

**ATIK ARAÇ LASTİK TOZLARININ CAM ELYAF
TAKVİYESİYLE POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE
KULLANIMI**

VEYSEL ATAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. SEMA ALLI**

DÜZCE, 2025

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ATIK ARAÇ LASTİK TOZLARININ CAM ELYAF
TAKVİYESİYLE POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE
KULLANIMI

Veysel Atar tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Sema ALLI

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Sema ALLI

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Dilek NARTOP

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Elif Berna OLUTAŞ

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 07/01/2025

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

07 Ocak 2025

Veysel ATAR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Sema ALLI'ya en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2024.05.03.1467 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

7 Ocak 2025

Veysel ATAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	VIII
ÇİZELGE LİSTESİ	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ	1
2. MALZEME BİLİMİ VE GELİŞİMİ	3
3. KOMPOZİTLER.....	9
3.1. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER.....	9
3.2. SERAMİK MATRİSLİ KOMPOZİTLER	10
3.3. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLER	11
3.3.1. Termoset Matrisler	12
3.3.2. Termoplastik Matrisler	12
3.3.2.1. Stiren Bazlı Epoksi Reçineler.....	12
3.4. KOMPOZİT MALZEMELERDE KULLANILAN TAKVİYELER.....	14
3.4.1. Cam Elyaf	16
3.5. KOMPOZİT MALZEMELERDE KİMYASAL KÜRLEME BİLEŞENLERİ	17
3.5.1. Sertleştiriciler	17
3.5.2. Hızlandırıcılar	19
3.5.3. Aktivatorlar	19
3.5.4. UV Işık (Fotokürleme).....	19
3.5.5. Isı (Termal Kürleme)	19
3.5.6. Akrilik Asit ve Diğer Monomerler.....	19
3.5.7. Katalizörler	20
3.5.8. Modifiye Edici Katkı Maddeleri	20
3.6. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM PROSESLERİ	20
3.6.1. El Yatırma Yöntemi	20
3.7. KOMPOZİT MALZEMELERİN UYGULAMA ALANLARI.....	21
3.7.1. Havaçılık ve Uzay Endüstrisi	22
3.7.2. Otomotiv Endüstrisi.....	23
3.7.3. Yapı ve İnşaat	24
4. ATIK ARAÇ LASTİKLERİ	25
5. MATERYAL VE YÖNTEM	29
5.1. MATERYALLER.....	29
5.2. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI	29
5.3. ÇEKME DENEYİ	34
5.4. EĞİLME DENEYİ	36
5.5. DARBE DAYANIMI DENEYİ	37
6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	39

6.1. %0 ATIK LASTİK TOZU İÇEREN KOMPOZİTİN ÇEKME TESTİ.....	39
6.1.1. Çekme Gerilmesi – Şekil Değiştirme Grafiğinin Yorumlanması (%0 Atık Lastik Kompozit).....	39
6.1.2. Elastisite Modülü ve Hesaplanması.....	40
6.1.3. Uygulanan Yük Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%0 Atık lastik İçeren Kompozit).....	42
6.1.4. Çekme Gerilmesi - Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%0 Atık lastik İçeren Kompozit).....	43
6.1.5. Uygulanan Yük - Şekil Değiştirme (%) Grafiğinin Yorumlanması (%0 Atık lastik İçeren Kompozit).....	44
6.2. %0 LASTİK TOZU İÇEREN KOMPOZİTİN EĞİLME TESTİ.....	45
6.2.1. Uygulanan Yük Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%0 Atık lastik İçeren Kompozit).....	45
6.2.2. Deplasman - Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%0 Atık lastik İçeren Kompozit).....	46
6.2.3. Eğilme Gerilmesi Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%0 Atık lastik İçeren Kompozit).....	46
6.2.4. Uygulanan Yük Deplasman Grafiğinin Yorumlanması (%0 Atık lastik İçeren Kompozit).....	47
6.3. EĞİLME DAYANIMI	48
6.4. %10 ATIK LASTİK İÇEREN KOMPOZİTİN ÇEKME TESTİ.....	48
6.4.1. Uygulanan Yük Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%10 Atık lastik İçeren Kompozit).....	48
6.4.2. Çekme Gerilmesi Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%10 Atık lastik İçeren Kompozit).....	49
6.4.3. Uygulanan Yük Şekil Değiştirme Grafiğinin Yorumlanması (%10 Atık lastik İçeren Kompozit)	50
6.4.4. Çekme Gerilmesi Şekil Değiştirme Grafiğinin Yorumlanması (%10 Atık lastik İçeren Kompozit)	51
6.5. %10 ATIK LASTİK TOZU İÇEREN KOMPOZİTİN EĞME TESTİ.....	52
6.5.1. Uygulanan Yük Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%10 Atık lastik İçeren Kompozit).....	52
6.6. EĞİLME DAYANIMI	53
6.6.1. Deplasman Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%10 Atık lastik İçeren Kompozit).....	54
6.6.2. Eğilme Gerilmesi Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%10 Atık lastik İçeren Kompozit).....	54
6.6.3. Uygulanan Yük Deplasman Grafiğinin Yorumlanması (%10 Atık lastik İçeren Kompozit).....	56
6.7. %15 ATIK LASTİK TOZU İÇEREN KOMPOZİTLERİN ÇEKME TESTİ	56
6.7.1. Uygulanan Yük ve Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%15 Atık lastik İçeren Kompozit).....	56
6.7.2. Çekme Gerilmesi Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%15 Atık lastik İçeren Kompozit).....	57
6.7.3. Uygulanan Yük Şekil Değiştirme Grafiğinin Yorumlanması (%15 Atık lastik İçeren Kompozit)	58
6.7.4. Çekme Gerilmesi Şekil Değiştirme Grafiğinin Yorumlanması (%15 Atık lastik İçeren Kompozit)	59
6.8. %23 ATIK LASTİK TOZU İÇEREN KOMPOZİTİN ÇEKME TESTİ.....	60

