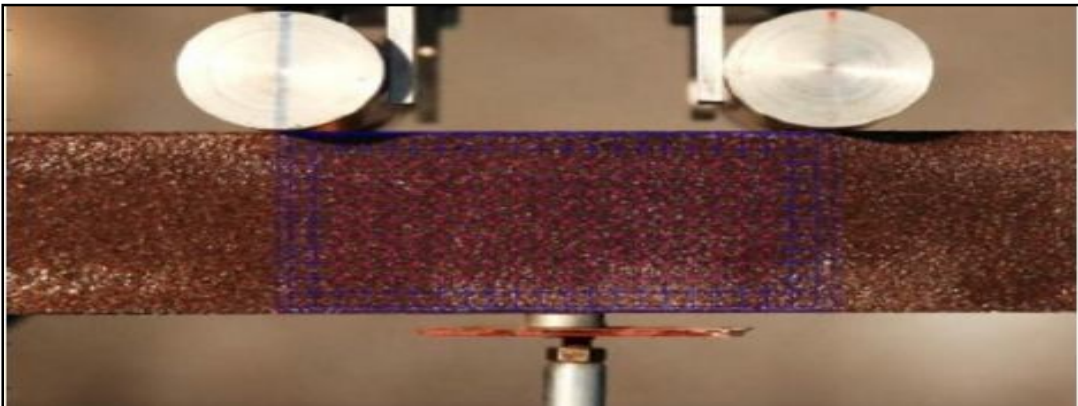
Şekil 34: Delik çapı 3,5 mm ve derinliği 9 mm olan deliğin Matlab programına aktarılmış görüntüsü (Kılınç, 2009).

Yüksek hızlı hava araçlarında kullanılan malzemelerin termal deformasyonunu belirlemek için görüntü analiz yönteminden faydalanılmıştır. Çalışma sonucunda 600° C aşan sıcaklıklarda malzemelerin termal deformasyonun görüntü analizi ile ölçülmesinin mümkün olduğu belirlenmiştir. Şekil 35’de optik görüntüleme sistemi kullanılarak paslanmaz çelik numunelerde (a) 20 °C, (b) 400 °C, (c) 550 °C ve (d) 600 °C. yakalanan görüntüler gösterilmiştir.



Şekil 35: Paslanmaz çelik numunelerde (a) 20 °C, (b) 400 °C, (c) 550 °C ve (d) 600 °C. yakalanan görüntüler (Pan vd., 2010).

I çelik Profil dört noktalı eğilme yüklemesine tabi tutulmuş ve deformasyon bilgisi hem görüntü yöntemleri ile hemde klasik yöntemler ile elde edilmiştir. Görüntü yöntemleri ile elde edilen sonuçlar geleneksel yöntemleri ile mükemmel bir uyum göstermiştir. Şekil 36’da Çelik I-profil numune ve yükleme düzenlemesi gösterilmiştir.



Şekil 36: Çelik I-profil numune ve yükleme düzenlemesi (Hosseini vd., 2012).

Yapılan bir çalışmada görüntü işleme yöntemleri kullanılarak ahşap çatıların deformasyonu izlenmek için bir sistem geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda geliştirilen sistem yüksek doğruluk oranı ile deformasyon ölçümü için uygun bulunmuştur. Aynı zamanda sistemin basit, sağlam ve uygun fiyatlı olduğu bildirilmiştir. Şekil 37’de deformasyon ölçümü için seçilen pilot okul gösterilmiştir.



Şekil 37: Deformasyon ölçümü için seçilen pilot okul (Henke vd., 2012).

Yapılan başka bir çalışmada polipropilen numunelere çekme testi uygulanmış ve görüntü yöntemleri ve geleneksel yöntemler ile deformasyon ölçülmüştür. yapılan test sonucu görüntü yöntemleri ile yapılan ölçümler başarılı bulunmuştur (Wei vd., 2013).

Büyük betonarme duvarlar panellerin deprem anında davranışlarını incelemek ve bu sayede insan yaşamını korumak için yapılan bir çalışmada görüntü yöntemlerinden faydalanılarak duvar panellerde yer değiştirmeler ve gerinim alanları belirlenmiştir (Ramosa, 2015). Şekil 38’de deney için kullanılan örme duvar gösterilmiştir.



Şekil 38: Deney için kullanılan örme duvar (Ramosa, 2015).

BÖLÜM 2

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

2.1.1 Ağaç Malzeme

Denemelerde, ağaç malzeme olarak, nanopartiküllerin PVAc tutkalının yapışma performansı ,su dayanımı ve sıcaklık dayanımını incelemek için Akçaağaç (*Acer campestre*) ve Ladin (*Picea orientalis*) ağaç malzeme kullanılmıştır. T birleştirmelerin eğilme direnci, çekme direnci ve yorulma dayanımı üzerine nanopartiküllerin etkisinin araştırmak için, Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.), Saplı Meşe (*Quercus robur*) ve kayın odunundan üretilen lamine ağaç malzeme kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kereste partileri ve Lamine Ağaç Malzemeler firmalardan satın alınarak temin edilmiştir. Keresteler, Bartın Üniversitesi, Bartın Orman Fakültesi, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Laboratuvarına getirilerek burada uygun şartlar altında klimatize edilmiştir.

2.1.1.1 Akçaağaç (*Acer campestre*)

Yaşlı gövdenin düzensiz çatlaklı, koyu renkli kalın bir kabuğu vardır. Genç sürgünler önceleri tüylü, sonra çıplaktır. Tomurcuklar yeşilimsi esmer renkli pullarla örtülü olup üzeri tüylüdür. Yapraklar 5-10 cm büyüklüğünde, çoğunlukla 3-5 lopludur. Lopların uçları küttür. Dip tarafı yürek gibidir. Her iki yüzü gençken yumuşak tüylü, sonra tüylüdür. Koparıldığında süt çıkan uzun bir sapı vardır. Yapraklar sonbaharda dökülmeden önce sarı ya da kırmızı renkler alır. Yapraklanmayı izleyen sarı-yeşil çiçekler, dik duran şemsiyemsi kurullar halindedir. Meyvenin kanatları arasında 180 derecelik açı bulunmaktadır.

2.1.1.2 Doğu Ladini (*Picea orientalis*)

Kabuk genç gövdelerde genelde açık renkli ve düzgün, yaşlı gövdelerde koyu renkli ve çatlaklıdır. Dallar çevrel olarak sık bir halde tüm gövdeye yerleşmiştir. Genç sürgünler ince, açık renkli ve tüylüdür. Tomurcuk kahverengi, sivri ve reçinesizdir.

2.1.1.3 Doğu Kayını (*Fagus orientalis* L.)

Kışın yaprağını döken orman ağaçlarıdır. Sürgünler pseudoterminal tomurcukludur ve yan tomurcuklar iki sıralı sarmal dizilirler. Çok sayıda pullarla örtülmüş bulunan iğ biçimindeki sivri uçlu ve büyük tomurcuklarsürgünlere yatık değil, onlarla açı yapacak şekilde dizilmiştir. Yaprak ayası dişli veya düzdür; nispeten kısa bir sapı, zamanla dökülen şerit halinde kulakçıkları vardır. Açık gri veya koyu gri renkli kabukları ağaçların hayatı boyunca çatlamadan düz ve pürüzsüz kalır.

2.1.1.4 Saplı Meşe (*Quercus robur*)

25 m. boya ve 2 m. gövde çapına erişebilen geniş tepeli ağaçlardan, 3–5 m. boya sahip çalılara kadar değişen türleri vardır. Bu bitkilerin gövdeleri düzgün, kabuk önceleri düzgün, sonraları kalın ve yırtılmış durumda olup, esmer renktedir. Kökleri yanlara ve derinlere çok gider. Yaprakları da formları gibi değişkenlik gösterebilir, loplu, dişli ya da düz kenarlıdır. "Palamut" adı verilen silindirik meyveleri bir kadeh içinde yer alır. Bazı türlerinin palamudu büyük ve tırnaklı olur.

2.1.1.5 Lamine Ağaç Malzeme

Lamine ağaç malzemeler EN 14374 standardına göre üretilmiş 1,5 mm kalınlıkta 17 kat kayın kaplamalarından oluşan fenol formaldehit tutkalı ile hazırlanmıştır.

2.1.2 Polivinil Asetat Tutkalı

Teknik veriler:

- *Temel madde:* PVAc
- *Renk:* Beyaz ,kuruduktan sonra şeffaf
- *Katı madde oranı:* %50
- *Özgöl ağırlık:* 1090 kg/m³
- *Viskozite:* +20 C⁰ ‘de 9.21 Ps.s.

2.1.3 Nanopartiküller

2.1.3.1 Silisyum Dioksit (SiO₂)

Teknik veriler:

- *Ortalama nanopartikül boyutu:* 15 nm,
- *Spesifik yüzey alanı :* 650 m²/g,
- *Saflık oranı:* % 99.9 ,
- *Çözünme:* Hidrofilik

2.1.3.2 Titanyum dioksit (TiO₂)

Teknik veriler:

- *Ortalama nanopartikül boyutu:* 50 nm
- *Spesifik yüzey alanı* 150 m²/g
- *Saflık oranı:* % 99
- *Çözünme:* Hidrofilik (SiO₂ ile kaplı)

2.2 Deney Materyallerin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

2.2.1 Yoğunluk ve Rutubet Miktarları

Yoğunluk ve rutubet miktarlarının belirlenmesi ve TS 2470, TS 2472 esaslarına uygun olarak yürütülmüştür. Bu amaçla Akçaağaç (*Acer campestre*), Ladin (*Picea orientalis*) Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.), Saplı Meşe (*Quercus robur*) ve Lamine Ağaç Malzeme çeşidinden hazırlanan 50x50 mm boyutlarında 20'şer adet örnekten yararlanılmıştır. Örneklerin ağırlıkları $\pm 0,001$ gr, boyutları $\pm 0,01$ mm duyarlılıkta ölçülerek yoğunluk değerleri aşağıdaki Eşitlik 1 ile hesaplanmıştır.

$$r = M / V \text{ (gr/cm}^3 \text{)} \quad (1)$$

Burada; r = Tam kuru yoğunluk (gr/cm³).

M = Tam kuru ağırlık (gr).

V = Tam kuru hacim (cm³).

Rutubet miktarının belirlenmesi için yoğunluk örnekleri kurutma dolabında 103±2 °C sıcaklıkta değişmez ağırlığa kadar bekletilmiştir. Değişmez ağırlığa ulaşan örnekler desikatörlerde soğutulmuş, ağırlıkları belirlenerek rutubet miktarları aşağıdaki Eşitlik 2 ile hesaplanmıştır.

$$H = (m_H - m_o) * 100 / m_o \text{ Burada;} \quad (2)$$

H = örneğin rutubeti (%).

m_H = örneğin rutubetli haldeki ağırlığı (gr).

m_o = örneğin tam kuru haldeki ağırlığı (gr).

Tablo 4’de kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 4: Kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri.

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm ³)	Rutubet (%)
Akçaağaç (<i>Acer campestre</i>)	0,70	11,52
Doğu ladin (<i>Picea orientalis</i>)	0,41	11,61
Doğu kayını (<i>Fagus orientalis</i> L.)	0,72	10,23
Saplı Meşe (<i>Quercus robur</i>)	0,73	11,50
Lamine Ağaç Malzeme	0,69	9,48

2.3 Yöntem

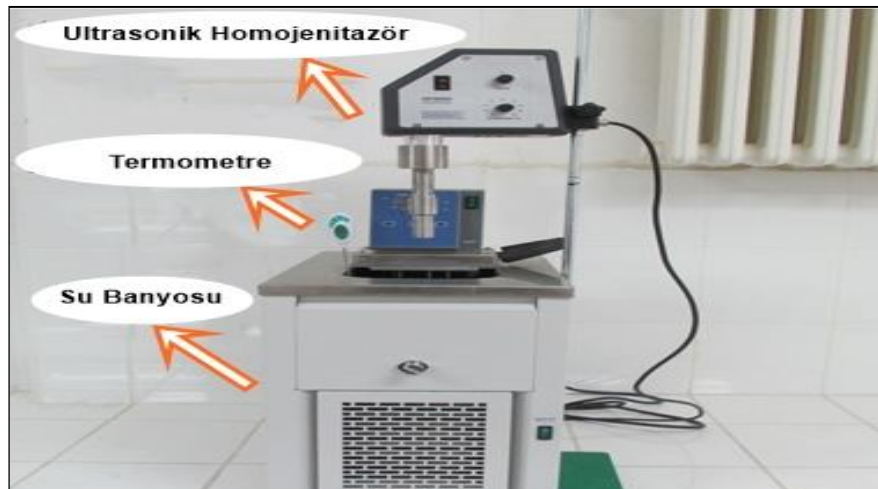
2.3.1 Nanopartikül Takviyeli PVAc Tutkalının Üretimi

Nanopartikülleri PVAc tutkalı ile karıştırmak için ilk olarak 1 gram nanopartikül 10 gram suda eritilmiş ve yüksek hızlı ultrasonikasyon cihazı ile karıştırılmıştır. Ultrasonikasyon işleminde sıcaklık yüksek bir hızla artmaktadır. Bu nedenle hazırlanan çözelti etilen glikol banyosunda soğutulurak sıcaklığı kontrol altında tutulmuştur. Sıvı formda PVAc tutkalına hazırlanan nanopartikül su çözeltisi ilave edilmiştir. Tablo 5’de çalışmada kullanılan ultrasonik karıştırıcıya ait özellikler gösterilmiştir.

Tablo 5: Çalışmada kullanılan ultrasonik karıştırıcıya ait özellikler.

Model:	UP400S Ultrasonic Homogenizer
Güç: (W)	400
Güç Kontrol: (%)	20 - 100
Darbe Aralığı: (%)	0 -100
Çalışma frekansı: (kHz)	24
Güç kaynağı: (V/Hz, A)	110-120/50-60, 6,3

Şekil 39’da Ultrasonikasyon işlemi için kurulan deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 39: Ultrasonikasyon işlemi için kurulan deney düzeneği.

Karıştırma işlemine başlamadan önce optimumun işlem parametreleri belirlenmiştir. Bunlar; ultrasonikasyon işleminde kullanılacak frekans sıklığı ve güçtür. Ultrasonikasyon süreleri literatür baz alınarak belirlenmiştir. Optimizasyonun amacı en iyi şekilde nanopartiküllerin PVAc tutkalı içerisinde dağılımını sağlamak ve yan etkileri en alt düzeye indirmektir (Taurozzi vd., 2012).

Ultrasonikasyon sonucu oluşabilecek yan etkiler aşırı ısınma, kabarcık oluşumu ve köpürme olarak sıralandırılabilir. Nanopartikül su karışımında suyun viskozitesinin düşük olması nedeni ile kabarcık oluşumu ve köpürme problemi görülmemektedir bu nedenle sadece sıcaklık kontrolü yapılmıştır. Sıcaklığın suyun buharlaşma sıcaklığından düşük olmasına dikkat edilmiş ve farklı güç ve frekans değerlerinde sıcaklık kontrolü gerçekleştirilmiştir. Tablo 6’da nanopartikül su karışımının optimizasyonu için seçilen güç – frekans sıklığı değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6: Nanopartikül su karışımının optimizasyonu için seçilen güç – frekans sıklığı değerleri.

Güç (w)	Frekans sıklığı (%)	Örnek Hacmi (mL)	Zaman (Dk)	Sıcaklık (C ⁰)
50	50	100	10	+5
70	70	100	10	+7
100	100	100	10	+20

Kontroller sonucu nanopartikül su karışımı için en uygun ultrasonikasyon gücü 90 W ve frekans sıklığı % 90 olarak belirlenmiştir. Güç ve frekans sıklığının 100 w ve %100 olması durumunda çözeltinin beherde kontrolünün zorlaşması nedeni ile tercih edilmemiştir.

PVAc Tutkalı ile nanopartikül su çözeltisini karıştırılması sırasında viskozitenin yüksek olması nedeni ile aşırı ısınma, kabarcık oluşumu ve köpürme kusurları oluşmaktadır. Literatürde dağıtıcı araçların daha derine batırılmasının ve frekans sıklığının düşürülmesinin köpürmenin azalmasında yardımcı olacağı belirtilmiştir (Taurozzi vd., 2012). Bu nedenle ultrasonikasyon işlemi sırasında dağıtıcı araçlar derine batırılmıştır. Bununla birlikte baloncuk oluşumu önlemek için ultrasonikasyon işlemi sonrası mekanik karıştırma gerçekleştirilmiştir.

Literatürde ultrasonikasyon işlemi sırasında oluşan ısının polimer zincirlerini olumsuz etkilediğini ve bu durumun polimerin mekanik özelliklerini düşürdüğü vurgulanmaktadır (Victor vd., 2013). Bu nedenle farklı güç ve frekans değerlerinde sıcaklık kontrolü gerçekleştirilmiştir. Tablo 7’de Sıvı formda PVAc tutkalı ile nanopartikül su çözeltisi karışımının optimizasyonu için seçilen güç – frekans sıklığı değerleri gösterilmiştir.

Tablo 7: Sıvı formda PVAc tutkalı ile nanopartikül su çözeltisi karışımının optimizasyonu için seçilen güç – frekans sıklığı değerleri.

Güç (w)	Frekans sıklığı (%)	Örnek Hacmi (mL)	Zaman (Dk)	Sıcaklık (C ⁰)
50	50	100	30	+34
70	70	100	30	+50
90	90	100	30	Yandı

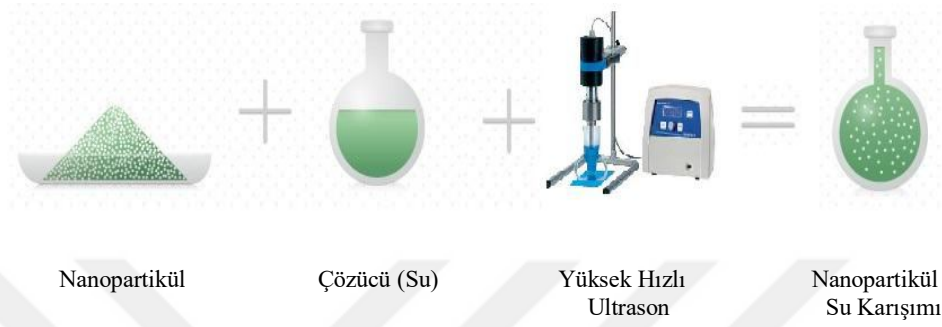
Kontroller sonucu nanopartikül su karışımı için en uygun ultrasonikasyon gücü 50 W ve frekans sıklığı % 50 olarak belirlenmiştir. Literatür araştırması ve optimizasyon işlemi sonucu 2 adımda nanopartikül takviyeli PVAc tutkalları hazırlanmıştır. Tablo 8’de nanopartikül takviyeli PVAc tutkalların hazırlanma yöntemi gösterilmiştir.

Tablo 8: Nanopartikül takviyeli PVAc tutkalların hazırlanma yöntemi.

1.ADIM	Ultrasonikasyon İşlemi		
Nanopartikül su karışımının hazırlanması	20 Dk		
	90 Güç (w), 90 Frekans Sıklığı (%)		
2.ADIM	1.Aşama	2.Aşama	3.Aşama
	Mekanik Karıştırma	Ultrasonikasyon İşlemi	Mekanik Karıştırma
Sıvı formda PVAc tutkali ile nanopartikül su çözeltisinin hazırlanması	20 Dk	20 Dk	20 Dk
	800 rpm	50 Güç (w), 50 Frekans Sıklığı (%)	800 rpm

Şekil 40'da PVAc tutkalı ile nanopartiküllerin karıştırma işlemi şematik olarak gösterilmiştir.

1. Adım = Yüksek Hızlı Ultrason ile Nanopartikül - Su Çözeltisi Hazırlamak



2. Adım = Yüksek Hızlı Ultrason ve Mekanik Karıştırıcı Kullanarak Sıvı Formda PVAc Tutkalı ile Nanopartikül Su çözeltisini Karıştırmak



Şekil 40: PVAc tutkalı ile nanopartiküllerin karıştırma işlemi.

Tablo 9’da Üretilen nanopartikül takviyeli PVAc tutkalların bileşimleri gösterilmiştir.

Tablo 9: Nanopartikül takviyeli PVAc tutkalların bileşimleri.

Formülasyon	Kodu	Formülasyon Bileşenleri (%)		
		PVAc	SiO ₂	TiO ₂
PVAc	NP	100	0	0
PVAc + SiO ₂	PS-1	99	1	
PVAc + SiO ₂	PS-2	98	2	
PVAc + SiO ₂	PS-4	96	4	
PVAc + TiO ₂	PT-1	99		1
PVAc + TiO ₂	PT-2	98		2
PVAc + TiO ₂	PT-4	96		4

2.4 Deney Metodu

Deneme metodu 2 ana başlık altından oluşmaktadır. Birincisi PVAc tutkalının geliştirilerek karakterizasyonunun (TGA, TEM, XRD analizi) yapılması ve üretilen tutkalların mekanik testlerinin (kuru yapışma, ıslak yapışma, yüksek sıcaklıkta yapışma Performansı) gerçekleştirilmesi, ikincisi ise T birleştirmelerin mekanik performasyonun geliştirilmesidir (eğilme direnci, çekme direnci, deformasyon analizi, yorulma direnci).

2.4.1 Nanopartikül Takviyeli PVAc Tutkalının Karakterizasyonu

2.4.1.1 X-Işını Kırınım Analizi

Nanokompozit örneklerinin yapısal karakterizasyonun belirlenmede, x – Işını kırınım analizi (XRD) etkili bir yoldur (Anuar vd., 2011). XRD analizi nanopartiküllerin tabakalar arası mesafesini ve polimer içerisindeki dağılımını tespit etmek için kullanılmaktadır. XRD çekimleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarında Cu K α (λ : 0.154 nm 40 kV, 30 mA) radsasyonunda oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Analizlerde Rigaku Ultima-IV X-Işını cihazı kullanılmıştır. Cihaz bakır hedefli X-ışını tüpüne ve tüpteki ani sıcaklık değişimlerini kontrol eden su soğutucusuna sahiptir. Cihazda, monokromatize X-ışını elde edilmesini sağlayan, yüksek çözünürlükte Grafit Monokromatör kullanılmaktadır. Kırınım Cihazı Örneklerdeki nanopartikül dağılımları ve nanopartikül tabakaları arası mesafeler Bragg denklemi Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır.

$$(\lambda = 2.d.\sin \theta) \quad (3)$$

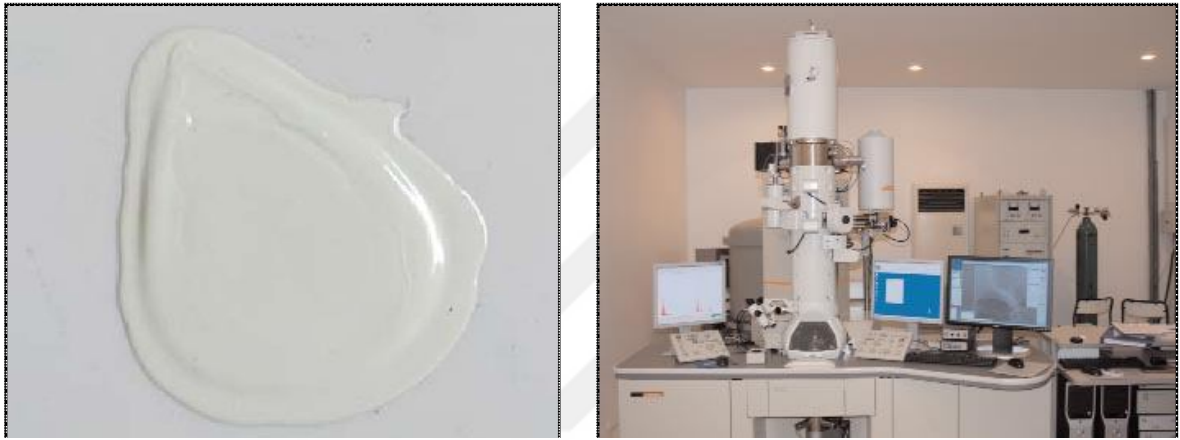
Bragg denkleminde λ , kullanılan x ışınının dalga boyunu (0.154 nm), θ kristal faza ait XRD analizi ile elde edilen pik değerinin (2θ) yarısını göstermektedir. Denklemden nanopartikül tabakaları arasındaki mesafeler (d) nm olarak hesaplanmaktadır. Şekil 41’de XRD analizi için hazırlanan numuneler ve XRD cihazı gösterilmektedir.



Şekil 41: XRD analizi için hazırlanan numuneler ve XRD cihazı.

3.4.1.2 Transmisyon Elektron Mikroskobu Analizi

TEM analizi XRD analizini tamamlayıcı özelliktedir. TEM’ de oluşturulan görüntüler sayesinde nanopartiküllerin polimer içerisindeki dağılımı gözlenmektedir. (Monticelli, 2007; Turhan, 2008). TEM analizleri 80 kV’ de Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Merkez Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Analizlerde JEOL JEM 2100F HRTEM cihazı kullanılmıştır. 50-70 nm kalınlığına sahip olan TEM örnekleri epoksi matriks içerisinde nanokompozit örnekleri mikrotomik yöntemle hazırlanmıştır. Şekil 42’de TEM analizi için hazırlanan numuneler ve TEM cihazı gösterilmektedir.



Şekil 42: TEM analizi için hazırlanan numuneler ve TEM cihazı.

2.4.1.3 Termogravimetrik Analiz

Termogravimetrik Analiz (TGA) ağırlığın yani numunenin kütlesinin, numunenin sıcaklığına ya da zamana göre ölçümüdür. Çalışmada TGA ölçümleri 13-15 mg örnekler ile 25-700 °C sıcaklık aralığında ve 10 °C \dk. Isıtma hızında termogravimetrik analizör kullanılarak yapılmıştır. Analiz sayesinde nanopartiküllerin PVAc tutkalının termal kararlılığı yani, yüksek sıcaklıkta moleküler ayrışma dayanımı belirlenmiştir. Deneyler Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Analizlerde Perkin Elmer Pyris 1 cihazı kullanılmıştır. Şekil 43’de TGA analizi için hazırlanan numuneler ve TGA cihazı gösterilmektedir.

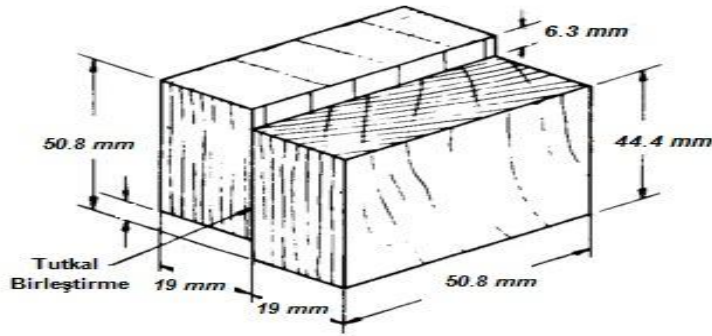


Şekil 43: TGA analizi için hazırlanan numuneler ve TGA cihazı.

2.4.2 Nanopartikül Takviyeli PVAc Tutkalının Performans Testleri

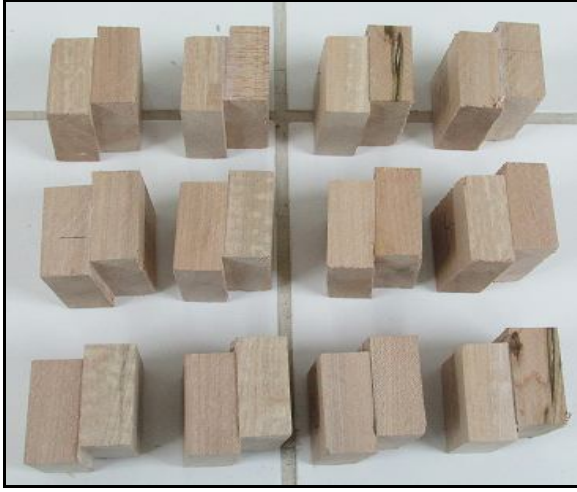
2.4.2.1 Kuru Durumda Yapışma Direnci Testi

Nanopartiküllerin PVAc tutkalının kuru durumda yapışma direnci üzerine etkileri blok kesme testi ile incelenmiştir. Test örnekleri ASTM 905-94 standardına göre akça ağaç kullanılarak hazırlanmıştır. Ahşap blok test örnekleri (ahşap nem içeriği % 12) koşullarda test edilmiştir. Şekil 44’de test örneklerinin boyutları gösterilmiştir.



Şekil 44: Test örneklerinin boyutları.

Başlangıçta deney örnekleri % 65 ± 5 bağıl nem de ve 23 ± 1 °C sıcaklıkta denge rutubetine gelinceye kadar bekletilmiştir. Bütün örnekler Bartın Üniversitesi Odun Mekaniği ve Teknolojisi Laboratuvarında Üniversal test makinesinde maksimum 5 mm/dk hızında test edilmiştir. Rutubet oranları TS2471 standardına göre belirlenmiştir. Şekil 45’de hazırlanan test örnekleri ve test düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 45: Hazırlanan test örnekleri ve test düzeneği.

Tablo 10’da kuru durumda yapışma direnci testi için deney deseni gösterilmiştir.

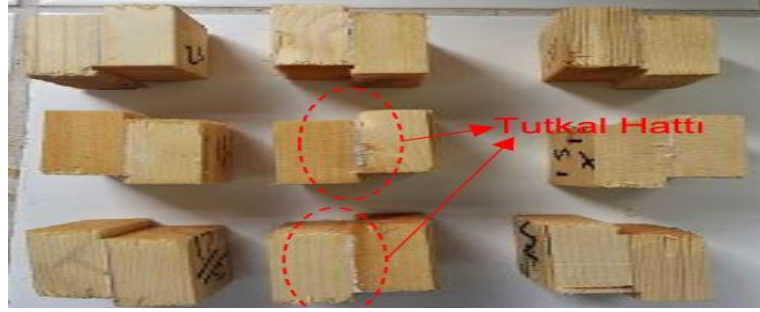
Tablo 10: Kuru durumda yapışma direnci testi için deneme deseni.

Nanopartikül Takviyeli PVAc Bileşimi	Nanopartikül Oranı	Örnek Kodu	Örnek Sayısı
Saf PVAc	0%	NP	20
PVAc + SiO ₂	1%	PS-1	20
PVAc + SiO ₂	2%	PS-2	20
PVAc + SiO ₂	4%	PS-4	20
PVAc + TiO ₂	1%	PT-1	20
PVAc + TiO ₂	2%	PT-2	20
PVAc + TiO ₂	4%	PT-4	20

2.4.2.2 Islak Durumda Yapışma Direnci testi

Nanopartiküllerin PVAc tutkalının ıslak durumda yapışma direnci üzerine etkileri blok kesme testi ile incelenmiştir. Test örnekleri ASTM 905-94 standardına göre ladin kullanılarak hazırlanmıştır. Ahşap blok test örnekleri (ahşap nem içeriği % 100’den fazla) koşullarda test edilmiştir. Islak test koşulları için örnekler 24 saat boyunca suya batırılmış ve bütün örnekler Bartın Üniversitesi Odun Mekaniği ve Teknolojisi Laboratuvarında

Üniversal test makinesinde maksimum 5 mm/dk hızında test edilmiştir. Rutubet oranları TS2471 standardına göre belirlenmiştir. Şekil 46’da ıslak durumda yapışma direnci testi hazırlanan test örnekleri ve tutkal hattı gösterilmiştir.



Şekil 46: Islak durumda yapışma direnci testi hazırlanan test örnekleri ve tutkal hattı.

Tablo 11’de Islak Durumda Yapışma Direnci testi için deney deseni gösterilmiştir.

Tablo 11: Islak durumda yapışma direnci testi için deneme deseni.

Nanopartikül Takviyeli PVAc Bileşimi	Nanopartikül Oranı	Örnek Kodu	Örnek Sayısı
Saf PVAc	0%	NP	20
PVAc + SiO ₂	1%	PS-1	20
PVAc + SiO ₂	2%	PS-2	20
PVAc + SiO ₂	4%	PS-4	20
PVAc + TiO ₂	1%	PT-1	20
PVAc + TiO ₂	2%	PT-2	20
PVAc + TiO ₂	4%	PT-4	20

2.4.2.3 Yüksek Sıcaklıkta Yapışma Direnci Testi

PVAc tutkalının en önemli dezavantajlarından biri yüksek sıcaklıktaki düşük yapışma performansıdır. Birçok kimyasal modifikasyon ile PVAc tutkalının bu dezavantajı iyileştirilmeye çalışılmıştır. Ancak modifikasyonlar bazı özellikleri iyileştirirken bazı diğer özellikleri düşürmektedir. Çalışmada nanopartiküllerle PVAc tutkalının hiçbir özelliğini düşürmeden olumsuz özelliklerini iyileştirmek hedeflenmiştir.

Nanopartiküllerin PVAc tutkalının yüksek sıcaklıkta yapışma direnci üzerine etkileri blok kesme testi ile incelenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda blok kesme testleri ASTM 7247-07 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Standartta belirtilen şekilde ladinden yapılmış örnekler 100 °C sıcaklığa ulaşınca kadar ısı kontrolüne sahip fırın içerisinde ısıtılmıştır. Örnekler 100 °C ulaştıktan sonra hızlı bir şekilde blok kesme deneyleri ile test edilmiştir. Şekil 47’de ahşap blok test örnekleri ve test aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 47. Ahşap blok test örnekleri ve test aşamaları.

Tablo 12’de Yüksek sıcaklıkta yapışma direnci testi için deney deseni gösterilmiştir.

Tablo 12: Yüksek sıcaklıkta yapışma direnci testi için deneme deseni.

Nanopartikül Takviyeli PVAc Bileşimi	Nanopartikül Oranı	Örnek Kodu	Örnek Sayısı
Saf PVAc	0%	NP	20
PVAc + SiO ₂	1%	PS-1	20
PVAc + SiO ₂	2%	PS-2	20
PVAc + SiO ₂	4%	PS-4	20
PVAc + TiO ₂	1%	PT-1	20
PVAc + TiO ₂	2%	PT-2	20
PVAc + TiO ₂	4%	PT-4	20

2.4.3 Nanopartikül Takviyeli PVAc Tutkalı Kullanılarak Oluşturulmuş Mobilya Birleştirmelerinin Mekanik Performans Testleri ve Deformasyon Analizi

Projede nanoteknoloji yardımıyla daha kaliteli ve güvenli mobilya üretmek için farklı nanopartikül takviyeli PVAc tutkalları kullanılarak oluşturulmuş mobilya birleştirmelerinin performansları değerlendirilmiştir. Denemelerde ayak kayıt birleştirmelerden lamba zıvanalı birleştirme yöntemi seçilmiştir. Bu birleştirme yönteminin seçilme nedenleri: (1) günümüzde özellikle sandalye, sıra ve masa yapımında en sık kullanılan birleştirme olması (2) tutkallama için geniş yüzey alanına sahip olmasıdır.

Lamba zıvanalı birleştirmeler Doğu kayını (*Fagus orientalis L.*), Saplı Meşe (*Quercus robur*) ve Lamine ağağ malzemenen hazırlanmıştır. Ağağ malzemenin budaksız, ardaksız, büyüme kusurları bulunmayan, düzgün lifli ve diri odun kısmı olmasına dikkat edilmiştir. Mobilya yarı rijit bir yapı olarak kabul edilir ve kullanımda statik ve tekrarlı yükler altındadır. Bu nedenle çalışmada birleştirmeler farklı yükleme tipleri (Eğilme Deneyi, ekme Deneyi ve Yorulma Deneyi) altında test edilmiştir.

2.4.3.1 Lambalı Zıvanalı Birleştirmelerin Eğilme Direnci Testi

Lamba zıvanalı birleştirmelerin eğilme direnci üzerine nanopartiküllerin etkisinin araştırmak için, nanopartikül takviyeli (SiO_2 , TiO_2) PVAc tutkallı kullanılarak Kayın (*Fagus orientalis*), Meşe (*Quercus robur*) diri odun keresteleri ve EN 14374 standardına göre üretilmiş 1,5 mm kalınlıkta 17 kat kayın kaplamalarından oluşan fenol formaldehit tutkalı ile hazırlanmış lamine aęaę malzemenen lambalı zıvanalı birleştirmeler oluşturulmuştur. Bartın Üniversitesi Orman Fakóltesi test laboratuvarında 3 ay doğal kurutmaya tabi tutulmuştur. Planyadan geçirilen örnekler daha sonra daire testerede 450 mm $\times$ 30 mm $\times$ 25 mm ayak elemanı ve 350 mm $\times$ 55 mm $\times$ 25 mm kayıt elemanı oluşacak şekilde boyutlandırılmıştır. Lamba zıvanalı birleştirmelerin eğilme direncinin tespit edilmesinde TS 2474 standardı kullanılmıştır. Deney malzemelerinin her bir kombinasyonu için 5 örnek üretilmiştir. Lamba boyutları: derinlik 20 mm, uzunluk 40 mm ve genişlik 12 mm ve zıvana boyutları: uzunluk 19.85 mm, genişlik 39.75 mm ve kalınlık 11.85 mm olacak şekilde hazırlanmıştır. Lamba zıvanalı birleştirmeler tarafından taşınan momentler Eşitlik 4 yardımıyla hesaplanmıştır.