6.8.1. Uygulanan Yük Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%23 Atık lastik İçeren Kompozit).....	60
6.8.2. Çekme Gerilmesi Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%23 Atık lastik İçeren Kompozit).....	61
6.8.3. Uygulanan Yük Şekil Değiştirme Grafiğinin Yorumlanması (%23 Atık lastik İçeren Kompozit)	62
6.8.4. Çekme Gerilmesi Şekil Değiştirme Grafiğinin Yorumlanması (%23 Atık lastik İçeren Kompozit)	63
6.9. %23 ATIK LASTİK TOZU İÇEREN KOMPOZİTİN EĞME TESTİ.....	64
6.9.1. Uygulanan Yük Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%23 Atık lastik İçeren Kompozit).....	64
6.10. EĞİLME DAYANIMI	65
6.10.1. Deplasman Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%23 Atık lastik İçeren Kompozit).....	66
6.10.2. Eğilme Gerilmesi Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%23 Atık lastik İçeren Kompozit).....	66
6.10.3. Uygulanan Yük Deplasman Grafiğinin Yorumlanması (%23 Atık lastik İçeren Kompozit).....	67
6.11. %27 ATIK LASTİK TOZU İÇEREN KOMPOZİTİN ÇEKME TESTİ... ..	68
6.11.1. Uygulanan Yük Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%27 Atık lastik İçeren Kompozit).....	68
6.11.2. Çekme Gerilmesi Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%27 Atık lastik İçeren Kompozit).....	69
6.11.3. Uygulanan Yük Şekil Değiştirme Grafiğinin Yorumlanması (%27 Atık lastik İçeren Kompozit)	70
6.11.4. Çekme Gerilmesi Şekil Değiştirme Grafiğinin Yorumlanması (%27 Atık lastik İçeren Kompozit).....	71
6.12. %27 ATIK LASTİK TOZU İÇEREN KOMPOZİTİN EĞME TESTİ.....	73
6.12.1. Uygulanan Yük Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%27 Atık lastik İçeren Kompozit).....	73
6.12.2. Eğilme Dayanımı	74
6.12.3. Deplasman Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%27 Atık lastik İçeren Kompozit).....	74
6.12.4. Eğilme Gerilmesi Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%27 Atık lastik İçeren Kompozit).....	74
6.12.5. Uygulanan Yük Deplasman Grafiğinin Yorumlanması (%27 Atık lastik İçeren Kompozit).....	75
6.13. DARBE TESTİ	76
7. DEĞERLENDİRME	79
7.1. ÇEKME TESTİ DEĞERLENDİRMESİ	79
7.2. EĞME TESTİ DEĞERLENDİRMESİ	81
8. SONUÇ	83
9. KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	89