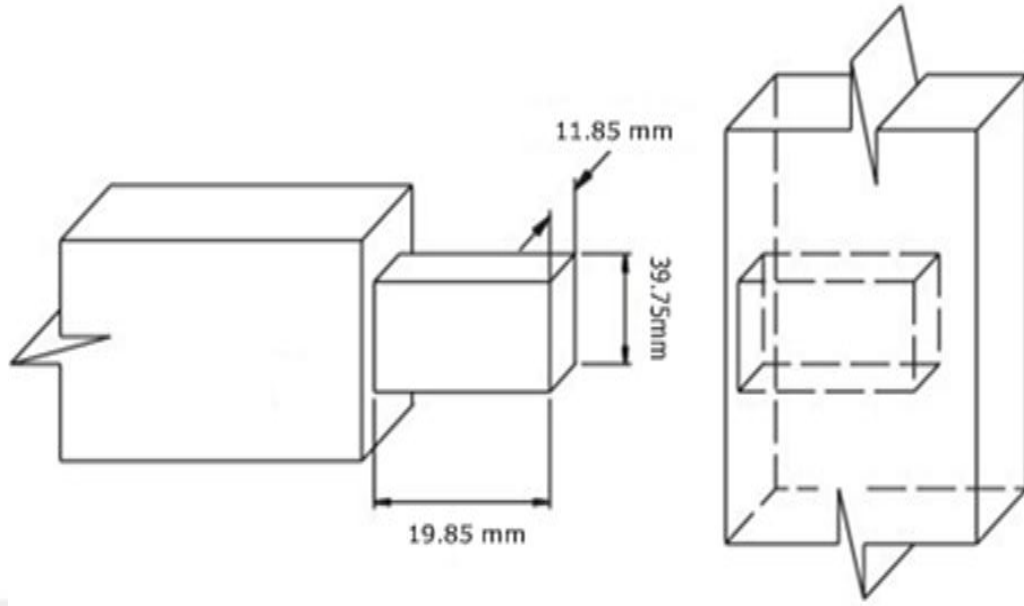
$$M=FxL \text{ (Nmm)} \quad (4)$$

M= Moment (Nmm)

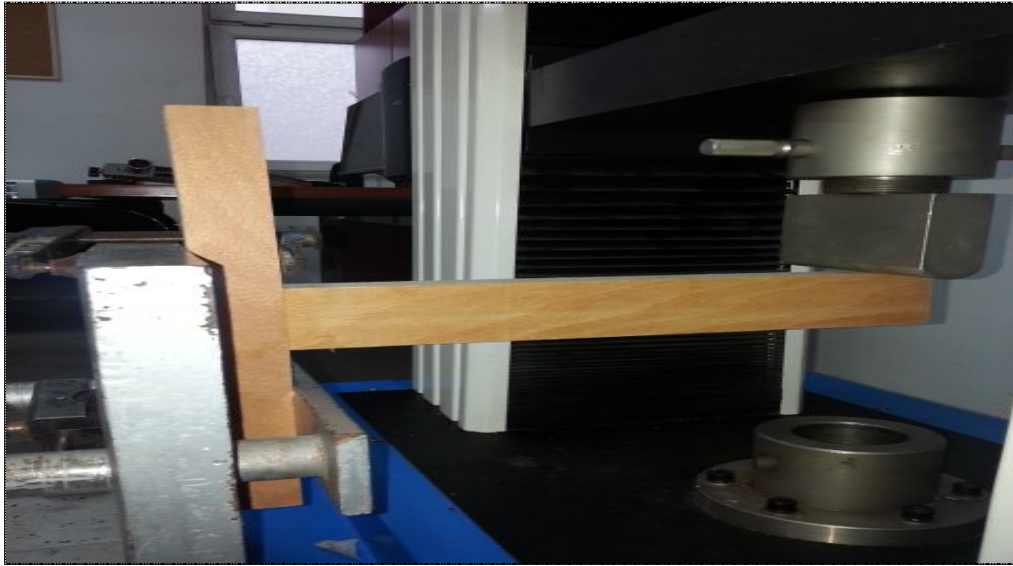
F= Maksimum yük (N)

L= Moment kolu (mm), 240 mm

şekil 48' de lamba zıvana örnek boyutları (a) ve deney düzeneği (b) gösterilmiştir.



a)



b)

Şekil 48: Lamba zıvana örnek boyutları (a) ve deney düzeneği (b).

Hazırlanan numuneler 20 °C ve %65 bağıl nemde değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Rutubet oranları TS2471 standardına göre belirlenmiştir. Örneklerin birleşme yerlerine nanopartikül takviyeli PVAc tutkalı sürülmüş ve basınç altında 60 dakika bekletilmiştir. Lamba zıvanalı birleştirmelerin eğilme direnci testi için deney deseni Tablo 13’de gösterilmiştir.

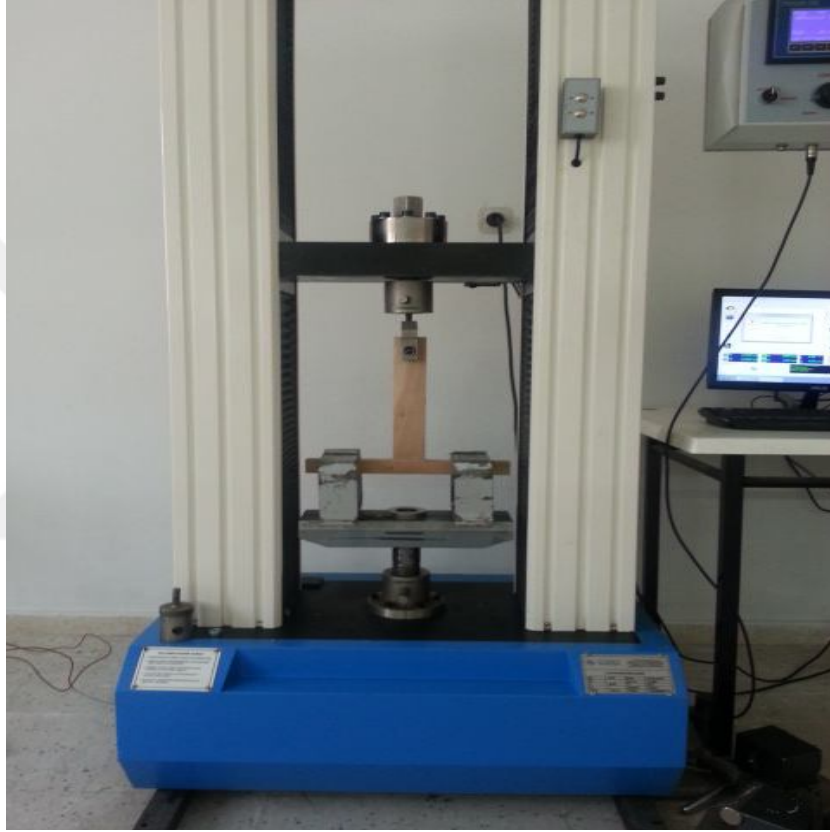
Tablo 13: Lamba zıvanalı birleştirmelerin eğilme direnci testi için deneme deseni.

Deney türü	Nanopartikül Takviyeli PVAc Bileşimi	Nanopartikül Oranı	Malzeme Türü	Formülasyon Kodu	Örnek Sayısı
Eğilme Direnci Testi	Saf P.V.A	0%	Kayın	P0K	5
			Meşe	P0M	5
			Lamine ağaç malzeme	P0L	5
		1%	Kayın	S1K	5
			Meşe	S1M	5
			Lamine ağaç malzeme	S1L	5
	P.V.A + SiO ₂	2%	Kayın	S2K	5
			Meşe	S2M	5
			Lamine ağaç malzeme	S2L	5
		4%	Kayın	S4K	5
			Meşe	S4M	5
			Lamine ağaç malzeme	S4L	5
		1%	Kayın	T1K	5
			Meşe	T1M	5
			Lamine ağaç malzeme	T1L	5
	P.V.A + TiO ₂	2%	Kayın	T2K	5
			Meşe	T2M	5
			Lamine ağaç malzeme	T2L	5
		4%	Kayın	T4K	5
			Meşe	T4M	5
			Lamine ağaç malzeme	T4L	5
Toplam				105	

2.4.3.2 Lambalı Zıvanalı Birleştirmelerin ekme Direnci Testi

Çalışmada nanopartikül takviyeli PVAc tutkalının lamba zıvanalı birleştirmelerin çekme direnci üzerine etkisini belirlemek için, iki elemandan oluşan T şekilli birleştirmeler yapılamıştır. Birleştirmeler 450 mm × 30 mm × 25 mm ayak elemanı ve 350 mm × 55 mm × 25 mm kayıt elemanından oluşmaktadır. Lamba boyutları: derinlik 20 mm, uzunluk 40 mm ve genişlik 12 mm ve zıvana boyutları: uzunluk 19,85 mm, genişlik 39,75 ve kalınlık 11,85 mm olacak şekilde boyulandırılmıştır. Lamba zıvanalı birleştirmelerin çekme direncinin tespit edilmesinde TS 2475 standardı kullanılmıştır. Birleştirmeler de Kayın,

Meşe, Lamine ağaç malzeme kullanılmıştır. T tipi deney örneklerinin her biri 18 mm çapında delikler açılmıştır. Deney örnekleri $20\pm 2^{\circ}$ C ve % 65 ± 5 bağıl nemde denge rutubetine ulaşıncaya kadar bekletilmiştir. Daha sonra örnek birleşme yerlerine nanopartikül takviyeli PVAc tutkalı sürülmüştür. Her bir grup için 5 adet deney örneği hazırlanmıştır. Çekme direnci için hazırlanan birleştirmeler Universal test cihazında 6 mm/min sabit hızla test edilmiştir. Şekil 49'da Lamba zıvanalı birleştirmelerin çekme direnci testi için oluşturulan deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 49: Lamba zıvanalı birleştirmelerin çekme direnci testi için oluşturulan deney düzeneği.

Lamba zıvanalı birleştirmelerin çekme direnci testi için deney deseni Tablo 14'de gösterilmiştir.

Tablo 14: Lamba zıvanalı birleştirmelerin çekme direnci testi için deney deseni.

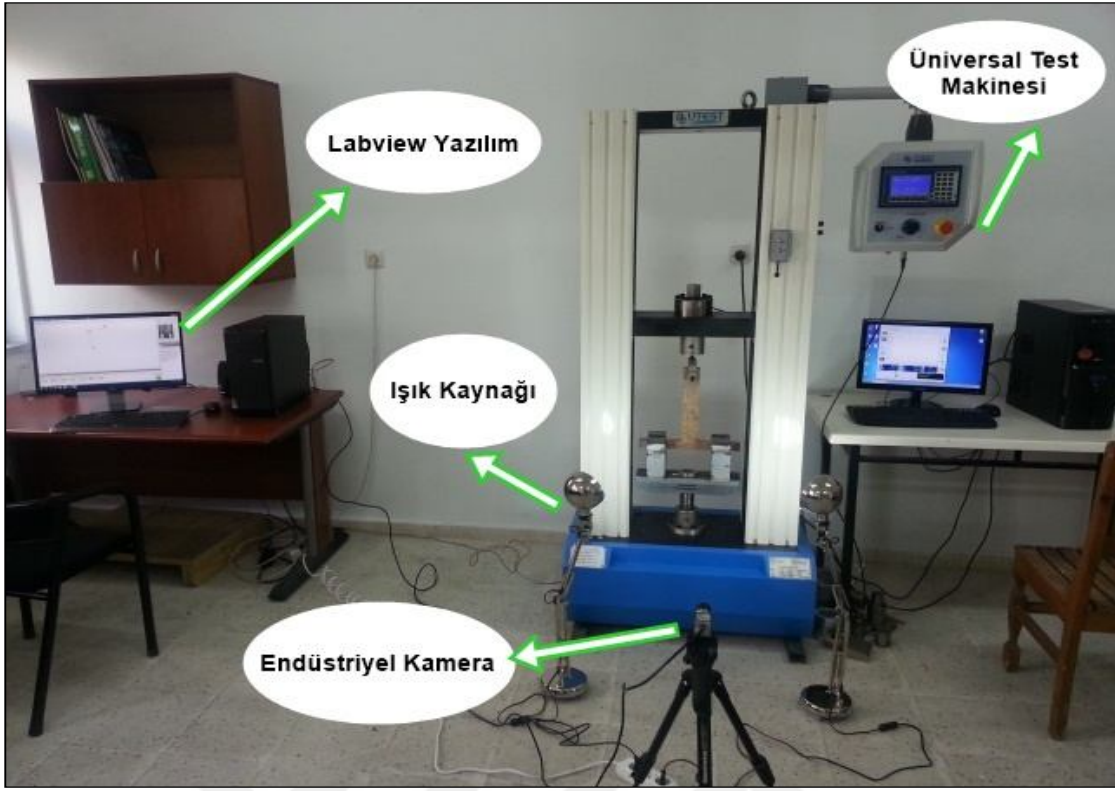
Deney türü	Nanopartikül Takviyeli PVAc Bileşimi	Nanopartikül Oranı	Malzeme Türü	Formülasyon Kodu	Örnek Sayısı
Çekme Direnci Testi	Saf P.V.A	0%	Kayın	P0K	5
			Meşe	P0M	5
			Lamine ağaç malzeme	P0L	5
		1%	Kayın	S1K	5
			Meşe	S1M	5
			Lamine ağaç malzeme	S1L	5
	P.V.A + SiO ₂	2%	Kayın	S2K	5
			Meşe	S2M	5
			Lamine ağaç malzeme	S2L	5
		4%	Kayın	S4K	5
			Meşe	S4M	5
			Lamine ağaç malzeme	S4L	5
		1%	Kayın	T1K	5
			Meşe	T1M	5
			Lamine ağaç malzeme	T1L	5
	P.V.A + TiO ₂	2%	Kayın	T2K	5
			Meşe	T2M	5
			Lamine ağaç malzeme	T2L	5
		4%	Kayın	T4K	5
			Meşe	T4M	5
			Lamine ağaç malzeme	T4L	5
Toplam				105	

2.4.3.3 Görüntü Yöntemleri ile Deformasyon Analizi

Nanopartikül takviyeli PVAc tutkalı ile hazırlanmış T birleştirmelerin deformasyon davranışı belirlemek için çekme deneyleri sırasında endüstriyel kamera (Basler ace camera, 1624 px x 1234 px, acA1600-20gc) kullanılarak dijital görüntüler alınmıştır. Bilgisayar ile kamera arasındaki iletişim özel ekipmanlar (GigE Vision Board, vision camera cables) ile gerçekleştirilmiştir. Verilerin elde edilmesi ve analizi için LabVIEW ve MATLAB programlama dilleri kullanılmıştır.

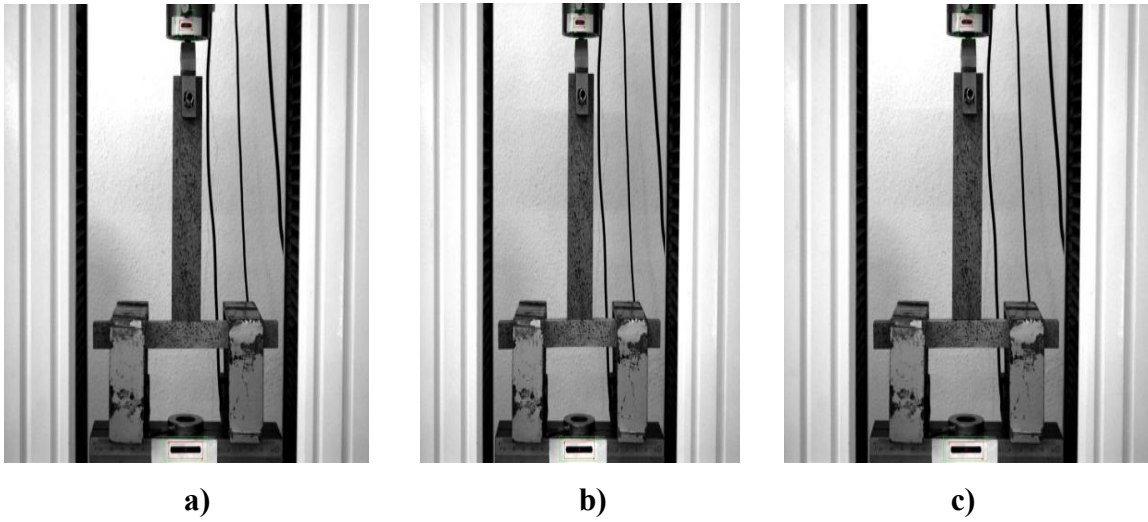
Ürettiği donanımlar, komponentler ve geliştirdikleri yazılımlarla elektronik dünyasının önce gelen firmalarından biri olan National Instrument firmasına ait olan LabVIEW yazılımı Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench cümlesinin kısaltmasıdır. LabVIEW bilgisayar üzerinde çalışabilen güçlü ve esnek bir enstrümantasyon ve analiz yazılımıdır. LabVIEW C veya Basic gibi bir program geliştirme uygulamasıdır. LabVIEW bir özelliği ile bu diğer yazılımlardan ayrılır. Diğer programlama dilleri kod satırları oluşturmak için metin tabanlı bir dil kullanırken LabVIEW grafiksel bir programlama dili olan G kullanır. G ile akış şemasına benzer bir formda program yazılır ve bu forma blok diyagram adı verilir (Artuğ, 2010).

MATLAB yüksek seviyeli bir teknik programlama dili olmasının yanında algoritma geliştirme, verilerin görselleştirilmesi, veri analizi ve sayısal hesaplamalar için etkileşimli bir yazılım paketidir. MATLAB ile teknik hesaplama problemlerini, C, C++ ve Fortran gibi geleneksel programlama dillerinden daha hızlı bir şekilde çözebilirsiniz. Grafik arayüzler tasarlamak için araçlar MATLAB'ın kullanımı olmayan bir mühendislik alanı yok gibidir (Karadağ, 2012). Şekil 50'de deformasyon analizi için kururulan test düzeneği gösterilmiştir.



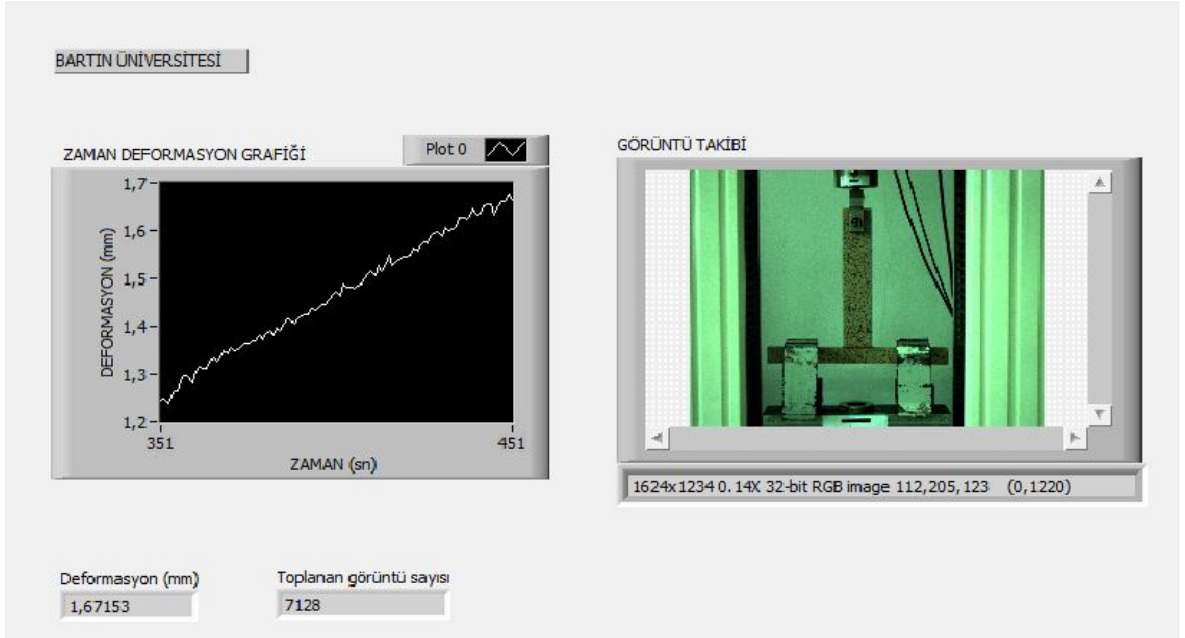
Şekil 50: Deformasyon analizi için kururulan test düzeneği.

Deformasyon ölçümü için gerekli görüntüler Labview programının araçlarından biri olan 'NI Vision Builder for Automated Inspection' ile alınmış ve parçalarda belirli alanlar markalanmıştır. Şekil 51'de deformasyon ölçümü için alınan referans (a) ve deforme olmuş görüntüler (b,c) gösterilmiştir.

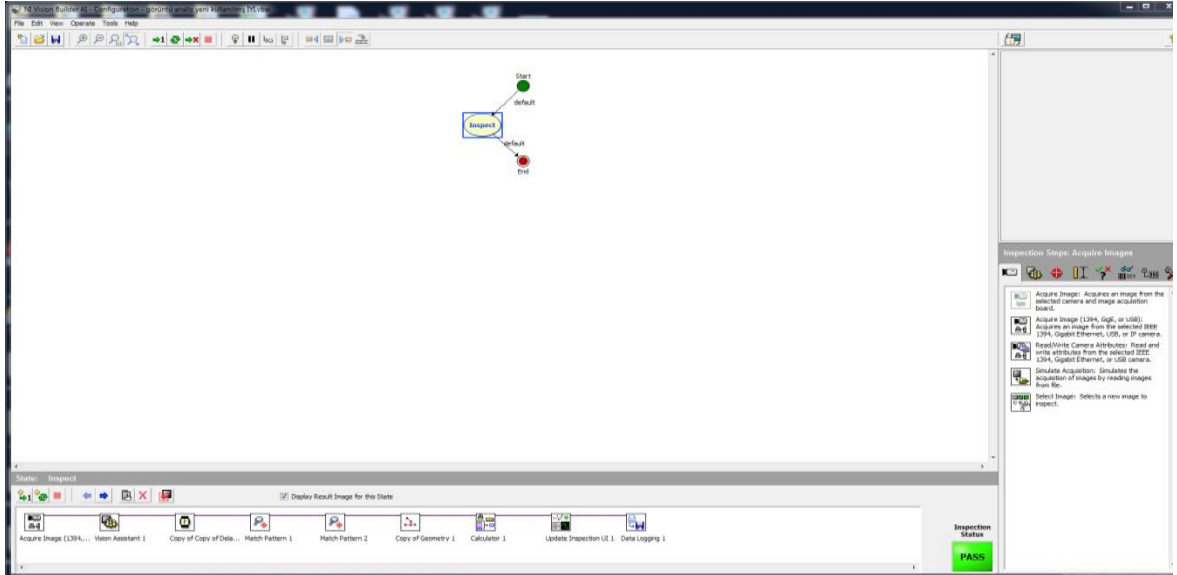


Şekil 51: Deformasyon ölçümü için alınan referans (a) ve deforme olmuş görüntüler (b,c).

NI Vision Builder for Automated Inspection iki ana kısımdan oluşur. Bunlardan birincisi, geliştirilen programın algoritmasının yapılandırıldığı kodlama kısmıdır, ikinci kısım ise kullanıcı ara yüzüdür. Şekil 52 ve 53’de deformasyon analizi için oluşturulan kullanıcı ara yüzü ve algoritmanın geliştirildiği kodlama kısım gösterilmiştir.

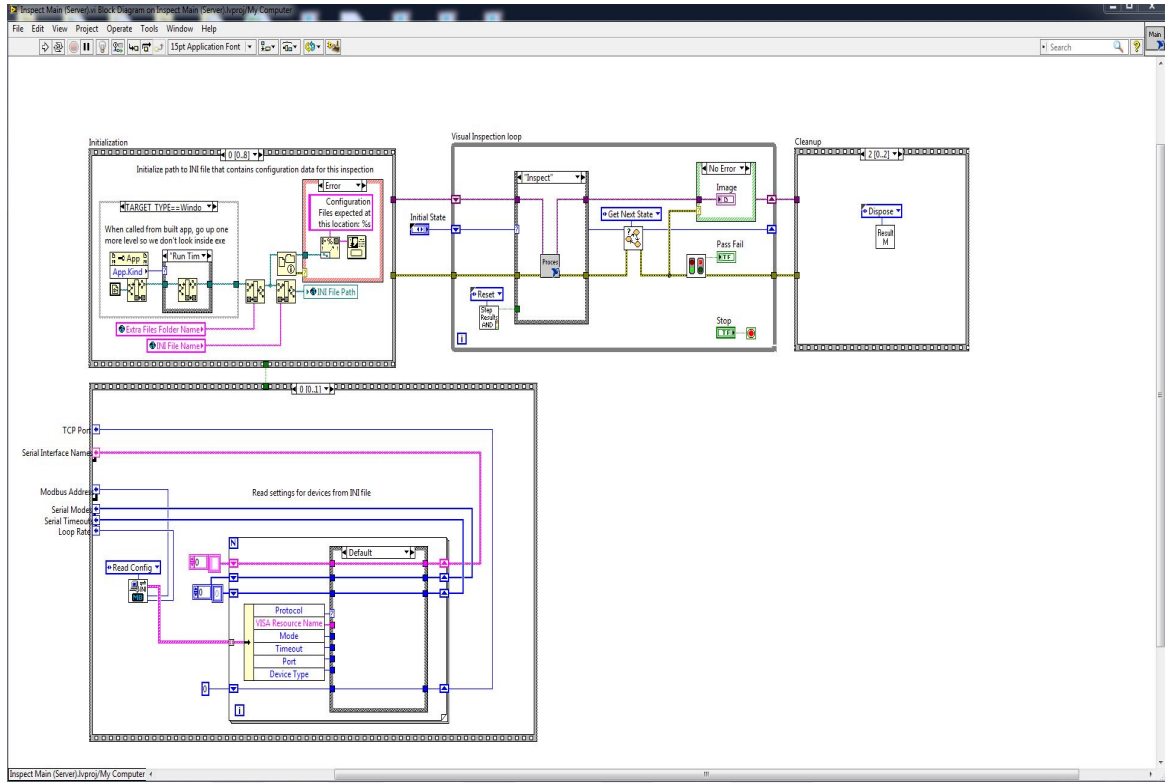


Şekil 52: Oluşturulan kullanıcı ara yüzü.



Şekil 53: Algoritmanın yapılandırıldığı kodlama kısmı.

Deformasyon ölçümü için geliştirilen programa ait kodlar şekil 54’de gösterilmiştir.



Şekil 54: Deformasyon ölçümü için geliştirilen programa ait kodlar.

Gerinim ve deformasyon alanlarını belirlemek için birleştirmelerin yüzeyine stokastik bir desen uygulanmıştır. Bu sayede gri ve açık alanlar oluşturulmuştur. Şekil 55’de oluşturulan stokastik desen gösterilmiştir.

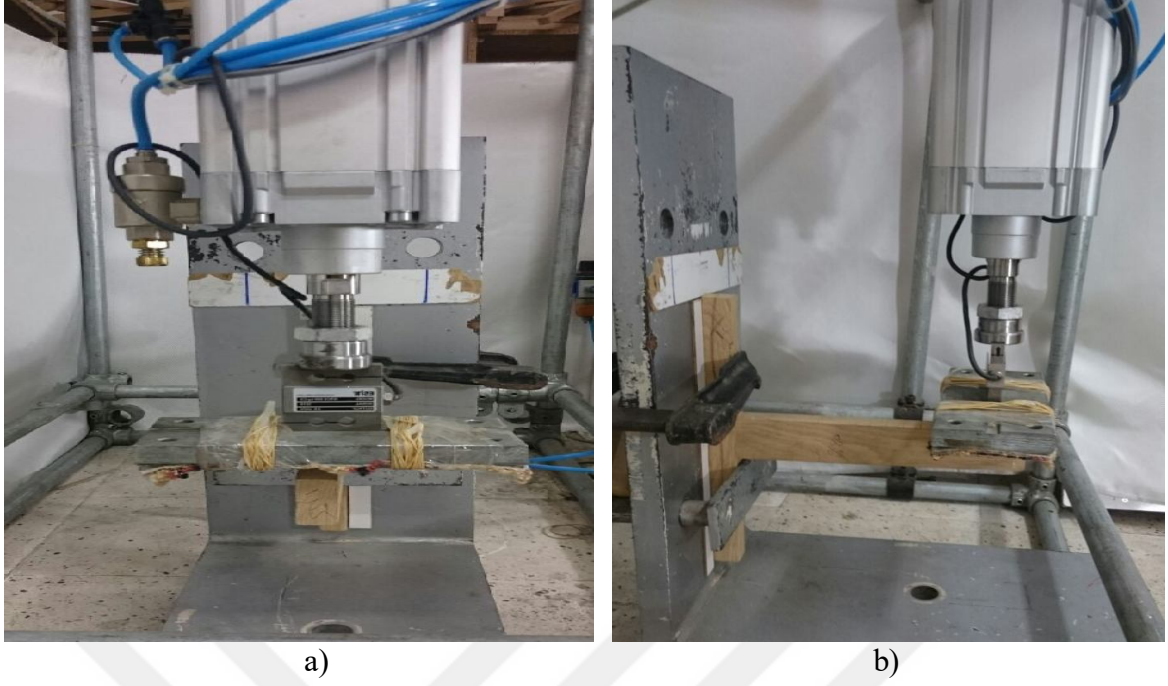


Şekil 55: Gerinim ve deformasyon alanlarını belirlemek için oluşturulan stokastik desen.

Tablo 15: Lamba zıvanalı birleştirmelerin yorulma direnci testi için deneme deseni.

Deney türü	Nanopartikül Takviyeli PVAc Bileşimi	Nanopartikül Oranı	Malzeme Türü	Formülasyon Kodu	Örnek Sayısı
Yorulma Direnci Testi	Saf P.V.A	0%	Kayın	P0K	5
			Meşe	P0M	5
			Lamine ağaç malzeme	P0L	5
		1%	Kayın	S1K	5
			Meşe	S1M	5
			Lamine ağaç malzeme	S1L	5
	P.V.A + SiO ₂	2%	Kayın	S2K	5
			Meşe	S2M	5
			Lamine ağaç malzeme	S2L	5
		4%	Kayın	S4K	5
			Meşe	S4M	5
			Lamine ağaç malzeme	S4L	5
		1%	Kayın	T1K	5
			Meşe	T1M	5
			Lamine ağaç malzeme	T1L	5
	P.V.A + TiO ₂	2%	Kayın	T2K	5
			Meşe	T2M	5
			Lamine ağaç malzeme	T2L	5
		4%	Kayın	T4K	5
			Meşe	T4M	5
			Lamine ağaç malzeme	T4L	5
Toplam				105	

Örneklerin birleştirme yerlerine nanopartikül takviyeli PVAc tutkalı sürölmüştür ve basınç altında 60 dakika bekletilmiştir. Örnekler denge rutubetine ulaşıncaya kadar 20 ± 2^0 C ve % 65 ± 5 bağıl rubette bekletilmiştir. Daha sonra deney örnekleri Bartın Üniversitesi, Bartın Orman Faköltesi, Odun Mekaniğı ve Teknolojisi Laboratuvarında bulunan özel olarak tasarlanmış yorulma test makinesinde test edilmiştir. şekil 57’de lamba zıvanalı birleştirmelerin yorulma direnci testi için oluşturulan deney düzeneğinin önden (a) ve yandan (b) görünüşü gösterilmiştir.



Şekil 57: Lamba zıvanalı birleştirmelerin yorulma direnci testi için oluşturulan deney düzeneğinin önden (a) ve yandan(b) görünüşü.

Deney boyunca test örneklerinin kayıt bölümüne dakikada 20 çevrim bir hızda yük uygulanmıştır. Servis şartlarında mobilya birleştirmelerinde sabit yüklemeler çok nadir olarak görülmektedir. Birleştirmeler genellikle düzenli veya düzensiz olarak sürekli değişen yükler altındadır. Bu nedenle yorulma deneyinde önceden belirlenmiş maksimum eğilme momentinin %50, %60, %70 ve % 80 oranında yük uygulanmıştır. Bu yükleme işlemleri birleştirmelerde yorulma hasarı oluşana kadar devam etmiştir. Daha sonra birleştirmelerin yorulma hasarına uğradığı devir sayısı, devir sayacında okunmuş ve kaydedilmiştir. Tablo 16’da nanopartikül takviyeli PVAc ile yapıştırılan T birleştirmelerin yorulma dayanımı testi örneklerine ait yükleme değerleri gösterilmiştir.

Tablo 16: Nanopartikül takviyeli PVAc ile yapıştırılan T birleştirmelerin yorulma dayanımı testi örneklerine ait yükleme değerleri.

Örnek Kodu	Eğilme Momenti Uygulanan Yük Miktarı (N.mm)			
	50%	60%	70%	80%
P0K	35472	42566	49661	56755
P0M	36984	44381	51778	59174
P0L	32616	39139	45662	52186
S1K	39510	47412	55314	63216
S1M	39768	47722	55675	63629
S1L	36915	44297	51680	59063
S2K	43140	51768	60396	69024
S2M	44136	52963	61790	70618
S2L	40872	49046	57221	65395
S4K	27570	33084	38598	44112
S4M	29330	35196	41062	46928
S4L	24048	28858	33667	38477
T1K	42960	51552	60144	68736
T1M	43008	51610	60211	68813
T1L	37392	44870	52349	59827
T2K	40530	48636	56742	64848
T2M	40872	49046	57221	65395
T2L	34704	41645	48586	55526
T4K	33912	40694	47477	54259
T4M	35040	42048	49056	56064
T4L	33696	40435	47174	53914

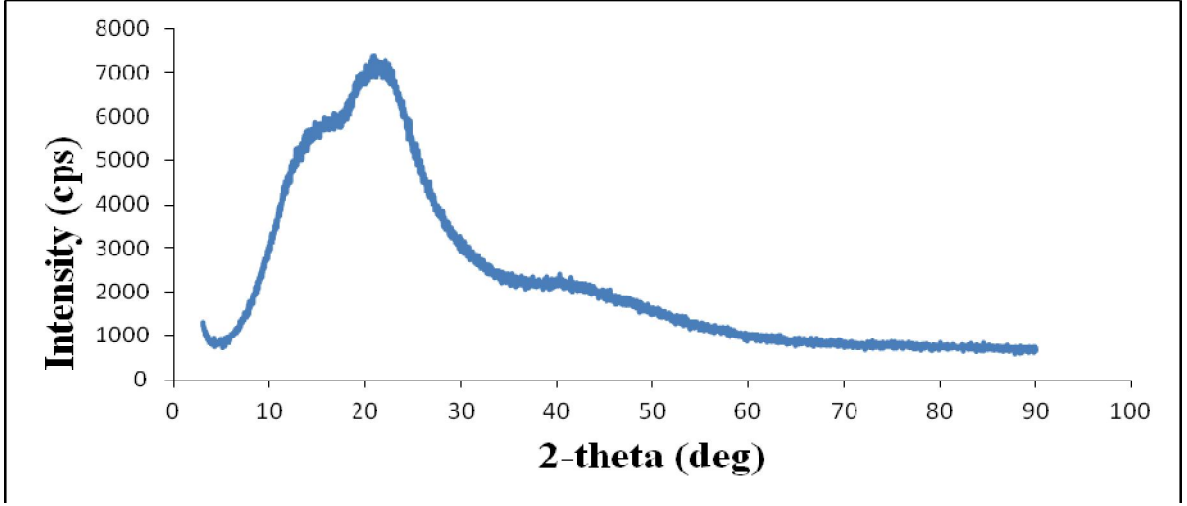
BÖLÜM 3

BULGULAR VE TARTIŞMA

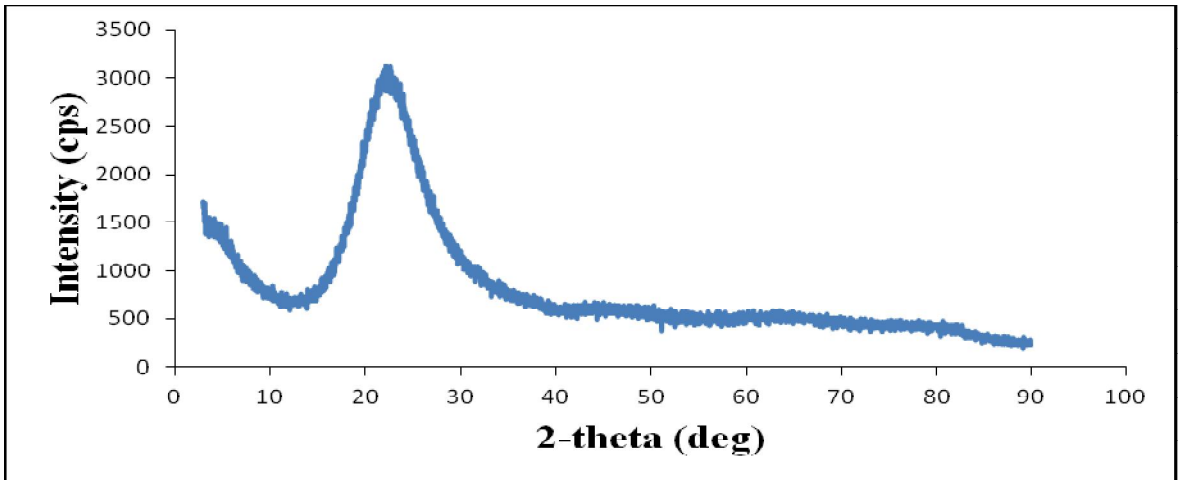
3.1 Nanopartikül Takviyeli PVAc Tutkalının Karakterizasyonu

3.1.1 X-Işını Kırınım Analizi

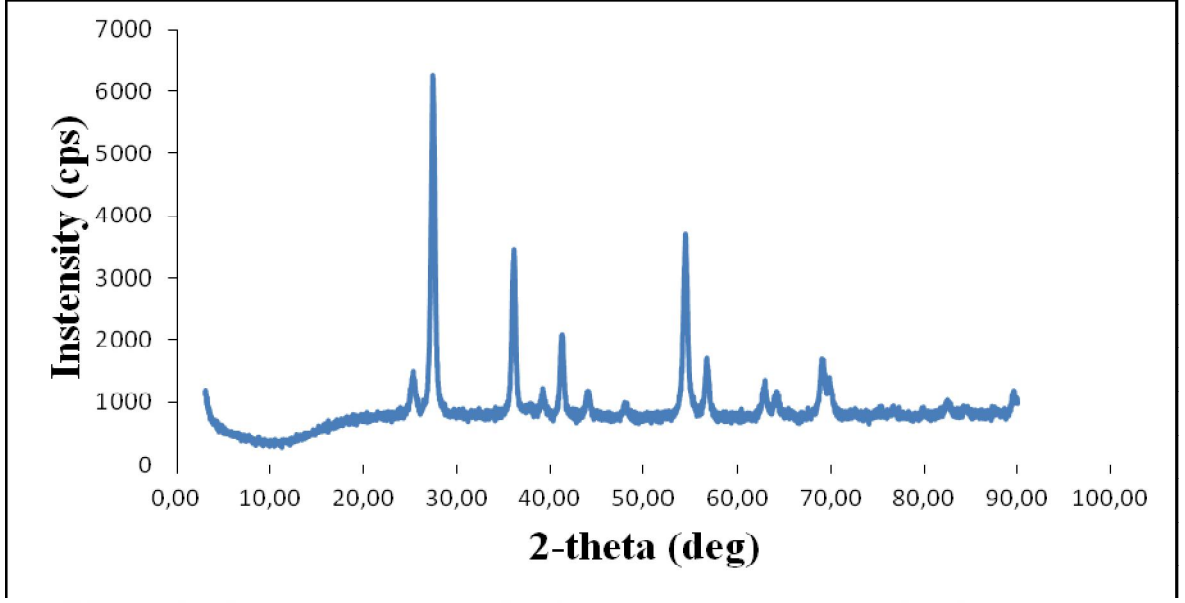
Yapılan XRD çekimleri sonrası Saf Polivinil Asetat, Silisyum Dioksit ve Titanyum Dioksit nanopartiküllerine ait XRD desenleri Şekil 58 - 60'da gösterilmiştir.