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1. Stiren monomeri	13
Şekil 3.2. Şişecam E-mat 450g/m ² Cam Elyaf keçe.	17
Şekil 3.3. Yolcu uçağında kullanılan malzeme oranları.	23
Şekil 3.4. Otomotivde kullanılan malzemelerin kıyaslanması	24
Şekil 3.5. Otomotivde kullanılan bazı kompozitler	24
Şekil 4.1. Temsili atık araç lastiği ve lastik tozunun gösterimi.	25
Şekil 5.1. %0 atık lastik tozu içeren kompozit	30
Şekil 5.2. %10 atık lastik tozu içeren kompozit	31
Şekil 5.3. %15 atık lastik tozu içeren kompozit	31
Şekil 5.4. %23 atık lastik tozu içeren kompozit	32
Şekil 5.5. %27 atık lastik tozu içeren kompozit	32
Şekil 5.6. Kompozitlerin uygun ölçülerde kesilmesi için üzerlerine kağıt bant yapıştırıldı	33
Şekil 5.7. Numunelerin standartlara uygun hale kesilmesi.....	34
Şekil 5.8. Çekme deney numuneleri	35
Şekil 5.9. Çekme Basma Eğilme test cihazı	36
Şekil 5.10. Eğilme deneyi örneği.....	37
Şekil 5.11. Darbe dayanım test cihazı.....	38
Şekil 6.1. %0 atık lastik tozu katkılı kompozitin çekme gerilmesi-şekil değiştirme grafiği.....	39
Şekil 6.2. Standart inşaat çeliğinde gözlemlenen gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	40
Şekil 6.3. %0 atık lastik tozu katkılı kompozitin kuvvet zaman grafiği.....	42
Şekil 6.4. %0 atık lastik tozu içeren kompozitin gerilme zaman grafiği.....	43
Şekil 6.5. %0 atık lastik tozu içeren kompozitin kuvvet şekil değiştirme grafiği	44
Şekil 6.6. %0 atık lastik tozu içeren kompozitin yük zaman grafiği	45
Şekil 6.7. %0 atık lastik tozu içeren kompozitin deplasman - zaman grafiği.....	46
Şekil 6.8. %0 atık lastik içeren kompozitin eğilme gerilmesi zaman grafiği	47
Şekil 6.9. %0 atık lastik içeren kompozitin uygulanan yük - deplasman grafiği	48
Şekil 6.10. %10 atık lastik içeren kompozitin uygulanan yük zaman grafiği	49
Şekil 6.11. %10 atık lastik içeren kompozitin gerilme zaman grafiği.....	50
Şekil 6.12. %10 atık lastik içeren kompozitin uygulanan yük şekil değiştirme grafiği .	51
Şekil 6.13. %10 atık lastik içeren kompozitin çekme gerilmesi şekil değiştirme grafiği	52
Şekil 6.14. %10 atık lastik içeren kompozitin uygulanan yük zaman grafiği	53
Şekil 6.15. %10 atık lastik içeren kompozitin deplasman zaman grafiği	54
Şekil 6.16. %10 atık lastik içeren kompozitin gerilme zaman grafiği.....	55
Şekil 6.17. %10 atık lastik tozu içeren kompozitin uygulanan yük – deplasman grafiği	56
Şekil 6.18. %15 atık lastik tozu içeren kompozitin yük zaman grafiği	57
Şekil 6.19. %15 atık lastik tozu içeren kompozitin çekme gerilmesi zaman grafiği.....	58
Şekil 6.20. %15 atık lastik tozu içeren kompozitin yük uzama grafiği	59
Şekil 6.21. %15 atık lastik tozu içeren kompozitin gerilme uzama grafiği.....	60
Şekil 6.22. %23 atık lastik tozu içeren kompozitin uygulanan0 yük zaman grafiği	61
Şekil 6.23. %23 atık lastik tozu içeren kompozitin çekme gerilmesi zaman grafiği.....	62
Şekil 6.24. %23 atık lastik tozu içeren kompozitin uygulanan yük şekil değiştirme grafiği.....	63
Şekil 6.25. %23 atık lastik tozu içeren kompozitin çekme gerilmesi şekil değiştirme grafiği.....	64
Şekil 6.26. %23 atık lastik tozu içeren kompozitin uygulanan yük zaman grafiği	65