Şekil 58: Saf Polivinil Asetat ait XRD kırınım deseni.

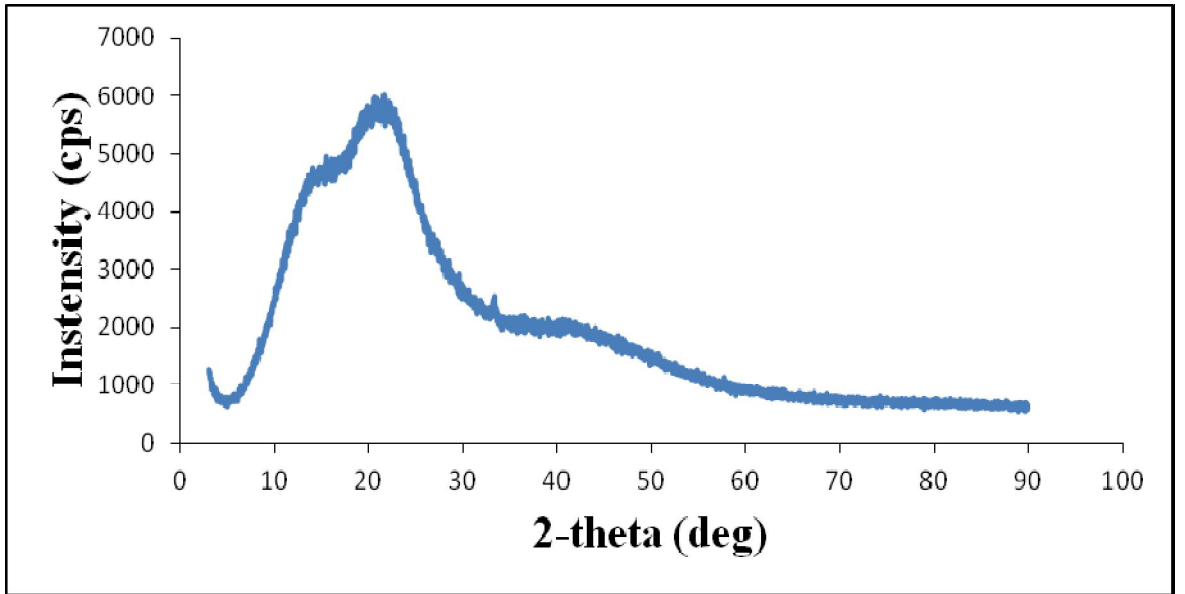


Şekil 59: Silisyum Dioksit nanopartikülüne ait XRD kırınım deseni.

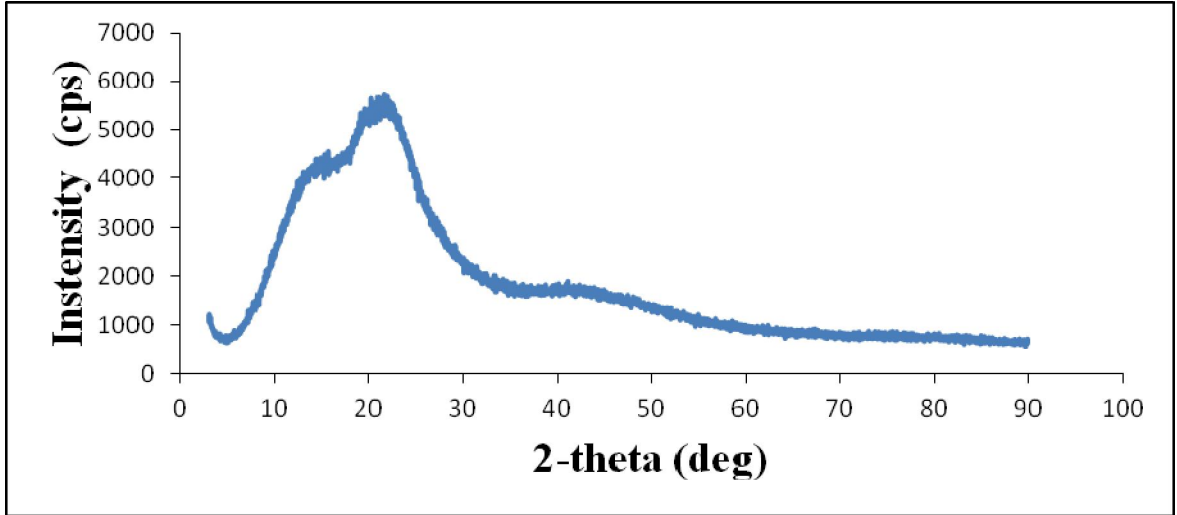


Şekil 60: Titanyum Dioksit nanopartikülüne ait XRD kırınım desen.

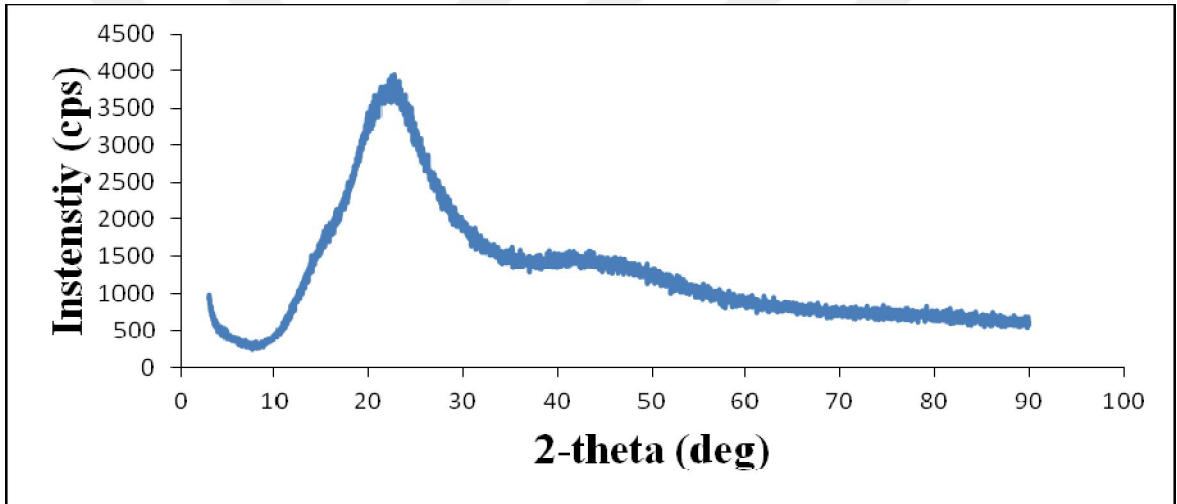
Nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarına (%99 PVAc/%1 SiO₂ nanopartikül, %98 PVAc/%2 SiO₂ nanopartikül, %96 PVAc/%4 SiO₂ nanopartikül, %99 PVAc/%1TiO₂ nanopartikül, %98 PVAc/%2 TiO₂ nanopartikül, %96 PVAc/%4 TiO₂ nanopartikül) ait XRD kırınım desenleri Şekil 61-66'da verilmiştir.



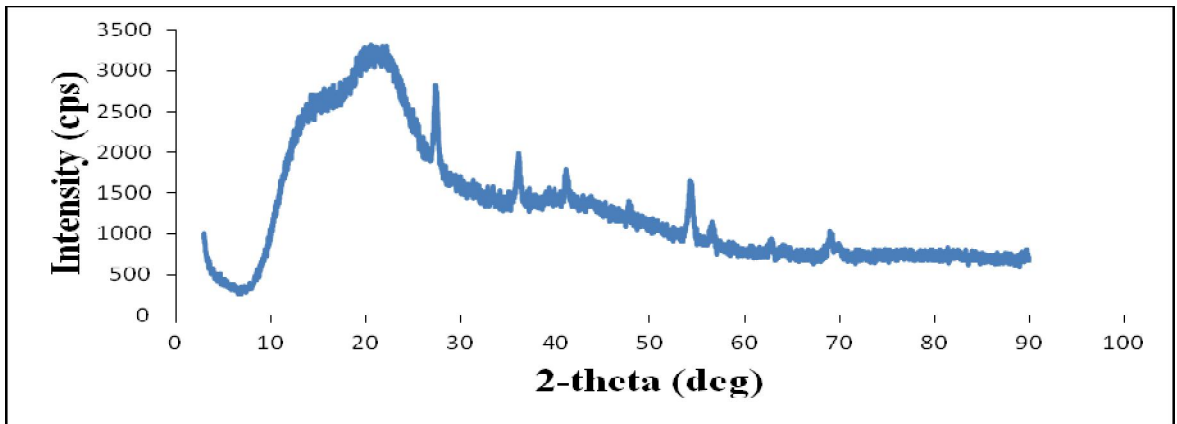
Şekil 61: %99 PVAc/%1 SiO₂ nanopartikül numunelerine ait XRD kırınım deseni.



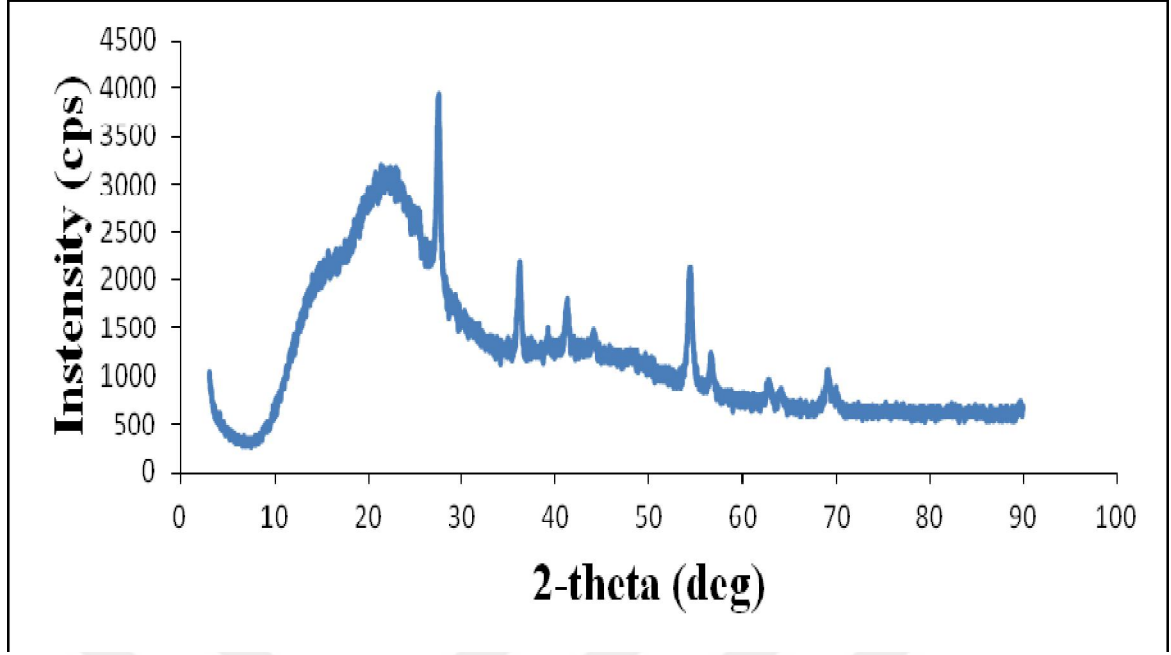
Şekil 62: %98 PVAc/%2 SiO₂ nanopartikül numunelerine ait XRD kırınım deseni.



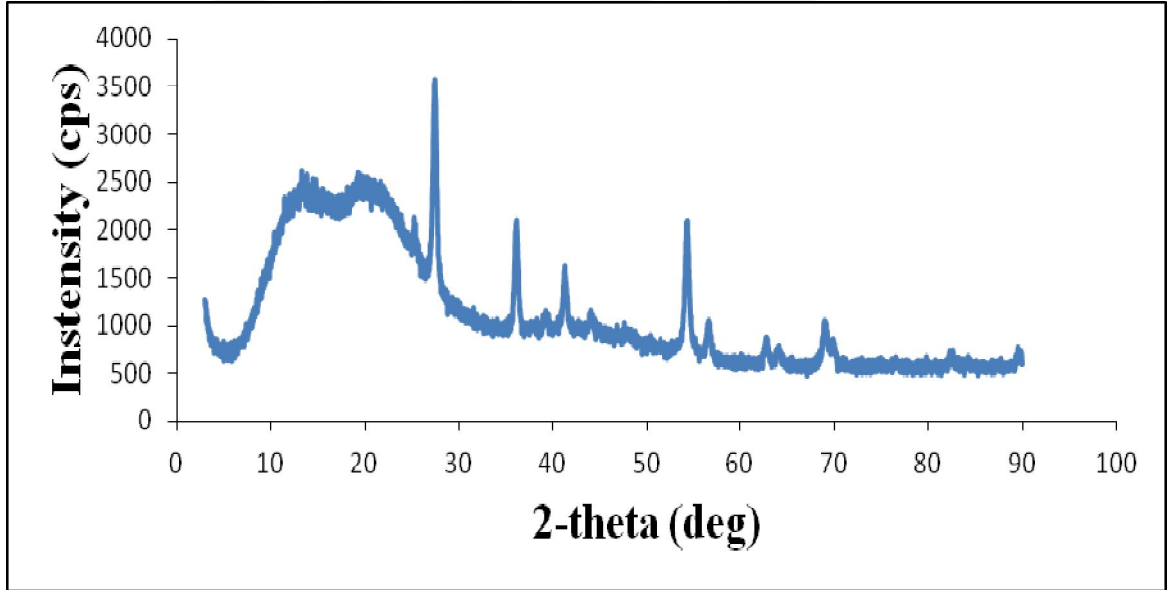
Şekil 63: %96 PVAc/%4 SiO₂ nanopartikül numunelerine ait XRD kırınım deseni.



Şekil 64: %99 PVAc/%1 TiO₂ nanopartikül numunelerine ait XRD kırınım deseni.

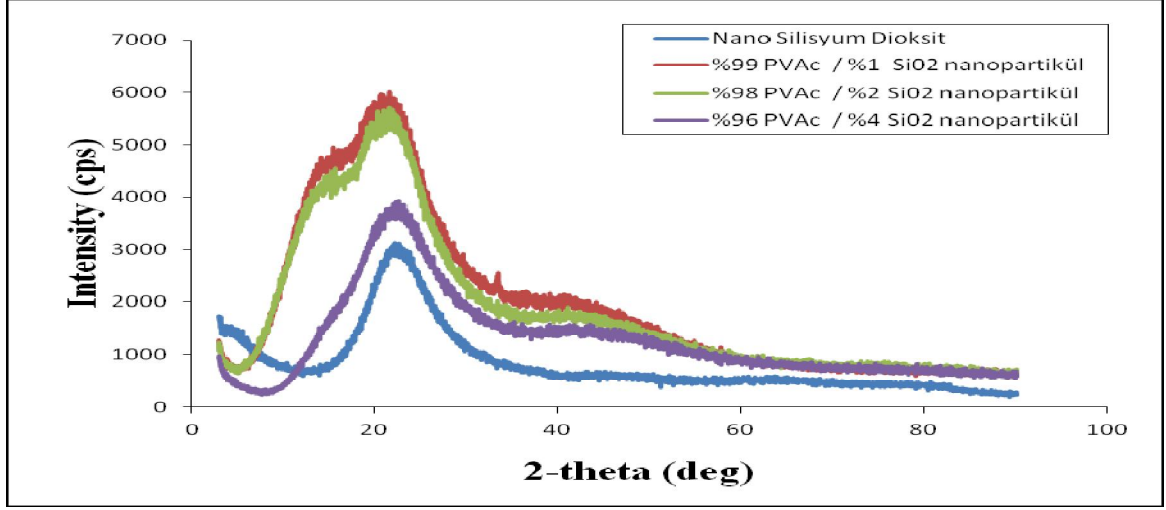


Şekil 65: %98 PVAc/%2 TiO₂ nanopartikül numunelerine ait XRD kırınım deseni.



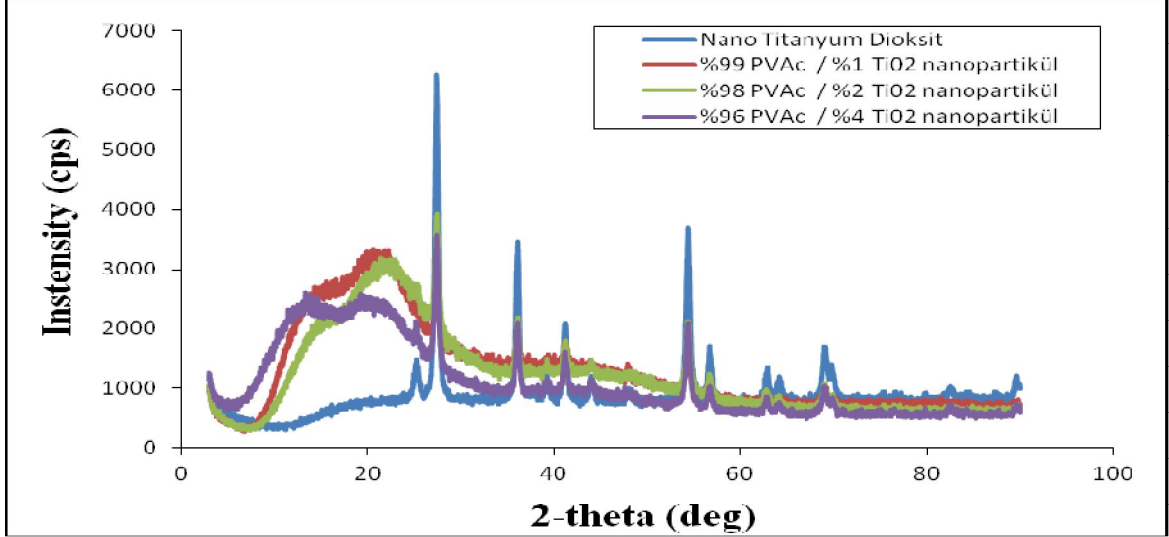
Şekil 66: %96 PVAc/%4 TiO₂ nanopartikül numunelerine ait XRD kırınım deseni.

Şekil 67’de nano silisyum dioksit ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarına (%99 PVAc / %1 SiO₂ nanopartikül, %98 PVAc / %2 SiO₂ nanopartikül, %96 PVAc / %4 SiO₂ nanopartikül) ait karşılaştırmalı XRD kırınım desenleri verilmiştir.



Şekil 67: Nano silisyum dioksit ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarına (%99 PVAc/%1 SiO₂ nanopartikül, %98 PVAc/%2 SiO₂ nanopartikül, %96 PVAc/%4 SiO₂ nanopartikül) ait karşılaştırmalı XRD kırınım desenleri.

Şekil 68’de Nano titanyum dioksit ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarına (%99 PVAc / %1 TiO₂ nanopartikül, %98 PVAc/%2 TiO₂ nanopartikül, %96 PVAc /%4 TiO₂ nanopartikül) ait karşılaştırmalı XRD kırınım desenleri verilmiştir.



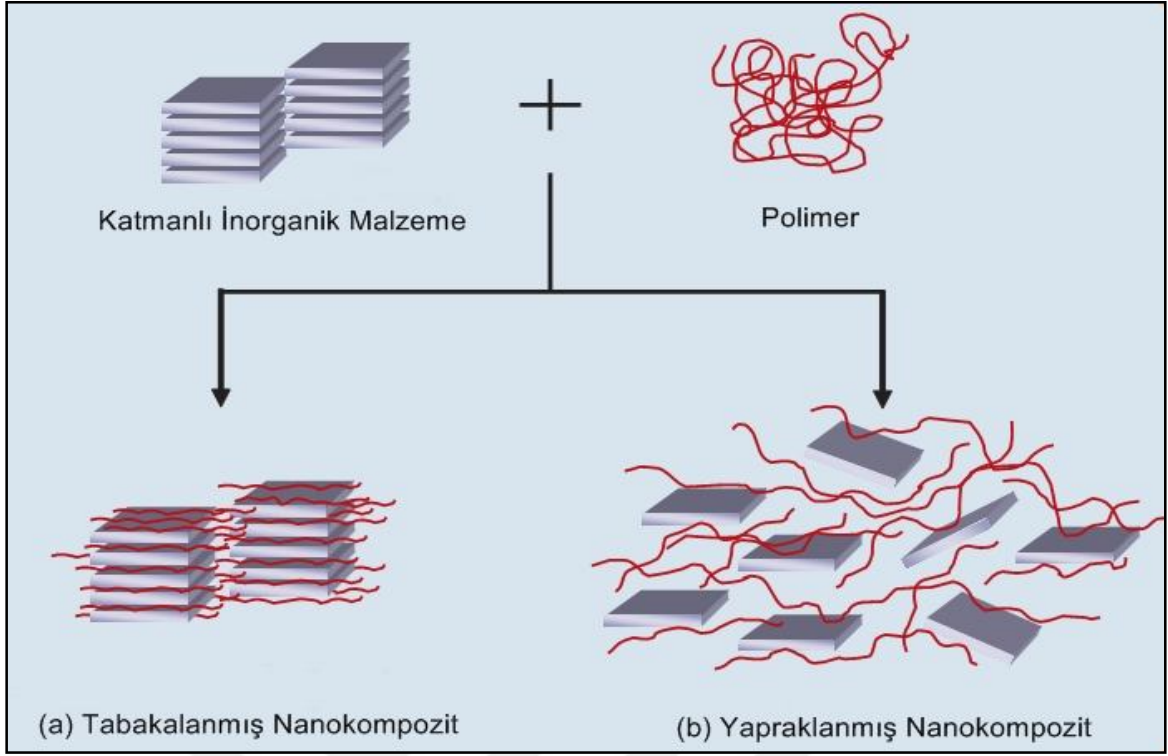
Şekil 68: Nano titanyum dioksit ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarına (%99 PVAc/%1 TiO₂ nanopartikül, %98 PVAc/%2 TiO₂ nanopartikül, %96 PVAc/%4 TiO₂ nanopartikül) ait karşılaştırmalı XRD kırınım desenleri.

Tablo 17’de Saf Polivinil asetat, nanopartiküller ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkalların karakteristik XRD kırınım açısı ve bazal boşluk değerleri verilmiştir.

Tablo 17: Saf Polivinil asetat, nanopartiküller ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkalların karakteristik XRD kırınım açısı ve bazal boşluk değerleri.

Örnek Tanımlama	Difraksiyon Pik Değeri (2 θ)	Hesaplanmış Bazal Boşluk (nm)
%100 PVAc	20,98	0,423
Nano Silisyum Dioksit	22,22	0,401
%99 PVAc / %1 SiO ₂ nanopartikül	21,62	0,410
%98 PVAc / %2 SiO ₂ nanopartikül	21,60	0,411
%96 PVAc / %4 SiO ₂ nanopartikül	22,64	0,392
Nano Titanyum Dioksit	27,42	0,324
%99 PVAc / %1 TiO ₂ nanopartikül	27,38	0,325
%98 PVAc / %2 TiO ₂ nanopartikül	27,50	0,324
%96 PVAc / %4 TiO ₂ nanopartikül	27,46	0,324

Nanokompozitlerin iki ana tipi vardır. Bunlar tabakalanmış ve yapraklanmış (intercalated ve exfoliated) yapılar olarak bilinmektedirler. Şekil 69’da nanokompozit çeşitleri gösterilmiştir.

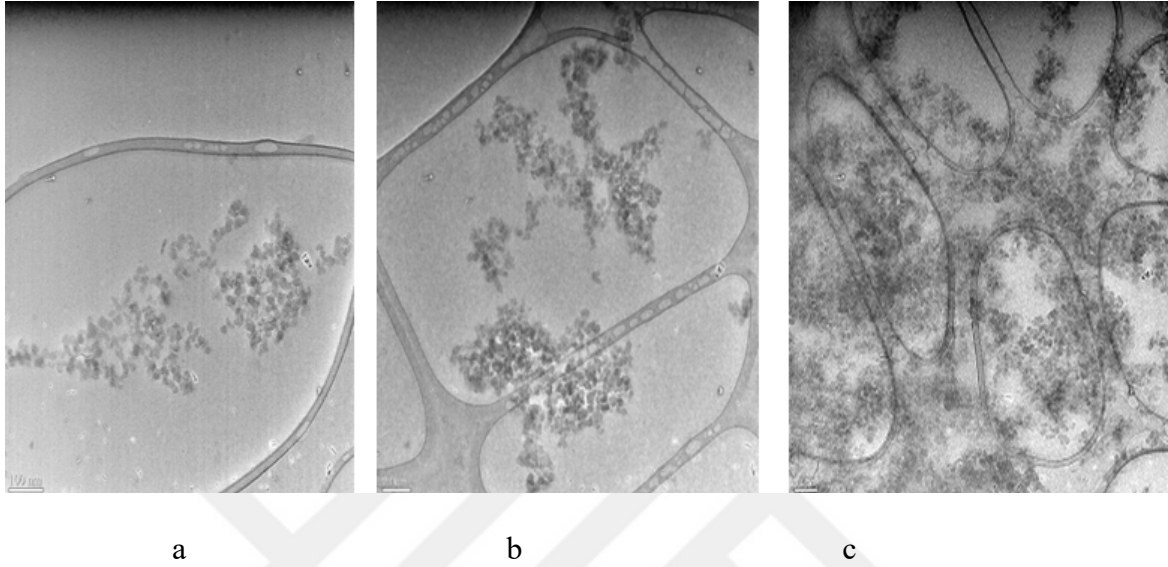


Şekil 69: Nanokompozit çeşitleri: a) Tabakalanmış Nanokompozit b) Yapraklanmış Nanokompozit (Tronto vd., 2013).

Literatürde XRD desenlerinde tabakalanmış nanokompozitin; takviye edilen nanopartiküle göre pik kaydığı ve 2θ açısının düştüğü, yapraklanmış nanokompozitte ise pikin kaybolduğı belirtilmektedir (Galimberti, 2012). XRD analiz sonuçlarına göre Silisyum Dioksit nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan örneklerde %2 oranına kadar tabakalanmış nanokompozitin, %2'den sonra geleneksel kompozitin meydana geldiğı, Titanyum Dioksit nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan örneklerde ise %1 oranına kadar tabakalanmış nanokompozitin %1'den sonra ise geleneksel kompozitin oluştuğı söylenebilir. Bu durumun sebebi olarak nano partikül oranı artıķa polimer içinde homojen dağılımının zorlaşması gösterilebilir (Park, 2009).

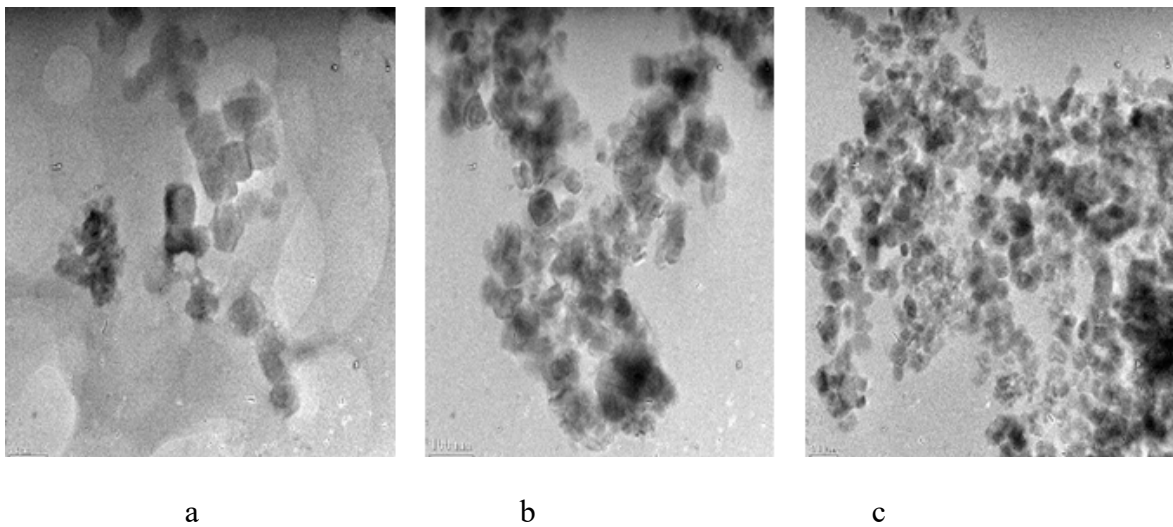
3.1.2 Transmisyon Elektron Mikroskobu Analizi

Şekil 70’da farklı oranlarda SiO₂ nanopartikülü içeren PVAc tutkalının transmisyon elektron mikroskobu görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 70: Farklı oranlarda SiO₂ nanopartikülü içeren PVAc tutkalının transmisyon elektron mikroskobu görüntüleri: (a) % 1 ; (b) % 2 ; (c) % 4.

Şekil 71’de farklı oranlarda TiO₂ nanopartikülü içeren PVAc tutkalının transmisyon elektron mikroskobu görüntüleri gösterilmiştir.

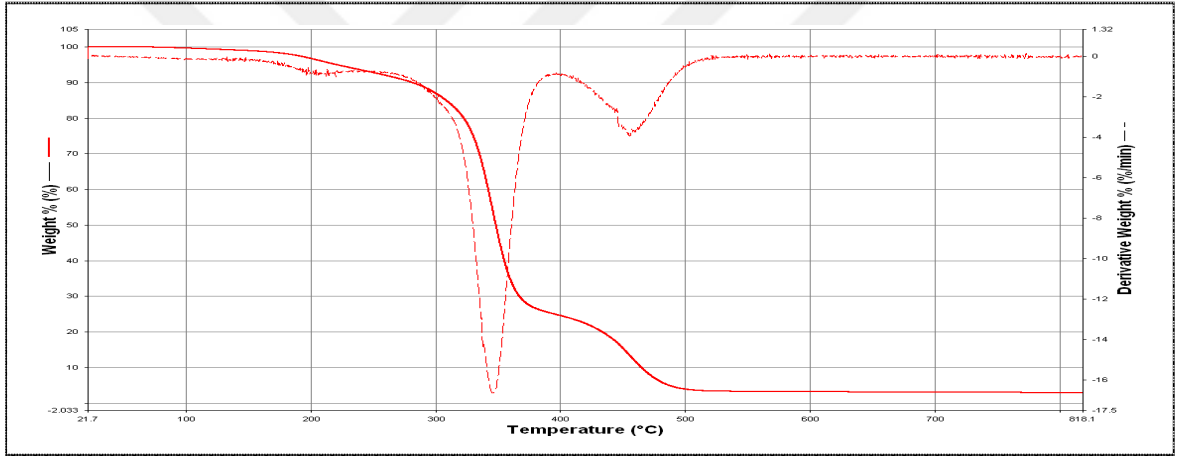


Şekil 71: Farklı oranlarda TiO₂ nanopartikülü içeren PVAc tutkalının transmisyon elektron mikroskobu görüntüleri: (a) % 1 ; (b) % 2 ; (c) % 4.

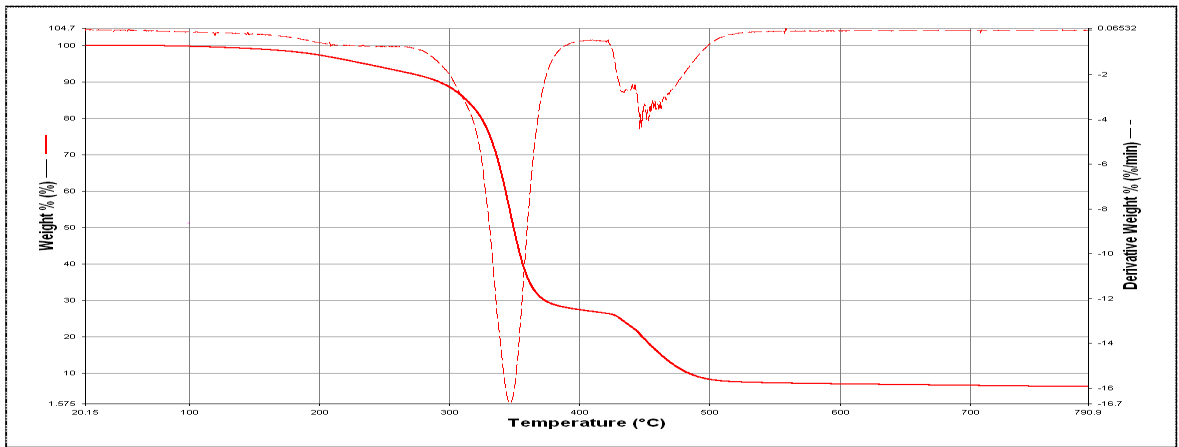
TEM görüntüleri incelendiğinde, SiO₂ ve TiO₂ nanopartikülerinin polimerler içerisinde nanometre boyutunda dağıldığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 69 (c) ve Şekil 70 (c) görüldüğü gibi %4 nanopartikül konsantrasyonunda kümelenme görülmüş ve partiküller arası mesafe azalmıştır. Literatürde düşük konsantrasyonlarda nanopartiküllerin polimer içindeki dağılımının daha kolay olduğu vurgulanmaktadır. Bu durum nanopartiküllerin yüzey kuvvetlerinin biribiri ile etkileşim eğilimi ile açıklanabilir. Bu zayıf van der Waals kuvvetleri kümelenmelere ve topaklanmalara neden olmaktadır (Mirjalili vd., 2014).

3.1.3 Termogravimetrik Analiz

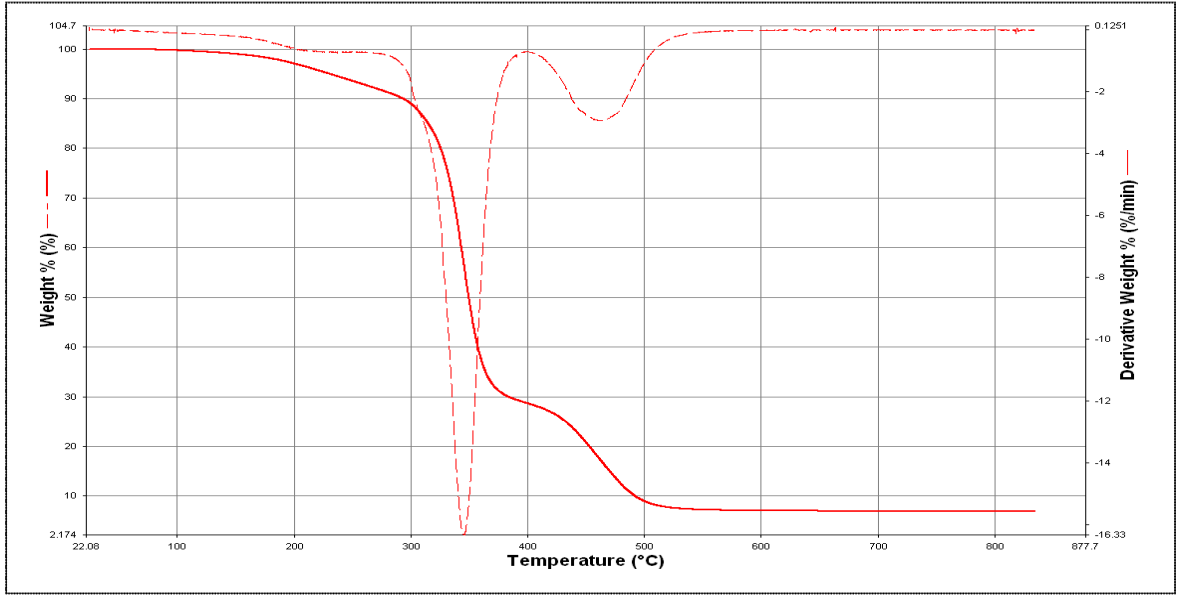
Saf Polivinil Asetat ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarına ait TGA/DTG eğrileri Şekil 72-78’de gösterilmiştir.



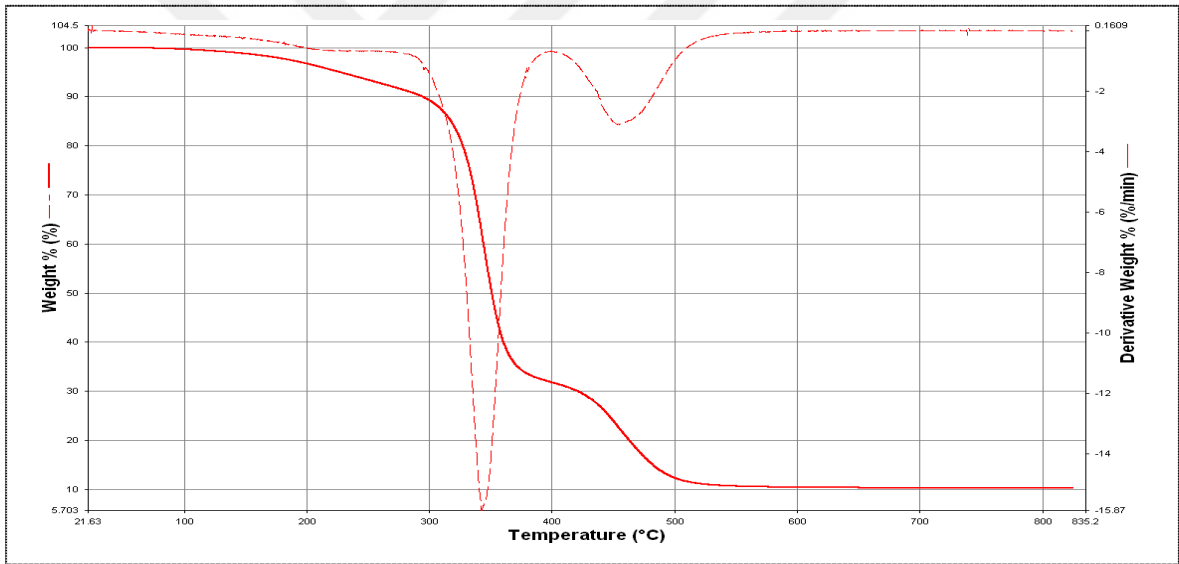
Şekil 72: Saf Polivinil Asetata ait TGA/DTG eğrisi.