Şekil 6.27. %23 atık lastik tozu içeren kompozitin deplasman zaman grafiği	66
Şekil 6.28. %23 atık lastik tozu içeren kompozitin eğilme gerilmesi zaman grafiği	67
Şekil 6.29. %23 atık lastik tozu içeren kompozitin yük uzama grafiği	68
Şekil 6.30. %27 atık lastik tozu içeren kompozitin yük zaman grafiği	69
Şekil 6.31. %27 atık lastik tozu içeren kompozitin çekme gerilmesi zaman grafiği.....	70
Şekil 6.32. %27 atık lastik tozu içeren kompozitin uygulanan yük şekil değiştirme grafiği.....	71
Şekil 6.33. %27 atık lastik tozu içeren kompozitin çekme gerilmesi şekil değiştirme grafiği.....	72
Şekil 6.34. %27 atık lastik tozu içeren kompozitin uygulanan yük zaman grafiği	73
Şekil 6.35. %27 atık lastik tozu içeren kompozitin deplasman zaman grafiği	74
Şekil 6.36. %27 atık lastik tozu içeren kompozitin gerilme zaman grafiği	75
Şekil 6.37. %27 atık lastik tozu içeren kompozitin yük uzama grafiği	76
Şekil 6.38. Atık lastik oranına göre darbe dayanımı grafiği	77
Şekil 7.1. %0, %10, %15, %23, %27 atık lastik tozu içeren kompozitlerin çekme gerilmesi – şekil değiştirme grafiği	79
Şekil 7.2. Maksimum çekme gerilmesinin atık lastik tozu oranlarına göre değişimi	79
Şekil 7.3. Elastisite modüllerinin atık lastik oranlarına göre değişimi	80
Şekil 7.4. Atık lastik oranına göre eğilme dayanımı	81



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1. Polimer matrisli kompozitlerin bazı kullanım alanları.	12
Çizelge 6.1. Atık lastik oranına göre darbe dayanımı karşılaştırması	76
Çizelge 7.1. Atık lastik oranına göre darbe dayanımı ve dayanım seviyesi karşılaştırması	82



ÖZET

ATIK ARAÇ LASTİK TOZLARININ CAM ELYAF TAKVİYESİYLE POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE KULLANIMI

Veysel ATAR

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Sema ALLI

Ocak 2025, 88 sayfa

Bu tez çalışmasında, atık araç lastiklerinden elde edilen atık lastik tozu, cam elyaf ile güçlendirilerek stiren bazlı epoksi reçine içinde dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Atık lastik tozu içeren stiren bazlı epoksi reçine, metil etil keton katalizörü kullanılarak ve el yatırma yöntemiyle oda sıcaklığında üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, çekme dayanımı ve üç nokta eğilme dayanımı testleri ile değerlendirilmiş ve ortalama dayanım değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, düşük hız darbe testleri yapılarak malzemelerin darbe direnci incelenmiştir. Çekme testi, malzemenin maksimum gerilim altında dayanımını ve elastikiyetini analiz ederek, lastik tozunun kompozitin çekme mukavemetine etkisini ortaya koymuştur. Eğme testi, kompozitin bükülme dayanımını ve rijitliğini inceleyerek, cam elyafın ve lastik tozu katkısının bükülme davranışı üzerindeki etkisini değerlendirmemize olanak sağlamıştır. Darbe testi ise kompozitlerin ani darbelere karşı direncini ve enerji absorpsiyon kapasitesini ölçmek amacıyla yapılmış, malzemenin kırılma tokluğu hakkında bilgi sağlamıştır. Bu testler sonucunda elde edilen veriler, atık lastik tozu oranının kompozit malzemenin dayanıklılığı üzerinde ne derece etkili olduğunu göstererek, geri dönüştürülmüş atıkların endüstriyel kullanımı için önemli bulgular sunmuştur. Sonuç olarak, bu çalışma, geri dönüşümden elde edilen malzemelerin kompozitlerde kullanım potansiyelini değerlendirmekte ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamak amacıyla atıkların değerli bir kaynak olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Atık Araç Lastikleri, Stiren Reçine, Cam Elyaf, Polimer Matris, Geri Dönüşüm.

ABSTRACT

USE OF WASTE VEHICLE TIRE POWDER IN POLYMER MATRIX COMPOSITES WITH GLASS FIBER REINFORCEMENT

Veysel ATAR

Düzce University

Graduate School, Department of Composite Material Technologies

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sema ALLI

January 2025, 88 pages

In this thesis, waste tire powder obtained from discarded vehicle tires was used as a filler material in a styrene-based epoxy resin, reinforced with fiberglass. The styrene-based epoxy resin containing waste tire powder was produced using methyl ethyl ketone as a catalyst and the hand lay-up method at room temperature. The mechanical properties of the produced composite materials were evaluated through tensile strength and three-point bending strength tests, and the average strength values were determined. Additionally, low-velocity impact tests were conducted to examine the impact resistance of the materials. The tensile test analyzed the material's maximum stress resistance and elasticity, revealing the effect of tire powder on the tensile strength of the composite. The bending test evaluated the flexural strength and stiffness of the composite, allowing an assessment of the impact of fiberglass and tire powder on bending behavior. The impact test measured the resistance of the composites to sudden impacts and their energy absorption capacity, providing insights into the fracture toughness of the material. The data obtained from these tests demonstrated the significant effect of waste tire powder content on the durability of the composite material, offering valuable findings for the industrial application of recycled materials. In conclusion, this study evaluated the potential use of recycled materials in composites and showed that waste materials could be utilized as a valuable resource to contribute to environmental sustainability goals.

Keywords: Waste Vehicle Tires, Styrene Resin, Glass Fiber, Polymer Matrix, Recycling.

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca kullanılan malzemeler, toplumların gelişiminde temel bir rol oynamış ve farklı dönemlere adını vermiştir. İlk çağlarda doğal malzemelerin kullanımıyla başlayan bu süreç, özellikle Sanayi Devrimi sonrasında metal, seramik, polimer gibi mühendislik malzemelerinin geliştirilmesiyle hız kazanmıştır (Ashby & Jones, 2012). Günümüzde, malzeme bilimi ve mühendislikteki gelişmeler sayesinde metaller, seramikler, polimerler ve kompozitler gibi geniş bir yelpazeye yayılan mühendislik malzemeleri, farklı uygulamalarda ihtiyaç duyulan dayanıklılık, hafiflik ve ekonomik verimlilik gibi özelliklere göre tercih edilmektedir (Bledzki & Gassan, 1999; Jr & Rethwisch, 2020).

Metaller yüksek mukavemet ve işlenebilirlik özelliklerinden dolayı otomotiv, inşaat ve makine sanayilerinde yaygın olarak kullanılırken; seramikler yüksek sıcaklık dayanımı ve kimyasal kararlılığı nedeniyle elektronik, enerji ve sağlık sektörlerinde önem kazanmaktadır (Mallick, 2007). Polimerler, düşük yoğunlukları ve kolay şekil verilebilir yapıları nedeniyle birçok endüstride talep görmektedir (Laoutid vd., 2009). Kompozit malzemeler ise iki veya daha fazla malzemenin avantajlarını bir araya getirerek, yapısal dayanıklılığı ve hafifliği en üst düzeye çıkararak bir özellik kombinasyonu sunar. Bu tür malzemeler, özellikle cam elyaf veya karbon fiber gibi yüksek dayanımlı takviyelerle güçlendirilmiş epoksi bazlı kompozitler, yüksek performans gerektiren havacılık, otomotiv ve inşaat sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Pacheco-Torgal vd., 2014; Thakur vd., 2017).

Ancak, modern mühendislik malzemelerinin üretimi büyük ölçüde enerji ve kaynak tüketimini gerektirmekte, bu da çevresel sürdürülebilirlik açısından çeşitli sorunlara yol açmaktadır (Rana & Figueiro, 2016). Doğal kaynakların azalması ve endüstriyel faaliyetlerin çevre üzerindeki olumsuz etkileri, geri dönüştürülmüş malzemelerin mühendislik uygulamalarında kullanımını giderek daha önemli hale getirmektedir (Marinković vd., 2012). Bu bağlamda, özellikle çevreye zararlı olan atık lastiklerin geri dönüştürülerek mühendislik malzemesi olarak değerlendirilmesi, kaynak tüketimini azaltmak ve çevreye duyarlı çözümler üretmek adına büyük bir potansiyel taşımaktadır.