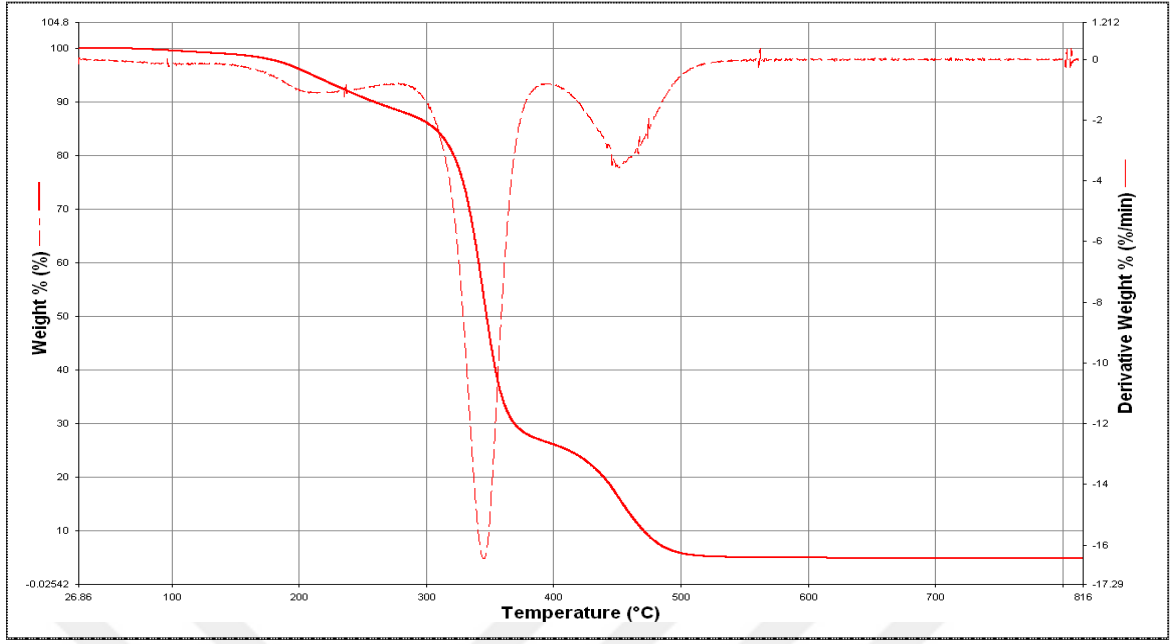
Şekil 73: %99 PVAc/%1 SiO₂ nanopartikül numunelerine ait TGA/DTG eğrisi.



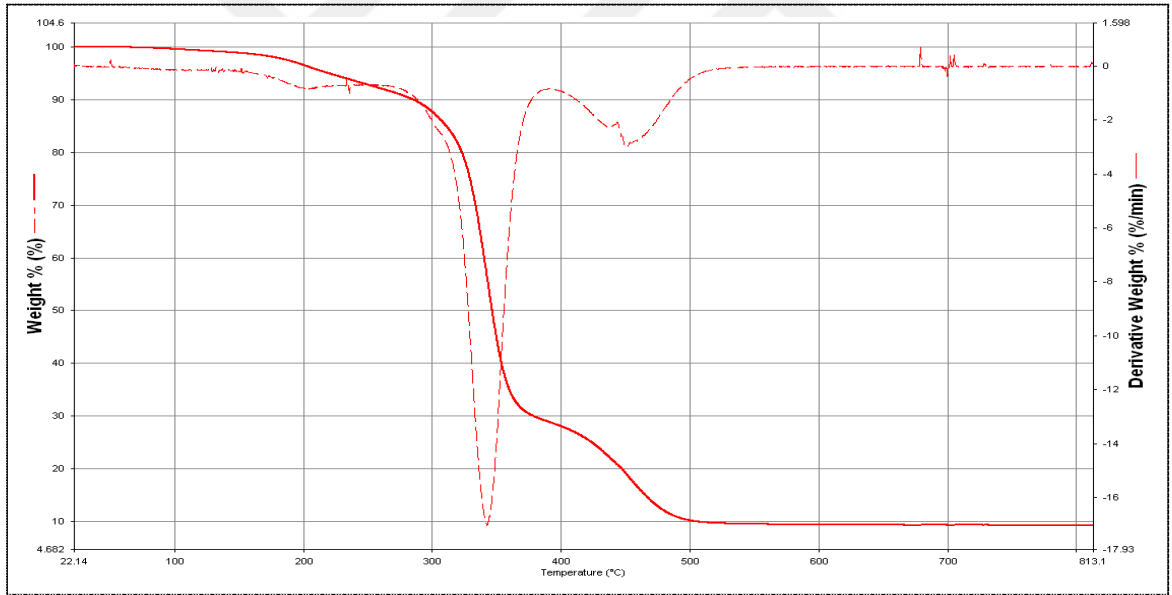
Şekil 74: %98 PVAc/%2 SiO₂ nanopartikül numunelerine ait TGA/DTG eğrisi.



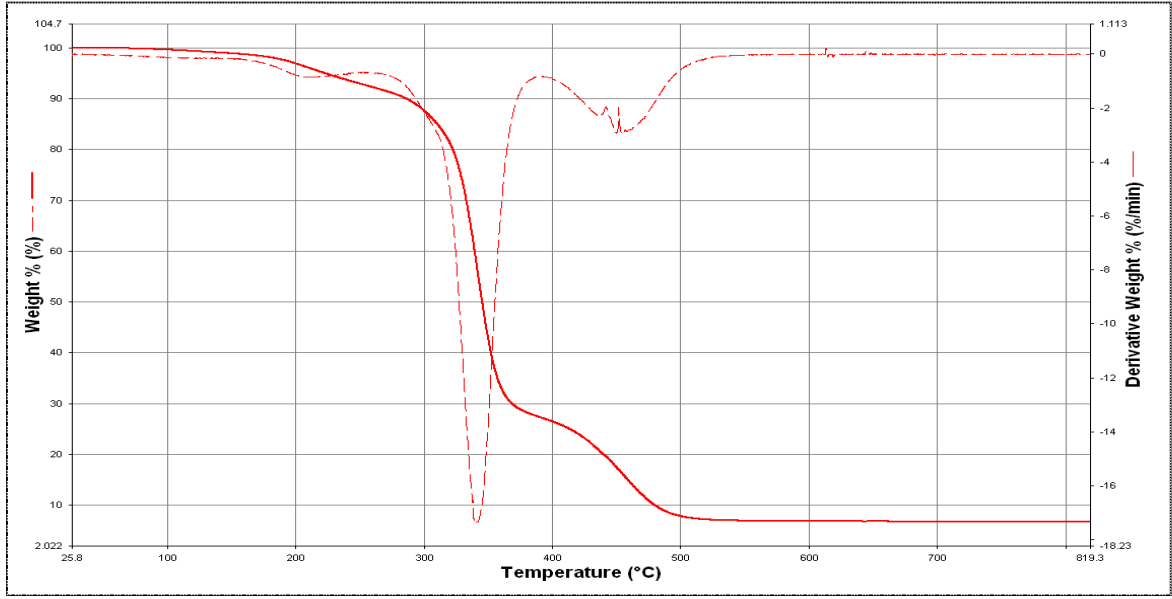
Şekil 75: %96 PVAc/%4 SiO₂ nanopartikül numunelerine ait TGA/DTG eğrisi.



Şekil 76: %99 PVAc/1% TiO₂ nanopartikül numunelerine ait TGA/DTG eğrisi.

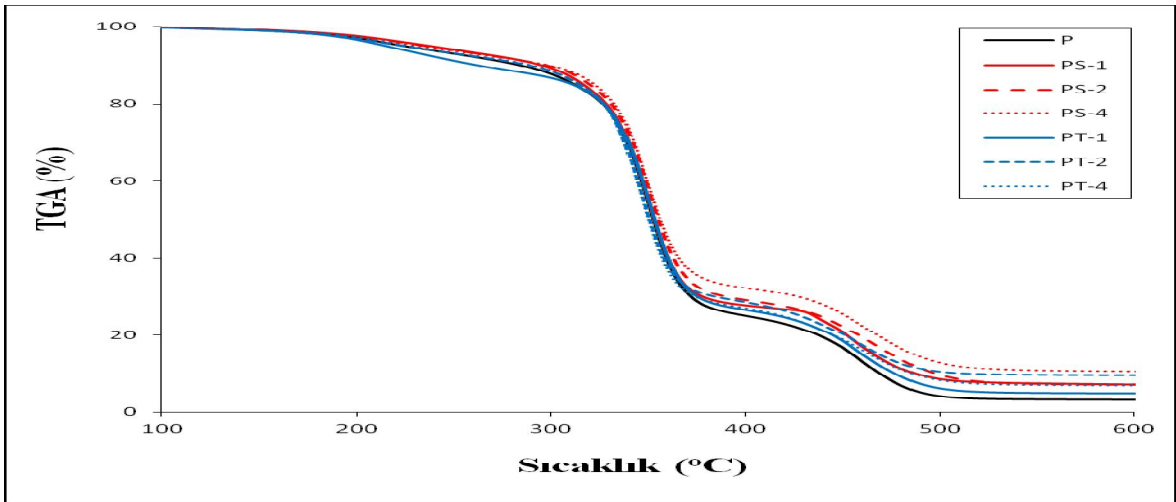


Şekil 77: %98 PVAc/2% TiO₂ nanopartikül numunelerine ait TGA/DTG eğrisi.



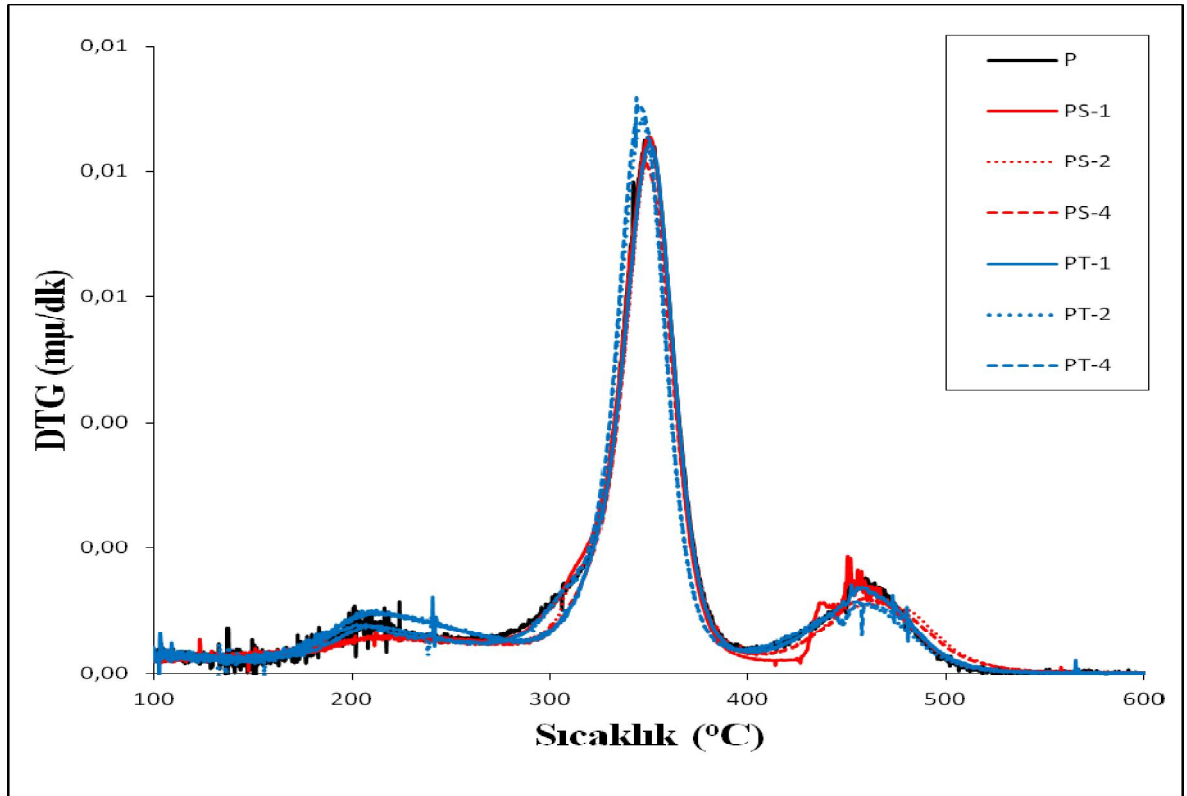
Şekil 78: %96 PVAc/4% TiO₂ nanopartikül numunelerine ait TGA/DTG eğrisi.

Elde edilen sonuçların daha iyi analizi için bu kompozitleri tek grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu grafiğin yorumlanmasıyla kompozitlerin termal özelliklerindeki değişimler analiz edilmiştir. Şekil 79' da Saf PVAc ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarına ait karşılaştırmalı TGA eğrileri verilmiştir.



Şekil 79: Saf PVAc ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarına (%99 PVAc/%1 SiO₂ nanopartikül, %98 PVAc/%2 SiO₂ nanopartikül, %96 PVAc/%4 SiO₂ nanopartikül, %99 PVAc/%1 TiO₂ nanopartikül, %98 PVAc/%2 TiO₂ nanopartikül, %96 PVAc/%4 TiO₂ nanopartikül) ait karşılaştırmalı TGA eğrileri.

Şekil 80' de Saf PVAc ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarına ait karşılaştırmalı DTG eğrileri verilmiştir.



Şekil 80: Saf PVAc ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarına (%99 PVAc/%1 SiO₂ nanopartikül, %98 PVAc/%2 SiO₂ nanopartikül, %96 PVAc/%4 SiO₂ nanopartikül, %99 PVAc/%1 TiO₂ nanopartikül, %98 PVAc/%2 TiO₂ nanopartikül, %96 PVAc/%4 TiO₂ nanopartikül) ait karşılaştırmalı DTG eğrileri.

Tablo 18’de Saf PVAc ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarına ait termal özellikleri verilmiştir.

Tablo 18: Saf PVAc ve nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarına ait Termal Özellikleri.

Örnek Kodu	T5	T10	T50	T80	DTG _{max}	Kütle Kaybı (%)
P	224	285	352	437	349	97,2
PS-1	237	296	353	452	349	93,7
PS-2	235	299	355	458	350	93,2
PS-4	231	300	356	468	347	89,8
PT-1	214	286	353	445	349	95,2
PT-2	223	290	350	451	346	90,7
PT-4	227	291	350	445	343	93,3

Not: T_{%5,10,50,80}; %5,10,50 ve 80 kütle kaybının meydana geldiği sıcaklık (°C), DTG_{max}-maksimum kütle kaybının meydana geldiği sıcaklık (°C) göstermektedir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde Silisyum dioksit nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan örneklerde içerisindeki nanopartikül içeriğinin artması ile T%5, %10, %30, %50, %80' deki kütle kayıplarının meydana geldiği sıcaklıklarda genel bir artış olduğu görülmektedir. Literatürde polimere nano ölçekte inorganik tanecikler eklendiğinde bu taneciklerle polimer arasında bağlar oluşmakta, oluşan bağlar polimer zincirlerinin hareketlerini kısıtlamakta olduğu belirtilmektedir (Çabuk vd., 2011). Bu durumun termal kararlılığı artmasına neden olduğu söylenebilir. Titanyum Dioksit nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan örneklerde T%5, %10, %30, %50, %80' deki kütle kayıplarının meydana geldiği sıcaklıklarda artan Titanyum Dioksit oranı ile küçük miktarlarda azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni TiO₂ eklenmesi ile polimer zincirleri arasındaki bağların zayıflaması söylenebilir (Çelebi ve Dehmen, 2013).

3.2 Nanopartikül Takviyeli PVAc Tutkalının Performans Testleri

3.2.1 Kuru Durumda Yapışma Direnci Testi

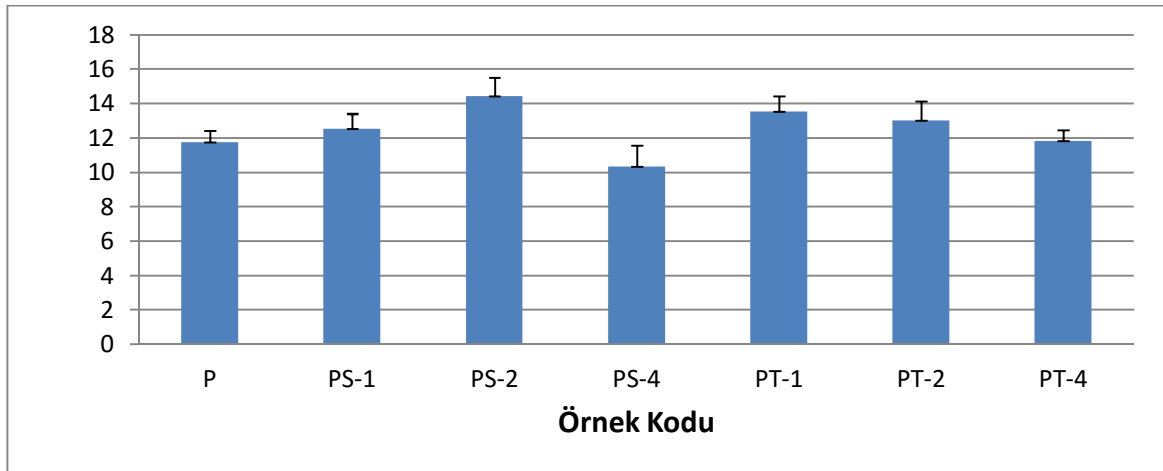
Kuru durumda yapışma direnci testi deneyi sonucunda elde edilen değerler Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19: Nanopartiküllerin PVAc tutkalının kuru durumda yapışma dirençleri.

Örnek Kodu	Örnek Sayısı	$\bar{X}$ (N/mm ²)	S ($\pm$)	V (%)
P	20	11,75	0,69	5,87
PS-1	20	12,54	0,87	6,93
PS-2	20	14,42	1,09	7,55
PS-4	20	10,34	1,24	11,99
PT-1	20	13,54	0,91	6,72
PT-2	20	13,02	1,11	8,52
PT-4	20	11,83	0,63	5,32

Not: $\bar{X}$, Aritmetik Ortalama; s , standart sapma; v , varyasyon katsayısı

Şekil 81’de Nanopartiküllerin PVAc tutkalının kuru durumda yapışma direnci üzerine etkileri gösterilmiştir.



Şekil 81: Nanopartiküllerin PVAc tutkalının yapışma direnci üzerine etkileri.

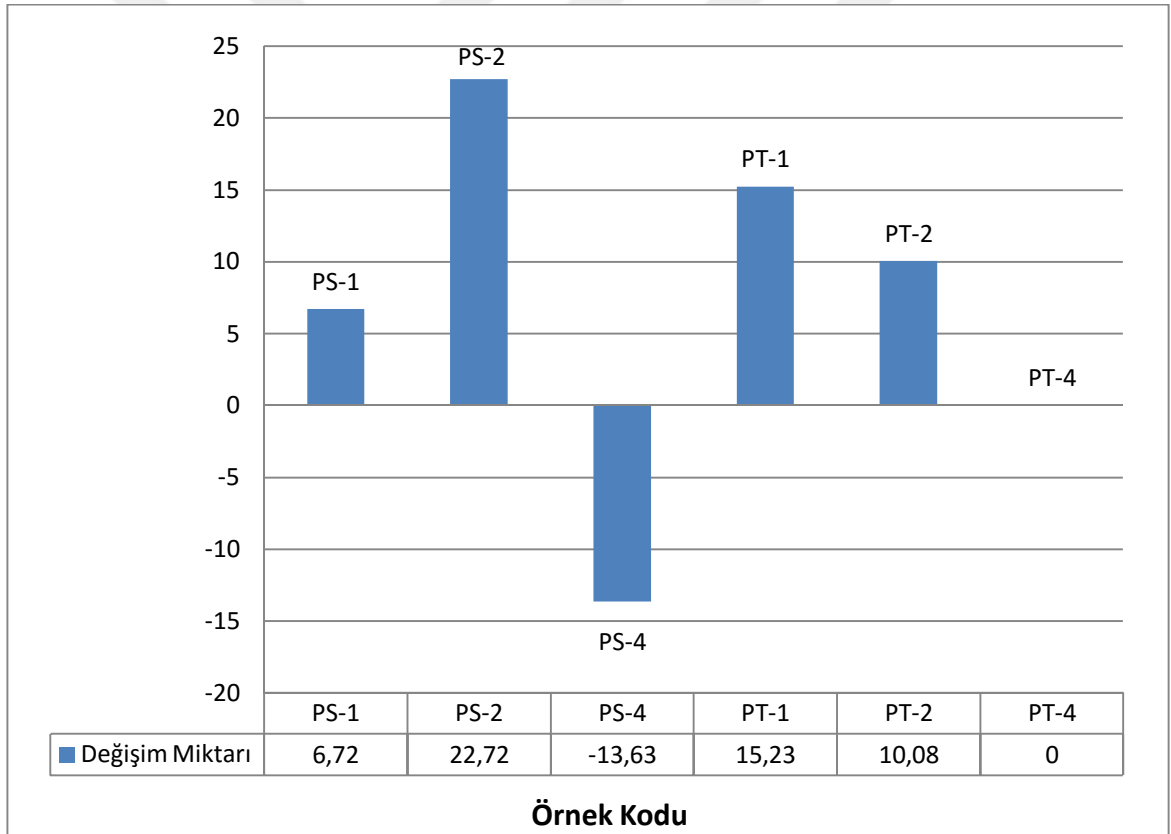
Deney sonrasında elde edilen sonuçların, kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında elde edilen yüzde değişimleri (YD) değerleri Eşitlik 5 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$YD(\%) = \frac{D2-D1}{D1} \times 100 \quad (5)$$

D1= Kontrol örneğinin kuru durumda yapışma direnci testi ortalama değeri

D2= Nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarının kuru durumda yapışma direnci testi ortalama değeri

Nanopartikül takviyeli tutkalların, kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında elde edilen yüzde değişimleri Şekil 82’de gösterilmiştir.



Şekil 82: Nanopartikül takviyeli tutkalların, kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında elde edilen yüzde değişimleri.

Nanopartiküllerin PVAc tutkalının yapışma direnci üzerine etkilerini belirlemek için tek yönlü varyans analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20: Nanopartiküllerin PVAc tutkalının kuru durumda yapışma direnci üzerine etkilerine ait tek yönlü varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	214,7	6	35,8	38,5	0,00
Gruplar İçinde	123,6	133	0,9		
Toplam	338,3	139	*p < 0,05		

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucunda gruplar arasında $p < 0,05$ anlamlılık düzeyinde önemli bir ilişki olduğu saptanmıştır. Bu farklılığın hangi örnekler arasında anlamlı olduğunu belirlemek içinde Duncan testi yapılmıştır. Tablo 21’de nanopartiküllerin PVAc tutkalının kuru durumda yapışma direnci üzerine etkilerine etkisine ait Duncan testi sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 21: Nanopartiküllerin PVAc tutkalının kuru durumda yapışma direnci üzerine etkilerine etkisine ait Duncan testi sonuçları.

Örnek Kodu	Ortalama Yapışma Direnci (N/mm ²)	Duncan Testi
P	11,75	B
PS-1	12,55	C
PS-2	14,42	E
PS-4	10,34	A
PT-1	13,54	D
PT-2	13,03	CD
PT-4	11,84	B

Nanokompozitler ile ilgili önceki çalışmalarda polimerlere nanopartikül ilave edildiğinde mekanik özelliklerinin artışı vurgulanmaktadır (Islam vd., 2013). Bu özelliklerdeki artışı polimer ve nanopartikül arasındaki muazzam arayüzey alanı ile açıklanabilir (Zhai vd., 2008). Güçlü bir arayüzeye sahip kompozit malzemelerin mukavemeti yüksek, sünekliliği düşüktür. Zayıf bir arayüzey yapısına sahip malzemelerin ise mukavemeti düşük kırılma direnci yüksektir (Gür ve Turan, 2004). Bu da yapışma performansını artırmış olabilir. Belirli bir noktaya kadar nanopartikül oranında ki artış yapışma performansını artırmıştır. Bir noktadan sonra ise azalmıştır yada değişmemiştir. Bunun sebebi olarak nano partikül oranı arttıkça polimer içinde homojen dağılımının zorlaşması gösterilebilir. Nano partiküllerle takviye edilmiş epoxy yapıştırıcılar kullanılarak oluşturulmuş lambalı birleştirmelerde nanopartiküllerin makaslama direnci üzerine etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada ağırlıkça % 1,5 karbon siyah nanopartikül içeren lambalı birleştirmelerin makaslama direnci nanopartikülsüz birleştirmelerden %48 daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte epoxy tutkalının % 1,5 oranından daha fazla nanopartikül içermesi durumunda makaslama direncinde azalma olduğu belirtilmiştir. (Park vd., 2009). Bu durum nanopartiküllerin epoxy tutkalı içerisinde homojen dağılmamış olması ile açıklanmaktadır.

3.2.2 Islak Durumda Yapışma Direnci Testi

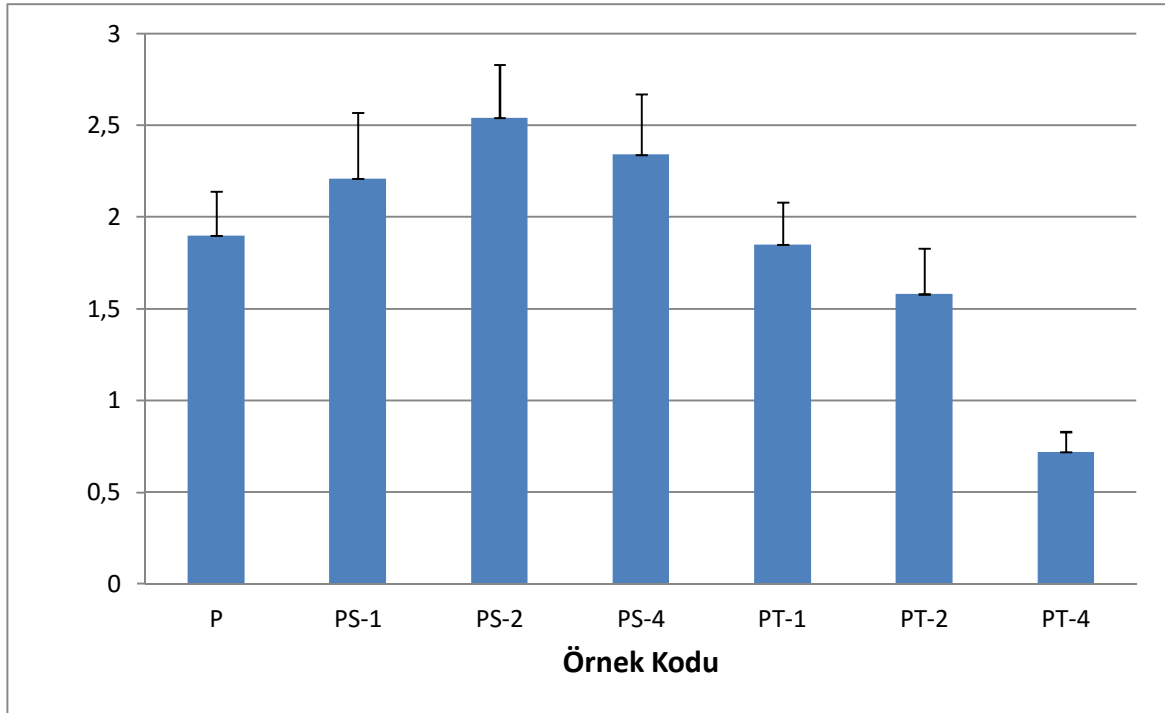
Islak durumda yapışma direnci testi deneyi sonucunda elde edilen değerler Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22: Nanopartiküllerin PVAc tutkalının ıslak durumda yapışma dirençleri.

Örnek Kodu	Örnek Sayısı	$\bar{X}$ (N/mm ²)	S ($\pm$)	V (%)
P	20	1,90	0,24	12,63
PS-1	20	2,21	0,36	16,28
PS-2	20	2,54	0,29	11,41
PS-4	20	2,34	0,33	11,10
PT-1	20	1,85	0,23	12,43
PT-2	20	1,58	0,25	15,82
PT-4	20	0,72	0,11	15,28

Not: $\bar{X}$, Aritmetik Ortalama; s , standart sapma; v , varyasyon katsayısı

Şekil 83’de Nanopartiküllerin PVAc tutkalının ıslak durumda yapışma performansı üzerine etkileri gösterilmiştir.



Şekil 83: Nanopartiküllerin PVAc tutkalının ıslak durumda yapışma direnci.

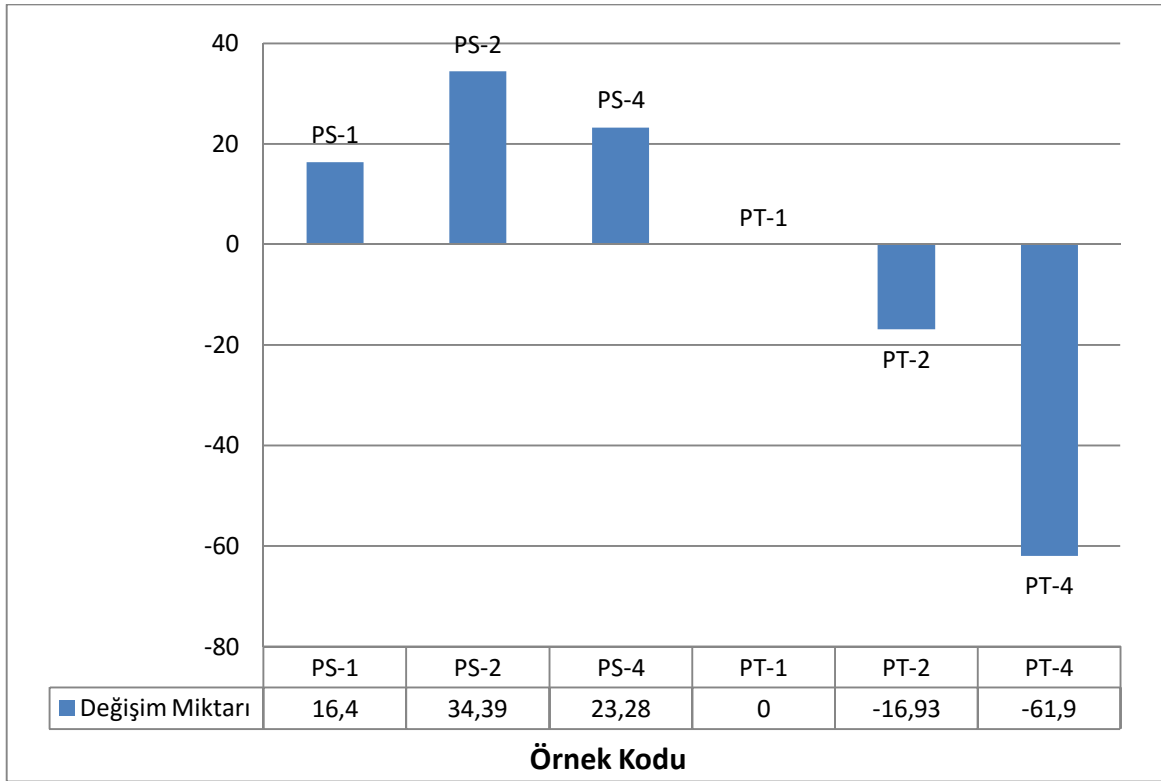
Deney sonrasında elde edilen sonuçların, kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında elde edilen yüzde değişimleri (YD) değerleri Eşitlik 6 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$YD (\%) = \frac{D2-D1}{D1} \times 100 \quad (6)$$

D1= Kontrol örneğinin ıslak durumda yapışma direnci testi ortalama değeri

D2= Nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarının ıslak durumda yapışma direnci testi ortalama değeri

Nanopartikül takviyeli tutkalların, kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında elde edilen yüzde değişimleri Şekil 84’de gösterilmiştir.



Şekil 84: Nanopartikül takviyeli tutkalların, kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında elde edilen yüzde değişimleri.

Nanopartiküllerin PVAc tutkalının ıslak durumda yapışma direnci üzerine etkilerini belirlemek için tek yönlü varyans analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 23’de verilmiştir.

Tablo 23: Nanopartiküllerin PVAc tutkalının ıslak durumda yapışma direnci üzerine etkilerine ait tek yönlü varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	43,72	6	7,29	40,73	0,00
Gruplar İçinde	23,79	133	0,18		
Toplam	67,51	139	*p<0,05		

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucunda gruplar arasında $p<0,05$ anlamlılık düzeyinde önemli bir ilişki olduğu saptanmıştır. Bu farklılığın hangi örnekler arasında anlamlı olduğunu belirlemek içinde Duncan testi yapılmıştır. Tablo 24’de nanopartiküllerin PVAc tutkalının yapışma direnci üzerine etkilerine etkisine ait Duncan testi sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 24: Nanopartiküllerin PVAc tutkalının ıslak durumda yapışma direnci üzerine etkilerine etkisine ait Duncan testi sonuçları.

Örnek Kodu	Ortalama Yapışma Direnci (N/mm ²)	Duncan Testi
P	1,90	C
PS-1	2,21	D
PS-2	2,54	E
PS-4	2,34	ED
PT-1	1,85	C
PT-2	1,58	B
PT-4	0,72	A

Bu sonuçlar dikkate alındığında, nanopartiküllerin PVAc tutkalına eklenmesinin su direnci dayanımı üzerinde olumlu etkilerinin olduğu söylenebilir. Silisyum Dioksit nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan PVAc tutkallarında su direnci dayanımda artış görülmektedir. Literatürde polimerlerin bariyer özellikleri nanopartiküller ilave edilmesi ile önemli ölçüde değiştirilebileceği vurgulanmaktadır. Polimer içine gömülü nanopartiküller suyun yada oksijenin difüzyon yolunu değiştirmektedir (Paul ve Robeson, 2008). Bunun sonucu olarak bariyer özellikleri iyileştirilebilmektedir. Şekil 85’de nanopartikül takviyeli polimer ile takviyesiz polimerin difüzyon yolu görülmektedir. (Silvestre ve Duraccio, 2011). Su dayanım özelliklerindeki gelişme nanopartiküllerin PVAc tutkalının bariyer özelliklerini iyileştirmesi ile açıklanabilir.



Şekil 85: Nanopartikül takviyeli polimer ile takviyesiz polimerin difüzyon yolu (Silvestre ve Duraccio, 2011).

Titanyum Dioksit nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan PVAc tutkallarında %1 oranına kadar su direnci dayanımında olumsuz bir etki saptanmamıştır. Fakat %1 oranından sonra düşüş görülmektedir. Bunun sebebi olarak Titanyum Dioksit nanopartiküllerinin hidrofilik Silisyum Dioksit ile kaplı olması gösterilebilir. Yapılan bir çalışmada hidroksil gruplarının fazla bulunmasının polimerin su absorpsiyonunu artırdığı aktarılmaktadır (She vd., 2011). Bu durum su direnci dayanımdaki düşüşün nedeni olarak gösterilebilir.

3.2.3 Yüksek Sıcaklıkta Yapışma Direnci Testi

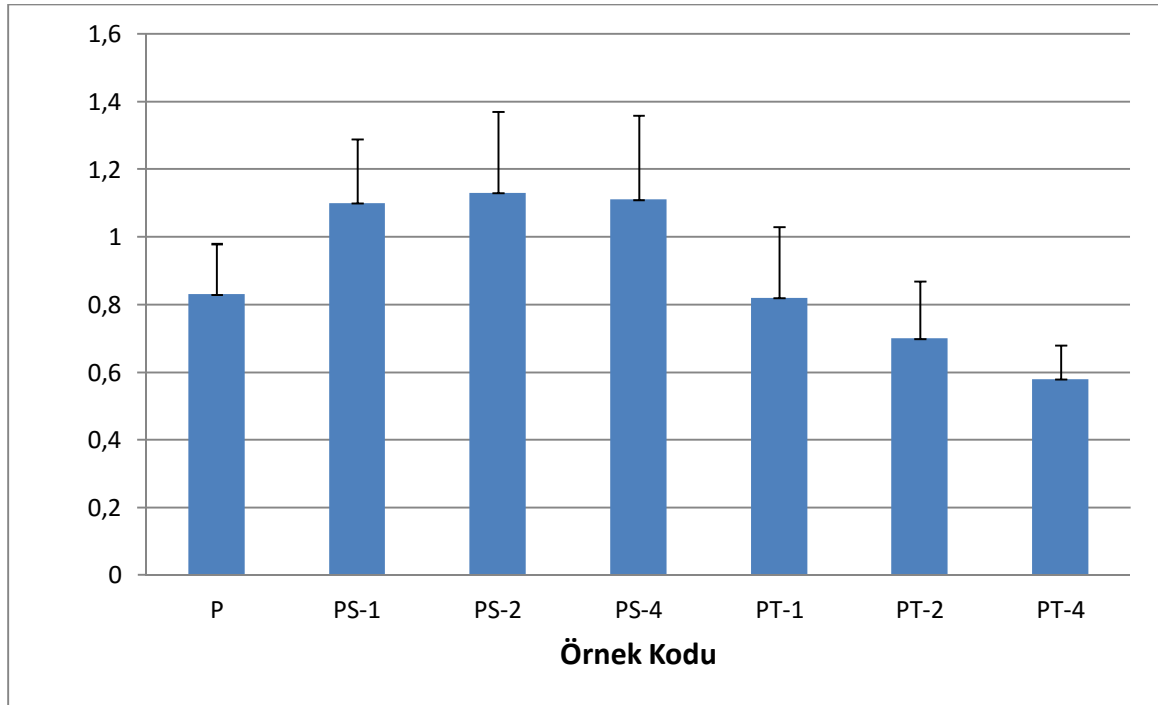
Nanopartikül takviyeli PVAc ile yapıştırılan yüksek sıcaklıkta yapışma direnci testi örneklerine ait ortalama değerler, standart sapma ve varyasyon katsayısı Tablo 25’de verilmiştir.

Tablo 25: Yüksek sıcaklıkta yapışma direnci testi örneklerine ait ortalama değerler, standart sapma ve varyasyon katsayısı.

Örnek Kodu	Örnek Sayısı	$\bar{X}$ (N/mm ²)	S ($\pm$)	V (%)
P	20	0,83	0,15	18
PS-1	20	1,10	0,19	17
PS-2	20	1,13	0,24	21
PS-4	20	1,11	0,25	23
PT-1	20	0,82	0,21	26
PT-2	20	0,70	0,17	24
PT-4	20	0,58	0,10	17

Not: $\bar{X}$, Aritmetik Ortalama; s , standart sapma; v , varyasyon katsayısı

Şekil 86’da nanopartiküllerin PVAc tutkalının *yüksek sıcaklıkta yapışma* direnci üzerine etkileri gösterilmiştir.



Şekil 86: Nanopartiküllerin PVAc tutkalının yüksek sıcaklıkta yapışma direnci üzerine etkileri.