Dünya genelinde her yıl yaklaşık bir milyar lastik atığının ortaya çıktığı tahmin edilmekte ve bu atıkların doğada yüzlerce yıl bozulmadan kalabilmesi çevresel açıdan ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Lastiklerin doğaya bırakılması veya yakılması, hem çevre kirliliğine yol açmakta hem de ekonomik anlamda kaynak israfına neden olmaktadır (Siddique & Naik, 2004).

Bu çalışma, geri dönüştürülmüş atık lastik tozunun cam elyaf takviyeli stiren bazlı epoksi reçine kompozitlerde kullanımını ve bu katkının kompozitin mekanik özelliklerine etkilerini incelemektedir. Geri dönüşümden elde edilen atık lastik tozunun kompozitlerin çekme, eğme ve darbe dayanımı gibi temel mekanik özelliklerine katkıda bulunup bulunmadığı araştırılmıştır. Çekme testi, malzemenin gerilme altında dayanıklılığını ölçerek, lastik tozunun kompozitin çekme mukavemetine olan etkisini ortaya koymuştur. Eğme testi, kompozitin bükülme dayanımını ölçerek, cam elyafın ve lastik tozu katkısının kompozit üzerindeki etkisini analiz etmemize olanak sağlamıştır. Darbe testi ise kompozitin ani darbelere karşı direncini ve enerji absorpsiyon kapasitesini ölçmüştür. Elde edilen sonuçlar, geri dönüştürülmüş lastik tozunun farklı oranlarda kullanıldığında kompozitlerin dayanıklılığı üzerindeki değişimleri ortaya koymuş ve geri dönüşüm malzemelerinin endüstriyel kompozitlerde etkin bir katkı maddesi olarak kullanılma potansiyelini değerlendirmiştir.

Bu çalışma, hem mühendislik malzemelerinin sürdürülebilirlik perspektifinde ele alınmasını hem de çevre dostu malzeme kullanımını teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın elde ettiği bulgular, karbon ayak izini azaltarak ve doğal kaynakları koruyarak çevresel sürdürülebilirliği desteklemeye yönelik stratejiler geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, geri dönüştürülmüş atıkların malzeme mühendisliği alanındaki uygulamalarını genişletmeyi ve sürdürülebilir üretim süreçlerine katkı sunmayı hedeflemektedir.

2. MALZEME BİLİMİ VE GELİŞİMİ

Malzeme bilimi, insanlık tarihinin en eski dönemlerinden itibaren toplumların gelişiminde merkezi bir rol oynamıştır. İlk çağlarda taş, kemik ve ahşap gibi doğal malzemelerin işlenmesiyle başlayan süreç, tarihsel olarak bakır, bronz ve demir gibi metal malzemelerin keşfiyle ilerlemiştir. Bu malzemeler, farklı çağlara adını vermiş, insanlık tarihinde medeniyetlerin ilerlemesine katkı sağlamıştır (Smith, 2012). Demir Çağı'nda demirin yaygın kullanımı, yüksek dayanıklılık ve işlenebilirlik özellikleri sayesinde toplumların askeri ve ekonomik yapısında büyük değişimlere yol açmıştır (Rogers, 2009).

Sanayi Devrimi ile birlikte malzeme bilimi alanında köklü bir değişim yaşanmıştır. Metal işleme teknolojilerindeki yenilikler, özellikle demir ve çelik üretiminde büyük ilerlemeler sağlamış, bu malzemeler sanayileşmenin ana unsurları haline gelmiştir (Askeland vd., 2010). Aynı dönemde, plastikler ve diğer sentetik polimerlerin geliştirilmesi, malzeme bilimine yeni bir boyut kazandırmıştır. Hafiflik, dayanıklılık ve esneklik gibi özellikleriyle polimerler, özellikle otomotiv, ambalaj ve elektronik sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Jr & Rethwisch, 2020).