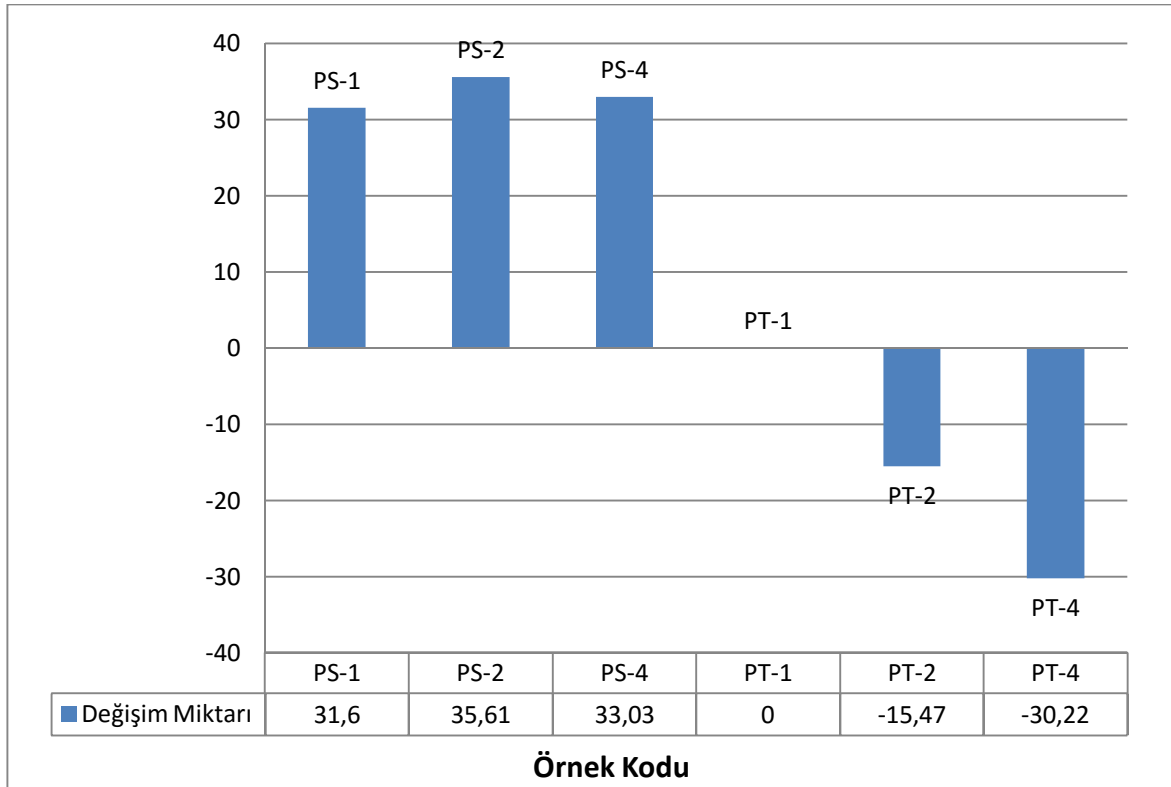
Deney sonrasında elde edilen sonuçların, kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında elde edilen yüzde değişimleri (YD) değerleri Eşitlik 7 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$YD (\%) = \frac{D2-D1}{D1} \times 100 \quad (7)$$

D1= Kontrol örneğinin yüksek sıcaklıkta yapışma direnci testi ortalama değeri

D2= Nanopartikül takviyeli PVAc tutkallarının yüksek sıcaklıkta yapışma direnci testinin ortalama değeri

Nanopartikül takviyeli tutkalların, kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında elde edilen yüzde değişimleri şekil 87’de gösterilmektedir.



Şekil 87:Nanopartikül takviyeli tutkalların, kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında elde edilen yüzde değişimleri.

Nanopartiküllerin PVAc tutkalının yüksek sıcaklıkta yapışma direnci üzerine etkilerini belirlemek için tek yönlü varyans analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 26’da verilmiştir.

Tablo 26: Nanopartiküllerin, yüksek sıcaklıkta yapışma testi üzerine etkilerine ait tek yönlü varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	5,693	6	0,949	25,363	000
Gruplar İçinde	4,976	133	0,037		
Toplam	10,669	139	* p < 0,05		

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucunda gruplar arasında $p < 0,05$ anlamlılık düzeyinde önemli bir ilişki olduğu saptanmıştır. Bu farklılığın hangi örnekler arasında anlamlı olduğunu belirlemek içinde Duncan testi yapılmıştır. Tablo 27’de nanopartiküllerin, PVAc tutkalının yüksek sıcaklıkta yapışma direnci üzerine etkilerine ait Duncan testi sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 27: Nanopartiküllerin PVAc tutkalının yüksek sıcaklıkta yapışma direnci üzerine etkilerine etkisine ait Duncan testi sonuçları.

Örnek Kodu	Ortalama Yapışma Direnci (N/mm ²)	Duncan Testi
P	0,83	B
PS-1	1,10	A
PS-2	1,13	A
PS-4	1,11	A
PT-1	0,82	BC
PT-2	0,70	C
PT-4	0,58	D

Sonuçlar değerlendirildiğinde; nanopartiküllerin PVAc tutkalına eklenmesinin sıcaklık dayanımı üzerinde farklı etkilerinin olduğu söylenebilir. Silisyum Dioksit nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan PVAc tutkallarında sıcaklık dayanımında %31,60 ile 35,61 arasında değişen artışlar görülmektedir. Literatürde polimere nano ölçekte inorganik tanecikler eklendiğinde bu taneciklerle polimer arasında bağlar oluşmakta, oluşan bağlar polimer zincirlerinin hareketlerini kısıtlamakta olduğu belirtilmektedir (Çabuk vd., 2011). Titanyum Dioksit nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan PVAc tutkallarında %1 oranına kadar sıcaklık dayanımında olumsuz bir etki saptanmamıştır. Fakat %1 oranından sonra % - 15,47 ile %-30,22 arasında değişen düşüşler görülmektedir. Bunun sebebi olarak TiO₂ eklenmesi ile polimer zincirleri arasındaki bağların zayıflaması ve nanopartikül oranı artıkça polimer içinde homojen dağılımının zorlaşması gösterilebilir (Park, 2009 ve Çelebi, 2013).

3.3 Nanopartikül Takviyeli PVAc Tutkalı Kullanılarak Oluşturulmuş Mobilya Birleştirmelerinin Mekanik Performans Testleri ve Deformasyon Analizi

3.3.1 Lambalı Zıvanalı Birleştirmelerin Eğilme Direnci Testi

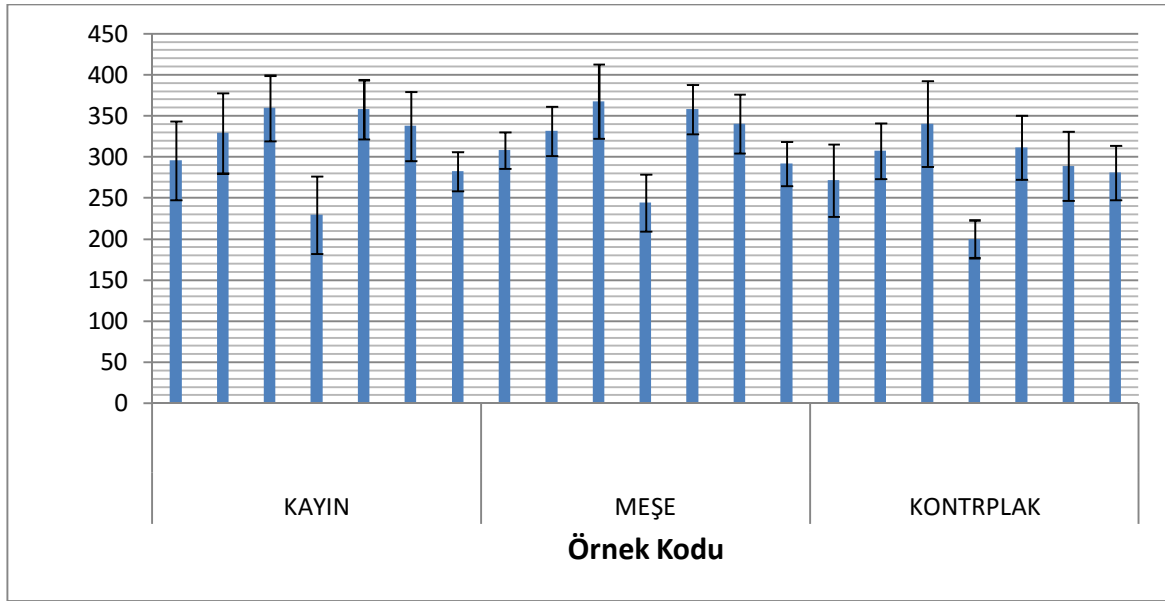
Nanopartikül takviyeli PVAc ile yapıştırılan lamba zıvanalı birleştirmelerin eğilme direnci testi örneklerine ait ortalama değerler, maksimum eğilme direnci, maksimum eğilme momenti, standart sapma ve varyasyon katsayısı Tablo 28’de verilmiştir.

Tablo 28: Lamba zıvanalı birleştirmelerin eğilme direnci testi örneklerine ait ortalama değerler, maksimum eğilme momenti, standart sapma, varyasyon katsayısı.

Örnek Kodu	Maksimum Eğilme Direnci (N)			Maksimum Eğilme Momenti Taşıma Kapasitesi (N.mm)	
	$\bar{X}$ (N)	S ($\pm$)	V (%)	$\bar{X}$ (N.mm)	S ($\pm$)
P0K	295,60	48	16	70944	11526
P0M	308,20	49	15	73968	11657
P0L	271,80	40	15	65232	9798
S1K	329,25	47	14	79020	11278
S1M	331,40	36	10	79536	8709
S1L	307,62	42	13	73829	9970
S2K	359,50	24	6	86280	5863
S2M	367,80	22	6	88272	5297
S2L	340,60	30	9	81744	7369
S4K	229,75	45	19	55140	10756
S4M	244,42	35	14	58660	8452
S4L	200,42	30	14	48096	7103
T1K	358,00	36	10	85920	8619
T1M	358,42	27	7	86016	6495
T1L	311,58	44	14	74784	10498
T2K	337,75	34	10	81060	8268
T2M	340,58	52	15	81744	12555
T2L	289,21	23	8	69408	5432
T4K	282,58	39	13	67824	9245
T4M	292,00	42	14	70080	10113
T4L	280,79	33	11	67392	7991

Not: $\bar{X}$, Aritmetik Ortalama; s , standart sapma; v , varyasyon katsayısı

Şekil 88’de nanopartiküllerin eğilme direnci testi üzerine etkileri gösterilmiştir.



Şekil 88: Nanopartiküllerin eğilme direnci testi üzerine etkileri.

Nanopartikül tipinin, nanopartikül oranının ve malzeme türünün lamba zıvanalı birleştirmelerin eğilme testi üzerine etkilerini belirlemek için çoklu varyans analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 29’da verilmiştir.

Tablo 29: Nanopartikül tipinin, nanopartikül oranının ve malzeme türünün lamba zıvanalı birleştirmelerin eğilme testi üzerine etkilerine ait çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	Önem Düzeyi
Corrected Model	198764,648 ^a	20	9938,232	6,849	,000
Intercept	8900656,807	1	8900656,807	6,134E3	,000
Nanopartikül tipi (A)	5032,544	1	5032,544	3,468	,066
Malzeme türü (B)	20871,413	2	10435,707	7,191	,001
Nanopartikül Oranı (C)	129602,067	2	64801,033	44,655	,000
A * B	195,289	2	97,644	,067	,935
A * C	33160,422	2	16580,211	11,426	,000
B * C	948,867	4	237,217	,163	,956
A * B* C	3397,044	4	849,261	,585	,674
Error	121895,200	84	1451,133		
Total	1,017E7	105			
Corrected Total	320659,848	104			

Çoklu varyans analizi sonuçlarına göre nanopartikül oranı ve malzeme türü lamba birleştirmelerinin eğilme direnci üzerindeki etkisi 0,05 hata payı ile istatistiksel olarak anlamlı bulunurken nanopartikül tipi anlamsız bulunmuştur. İkili etkileşimlerden bileşim türü ile nanopartikül oranının etkileşimi eğilme direnci üzerine istatistikî olarak anlamlı bulunmuştur. Gruplar arasındaki farklılıkları belirlemek için elde edilen verilere Duncan Testi uygulanmıştır. Eğilme direncine ait Duncan testi sonuçları Nanopartikül türü faktörünün eğilme direnci üzerindeki etkileri ait duncan testi sonuçları Tablo 30’da gösterilmiştir.

Tablo 30: Eğilme direncinde nanopartikül tipine ait Duncan sonuçları.

Nanopartikül Tipi	Ortalama Eğilme Direnci (N)	Duncan Testi
Saf PVAc	292	A
Nano SiO ₂ takviyeli PVAc	301	A
Nano TiO ₂ takviyeli PVAc	316	A

Nanopartikül tipi açısından sonuçlar değerlendirildiğinde gruplar arasında fark anlamsız çıkmıştır. Bu durumun nedeni olarak nanopartiküllerin benzer özellikler göstermesi ve polimer içindeki nanopartiküllerin oranına bağlı olarak mekanik özelliklerin artması ya da düşmesi gösterilebilir (Mirjalili vd., 2014; Park, 2009). Nanopartikül oranı faktörünün eğilme direnci üzerindeki etkileri ait duncan testi sonuçları Tablo 31’de gösterilmiştir

Tablo 31: Eğilme direncinde nanopartikül oranına ait Duncan sonuçları.

Nanopartikül Oranı	Ortalama Eğilme Direnci (N)	Duncan Testi
%0	291	B
%1	332	A
%2	338	A
%4	255	C

Nanopartikül oranı bakımından değerlendirildiğinde en yüksek eğilme direnci değerleri %1 ve %2 oranlarında, en düşük ise %4 oranlarında görülmüştür. Bu durumun nedeni olarak polimerlere düşük oranlarda nanopartiküller eklendiğinde üstün mekanik performanslar sergilemesi gösterilebilir. Bununla birlikte yüksek mekanik performans için nanopartiküller ve polimer arasındaki güçlü bir kimyasal bağlama oluşması zorunludur. Yüksek oranlarda nanopartiküller polimerlere eklendiğinde topaklaşma gibi kusurlar oluşmakta ve homojen dağılım zorlaşmaktadır. Bu durumun yüksek nanopartikül oranlarında eğilme direncinin düşüş nedeni olarak gösterilebilir (Park, 2009; Mirjalili, 2014). Malzeme türü faktörünün eğilme direnci üzerindeki etkileri ait duncan testi sonuçları Tablo 32’de gösterilmiştir.

Tablo 32: Eğilme direncinde Malzeme türüne ait Duncan sonuçları.

Malzeme Türü	Ortalama Eğilme Direnci (N)	Duncan Testi
Kayın	312	A
Meşe	320	A
Kontrplak	286	B

Malzeme türü açısından bakıldığında doğu kayını ile meşe odunu arasındaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmış ve en yüksek çekme kuvvetleri bu malzemelerde görülmüştür. Bu durum yapıştırma karakterizasyonu ve ahşap türleri ile tutkal entegrasyonu açıklanabilir (Tankut vd., 2014). Aynı zamanda kayın odunun dağınık küçük trahe yapısına sahip olması ve meşe odunun halkalı traheli yapıda olması kuvvetli yapışmaya sebep olarak gösterilebilir (Özçifçi vd., 2009; Uysal vd., 2005).

3.3.2 Lambalı Zıvanalı Birleştirmelerin Çekme Direnci Testi

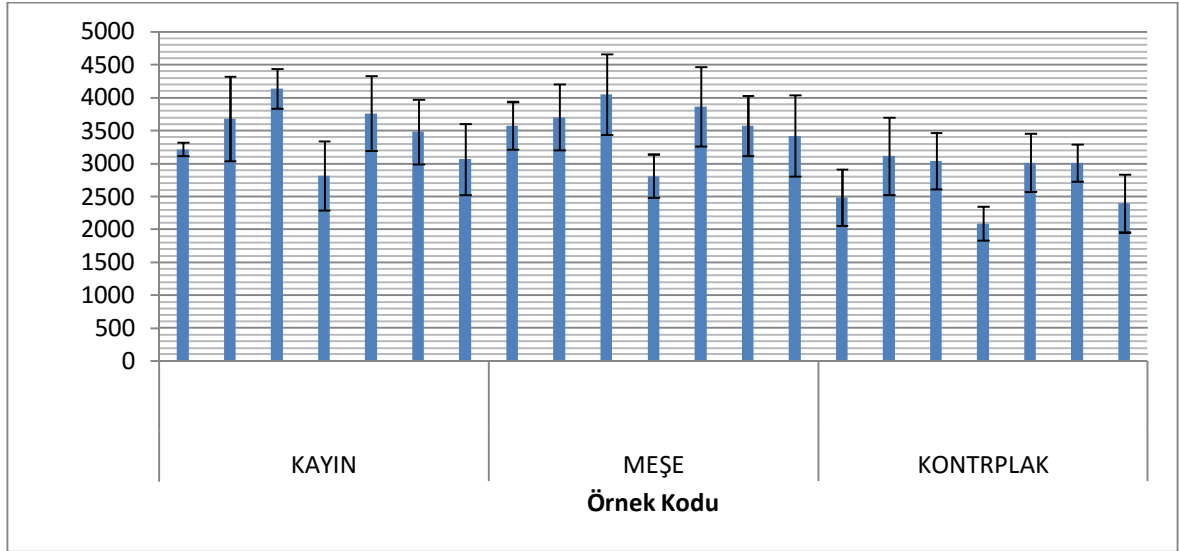
Tablo 33’de nanopartikül takviyeli PVAc ile yapıştırılan lambalı zıvanalı birleştirmelerin çekme direnci testi örneklerine ait ortalama maksimum çekme kuvveti, maksimum çekme direnci, standart sapma ve varyasyon katsayısı verilmiştir.

Tablo 33: Nanopartikül takviyeli PVAc ile yapıştırılan Lambalı zıvanalı birleştirmelerin çekme direnci testi örneklerine ait ortalama maksimum çekme kuvveti, maksimum çekme direnci, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri.

Örnek Kodu	Maksimum Çekme Kuvveti			Maksimum Çekme Direnci	
	$\bar{X}$ (N)	S ($\pm$)	V (%)	$\bar{X}$ (N/mm ²)	S ($\pm$)
P0K	3218,40	106	3	0,88	0,03
P0M	3576,60	360	10	0,98	0,10
P0L	2484,60	427	17	0,68	0,12
S1K	3678,60	643	17	1,00	0,18
S1M	3704,40	503	13	1,01	0,14
S1L	3114,20	589	18	0,85	0,16
S2K	4134,40	303	7	1,13	0,08
S2M	4051,40	614	15	1,11	0,17
S2L	3040,80	427	14	0,83	0,12
S4K	2816,40	526	18	0,77	0,14
S4M	2810,20	330	11	0,77	0,09
S4L	2087,40	257	12	0,57	0,07
T1K	3760,00	570	15	1,03	0,16
T1M	3863,80	600	15	1,05	0,16
T1L	3012,20	440	14	0,82	0,12
T2K	3482,20	492	14	0,95	0,13
T2M	3571,80	456	12	0,97	0,12
T2L	3010,60	283	9	0,82	0,08
T4K	3064,80	540	17	0,84	0,15
T4M	3422,20	621	18	0,93	0,17
T4L	2394,60	441	18	0,65	0,12

Not: $\bar{X}$, Aritmetik Ortalama; s , standart sapma; v , varyasyon katsayısı

Şekil 89’da nanopartiküllerin çekme kuvveti testi üzerine etkiler gösterilmiştir.



Şekil 89: Nanopartiküllerin çekme kuvveti testi üzerine etkileri.

Nanopartikül tipinin, nanopartikül oranının ve malzeme türünün lamba zıvanalı birleştirmelerin çekme testi üzerine etkilerini belirlemek için çoklu varyans analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 34’de verilmiştir.

Tablo 34: Nanopartikül tipinin, nanopartikül oranının ve malzeme türünün lamba zıvanalı birleştirmelerin çekme testi üzerine etkilerine ait çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	Önem Düzeyi
Corrected Model	3,004E7a	20	1501772,892	6,683	,000
Intercept	1,003E9	1	1,003E9	4,464E3	,000
Nanopartikül tipi (A)	5792,044	1	5792,044	,026	,873
Malzeme türü (B)	1,379E7	2	6893306,007	30,675	,000
Nanopartikül Oranı (C)	1,185E7	2	5925477,378	26,368	,000
A * B	177302,956	2	88651,478	,394	,675
A * C	2271540,622	2	1135770,311	5,054	,008
B * C	118375,178	4	29593,794	,132	,970
A * B* C	618738,778	4	154684,694	,688	,602
Error	1,888E7	84	224723,933		
Total	1,160E9	105			
Corrected Total	4,891E7	104			

Çoklu varyans analizi sonuçlarına göre nanopartikül oranı ve malzeme türü lamba zıvanalı birleştirmelerinin çekme kuvveti üzerindeki etkisi 0,05 hata payı ile istatistiksel olarak

önemli bulunurken nanopartikül tipi önemsiz bulunmuştur. İkili etkileşimlerden bileşim türü ile nanopartikül oranının etkileşimi çekme kuvveti üzerine istatistikî olarak anlamlı bulunmuştur. Gruplar arasındaki farklılıkları belirlemek için elde edilen verilere Duncan Testi uygulanmıştır. Nanopartikül tipi faktörünün çekme kuvveti üzerindeki etkileri ait duncan testi sonuçları Tablo 35’de gösterilmiştir.

Tablo 35: Çekme kuvvetinde nanopartikül tipine ait Duncan sonuçları.

Nanopartikül Tipi	Ortalama Çekme Kuvveti (N)	Duncan Testi
Saf PVAc	3093	A
Nano SiO ₂ takviyeli PVAc	3270	A
Nano TiO ₂ takviyeli PVAc	3286	A

Nanopartikül tipi açısından sonuçlar değerlendirildiğinde gruplar arasında fark anlamsız çıkmıştır. Bu durumun nedeni olarak nanopartiküllerin benzer özellikler göstermesi ve polimer içindeki nanopartiküllerin oranına bağlı olarak mekanik özelliklerinin artması ya da düşmesi gösterilebilir (Mirjalili vd., 2014; Park, 2009). Nanopartikül oranı faktörünün çekme kuvveti üzerindeki etkileri ait Duncan testi sonuçları Tablo 36’da gösterilmiştir.

Tablo 36: Çekme kuvvetinde nanopartikül oranına ait Duncan sonuçları.

Nanopartikül Oranı (%)	Ortalama Çekme Kuvveti (N)	Duncan Testi
0	3093	B
1	3522	A
2	3548	A
4	2766	C

Nanopartikül oranı bakımından değerlendirildiğinde en yüksek çekme kuvveti değerleri %1 ve %2 oranlarında, en düşük ise %4 oranlarında görülmüştür. Bu durumun nedeni olarak polimerlere düşük oranlarda nanopartiküller eklendiğinde üstün mekanik performanslar sergilemesi gösterilebilir. Bununla birlikte yüksek mekanik performans için

nanopartiküller ve polimer arasındaki güçlü bir kimyasal bağlama oluşması zorunludur. Yüksek oranlarda nanopartiküller polimerlere eklendiğinde topaklaşma gibi kusurlar oluşmakta ve homojen dağılım zorlaşmaktadır. Bu durumun yüksek nanopartikül oranlarında çekme kuvvetinin düşüş nedeni olarak gösterilebilir (Park, 2009; Mirjalili, 2014). Malzeme türü faktörünün çekme kuvveti üzerindeki etkileri ait Duncan testi sonuçları Tablo 37’de gösterilmiştir.

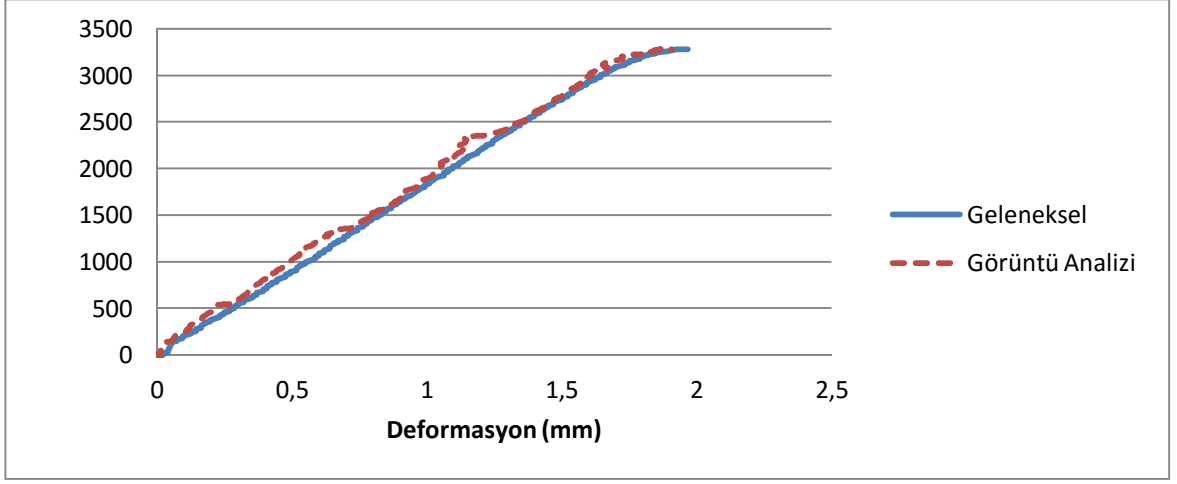
Tablo 37: Çekme kuvvetinde malzeme türüne ait Duncan sonuçları.

Malzeme Türü	Ortalama Çekme Kuvveti (N)	Duncan Testi
Meşe	3571	A
Kayın	3450	A
Kontrplak	2734	B

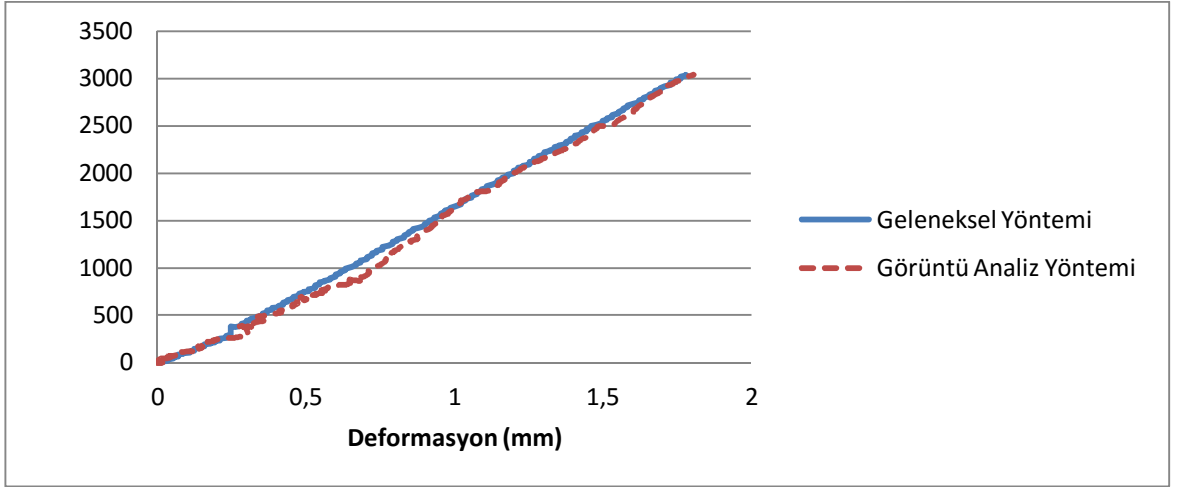
Malzeme türü açısından bakıldığında doğu kayını ile meşe odunu arasındaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmış ve en yüksek çekme kuvvetleri bu malzemelerde görülmüştür. Bu durum yapıştırma karakterizasyonu ve ahşap türleri ile tutkal entegrasyonu açıklanabilir (Tankut vd., 2014). Aynı zamanda kayın odunun dağınık küçük trahe yapısına sahip olması ve meşe odunun halkalı traheli yapıda olması kuvvetli yapışmaya sebep olarak gösterilebilir (Özçifçi vd., 2009; Uysal vd., 2005).

3.3.3 Görüntü Yöntemleri ile Deformasyon Analizi

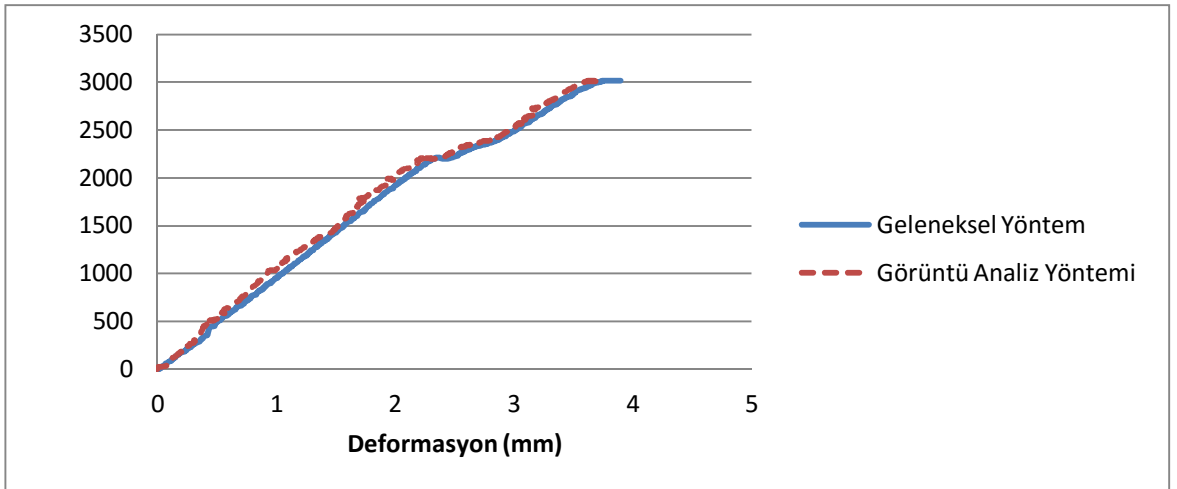
Çekme deneyi boyunca geleneksel ve görüntü analizi yöntemleri ile elde edilen deformasyon sonuçları kaydedilmiştir. Universal test makinasından maksimum yüke karşı okunan deformasyon değerleri ile aynı anda görüntü analizinden elde edilen deformasyon değerlerinin karşılaştırılması Şekil 90-110’da gösterilmiştir.



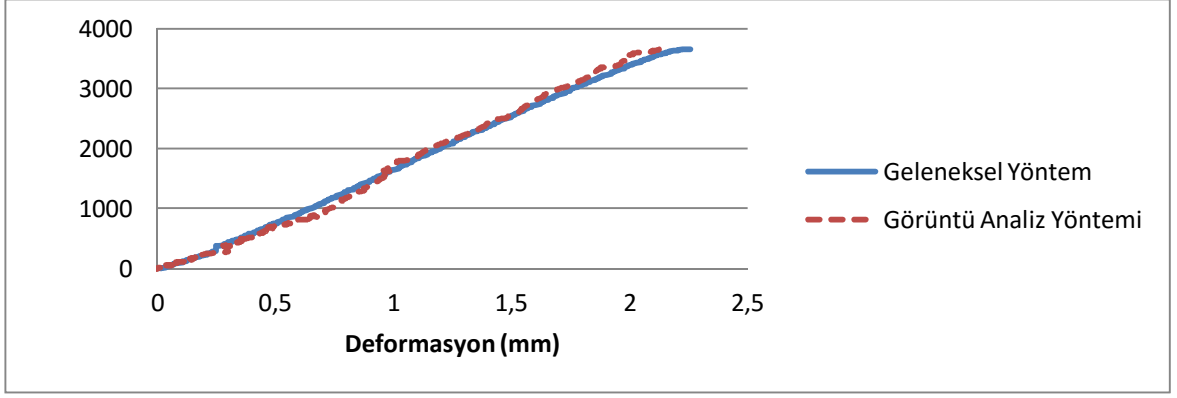
Şekil 90: Kayın türü ve %100 PVAc ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



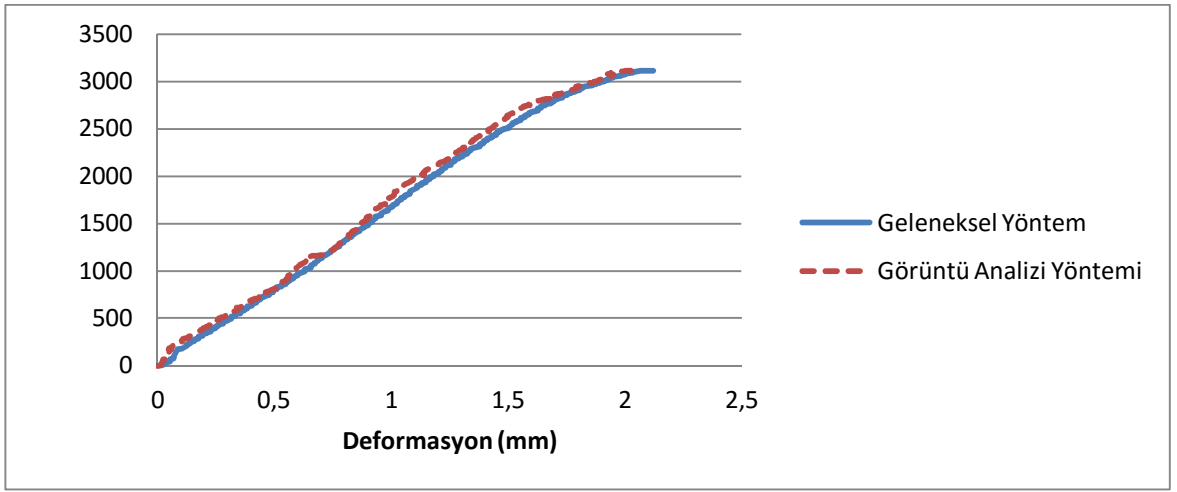
Şekil 91: Meşe türü ve %100 PVAc ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



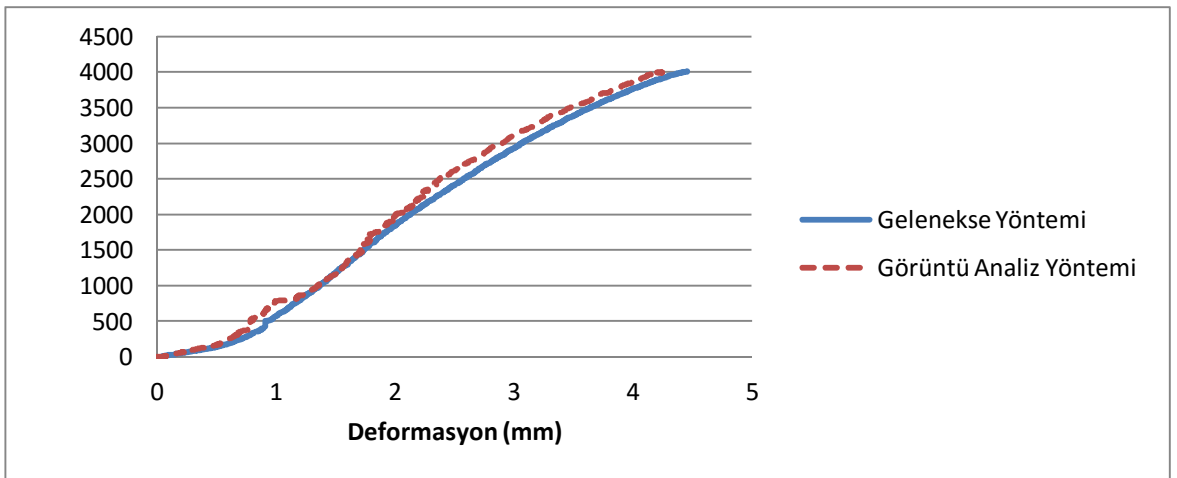
Şekil 92: Lamine ağaç malzeme türü ve %100 PVAc ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



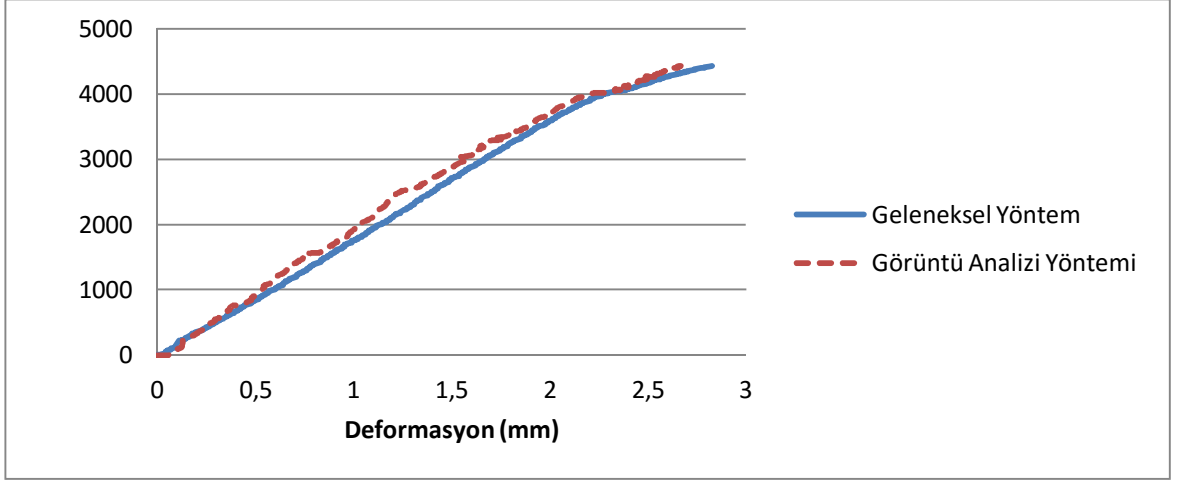
Şekil 93: Kayın türü ve %99 PVAc/%1 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



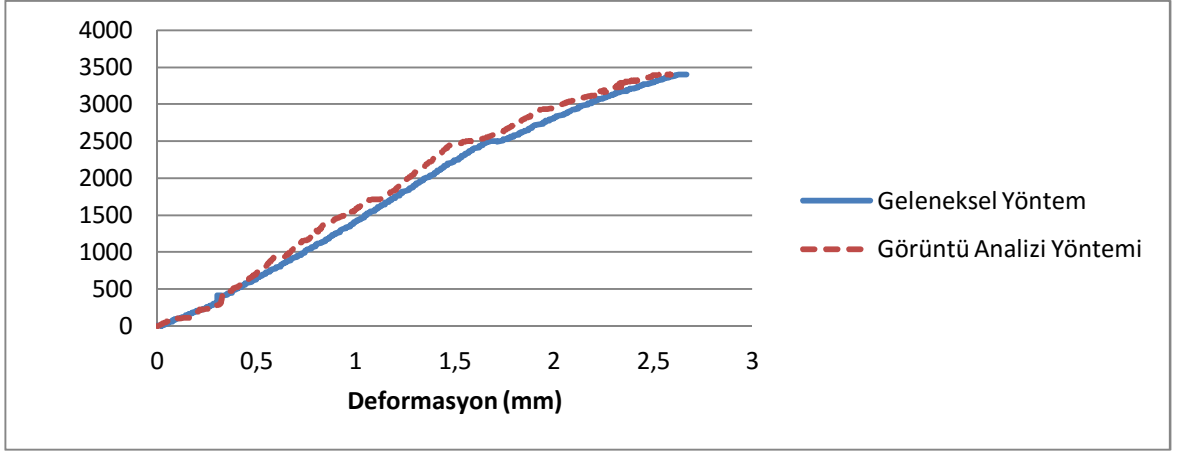
Şekil 94: Meşe türü ve %99 PVAc/ %1 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



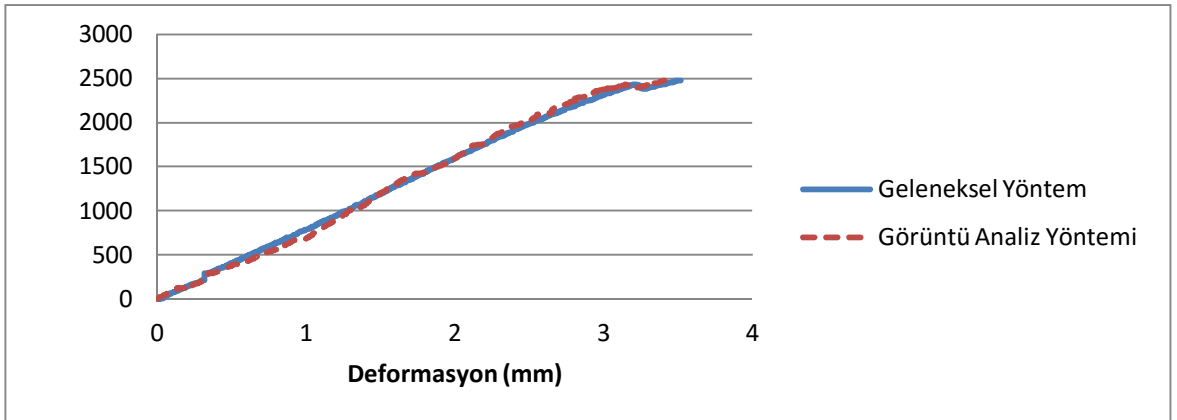
Şekil 95: Lamine ağaç malzeme türü ve %99 PVAc/%1 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



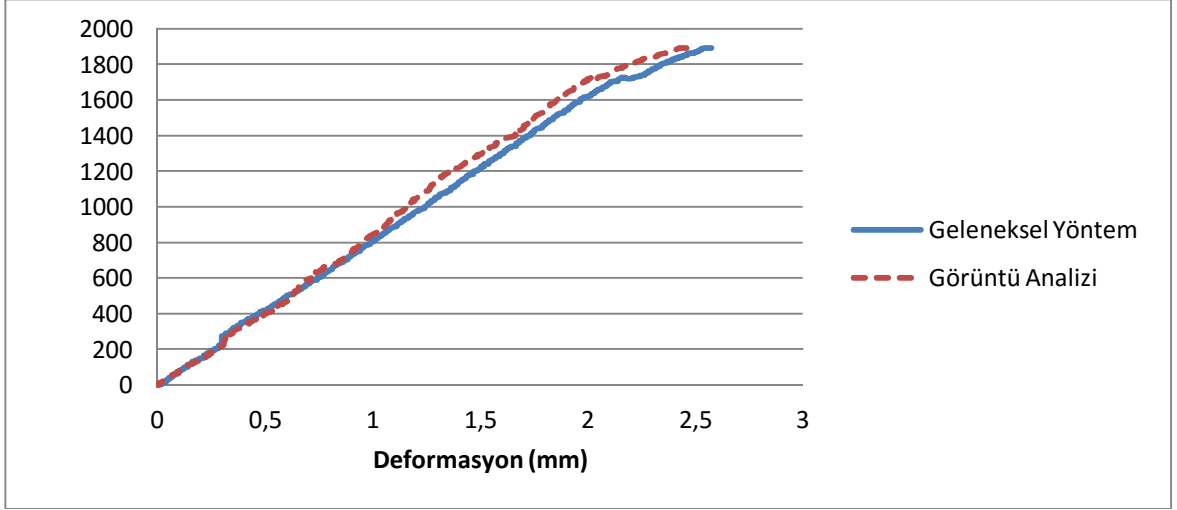
Şekil 96: Kayın türü ve %98 PVAc/%2 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



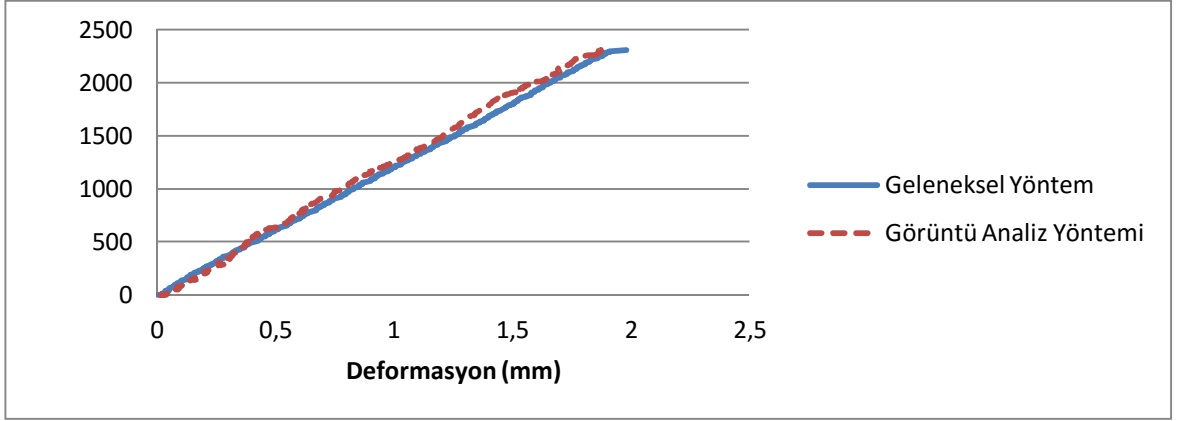
Şekil 97: Meşe türü ve %98 PVAc/%2 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



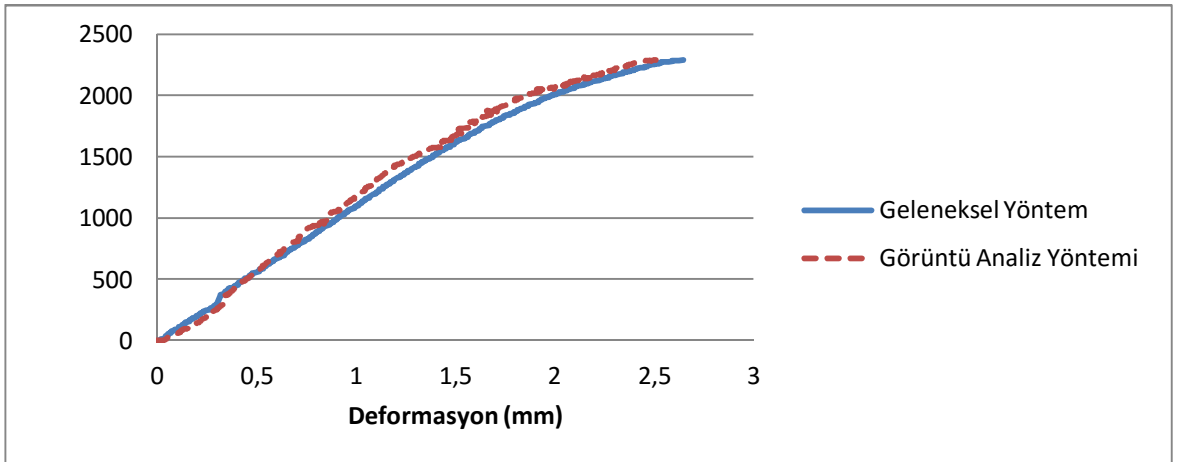
Şekil 98: Lamine ağaç malzeme türü ve %98 PVAc/%2 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



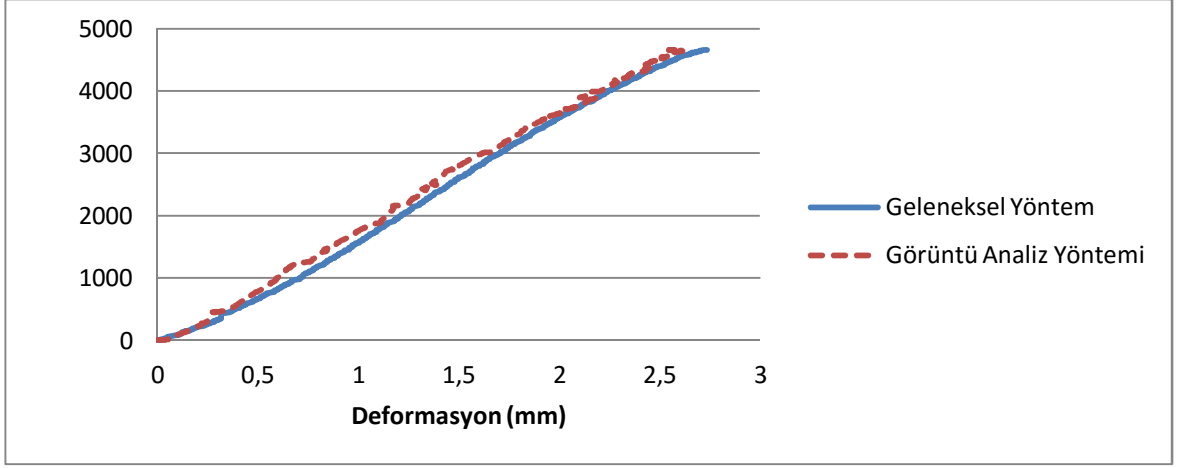
Şekil 99: Kayın türü ve %96 PVAc/%4 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



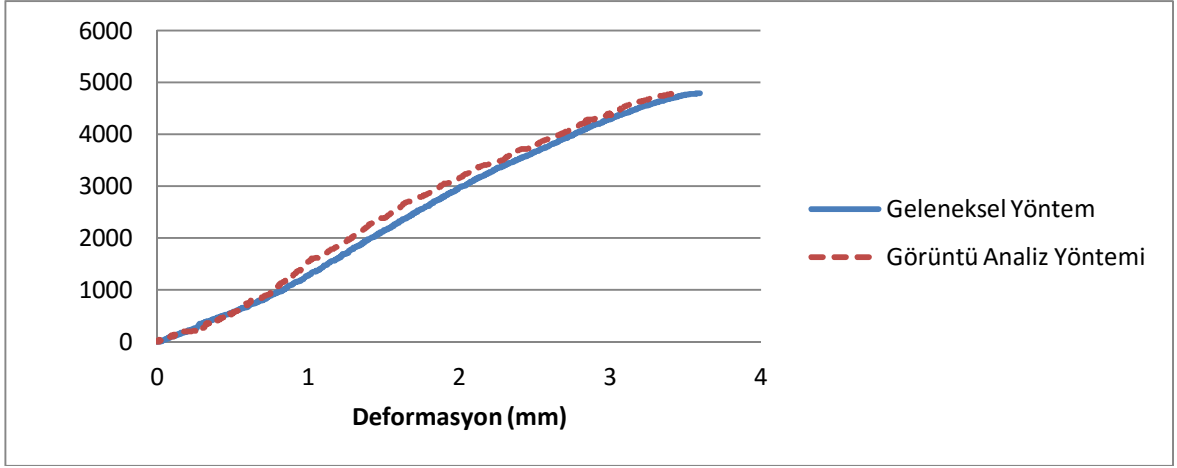
Şekil 100: Meşe türü ve %96 PVAc/%4 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



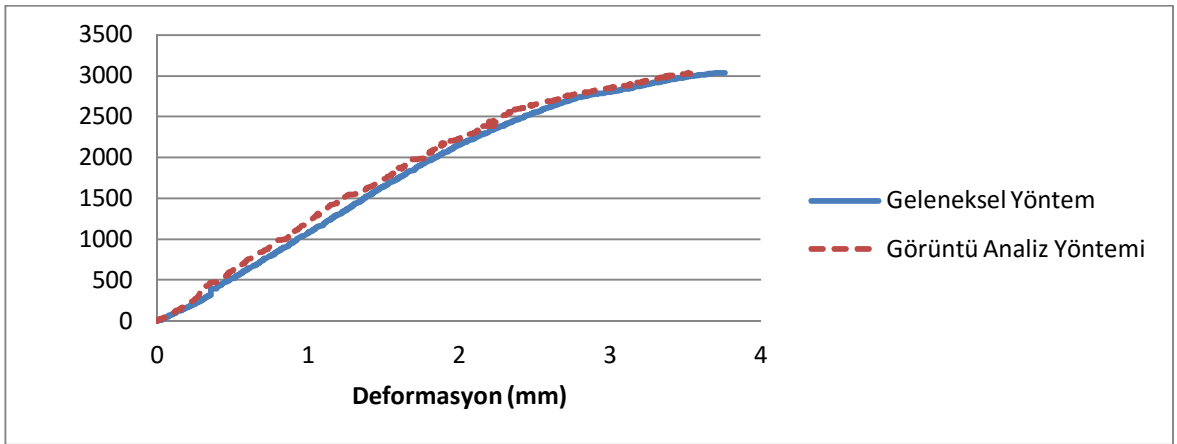
Şekil 101: Lamine ağaç malzeme ve %96 PVAc/%4 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



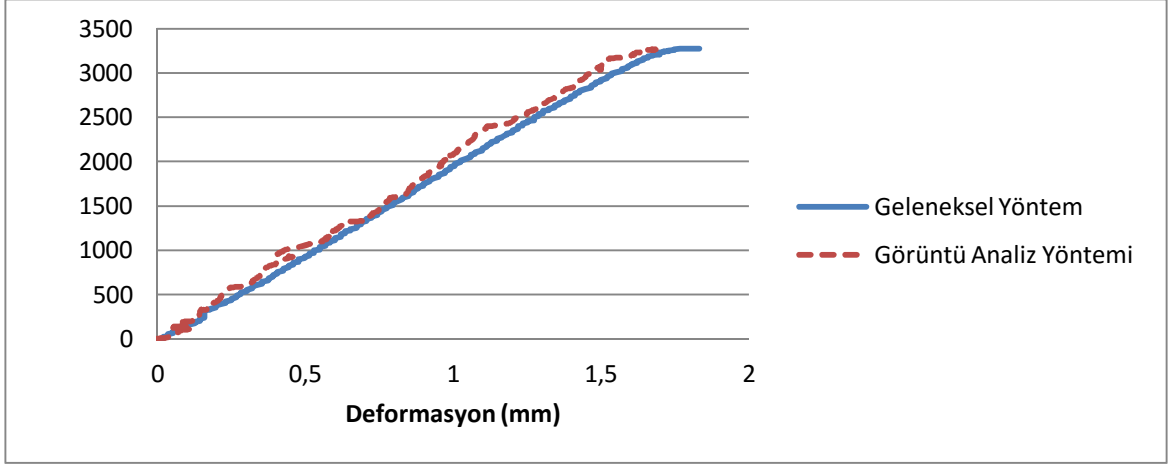
Şekil 102: Kayın türü ve %99 PVAc/%1 TiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



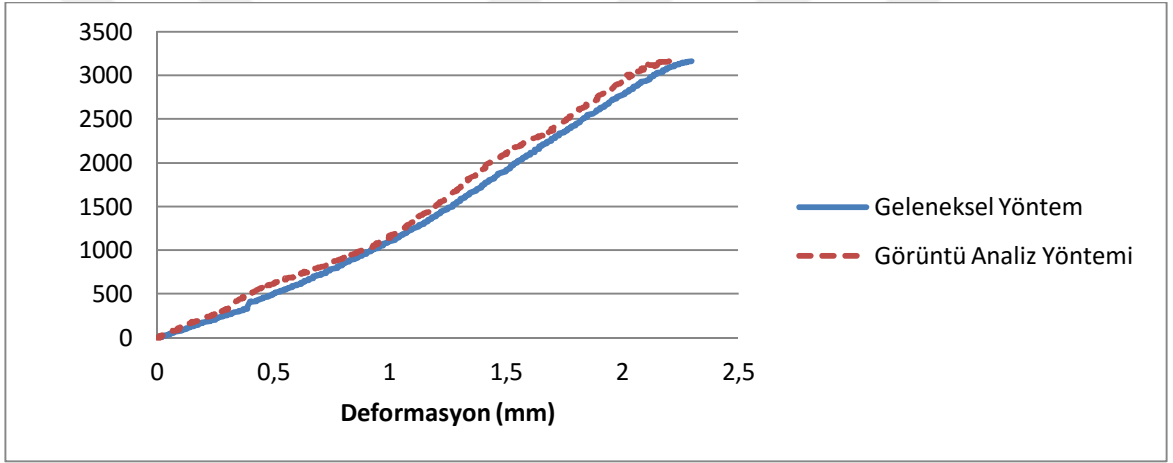
Şekil 103: Meşe türü ve %99 PVAc/%1 TiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



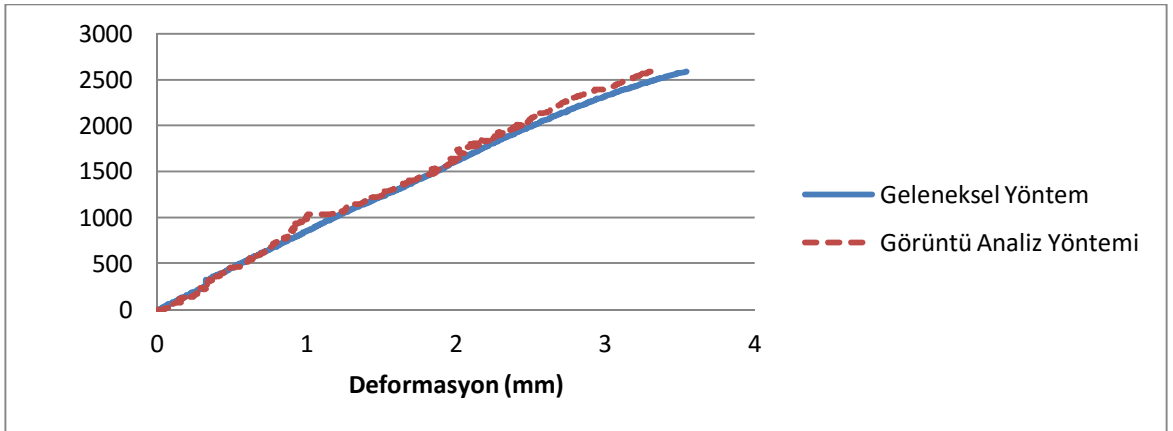
Şekil 104: Lamine ağaç malzeme ve %99 PVAc/%1 TiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



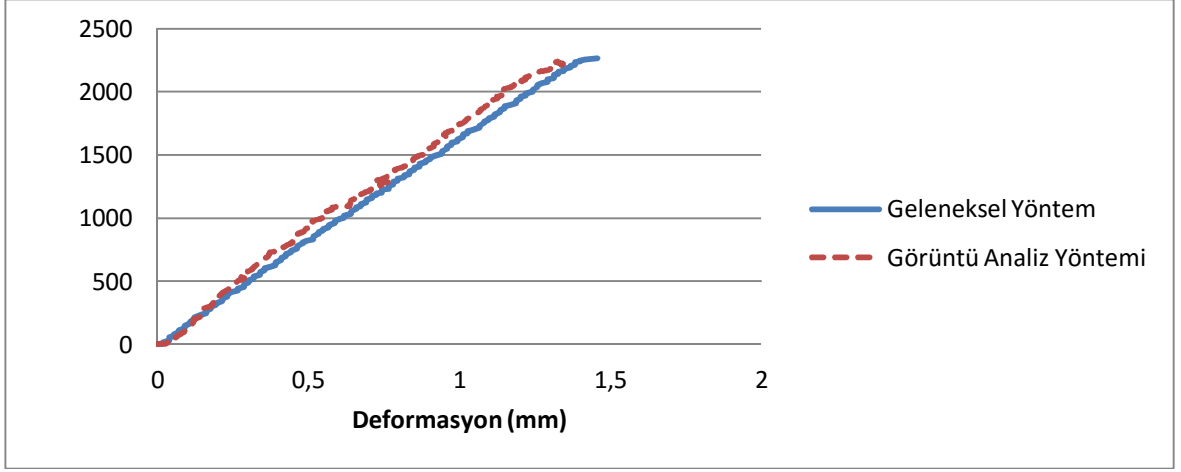
Şekil 105: Kayın türü ve %98 PVAc/%2 TiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



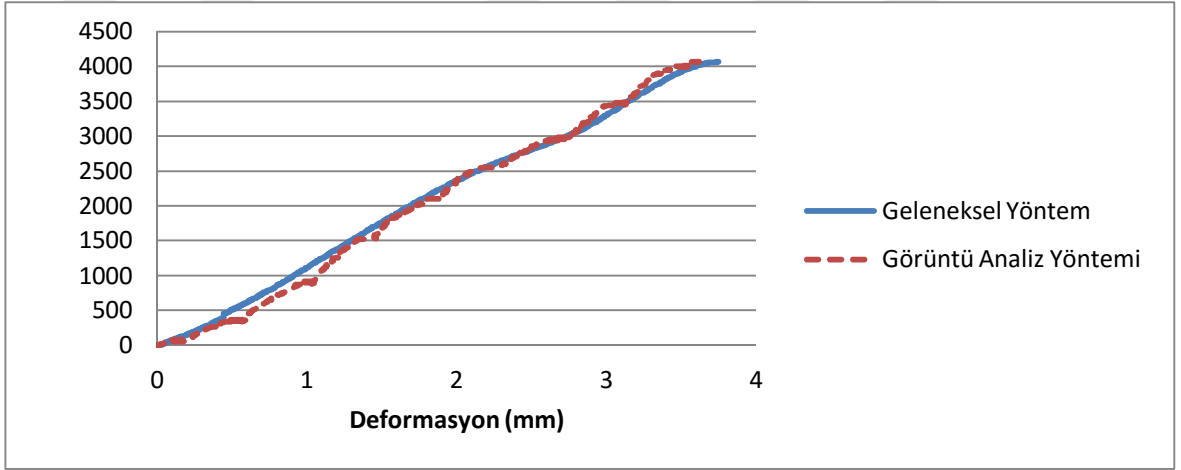
Şekil 106: Meşe türü ve %98 PVAc/%2 TiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



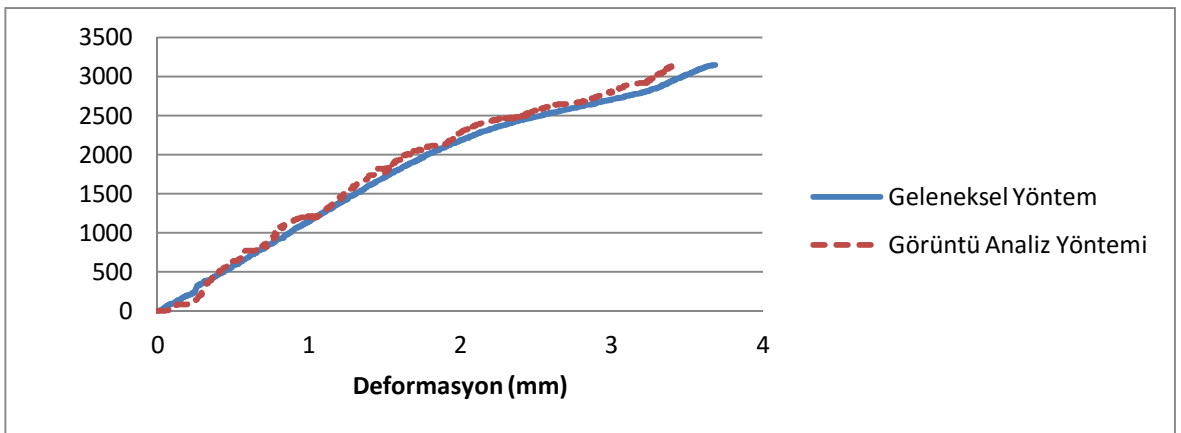
Şekil 107: Lamine ağaç malzeme ve %98 PVAc/%2 TiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



Şekil 108: Kayın türü ve %96 PVAc/%4 TiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



Şekil 109: Meşe türü ve %96 PVAc/%4 TiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.



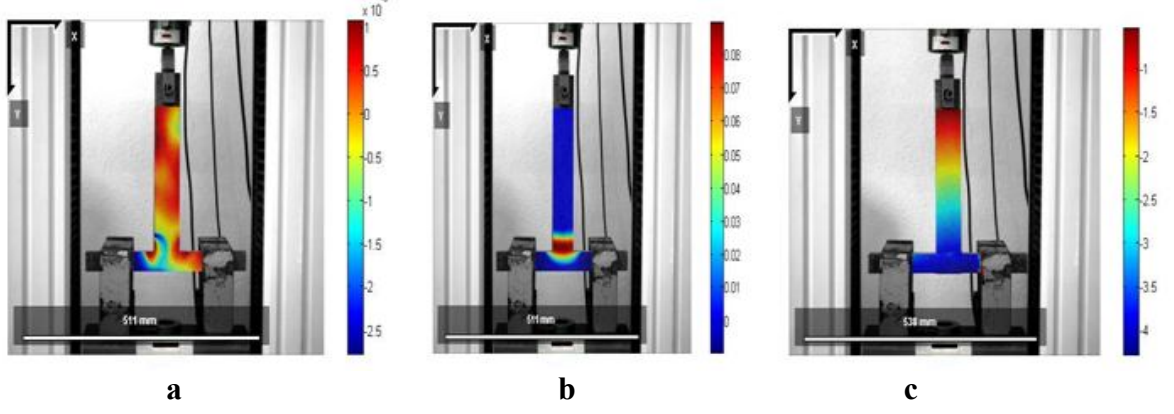
Şekil 110: Lamine ağaç malzeme ve %96 PVAc/%4 TiO₂ nanopartikül ile elde edilen yük-deformasyon grafiğine bir örnek.

Tablo 38’de geleneksel yöntem ve görüntü analiz yöntemiyle elde edilen deformasyonların karşılaştırılması gösterilmiştir.

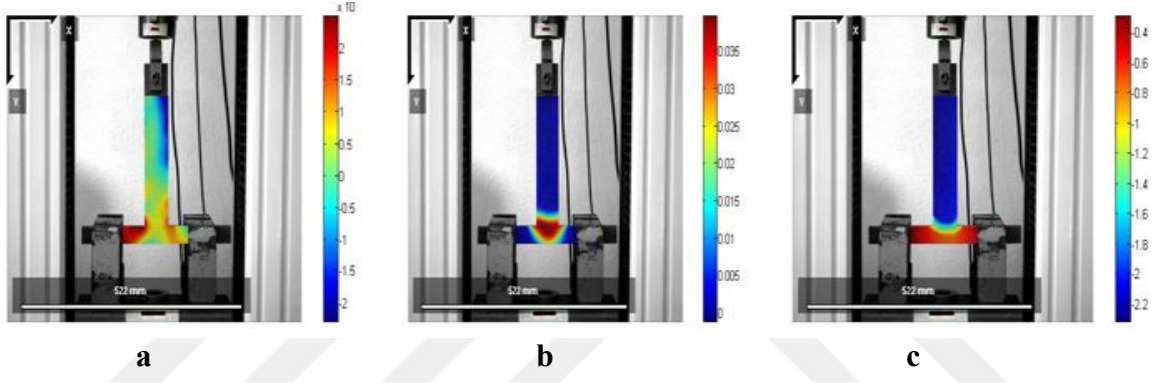
Tablo 38: Geleneksel yöntem ve görüntü analiz yöntemiyle elde edilen deformasyonların karşılaştırılması.

Örnek Kodu	Geleneksel Yöntem	Görüntü Analizi Yöntemi	Fark (%)
P0K	1,97	1,91	3,07
P0M	3,82	3,56	6,85
P0L	3,90	3,62	7,06
S1K	2,26	2,14	4,95
S1M	2,12	2,01	5,24
S1L	4,46	4,28	4,04
S2K	2,83	2,68	5,19
S2M	2,67	2,57	3,67
S2L	3,82	3,61	5,30
S4K	2,58	2,46	4,55
S4M	1,98	1,87	5,40
S4L	2,65	2,51	5,14
T1K	2,73	2,56	6,28
T1M	3,59	3,44	4,22
T1L	3,76	3,56	5,45
T2K	1,83	1,70	7,24
T2M	2,30	2,20	4,18
T2L	4,38	4,09	6,64
T4K	1,46	1,35	7,31
T4M	3,75	3,54	5,51
T4L	3,69	3,44	6,69
Ortalama			5,43

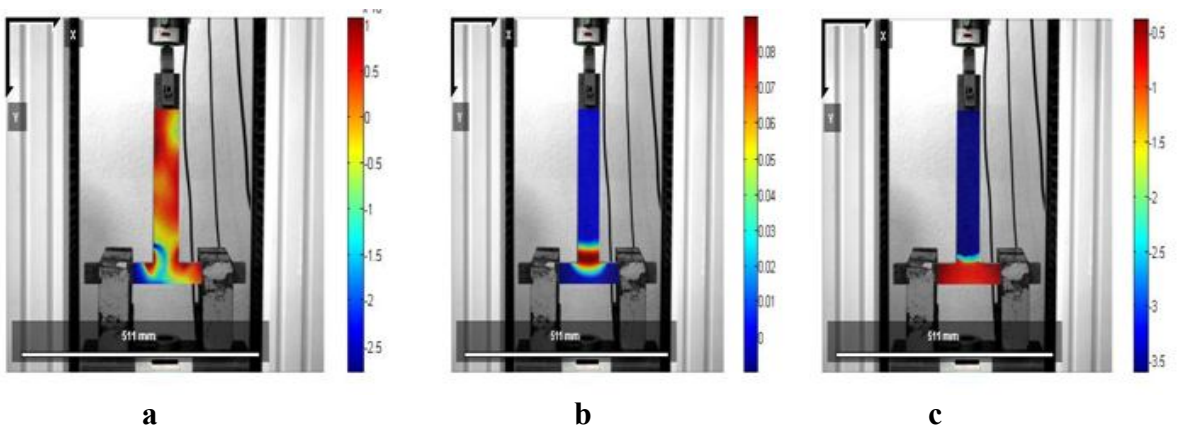
Şekil, 111-131’de X eksenî boyunca gerinim dağılım alanları (mm) (a), Y eksenî boyunca gerinim dağılım alanları (mm) (b), Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm) (c) gösterilmiştir.



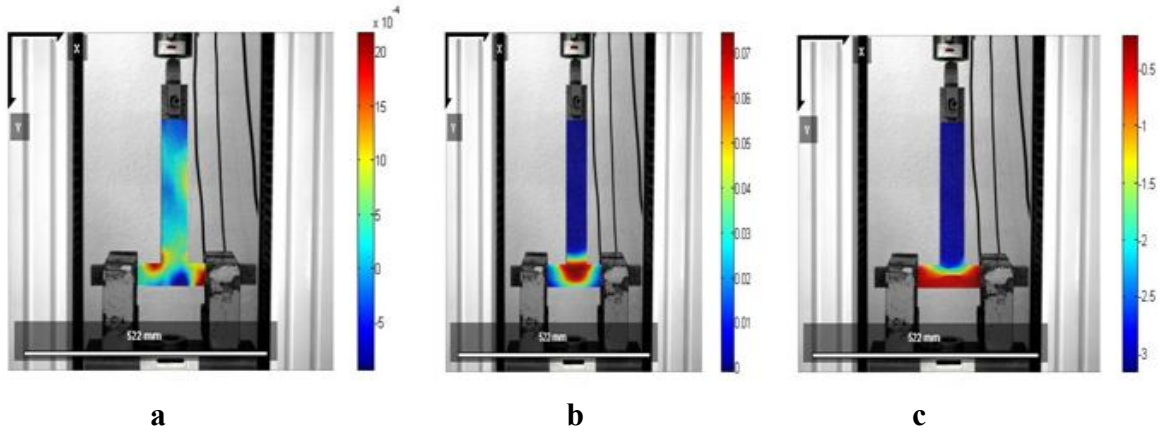
Şekil 111: Kayın türü ve %100 PVAc ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



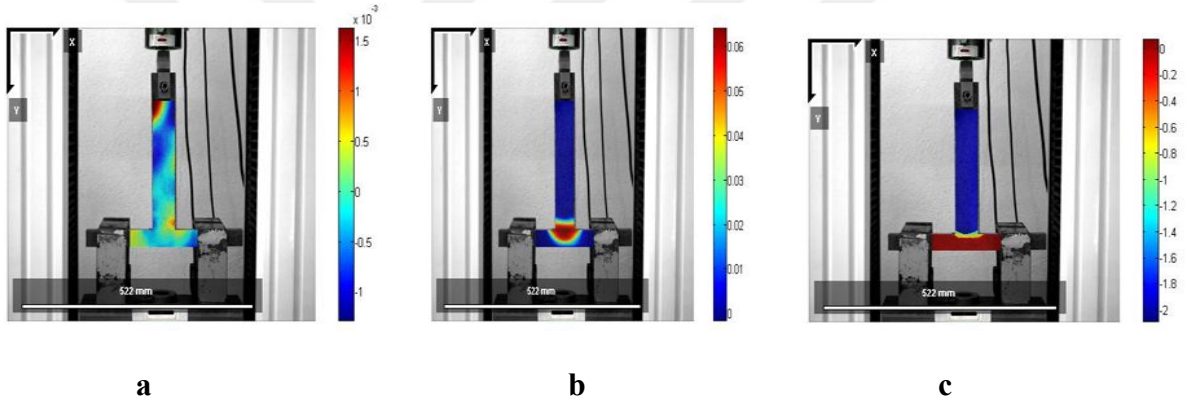
Şekil 112: Meşe türü ve %100 PVAc ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



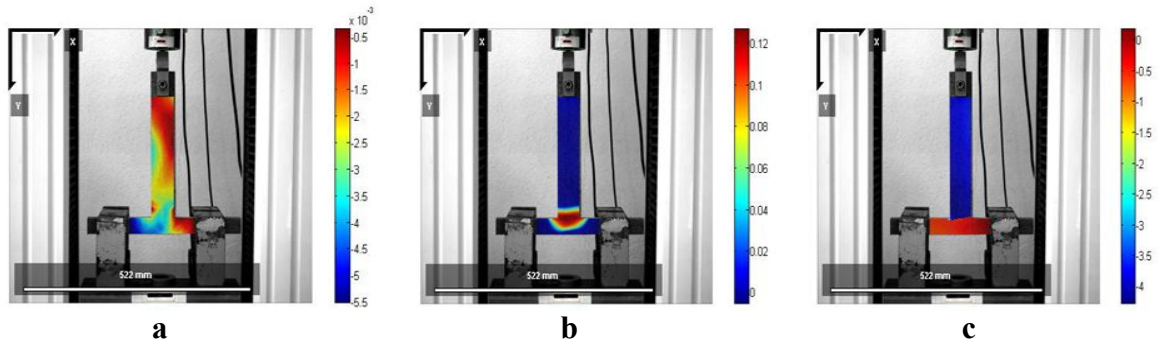
Şekil 113: Lamine ağaç malzeme ve %100 PVAc ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



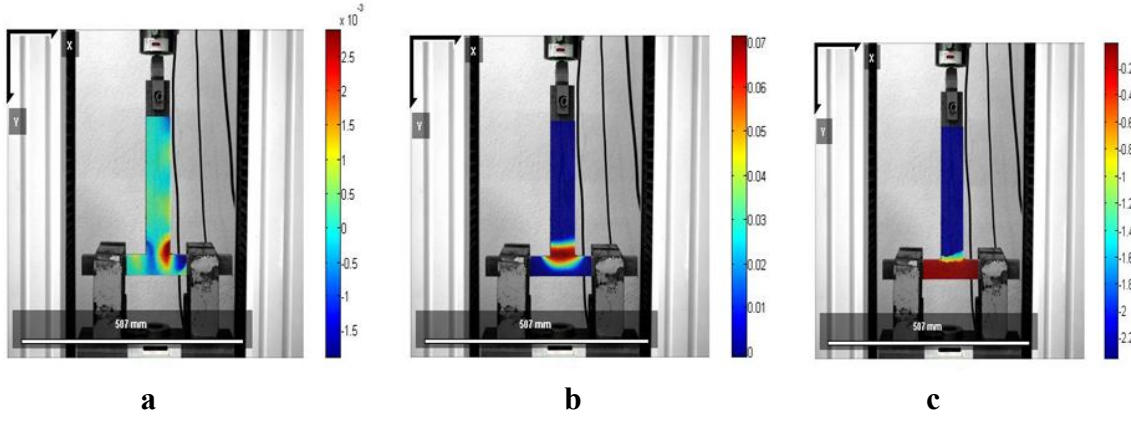
Şekil 114: Kayın türü ve %99 PVAc/%1 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



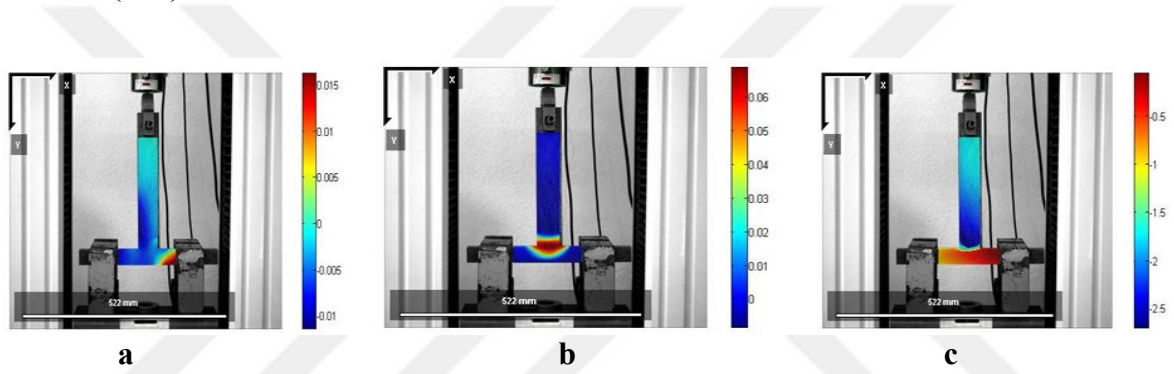
Şekil 115: Meşe türü ve %99 PVAc /%1 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



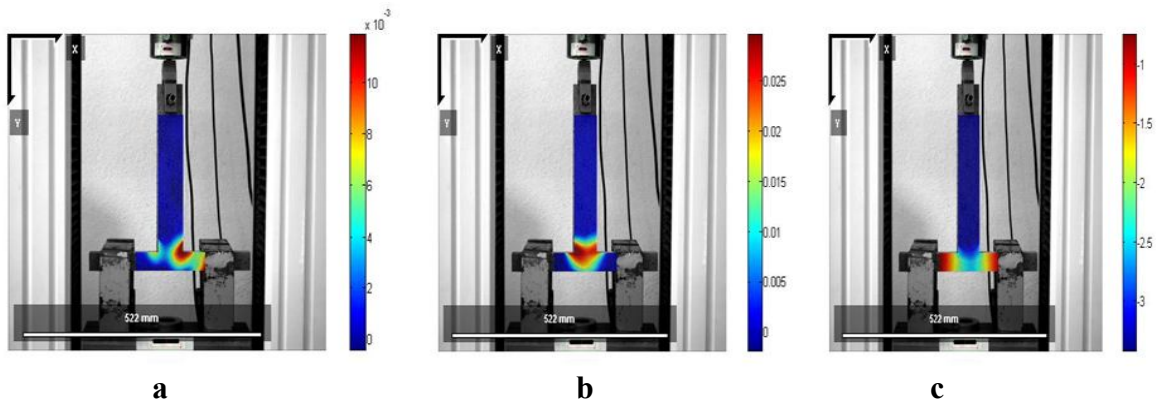
Şekil 116: Lamine ağaç malzeme ve %99 PVAc/%1 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



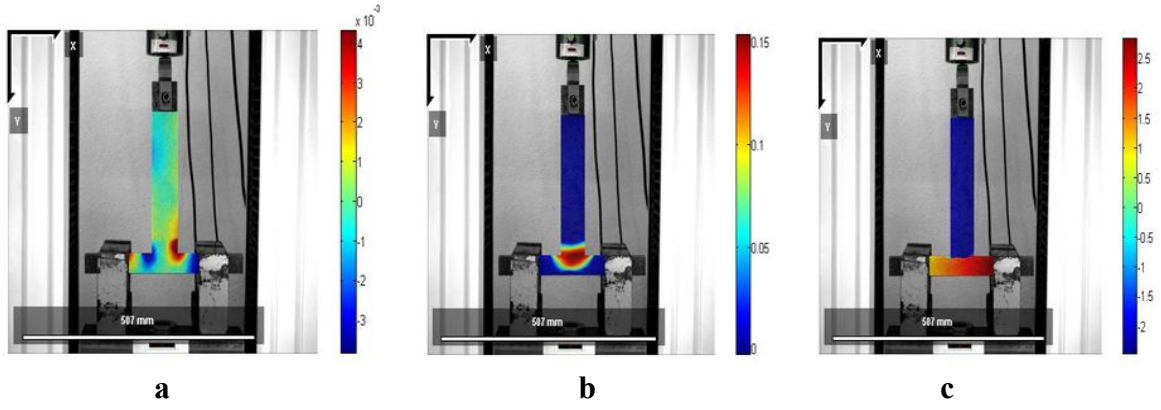
Şekil 117: Kayın türü ve %98 PVAc/%2 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



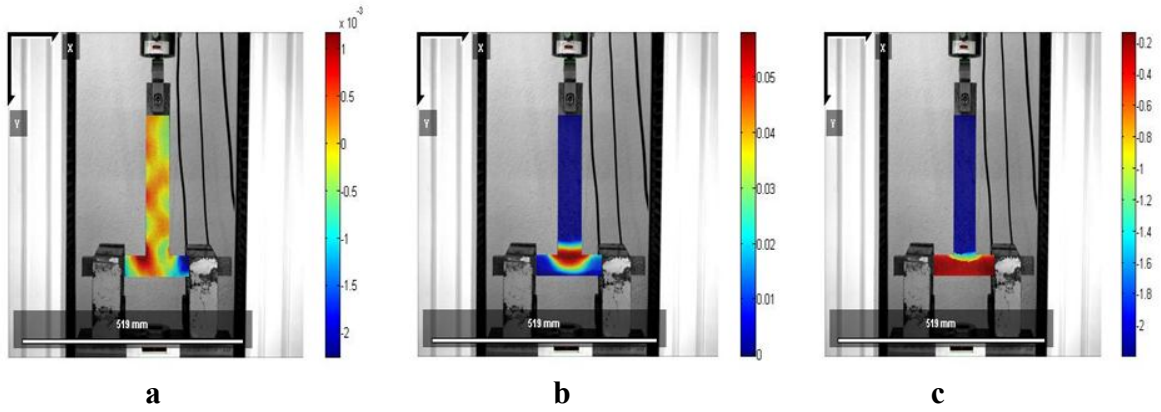
Şekil 118: Meşe türü ve %98 PVAc/%2 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



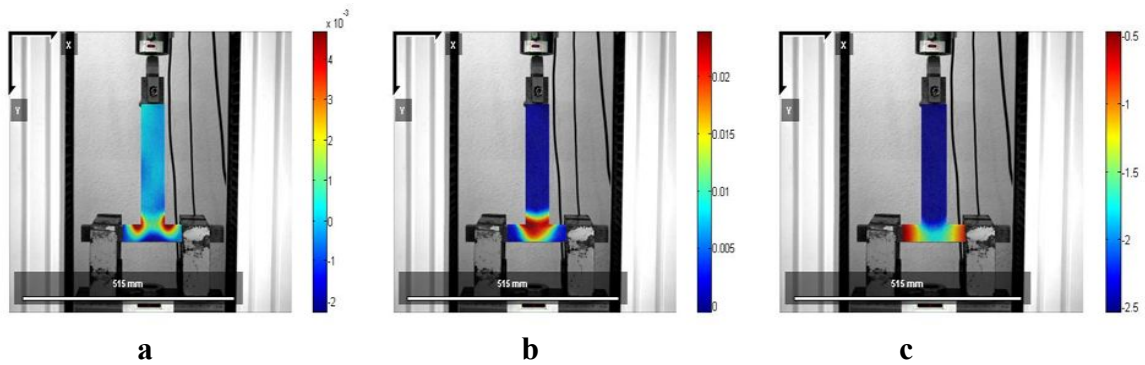
Şekil 119: Lamine ağaç malzeme ve %98 PVAc/%2 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



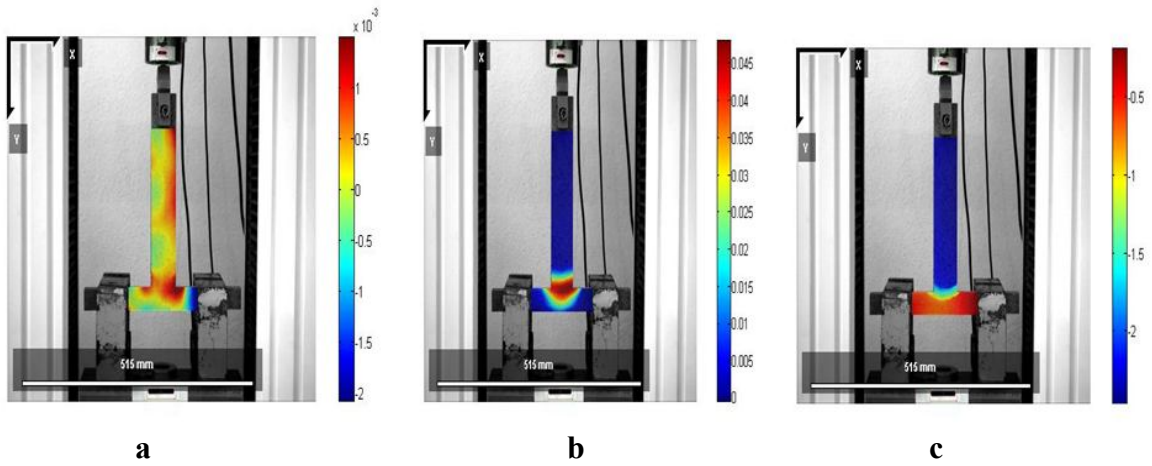
Şekil 120: Kayın türü ve %96 PVAc/%4 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



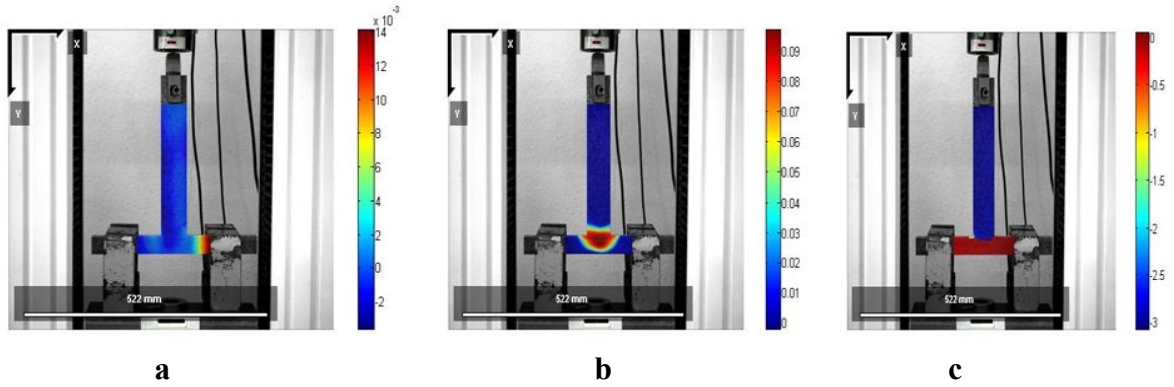
Şekil 121: Meşe türü ve %96 PVAc/%4 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



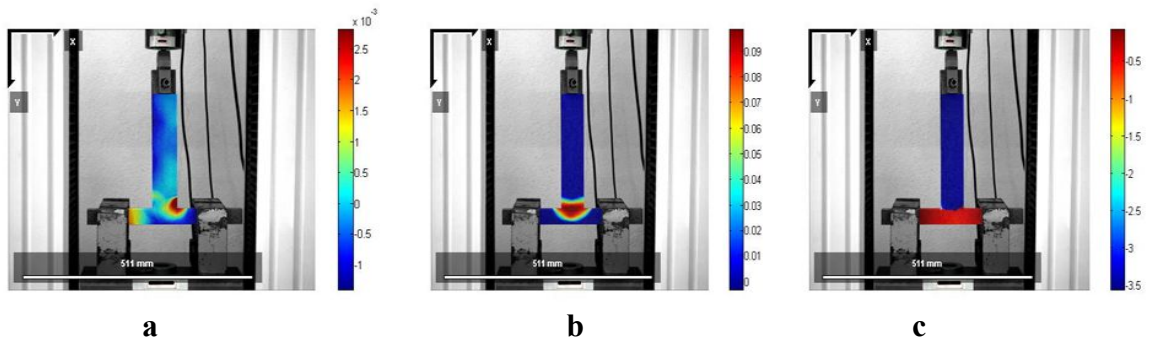
Şekil 122: Lamine ağaç malzeme ve %96 PVAc/%4 SiO₂ nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



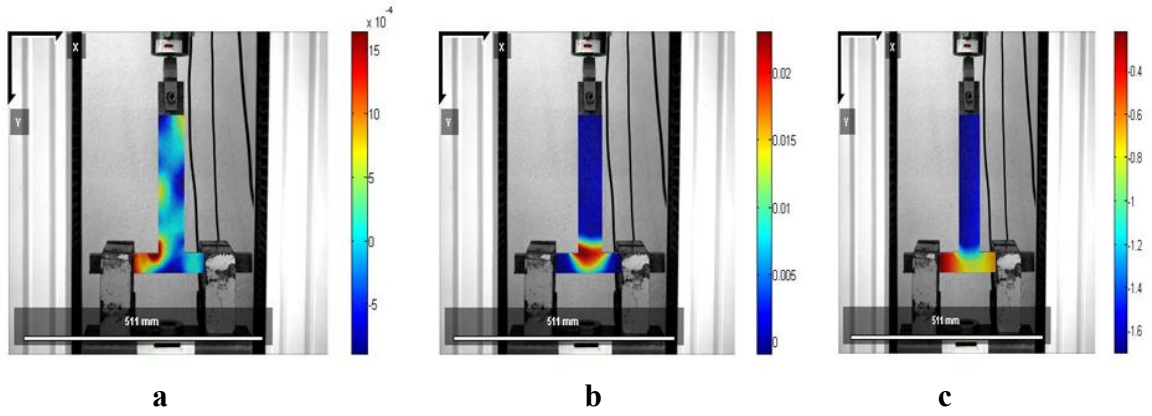
Şekil 123: Kayın türü ve %99 PVAc/%1 TiO_2 nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



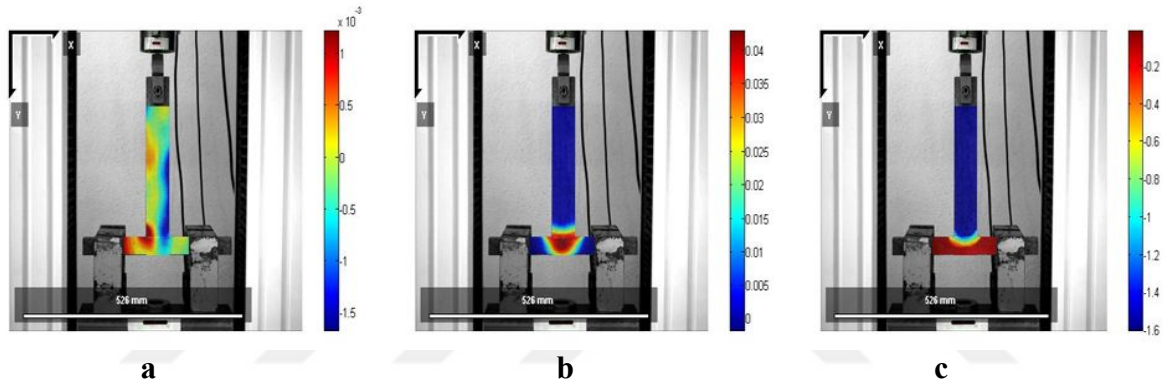
Şekil 124: Meşe türü ve %99 PVAc/%1 TiO_2 nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



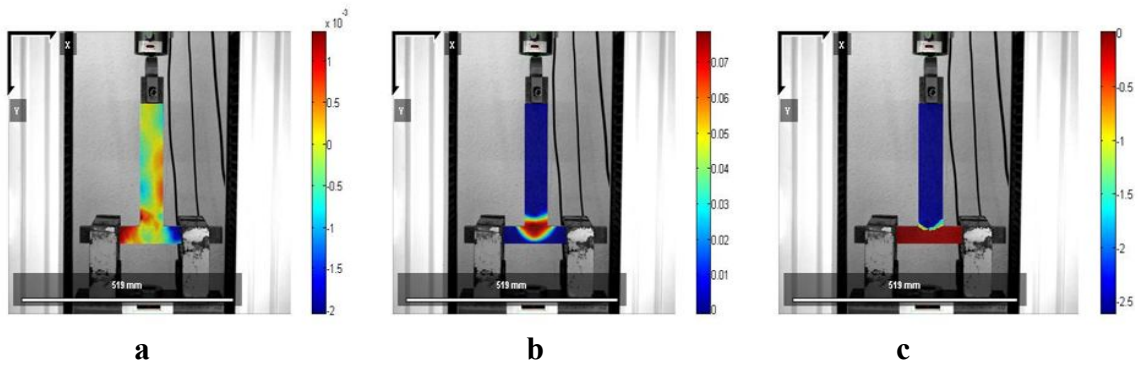
Şekil 125: Lamine ağaç malzeme ve %99 PVAc/%1 TiO_2 nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenini boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



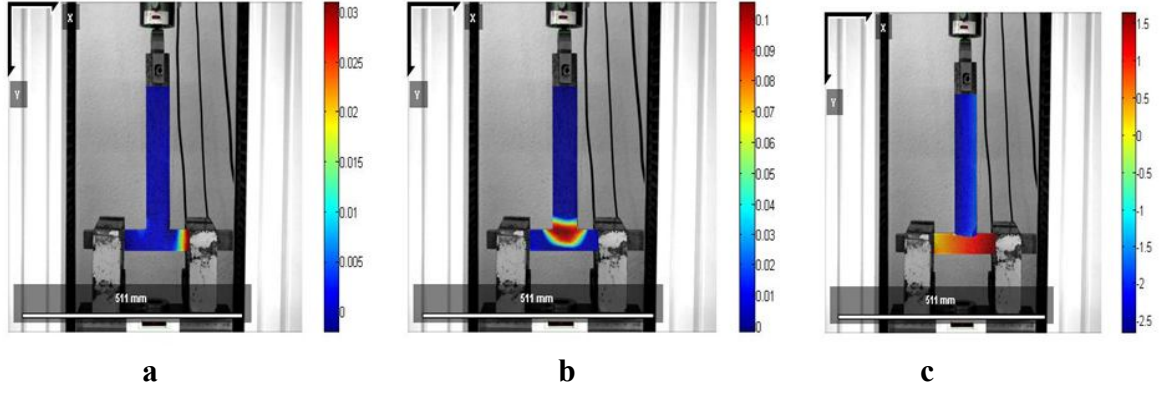
Şekil 126: Kayın türü ve %98 PVAc/%2 TiO_2 nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



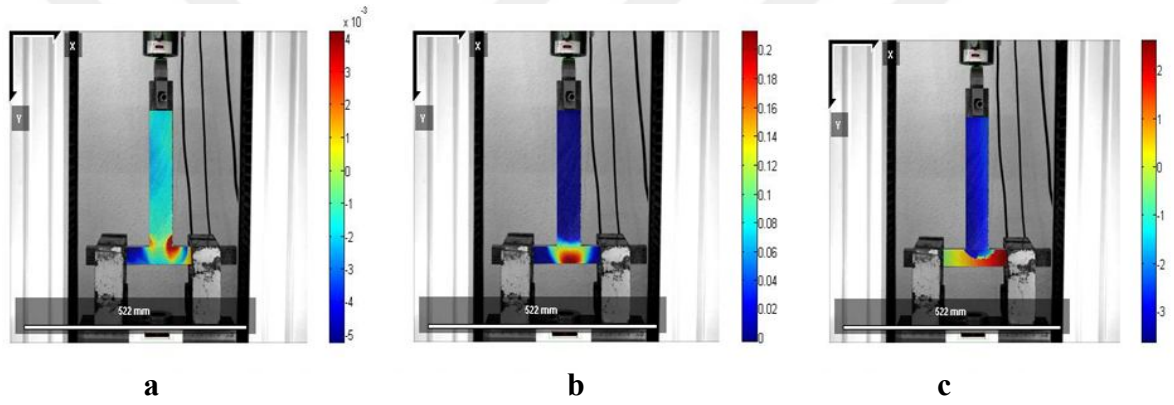
Şekil 127: Meşe türü ve %98 PVAc/%2 TiO_2 nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



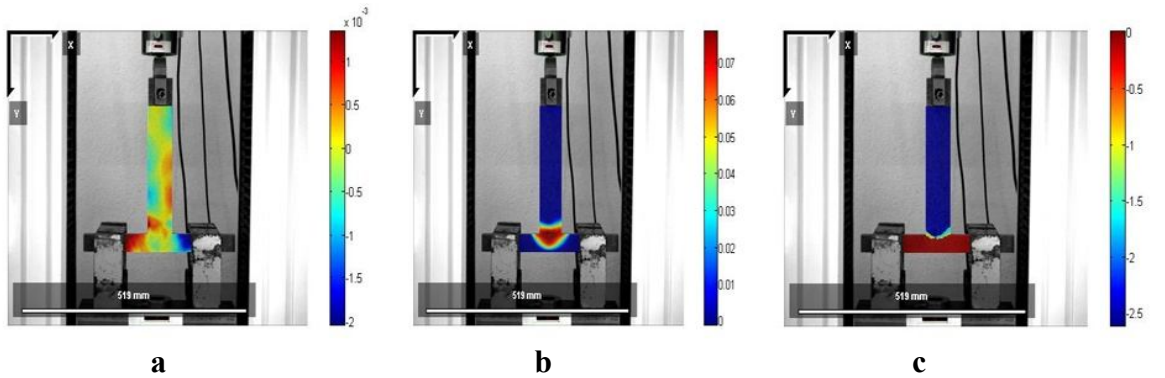
Şekil 128: Lamine ağaç malzeme ve %98 PVAc/%2 TiO_2 nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



Şekil 129: Kayın türü ve %96 PVAc/%4 TiO_2 nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



Şekil 130: Meşe türü ve %96 PVAc/%4 TiO_2 nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).



Şekil 131: Lamine ağaç malzeme ve %96 PVAc/%4 TiO_2 nanopartikül ile elde edilen sonuçlar: (a) X eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (b) Y eksenı boyunca gerinim dağılım alanları (mm) ; (c) Düşey yönde toplam deformasyonun dağılım alanları (mm).

Yapılan çalışmada, üniversal test makinası tarafından hesaplanan deformasyon ölçümleri ile eş zamanlı olarak alınan görüntü analizi yönteminden elde edilen sonuçlar, birbirine yakın olduğu belirlenmiş ve deformasyon analizi için geliştirilen yazılım sağlıklı sonuçlar vermiştir. İki yöntem arasındaki fark ortalama % 5,43 oranında olup literatür ile uyusmaktadır (Islam, 2011; Wei vd., 2013). Daha yüksek çözünürlüklü kameralar kullanılarak bu oran düşürülebilir (Hosseini vd., 2012). Örneklerin gerinim ve deformasyon alanlarında incelendiğinde büyük bir fark görülmemektedir. Yüksek deformasyonların iki parçanın birleşim yerlerinde ve çevresinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu davranışta lambalı zıvanalı birleştirmelerin kırılmaya birleşim yerlerinden başladığını ifade etmektedir (Güler vd., 2007).

Deformasyon ölçmek için görüntü yöntemlerinden faydalanmak ahşap uygulamalarında bazı avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- 1) Ahşap malzemenin çalışması (daralması ve genişlemesi) sırasında oluşan deformasyonların klasik cihazlarla ölçülmesinde bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Özellikle kurutma ve buharlama fırınlarında ağaç malzemelerin fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişmelere müdahale edilmesi zordur. Görüntü analizi yöntemleri ile zorlu ortam şartlarında (sıcaklık, su altında vb) temas gerektirmeden ölçüm yapılabilmektedir.
- 2) Belirli bir alanın deformasyonu yerine farklı bir çok alanın deformasyonunun aynı anda ölçülmesi gerektiği durumlarda görüntü yöntemleri çok daha pratik ve daha düşük maliyetli alternatif bir yöntem olarak kullanılabilir. Örneğin ahşapta budak bulunan ve bulunmayan kısımlardaki deformasyonlar ölçülmek istendiğinde görüntü analiz yöntemleri kullanılabilir.
- 3) Görüntü analizi ile ölçümlerde herhangi bir boyut sınırlandırması yoktur. Uygun ekipmanlar ile yapısal boyutlu ahşap elamanların (tabakalı kereste) deformasyonlarının ölçümünde görüntü analizi kullanılabilir.

3.3.4 Lamba Zıvanalı Birleştirmelerin Yorulma Direnci Testi

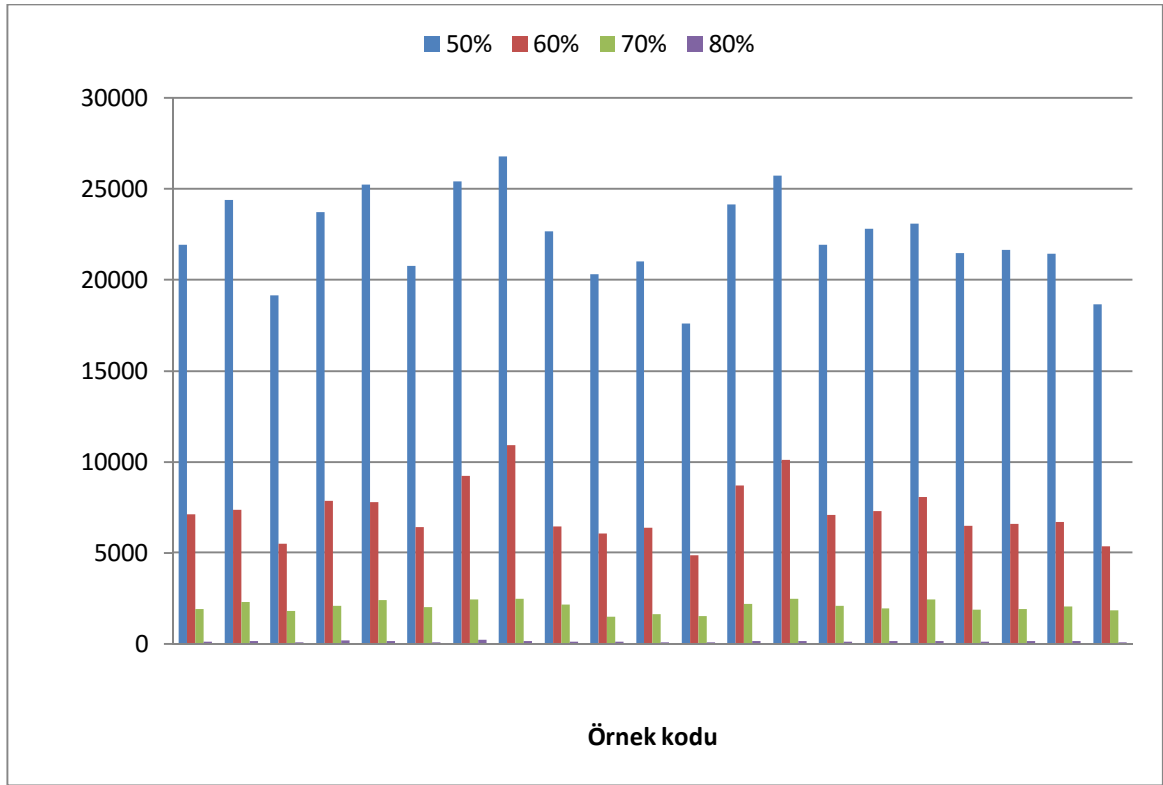
Tablo 39’da nanopartikül takviyeli PVAc ile yapıştırılan lamba zıvanalı birleştirmelerin birleştirmelerin yorulma direnci testi örneklerine ait yorulma dayanımı değerleri gösterilmiştir.

Tablo 39: Nanopartikül takviyeli PVAc ile yapıştırılan lamba zıvanalı birleştirmelerin yorulma dayanımı testi örneklerine ait yorulma dayanımı değerleri.

Örnek Kodu	Yorulma Ömrü (Tekrar sayısı)											
	%50			%60			%70			%80		
	$\bar{X}$ (N)	S (±)	V (%)	$\bar{X}$ (N)	S (±)	V (%)	$\bar{X}$ (N)	S (±)	V (%)	$\bar{X}$ (N)	S (±)	V (%)
P0K	21924,20	4344	20	7135,60	1492	21	1929,00	453	23	140,20	27	19
P0M	24390,20	5831	24	7361,40	1639	22	2310,60	489	21	152,40	38	25
P0L	19152,80	4506	24	5523,40	852	15	1825,60	374	20	96,80	20	21
S1K	23714,20	4333	19	7877,00	1949	25	2092,60	312	15	205,60	54	26
S1M	25253,80	4885	19	7793,40	1558	20	2408,00	431	18	177,00	34	19
S1L	20778,20	4067	20	6435,60	1407	22	2022,20	411	20	107,00	22	20
S2K	25423,60	5685	22	9235,80	1843	20	2443,80	428	18	234,40	55	23
S2M	26796,00	3965	15	10926,60	2093	19	2496,20	382	15	171,60	40	24
S2L	22682,60	3357	15	6464,60	1096	17	2154,20	488	23	146,20	37	25
S4K	20328,60	3443	17	6057,40	1460	24	1500,60	234	16	113,00	26	23
S4M	21003,00	3001	14	6404,20	1181	18	1633,40	193	12	101,20	22	21
S4L	17601,60	2225	13	4887,00	1045	21	1541,60	229	15	86,20	19	22
T1K	24149,00	4287	18	8694,80	1087	12	2219,00	309	14	150,40	33	22
T1M	25730,40	3752	15	10132,40	2239	22	2475,60	453	18	160,00	37	23
T1L	21925,80	5037	23	7087,60	1490	21	2082,80	483	23	125,20	31	25
T2K	22824,40	5060	22	7310,80	1559	21	1953,60	473	24	163,80	39	24
T2M	23091,80	3871	17	8065,40	1197	15	2435,00	421	17	156,00	32	21
T2L	21458,40	2043	10	6499,60	1531	24	1904,40	474	25	111,60	25	22
T4K	21654,80	3273	15	6595,20	1471	22	1911,40	453	23	153,20	27	19
T4M	21428,20	2660	12	6697,60	1039	16	2053,40	489	21	149,00	38	26
T4L	18658,40	3876	21	5369,60	1054	20	1855,20	374	20	93,60	20	19

Not: $\bar{X}$,Aritmetik Ortalama; s, standart sapma; v, varyasyon katsayısı

Nanopartiküllerin yorulma direnci üzerine etkileri Şekil 132’de gösterilmiştir.



Şekil 132: Nanopartiküllerin yorulma dayanımı üzerine etkileri.

Yükleme Seviyesi, Nanopartikül tipi, Nanopartikül oranı ve Malzeme türünün lamba zıvanalı birleştirmelerin yorulma direnci üzerine etkilerini belirlemek için çoklu varyans analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 40’da verilmiştir.

Tablo 40: Yükleme Seviyesi, nanopartikül tipi, nanopartikül oranı ve malzeme türünün lamba zıvanalı birleştirmelerin yorulma direnci üzerine etkilerine ait çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	Önem Düzeyi
Corrected Model	3,278E10a	83	3,949E8	82,209	,000
Intercept	2,411E10	1	2,411E10	5,019E3	,000
Yükleme Seviyesi (A)	2,904E10	3	9,680E9	2,015E3	,000
Nanopartikül tipi (B)	217464,178	1	217464,178	,045	,832
Malzeme türü (C)	1,680E8	2	8,398E7	17,482	,000
Nanopartikül Oranı (D)	1,862E8	2	9,310E7	19,381	,000
A*B	1886429,022	3	628809,674	,131	,942
A*C	1,552E8	6	2,586E7	5,384	,000
A*D	1,527E8	6	2,544E7	5,296	,000
B*C	2683259,872	2	1341629,936	,279	,756
B*D	4,975E7	2	2,488E7	5,178	,006
C*D	3915557,067	4	978889,267	,204	,936
A*B*C	4765250,194	6	794208,366	,165	,986
A*B*D	3,952E7	6	6585924,749	1,371	,226
A*C*D	9987661,800	12	832305,150	,173	,999
B*A*D	7271651,178	4	1817912,794	,378	,824
A*B*C*D	1,046E7	12	871786,274	,181	,999
Error	1,614E9	336	4803604,974		
Total	6,101E10	420			
Corrected Total	3,439E10	419			

Çoklu varyans analizi sonuçlarına göre yükleme seviyesi, nanopartikül oranı ve malzeme türü lamba zıvanalı birleştirmelerinin yorulma direnci üzerindeki etkisi 0,05 hata payı ile istatistiksel olarak önemli bulunurken nanopartikül tipi önemsiz bulunmuştur. İkili etkileşimlerden yükleme seviyesi ile nanopartikül oranının, yükleme seviyesi ve malzeme türü etkileşimi yorulma dayanımı üzerine istatistikî olarak anlamlı bulunmuştur. Gruplar arasındaki farklılıkları belirlemek için elde edilen verilere Duncan Testi uygulanmıştır. Yorulma seviyesi faktörünün yorulma dayanımı üzerindeki etkileri ait duncan testi sonuçları Tablo 41’de gösterilmiştir.

Tablo 41: Yükleme seviyesi faktörünün yorulma dayanımı üzerindeki etkileri ait Duncan testi sonuçları.

Yükleme Seviyesi	Ortalama Tekrar Sayısı	Duncan Testi
%50	22379	A
%60	7264	B
%70	2059	C
%80	142	D

Yükleme seviyesi açısından sonuçlar değerlendirildiğinde gruplar arasında fark anlamlı çıkmıştır. Yük seviyesi artıkça yorulma ömrü azalmıştır. Literatürde yapılan çalışmalarda uygulanan yük seviyesi ile yorulma ömrü arasında ters bir ilişki olduğu vurgulanmaktadır (Yildirim vd., 2015; Güntekin ve Aydın, 2015).

Nanopartikül tipi faktörünün yorulma dayanımı üzerindeki etkileri ait duncan testi sonuçları Tablo 42’de gösterilmiştir.

Tablo 42: Nanopartikül tipi faktörünün yorulma dayanımı üzerindeki etkileri ait Duncan testi.

Nanopartikül Tipi	Ortalama Tekrar Sayısı	Duncan Testi
Saf PVAc	7661	A
Nano TiO ₂ takviyeli PVAc	7986	A
Nano SiO ₂ takviyeli PVAc	8036	A

Nanopartikül tipi açısından sonuçlar değerlendirildiğinde gruplar arasında fark anlamsız çıkmıştır. Bu durumun nedeni olarak nanopartiküllerin benzer özellikler göstermesi ve polimer içindeki nanopartiküllerin oranına bağlı olarak mekanik özelliklerinin artması ya da düşmesi gösterilebilir (Mirjalili vd., 2014; Park, 2009).

Nanopartikül oranı faktörünün yorulma dayanımı üzerindeki etkileri ait Duncan testi sonuçları Tablo 43’de gösterilmiştir.

Tablo 43.Nanopartikül oranı faktörünün yorulma dayanımı üzerindeki etkileri ait Duncan testi.

Nanopartikül Oranı	Ortalama Tekrar Sayısı	Duncan Testi
%0	7661	B
%1	8491	A
%2	8547	A
%4	6994	C

Nanopartikül oranı bakımından değerlendirildiğinde en yüksek yorulma değerleri %1 ve %2 oranlarında, en düşük ise %4 oranlarında görülmüştür. Literatürde nanokompozitlerde en iyi performansın sağlanması için nanopartiküllerin polimer içinde uygun bir dağılım gerçekleşmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Domun vd., 2015). Buna ek olarak literatürde nanopartiküller matrisdeki çatmaların büyüme hızını azalttığı ve önlediği vurgulanmaktadır. Yapılan bir çalışmada epoksi polimerine %10 SiO₂ nanopartikülü ilave edilmiş ve nanopartikülün yorulma dayanımı üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda SiO₂ nanopartikülün yorulma dayanımı artırmada etkili olduğu bulunmuştur (Manjunatha vd., 2010). Bu durum düşük oranlarda nanopartikül eklenmesi ile yorulma ömrünün artmasının nedeni olarak gösterilebilir.

Malzeme türü faktörünün yorulma dayanımı üzerindeki etkileri ait Duncan testi sonuçları Tablo 44’de gösterilmiştir.

Tablo 44: Malzeme türü faktörünün yorulma dayanımı üzerindeki etkileri ait Duncan testi.

Malzeme Türü	Ortalama Tekrar Sayısı	Duncan Testi
Meşe	8641	A
Kayın	8147	A
Kontrplak	7095	B

Malzeme türü açısından bakıldığında doğu kayını ile meşe odunu arasındaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmış ve en yüksek yorulma dayanımı bu malzemelerde görölmüştür. Bununla birlikte en düşük yorulma dayanımı kontrplak ile üretilen lamba zıvanalı birleştirmelerde çıkmıştır. Yapılan çalışmalarda ağaç malzeme yoğunluğunun statik testler ve yorulma testleri üzerinde etkili olduğu vurgulanmış ve yoğunluğu yüksek malzemelerin yorulma direncinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Yildirim vd., 2015). Literatürde meşe ve kayın odunu yüksek yoğunluklu ağaç türleri arasında sayılmaktadır (Güler vd., 2010). Bu durum kayın ve meşe odununda yorulma dayanımının yüksek olmasının nedeni olarak gösterilebilir.



BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Nanoteknoloji gelecekte küresel ekonominin dönüşüm noktası, dahada önemlisi tüm sektörlerde sürdürülebilir bir zenginlik kaynağı olabilir. Nano bilim ve teknolojinin birçok uygulamaları hem popüler basında hemde bilim dünyasında oldukça ilgi toplamaktadır. Nanoteknolojinin çeşitli alanlarında çalışmalar hızla büyümeye devam ederken birçok yeni malzemeler ve uygulamaların keşfedileceği kesin olarak görülmektedir. Bu süreçte nanomalzemeler ve performans özellikleri de geliştirilmeye devam edecektir. Böylece daha iyi ve daha ucuz nanopartiküller ve nanokompozitler birçok uygulama için kullanılabilir olacaktır. Yakın gelecekte nano malzemeler için geniş pazarlar beklenmektedir. Bu noktada nanopartiküller tutkalların geliştirilmesinde önemli bir rol oynayabilir. Günümüzde gelişmiş mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip nanokompozitlerin üretilmesi için nano dolgular (nanopartiküller nanofiberler, nanotüpler, vs) güçlü bir araç olarak önerilmektedir.

Tüm sektörlerde olduğu gibi mobilya endüstrisinde de malzeme kullanımını azaltmak ve ürünlerin performansını artırmak istenmektedir. Nano teknoloji bu hedefe ulaşmak için ön plana çıkmıştır. Nano partiküller yardımı ile geliştirilen tutkallar mobilya endüstrisini olumlu etkileyebilecek bir potansiyele sahiptir. Tüm bu anlatılan nedenlerden dolayı, nanoteknolojiye hazırlıklı olmak gelişmiş ülkeler için önemli bir konu olmuştur.

Bu çalışmada, mobilya ürününü geliştirmek için nanopartiküllerin PVAc tutkalı üzerine etkisini belirlenmiş ve nanopartikül takviyeli tutkallarla elde edilen birleştirmeler yapısal mühendislik açısından değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen veriler dayanarak çıkarılan sonuçlar maddeler halinde sunulmuştur.

- Nanopartiküllerin PVAc tutkalının kuru durumda yapışma performansı üzerine etkileri incelendiğinde, SiO₂ ve TiO₂ nanopartikülleri için %2 oranına kadar olumlu etki görülmüştür. Fakat %2 oranından sonraki artışlarda olumlu bir etki rastlanmamıştır. Ayrıca en yüksek yapışma direnci %2 SiO₂ oranında bulunmuştur. Bu duruma nanopartikül oranı artıkça polimer içinde homojen

dağılımının zorlaşmasının neden olduğu düşünülmektedir. Polimerlere nanopartikül ilave edildiğinde homojen dağılım sonucunda mekanik özelliklerinin arttığı vurgulanmaktadır.

- Nanopartiküllerin PVAc tutkalının yaş durumda yapışma performansı üzerine etkileri incelendiğinde, SiO_2 nanopartiküller için tüm oranlarda su direnci dayanımında bir artış görülmektedir. Polimer içine gömülü nanopartiküllerin suyun yada oksijenin difüzyon yolunu değiştirmesi ve bunun sonucu olarak polimerlerin bariyer özelliklerinin iyileştirilebilmesi bu durumun nedeni olarak düşünülmektedir. TiO_2 nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan PVAc tutkallarında %1 oranına kadar su direnci dayanımında olumsuz bir etki saptanmamıştır. Fakat %1 oranından sonra düşüş görülmüştür. Bunun sebebi olarak Titanyum Dioksit nanopartiküllerinin hidrofilik Silisyum Dioksit ile kaplı olması ve bunun sonucu olarak, hidroksil gruplarının fazla bulunması su direnci dayanımdaki düşüşün nedeni olarak düşünülmektedir.
- Nanopartiküllerin PVAc tutkalının yüksek sıcaklıkta yapışma performansı üzerine etkileri incelendiğinde, SiO_2 nanopartiküller için tüm oranlarda sıcaklık dayanımında bir artış görülmektedir. Nanopartiküller ve polimer arasında bağlar oluşması ve oluşan bağların polimer zincirlerinin hareketlerini kısıtlaması bu durumun nedeni olarak düşünülmektedir. TiO_2 nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan PVAc tutkallarında %1 oranına kadar sıcaklık dayanımında olumsuz bir etki saptanmamıştır. Fakat %1 oranından sonra düşüşler görülmüştür. TiO_2 eklenmesi ile polimer zincirleri arasındaki bağların zayıflaması ve nanopartikül oranı arttıkça polimer içinde homojen dağılımının zorlaşması düşüşün nedeni olarak düşünülmektedir.
- XRD analiz sonuçlarına incelendiğinde SiO_2 nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan örneklerde %2 oranına kadar tabakalanmış nanokompozitin %2'den sonra geleneksel kompozitin meydana geldiği, TiO_2 nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan örneklerde ise %1 oranına kadar tabakalanmış nanokompozitin %1'den sonra ise geleneksel kompozitin oluştuğu

düşünülmektedir. Bu durumun sebebi olarak nanopartikül oranı artıkça polimer içinde homojen dağılımının zorlaşması gösterilebilir.

- TEM görüntüleri incelendiğinde, SiO_2 ve TiO_2 nanopartiküllerinin polimerler içerisinde nanometre boyutunda dağıldığı görülmekte ve %4 nanopartikül konsantrasyonunda partiküller arası mesafe azaldığı anlaşılmaktadır. Bu duruma nanopartiküllerin yüzey kuvvetlerinin biribiri ile etkileşim eğiliminin neden olduğu düşünülmektedir.
- TGA Sonuçları değerlendirildiğinde SiO_2 nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan örneklerde içerisindeki nanopartikül içeriğinin artması ile T%5, %10, %30, %50, %80' deki kütle kayıplarının meydana geldiği sıcaklıklarda genel bir artış olduğu görülmüştür. polimere nano ölçekte inorganik tanecikler eklendiğinde bu taneciklerle polimer arasında bağlar oluşmakta, oluşan bağlar polimer zincirlerinin hareketlerini kısıtlaması bu durumun nedeni olarak düşünülmektedir. TiO_2 nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan örneklerde T%5, %10, %30, %50, %80' deki kütle kayıplarının meydana geldiği sıcaklıklarda artan TiO_2 oranı ile az da olsa azaldığı gözlemlenmiştir. TiO_2 eklenmesi ile polimer zincirleri arasındaki bağların zayıflaması bu durumun nedeni olarak düşünülmektedir.
- Nanopartikül tipinin, nanopartikül oranının ve malzeme türünün lamba zıvanalı birleştirmelerin eğilme direnci ve çekme direnci üzerine etkilerini belirlemek için çoklu varyans analizi yapılmıştır. Yapılan çoklu varyans analizi sonucunda nanopartikül oranının ve malzeme türünün lamba zıvanalı birleştirmelerin eğilme direnci üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunurken nanopartikül tipi anlamsız bulunmuştur.
- Eğilme direnci üzerine nanopartikül tipinin etkisi incelendiğinde, gruplar arasında fark anlamsız çıkmıştır. Nanopartiküllerin benzer özellikler göstermesi ve polimer içindeki nanopartiküllerin oranına bağlı olarak mekanik özelliklerin artması ya da düşmesi bu durumun nedeni olarak düşünülmektedir.

- Eğilme direnci üzerine nanopartikül oranının etkisi incelendiğinde, en yüksek eğilme direnci değerleri %1 ve %2 oranlarında, en düşük ise %4 oranlarında görülmüştür. Polimerlere düşük oranlarda nanopartiküller eklendiğinde üstün mekanik performanslar sergilemesi ve yüksek mekanik performans için nanopartiküller ile polimer arasında güçlü bir kimyasal bağlanma oluşması zorunluluğu bu durumun nedeni olarak düşünülmektedir. Aynı zamanda yüksek oranlarda nanopartiküller polimerlere eklendiğinde topaklaşma gibi kusurlar oluşması ve homojen dağılım zorlaşması bir başka neden olarak düşünülmektedir.
- Eğilme direnci üzerine malzeme türünün etkisi açısından bakıldığında doğu kayını ile meşe odunu arasındaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmış ve en yüksek eğilme dirençleri bu malzemelerde görülmüştür. Ayrıca en düşük eğilme direnci kontrplak ile üretilen lamba zıvanalı birleştirmelerde görülmüştür. Kayın odunun dağınık küçük trahe yapısına sahip olması ve meşe odunun halkalı traheli yapıda olması bu durumun nedeni olarak düşünülmektedir.
- Çekme direnci üzerine nanopartikül tipinin etkisi incelendiğinde, eğilme direncinde olduğu gibi gruplar arasında fark anlamsız çıkmıştır.
- Çekme direnci üzerine nanopartikül oranının etkisi incelendiğinde, en yüksek eğilme direnci değerleri %1 ve %2 oranlarında, en düşük ise %4 oranlarında görülmüştür.
- Çekme direnci üzerine malzeme türünün etkisi açısından bakıldığında en yüksek çekme dirençleri doğu kayını ve meşe odununda en düşük ise kontrplakta görülmüştür.
- Görüntü analizi yönteminden faydalanılarak yapılan deformasyon ölçümleri ile universal test makinası tarafından hesaplanan deformasyon ölçümleri birbirine yakın olduğu ve aradaki farkın % 5,43 olduğu belirlenmiştir.

- Yorulma dayanımında yükleme seviyesi açısından sonuçlar değerlendirildiğinde gruplar arasında fark anlamlı çıkmıştır. Yük seviyesi arttıkça yorulma ömrü azalmıştır. Bu durum literatür ile uyumludur.
- Yorulma dayanımı üzerine nanopartikül tipinin etkisi incelendiğinde, gruplar arasında fark anlamsız çıkmıştır.
- Nanopartikül oranı bakımından yorulma dayanımı değerlendirildiğinde en yüksek yorulma değerleri %1 ve %2 oranlarında, en düşük ise %4 oranlarında görülmüştür. Bu durumun nedeni olarak polimer içinde uygun bir dağılım ile nanopartiküllerin matrisdeki çatmaların büyüme hızını azaltması ve önlemesi düşünülmektedir.
- Yorulma dayanımı üzerine malzeme türünün etkisi açısından bakıldığında doğu kayını ile meşe odunu arasındaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmış ve en yüksek yorulma dayanımı bu malzemelerde görülmüştür. Ayrıca en düşük yorulma dayanımı kontrplak ile üretilen lamba zıvanalı birleştirmelerde görülmüştür. Meşe ve kayın odunu yüksek yoğunluklu olması bu durumun nedeni olarak olması düşünülmektedir.

Bu çalışma nanopartikül takviyeli tutkalların ticari uygulamaları için bir çerçeve oluşturmaya çalışmış. Aynı zamanda nanopartikül takviyeli tutkalların mobilya endüstrisinde kullanımı için tasarımcılara bilgi vermek hedeflenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bilgi birikimi mobilya üretiminde malzeme kullanımda ve birleştirme performansında avantajlar sağlayabilir. Ancak yinede bu konu ile ilgili daha fazla çalışmalar ihtiyaç bulunmaktadır. Çalışma sonucunda aşağıdaki öneriler verilebilmektedir.

- Nanopartikül takviyeli tutkallar üretirken polimer içinde partiküllerin homojen dağılımı göz önüne alınarak düşük kontrasyonlarda nanopartiküllerin (SiO_2 , TiO_2) eklenmesi dağılımı kolay olması açısından önerilmektedir.
- Nanopartiküller yardımı ile PVAc tutkalının yapışma performansının, su ve sıcaklık dayanımının artırılması istediğinde, SiO_2 nanopartikülleri için %1 ve %2 oranında kullanımı tavsiye edilebilir.

- Düşük oranlarda (%1,%2) nanopartikül ilavesi ile hazırlanan tutkallardan oluşturulan mobilya birleştirmelerinde mekanik performansın artışı için kullanımı tavsiye edilebilir. Genel olarak artış eğilme direncinde %16, çekme direncinde %14 ve yorulma direncinde %10' dur. Aynı zamanda bu performansı artışı ile daha küçük birleştirmelerin üretimi araştırılabilir.
- Nanopartikül takviyeli tutklar ile hazırlanan kayın ve meşe odunları en yüksek mekanik performansı göstermesi nedeni ile tercih edilebilir.
- Klasik yöntemler ile deformasyonun ölçülmesinin zor olduğu durumlarda (yüksek sıcaklık, su altında) görüntü analizi ile deformasyon ölçümü alternatif olarak düşünülebilir.
- Yapısal boyutlu ahşap elemanların deformasyonun ölçülmesi gerektiğinde klasik yöntemlere alternative olarak görüntü analizi yöntemi düşünülebilir.
- Ahşap elamanlarda birçok alanın deformasyonun aynı anda ölçülmesi gerektiği durumlarda görüntü analizi daha düşük maliyetli bir yöntem olarak klasik yöntemlere alternatif düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- Aba, F. (2014). Görüntü İşleme ve Yapay Sinir Ağları Kullanarak Mineral Tanıma. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, 60 s.
- Alfadul, S. M. ve Elmeshwy, A. A. (2010). Nutrition & development. *African Journal of Food*, 10 (6): 2719-2739.
- Altınok, M. (2006). Tablalı mobilyada köşe birleştirme işlemlerinin diyagonal basınç ve çekme dirençlerine etkisi. *Politeknik Dergisi*, 9 (4): 311-317.
- Altınok, M. ve Kılıç, A. (2004). Modifiye edilmiş polivinilasetat (PVAc) ve klebit 303 (k.303) tutkallarının farklı sıcaklık ortamlarında yapışma performanslarının Belirlenmesi. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10 (1): 73-80.
- American Library Associations (ALA). (1982). The use of performance test and quality insurance program in the selection of library chairs. *Library technology records*, 18 (5): 483-571.
- Anuar, H., Razak, S.B. ve Kahar, N.A. (2011). Effects of high energy radiation on mechanical properties of pp/epdm nanocomposite. *Advanced Materials Research*, 264 (265): 738-742.
- Arslan, F. (2011). Karbon Nanotüp Takviyeli Polimer Nanokompozit Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 130 s.
- Artuğ, N. T. (2010). Labview ile Mikrodenetleyicili Bir Endüstriyel Otomatik Sıcaklık Kontrol Sistemi. Yüksek lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı, İstanbul, 142 s.
- ASTM International D 7247 – 07. (2016). Standard Test Method for Evaluating the Shear Strength of Adhesive Bonds in Laminated Wood Products at Elevated Temperatures. 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- ASTM International D905-08. (2016). Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by compression loading. 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- Atar, M., Ozcifci, A., Altınok, M. ve Celikel., U. (2009). Determination of diagonal compression and tension performances for case furniture corner joints constructed with wood biscuits. *Materials and Design*, 30: 665–670.
- Atar, M. (2007). PVAc Tutkalında viskozite değişiminin bazı ağaç malzemelerde yapışma direncine etkileri. *Politeknik Dergisi*, 10 (1): 85-91.

- Aydın, İ., Çolakoglu, G. ve Akbulut, T. (2001). Ağaç malzemenin yapıştırılmasında adhezyon teorisi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 51 (2): 91-98.
- Aydilek, A., Guler, M. ve Edil, T. (2004). Use of image analysis in determination of strain distribution during geosynthetic tensile testing. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 18(1): 65-74.
- Beyaz, A. (2008). Elmalarda Mekanik Zedelenmenin Görüntü Analiz Tekniği ile Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, AÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Ankara, 62 s.
- Bing, P., Huimin, X., Zhaoyang, W., Kemao, Q. ve Zhiyong, W. (2008). Study on subset size selection in digital image correlation for speckle patterns. *Optics Express*, 16 (10): 7037-7048.
- Booker, R. ve Boysen, E. (2005). *Nanotechnology For Dummies*, ed: Feltman K., Vol:2, Wiley Publishing, Indianapolis, Indiana.
- Buldurlu, E., Usta, İ., Özkaya, K., Berker, U. Ö. ve Sağıroğlu, H. U. (2005). Tutkal ve birleştirme elemanı turunun kontrplaktan yapılmış çerçevelerin köşe birleştirmelerindeki çekme ve basınç direncine etkisi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 55 (1):15-32.
- Candan, Z. (2012). Ahşap Sandviç Panel ve Laminat Parke Üretiminde Nanopartikül Kullanımı ve Teknolojik Özellikler Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 309 s.
- Cao, Y. (2010). Characterization of Pf/Pvac Hybrid Adhesive-Wood Interaction and Its Effect on Wood Strand Composites Performance. Master, Washington State University, Department of Civil and Environmental Engineering, Pullman, 108 s.
- Celep, Ş. (2007). Nanoteknoloji ve Tekstilde Uygulama Alanları, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 182 s.
- Coşar, S., Urhan, O., Ertürk, S. ve Sınmazçelik, T. (2005). Image processing supported tensile test for analysis of crack propagation in polypropylene material. *Proceedings of the IEEE 13th Signal Processing and Communications Applications Conference*, Kayseri, s. 87-90.
- Çabuk, M., Yavuz, M. ve Hlavác, J. (2011). Biyobozunur ve anti-kanserojen kitosan/benzaldehit modifikasyonu ve nanokompozitin hazırlanması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(3): 247-251.
- Çayırılı, M. (2006). Yanma Olayının Modellenmesi ve Görüntü İşleme Yoluyla Yanma Performansının Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta, 60 s.

- Çelebi, H. ve Dehmen, S. (2013). Nişasta/polikaprolakton esaslı biyobozunur nanokompozitlerin hazırlanması ve karakterizasyonu. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Sigma*, 31: 53-62.
- Çomak, B., Beycioğlu, A., Başığit, C. ve Kılınçarslan, Ş. (2011). Görüntü işleme tekniklerinin inşaat teknolojisi alanında kullanımı. *6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey, s. 220-227.
- Dang, Y., Zhang, Y., Fan, L., Chen, H. ve Roco, M. C. (2010). Trends in worldwide nanotechnology patent applications:1991-2008. *Journal of Nanoparticle Research*, 12 (3): 687-706.
- Demirel, E. Kutu Tipi Mobilya Konstrüksiyonlarının Köşe Birleştirmelerinde Kullanılan Farklı Birleştirme Tutkal ve Malzeme Türlerinin Birleştirme Mukavemetine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 106 s.
- Dilik, T. ve Hiziroglu, S. (2012). Bonding strength of heat treated compressed eastern redcedar wood, *Materials & Design*, 42: 317-320.
- Doğanalp, S. (2003). Kalman Filtreleme Yöntemiyle Deformasyon Analizi. Yüksek Lisans Tezi, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, Konya, 42 s.
- Domun, N., Hadavinia, H., Zhang, T., Sainsbury, T., Liaghat, G. H. ve Vahid, S. (2015). Improving the fracture toughness and the strength of epoxy using nanomaterials—a review of the current status. *Nanoscale*, 7(23): 10294-10329.
- Dongguang, W., Rajesh, D. ve Robert, P. (2002). Mixing and characterization of nanosized powders: An assessment of different techniques. *Journal of Nanoparticle Research*, 4: 21-41.
- Ebnesajjad, S. (2008). *Adhesives Technology Handbook*. William Andrew, America.
- Efe, H., Kasal, A., Çağatay, K. ve Kuşkun, T. (2012). Ahşap boy birleştirmelerde farklı bağlantı tekniklerinin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12 (1): 80-89.
- EN 14374. (2004). Timber structures. Structural laminated veneer lumber. Requirements
- Galimberti, M. (2012). Rubber clay nanocomposites. *Advanced Elastomers - Technology*, Ed.; Boczkowska, A; InTech, Rijeka, s. 91-120.
- General Services Administration GSA (2001). Upholstered Furniture Test Method. Eckelman, C.A and Erdil Y.Z, FNAE 80-214: A descriptions of the method with drawings, Purdue University Department of forestry and natural research, extansion publication FNR-176, 1159 Forestry BLDG., West Laffayette, 47970, Indiana, USA, pp.20-25.

- Güler, C., Şahin, H., İ. ve Çiçek, E. (2010). Hercai karaağacı (*Ulmus leavis* Pall.) odununun bazı fiziksel özelliklerinin belirlenmesi. *Ormançılık Dergisi*, 6 (1): 3-11.
- Güler, M., Sözen, Ş. ve Özen Ö. (2007). Görüntü Yöntemlerinin Beton Mikro Yapısının ve Çelik Birleşimlerin Deformasyon Davranışlarının Belirlenmesinde Uygulanması. TÜBİTAK-MAG 105M085, 156 s.
- Güntekin, E., ve Aydın, T. Y. (2015). Kızılçam odununda (*Pinus brutia* Ten.) yorulma özelliklerinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 16(1): 36-41.
- Gür, M. ve Turan, K., (2004). Fiber-matriks arayüzeyinde gerilme analizi. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 3 (1): 25-32.
- Gürmen, S. ve Ebin, B. (2008). Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri. *Metallurji*, 150 (08): 5-8.
- Henke , K., Pawlowski, R., Schregle, P. ve Winter, S. (2012). Digital image processing in the monitoring of wide-span timber roof structures. *12th World Conference on Timber Engineering, Auckland*, s. 200-210.
- Hielscher, T. (2005). Ultrasonic production of nano-size dispersions and emulsions. *Proceedings of European Nanosystems Conference ENS'05*, France, Paris, s.1-6.
- Hisar, H. (2011). Çölyak Hastalığına Ait Evrelerin Görüntü Analizi ve Sınıflandırması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, Erciyes, 68 s.
- Hongladarom, S. (2009). NanoEthics nanotechnology. *Development and Buddhist Values*, 3 (2): 97-107.
- Hosseini, A., Mostofinejad, D. ve Hajjalilue-Bonab, M. (2012). Displacement measurement of bending tests using digital image analysis method. *International Journal of Engineering and Technology*, 4 (5): 642-655.
- Hu, A., Liang, J., Tang, Z. Z. ve Lu, G. (2013). Image correlation method for full-field deformation measurements during metal sheet welding processes. *International Journal for Light and Electron Optics*, 124 (21): 5193-5198.
- Islam, M., (2011). Developing Video Measurement of Strain for Polymers Using Labview. Master of Science, Bangladesh University, Mechanical Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesh, 45s.
- Islam, M., Masoodi, R. ve Rostami, H. (2013). The effect of nanoparticles percentage on mechanical behavior of silica-epoxy nanocomposites. *Journal of Nanoscience*, Article ID 275037: 10-15.

- Karadağ, E., G. (2012). Matlab Portföy En İyileştirme Aracı ve Örnek Uygulamaların Matlab Platformundan Bağımsız (Standalone) Halde Hazırlanması. Yüksek lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Kocaeli, 121 s.
- Karaman, A. (2012). Kutu tipi Mobilya Konstrüksiyonlarında Kullanılan Demonte Bağlantı Elemanlarının Zamana Bağlı Performanslarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, BÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 205 s.
- Kasal, A. T., Efe, H. T., Deniz, E. T., ve Kuşkun, T. T. (2012). Masif ağaç ve plastik kavela ile birleştirilmiş h-tipi kutu mobilya birleştirmelerinin kesme kuvveti kapasitelerinin karşılaştırılması. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12 (2): 209-217.
- Kesik, H. İ., Çağatay, K., Olgun Ç., Bayraktar D.K. ve Eminoğlu İ. (2014). Farklı tutkallar ile yapıştırılmış bazı tropik ağaç malzemelerin yapışma dirençleri, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14 (1): 155-162.
- Kestur, P., H., C., C., Satyanarayana, K., G., ve Wypych F. (2009). Nanocomposites: synthesis, structure properties and new application opportunities. *Materials Research*, 12 (1): 1-39.
- Kharaziamin, K. (2015). Enerji Depolamasında Nanoteknoloji Uygulamaları: Tekstil Örneği. Doktora Tezi (yayınlanmamış), Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji ve Çevre Yönetimi Anabilim Dalı, İstanbul, 58s.
- Wei, K. S., Karuppanan, S. ve Latif, M. R. B. A. (2013). Development of an optical strain measurement method using digital image correlation. *Asian Journal of Scientific Research*, 6(3): 409- 411.
- Kılınç, İ. (2009). Çelik Malzemelerde Korozyon Oyuklarının Görüntü İşleme Yöntemiyle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü Makine Tasarım ve İmalat Anabilim Dalı, Sakarya, 58 s.
- Kim, S., ve Kim, H. J. (2005). Effect of addition of polyvinyl acetate to melamine-formaldehyde resin on the adhesion and formaldehyde emission in engineered flooring. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 25 (5): 456–461.
- Kirby, I. (2001). Mortise and tenon: a primer. *Woodworker's Journal*, 25 (6): 32-37.
- Koç Arpacı, D. (2014). Polistiren/Çinko Oksit Nanokompozit Sentezi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 146 s.
- Kurimoto, M., Okubo, H., Kato, K. Hanai, M. Y. Hoshina, M. Takeiand ve N. Hayakawa. (2010). Permittivity characteristics of epoxy/alumina nanocomposite with high particle dispersibility by combining ultrasonic wave and centrifugal force. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 17: 1268–1275.

- Kurtoğlu, A. Kahveci, M. ve Dilik, T. (1993). Ahşap mobilya ve yapı elemanı üretiminde kullanılan birleştirme şekilleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 40 (3): 49-57.
- Küreli, İ. (1988). Sandalyelerde Kullanılan Önemli Ahşap Birleştirmelerin Mekanik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü Anabilim Dalı, Ankara, 75s.
- Licari, J. J. ve Swanson, D. W. (2011). *Adhesives Technology for Electronic Applications*. William Andrew: USA.
- Manjunatha, C. M., Taylor, A. C., Kinloch, A. J. ve Sprenger, S. (2010). The tensile fatigue behaviour of a silica nanoparticle-modified glass fibre reinforced epoxy composite. *Composites Science and Technology*, 70 (1): 193-199.
- May, M., Wang, H.M. ve Akid, R. (2010). Effects of the addition of inorganic nanoparticles on the adhesive strength of a hybrid sol-gel epoxy system. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 30 (6): 505-512.
- Mirjalili, F., Chuah, L. and Salahi, E. (2014). Mechanical and morphological properties of polypropylene / nano α Al_2O_3 composites. *Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal*, Article ID 718765.
- Monticelli, O., Musina, Z., Russo, S. ve Bals, S. (2007). On the use of TEM in the characterization of nanocomposites, *Materials Letters*, 61: 3446 – 3450.
- Tankut, N., Tankut A. N. ve Zor, M. (2014). Mechanical properties of heat-treated wooden material utilized in the construction of outdoor sitting furniture. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38: 148-158.
- Nandanwar, A., Venugopal Naidu, M. ve Nath Pandey, C. (2013). Development of test methods for wooden furniture joints. *Wood Material Science and Engineering*, 8 (3): 188-197.
- Obucina, M., Gondzic, E. ve Smajic, S. (2014). The Influence of amount of layer on the bending strenght by longitudinal finger-jointing wood elements. *Procedia Engineering*, 69: 1094-1099.
- Örs, Y., Atar, M. ve Özçifçi, A. (1999). Kenarları masifli ve masifsiz mdflam levhalarında kavela çaplarının çekme direncine etkileri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5 (2-3): 1173-1177.
- Özçifçi, A. ve Batan, F. (2009). Bor yağının ağaç malzemenin bazı mekanik özelliklerine etkisi. *Politeknik Dergisi*, 12 (4): 287-292.
- Özçifçi, A. (2007). Effects of scarf joints on bending strength and modulus of elasticity to laminated veneer lumber (LVL). *Building and Environment*, 42 (3): 1510-1514.
- Özdoğan, E., Demir, A. ve Seventekin, N. (2006). Nanoteknoloji ve tekstil uygulamaları. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 6: 159-168.

- Özkan, H. (2012). Hayvansal Üretim Endüstrisinde Görüntü İşleme Tabanlı Gerçek Zamanlı Bir Kalite Kontrol Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta, 87 s.
- Pan, B., Wu, D. ve Xia, Y. (2010). High-temperature deformation field measurement by combining transient aerodynamic heating simulation system and reliability-guided digital image correlation. *Optics and Lasers in Engineering*, 48 (9): 841-848.
- Park, S., W., Kim, B. C. ve Lee, D., E. (2009). Tensile strength of joints bonded with a nano-particle-reinforced adhesive. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 23 (1): 95-113.
- Paul, D.R. ve Robeson, L.M. (2008). Polymer nanotechnology: nanocomposites. *Polymer*, 49 (15): 3187-3204.
- Pekdemir, M. E. (2011). Manyetik Nanopartiküller Kullanılarak Yüzeyde Güçlendirilmiş Raman Spektrometrisi ile İmmunoassay Sisteminin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Ankara, 82 s.
- Perçin, O., Özbay, G. ve Ordu, M. (2009). Farklı tutkallarla lamine edilmiş ahşap malzemelerin mekaniksel özelliklerinin incelenmesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19: 109-120.
- Pereira, J., Xavier, J., Morais, J., Lousada ve J. Pierron, F. (2010). On the evaluation of elastic properties of *P. pinaster* at the growth ring scale. *8 Congresso Nacional de Mecânica Experimental*, Guimarães, s. 51-58.
- Perihanoğlu, G. M. (2015). Dijital Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Görüntülerden Detay Çıkarımı, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 93 s.
- Portakal, O. (2008). Biyolojik ölçümler ve nanopartiküller. *Türk Biyokimya Dergisi*, 33 (1): 35-38.
- Rangari, V. K., Hassan, T. A., Mayo, Q. ve Jeelani, S., (2007). Effect of ultrasound on tungsten oxide nanoparticles and its applications in epoxy nanocomposites. *16 th International Conference on Composite Materials*, Kyoto, s 1-5.
- Roco, M. C. (1999). Nanoparticles and nanotechnology research. *Journal of Nanoparticle Research*, 1: 1-6.
- Salari, A., Tabarsa, T., Khazaeian, A. ve Saraeian, A. (2013). Improving some of applied properties of oriented strand board (OSB) made from underutilized low quality paulownia (*Paulownia fortunei*) wood employing nano-SiO₂. *Industrial Crops and Products*, 42: 1-9.
- Samtaş, G. ve Gülesin, M. (2012). Sayısal görüntü işleme ve farklı alanlardaki uygulamaları. *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 2 (1): 1-10.

- Sepet, H. (2014). Nanopartikül Takviyeli Yüksek Yoğunluklu Polietilen Nanokompozitlerin Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 139 s.
- She, Y., Zhang, H., Song, S., Lang, Q. ve Pu, J. (2013). Preparation and characterization of waterborne polyurethane modified by nanocrystalline cellulose. *Bioresources*, 8(2): 2594-2604.
- Silvestre, C. ve Duraccio, D. (2011). Introduction to polymer nanocomposites for food packaging applications, *Cost Action FA0904*, Freiburg. 100 s.
- Silvia, G. P., María, R. G. ve Alejandro, U. (2010). Nanofibers, *Publisher: InTech*, DOI: 10.5772/45660, InTech Published, Spain, 450 s.
- Söğütlü, C. ve Döngel, N. (2007). Polivinilasetat ve poliüretan tutkalları ile yapıştırılmış bazı yerli ağaçlarda çekmede makaslama dirençleri. *Politeknik Dergisi*, 10 (3): 287-293.
- Sözen, Ş. (2008). Çelik Çekme Elemanlarının Eklerinde Oluşan Doğrusal Yer Değiştirmelerin Görüntü Yöntemiyle Belirlenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 138 s.
- Sztfek, P., Vanleene, M., Olsson, R., Collinson, R., Pitsillides, A. A. ve Shefelbine, S. (2010). Using digital image correlation to determine bone surface strains during loading and after adaptation of the mouse tibia. *Journal of Biomechanics*, 43 (4): 599-605.
- Şen, F., Adlaş, K. ve Palancıoğlu, H. (2010). Yapıştırıcı tekniği ile alüminyum bağlantıların analizi, *Makinatek*, 158: 1-5.
- Tankut, A. N. ve Tankut, N. (2005). The effects of joint forms (shape) and dimensions on the strengths of mortise and tenon joints. *Turkish Journal Agriculture and Forestry*, 29: 493-498.
- Tankut, N., (2007). The effect of adhesive type and bond line thickness on the strength of mortise and tenon joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 27: 493- 498.
- Taurozzi, J. S., Hackley, V. A. ve Wiesner, M. R. (2012). Preparation of nanoparticle dispersions from powdered material using ultrasonic disruption nist. *Special Publication*, 1200: 5-15.
- Tepe, A. (2007). Nanoteknolojide Nano Ölçekteki Yapıların Yerel Olmayan Elastisite Çerçevesinde İncelenmesi. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 114 s.

- Tepekozcan, A. (2013). İndium Tin Oksit ve Bizmut (III) Oksit Nanomateryallerinin Mutajenik Özelliklerinin Ames Test ile Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, 78 s.
- Ramos, T., Furtado, A., Eslami, S., Alves, S., Rodrigues, H., Arêde, A. ve Moreira, P. M. G. P. (2015). 2D and 3d digital image correlation in civil engineering measurements in a masonry wall. *Procedia Engineering*, 114: 215-222.
- Tiwari, V. (2008). Image Correlation with Applications for Shape and Deformation Measurements, Doctor Thesis, University of South Carolina College of Engineering and Computing, Department of Mechanical Engineering, Columbia, 110 s.
- Tokgöz, H. ve Uzer, A. U. (2007). Ahşap İmalatta kullanılan hampaylı köşe birleştirmelerin diyagonal yük analizi. *Politeknik Dergisi*, 10 (2): 205-210.
- Tout, K. (2000). A review of adhesives for furniture. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 20 (4): 269-272.
- Tronto, J., Bordonal, A., C., Naal, Z. ve Valim J., B. (2013). Conducting polymers / layered double hydroxides intercalated nanocomposites. *Materials Science - Advanced Topics*, Ed.; Mastai, Y; InTech, Rijeka, s. 3-30.
- TS 2471 (2005). Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için rutubet miktarı tayini, *Türk Standartlar Enstitüsü*, Ankara.
- TS 2472 (1976). Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için birim hacim ağırlığı tayini, *Türk Standartlar Enstitüsü*, Ankara.
- TS 2474 (1979). Odunun statik eğilme dayanımının tayini, *Türk Standartlar Enstitüsü*, Ankara.
- TS 2475 (1979). Odunda liflere paralel doğrultuda çekme gerilmesinin tayini, *Türk Standartlar Enstitüsü*, Ankara.
- TS 5430 (2003). Yapısal olmayan uygulamalar için termoplastik ahşap yapıştırıcıların sınıflandırılması. *Türk Standartlar Enstitüsü*, Ankara.
- Turhan, Y. (2008). Kıl/Polivinil Türevleri Nanokompozitlerinin Sentezi ve Karakterizasyonu. Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Balıkesir, 209 s.
- TUSİAD (2008). *Uluslararası Rekabet Stratejileri: Nanoteknoloji ve Türkiye*, Tusiad Rekabet Stratejileri Dizisi, İstanbul.
- URL-1(2016). <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bdergi/yeniufuk/icerik/nanoteknoloji.pdf>, Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (UNAM), 02 Mayıs 2016.

- URL-2 (2015). <http://phys.org/news/2015-10-magnetically-battery-energy-power-grids.html>, Magnetically controlled battery could store energy for power grids 30 Haziran 2015
- URL-3 (2015). http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/21c/materials_choices/nanotechnologyrev1.shtml The importance of nanotechnology 30 Mayıs 2015.
- URL-4 (2015). <http://akgunalsaran.com/doc/7-deformasyon-3808.pdf>, Malzemelerin Deformasyonu, 31 Aralık 2015.
- Uysal, B., Özçifci, A., Kurt, Ş. ve Yapıcı, F. (2005). Lamine malzemede su buharının boyutsal değişime etkisi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (4): 655-663.
- Var, I. ve Sağlam, S. (2015). Gıda endüstrisinde nanoteknoloji uygulamaları. *The Journal of Food*, 40 (2): 1-8.
- Vatansever, A. (2015). Poli(bütül Akrilat-metil metakrilat Nanokompozitlerin Film Özelliklerinin İncelenmesi ve Boya Bağlayıcısı Olarak Kullanımı. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 184 s.
- Agubra, V. A., Owuor, P. S. ve Hosur, M. V. (2013). Influence of nanoclay dispersion methods on the mechanical behavior of e-glass/epoxy nanocomposites. *Nanomaterials*, 3: 550-563.
- Wang, Z., Gu, Z., Hong, Y., Cheng, L. ve Li, Z. (2011). Bonding strength and water resistance of starch-based wood adhesive improved by silica nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 86(1): 72–76.
- Wang, Y. ve Lee, S. (2014). Design and analysis on interference fit in the hardwood dowel-glued joint by finite element method. *Procedia Engineering*, 79: 166–172.
- Yıldırım, M. N. (2008). Termal Yaşlandırmanın Ahşap ve Ahşap Yapıştırıcılarına Etkilerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya Dekorasyon Anabilim Dalı, Karabük, 123 s.
- Yılmaz, B., (2001). Düz Zıvanalı Ve Yabancı Zıvanalı Boy Birleştirmelerde Farklı Tutkal Kullanımının Çekme Dayanımına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 54 s.
- Yılmaz, M. (2006). Bazı Ahşap Tutkallarının Masif ve Levhalarda Yapışma Performanslarının Belirlenmesi. Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 96 s.
- Yılmaz, T. ve Güntekin, E. (2012). Sandalye çerçevelerinin sonlu elemanlar analizi. *Turkish Journal of Forestry*, 13 (2): 134-139.

- Yildirim, M. N., Uysal, B., Ozciftci, A. ve Ertas, A. H. (2015). Determination of fatigue and static strength of scots pine and beech wood, *Wood Research*, 60 (4): 679-685.
- Yörür, H., (2012). Ahşap Malzemeden Üretilen Köşe Birleştirmelerin Simülasyon (ansys) Ortamında Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bartın, 184 s.
- Yörür, H., (2007). Islak Mekanlarda Ahşap Tutkallarının Yapışma Mukavemetlerinin Belirlenmesi. Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı, Zonguldak, 127 s.
- Zhai, L., Ling, G. ve Wang, Y. (2008). Effect of nano- Al_2O_3 on adhesion strength of epoxy adhesive and steel. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 28 (1-2): 23-28.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Timuçin BARDAK
Doğum Yeri ve Tarihi : SAMSUN- 08.08.1983

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : 2003 – 2006 Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği
Yüksek Lisans Öğrenimi : 2006 – 2010 Karadeniz Teknik 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., Bardak, T., Sozen, E., & Tankut, A. N. (2016). The effect of different nanoparticles and open time on bonding strength of poly (vinyl acetate) adhesive. Measurement, 81, 80-84.

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

1. Bardak, T., Aydemir, D., Tankut, N., Sözen, E., Tankut, A. N., Peltek, S., The effect of mixing method on bonding performance of PVA nanocomposites, COST Action FP1004 Enhance mechanical properties of timber, engineered wood products and timber structures, 133-139, 2014.

2. Aydemir, D., Tankut, N., Tankut, A. N., Bardak, T., Sözen, E., “Some Physical and Mechanical Properties of Laminated Wood Panels Manufactured with Nanoparticles Filled Poly(vinyl acetate) Adhesive”, COST Action FP1004 and FB1101, COST Timber Bridge Conference, Bern University of Applied Sciences Biel, Switzerland, 25-26 September 2014.

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler :

1. Tankut, A. N., Bardak, T., Ulunam, M., & Bardak, S. (2011). İleri Mühendislik Malzemelerinin Orman Endüstrisinde Kullanımı. Uluslararası Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 13(19), 90-99.

Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler:

1. Uzun, G., Gümüş, H., Yıldız, S., Gümüş, S., Aydemir, D., Bardak, T., II. ULUSAL AKDENİZ ORMAN VE ÇEVRE SEMPOZYUMU, TiO_2 İlaveli Polipropilen Nanokompozitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Isparta, 22-24 Ekim 2014.

Projeler:

1. TÜBİTAK 112R042 sayılı COST Projesi, Nanopartikül Takviyeli Polivinil Asetat (PVAc) Tutkalı ile Üretilen Mobilya Birleştirmelerinin Mekanik Performansının Belirlenmesi ve Görüntü Analizi, (2013-2016), Bursiyer

Erasmus Değişimi:

1.Hayat Boyu Öğrenme-ERASMUS Öğretim Elemanı
Ders Verme Hareketliliği Programı kapsamında misafir
öğretim elamanı, Polonya

İş Deneyimi

Stajlar : 2005 Gündoğdu Mobilya (Trabzon), 20 işgünü
2005 Bahçekapılı Kerestecilik (Trabzon), 20 işgünü
Projeler ve Kurs Belgeleri : 112R042 Tübitak COST projesi kapsamında Labview
Görüntü Analizi Eğitimi
Çalıştığı Kurumlar : Bartın Üniversitesi

İletişim

E-Posta Adresi : timucinbardak@hotmail.com

Tarih : 20/06/2016 (Tez sınav tarihi)