Modern mühendislik uygulamalarında malzemeler, genellikle dört ana sınıfa ayrılmaktadır: metaller, seramikler, polimerler ve kompozitler. Metaller, yüksek mukavemet, elektriksel iletkenlik ve ısı dayanıklılığı gibi özellikleri nedeniyle otomotiv, havacılık ve inşaat sektörlerinde tercih edilmektedir (Shackelford, 2000a). Seramikler ise yüksek sıcaklık ve kimyasal dayanıklılık gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır ve çoğunlukla kimya, enerji ve tıp gibi sektörlerde yer bulmaktadır (Kingery vd., 1976). Polimerler, düşük yoğunlukları ve kolay işlenebilirlikleri ile öne çıkmakta ve ambalaj, otomotiv ve tıbbi cihazlar gibi birçok sektörde kullanılmaktadır (Hegde & Katti, 2016). Kompozit malzemeler ise farklı türde malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulur ve bu sayede yüksek dayanıklılık, hafiflik ve esneklik gibi özelliklerin kombinasyonunu sunar; özellikle havacılık ve otomotiv gibi sektörlerde kritik öneme sahiptir (Mallick, 2007).

Günümüzde, sürdürülebilir malzeme kullanımı ve geri dönüşüm malzemelerine yönelik artan ilgi, malzeme biliminin gelişiminde yeni bir dönemi işaret etmektedir. Özellikle endüstriyel atıkların geri kazanımı ve yeniden kullanılabilir malzemelere dönüştürülmesi, doğal kaynakların korunması ve çevresel etkilerin azaltılması açısından önemlidir (Ashby, 2012). Geri dönüşümlü mühendislik malzemelerinin yaygınlaşması, modern mühendislik uygulamalarında hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağlamaktadır. Malzeme bilimi bu gelişmeler ışığında sürekli olarak evrim geçirmekte ve daha sürdürülebilir, yüksek performanslı ve düşük maliyetli çözümler sunmaya devam etmektedir.

Malzemeler genellikle metaller, seramikler ve polimerler olmak üzere üç temel gruba ayrılır. Bu temel sınıfların yanı sıra, en az iki farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşan kompozit malzemeler de önemli bir kategori olarak öne çıkar. Ayrıca, modern teknoloji uygulamalarında kullanılan bir diğer malzeme grubu ise ileri malzemelerdir. İleri malzemeler arasında yarı iletkenler, biyomalzemeler, nanomalzemeler ve akıllı malzemeler yer alır ve bu tür malzemeler, genellikle özel işlevsellikleri ile dikkat çekmektedir.

Metaller, mühendislik malzemeleri arasında dayanıklılık, işlenebilirlik ve yüksek iletkenlik gibi özellikleriyle en eski çağlardan beri insanların ihtiyaçlarını karşılayan temel malzemelerden biri olmuştur. Tarih boyunca bakır, bronz ve demir gibi metallerin keşfi, insanlığın teknolojik gelişiminde dönüm noktaları yaratmış, bu malzemeler farklı çağlara adını vermiştir (Smith, 1981). Günümüzde de metaller, dayanıklılık ve mukavemet özelliklerinden dolayı mühendislik alanında kritik bir öneme sahiptir. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmaları, ağır yükleri taşıyabilmeleri ve dayanıklılıkları sayesinde, metaller ağır sanayi, inşaat, otomotiv ve havacılık gibi birçok sektörde geniş bir kullanım alanına sahiptir (Shackelford, 2000).

Metallerin temel özelliklerinden biri de elektrik ve ısı iletkenliği kapasiteleridir; bu özellikler, metallerin enerji üretiminden elektronik bileşenlere kadar pek çok alanda kullanılmasına olanak tanır. Örneğin, bakır, yüksek elektrik iletkenliği sayesinde elektronik devrelerde, kablolama ve bağlantı elemanlarında yaygın olarak kullanılır. Aynı zamanda, çelik ve demir gibi metallerin işlenebilirliği ve dayanıklılığı, özellikle inşaat sektöründe taşıyıcı kolonlar, köprüler ve bina iskeletleri gibi yapıların ana bileşeni olmalarını sağlar (Askeland vd., 2010).

Farklı endüstrilerde kullanılan metal türleri ve özellikleri sektöre göre değişiklik gösterebilir. Demir ve çelik, inşaat ve makine sanayisinde en yaygın kullanılan metal türleri olup, yüksek mukavemet ve dayanıklılıkları sayesinde yapı ve altyapı projelerinde tercih edilmektedir. Alüminyum, hafif yapısı ve korozyona karşı dayanıklılığı nedeniyle otomotiv ve havacılık sektöründe ön plana çıkar. Örneğin, uçak gövdelerinde, motor parçalarında ve hafif otomobil bileşenlerinde alüminyum tercih edilerek ağırlık azaltılırken, yakıt verimliliği artırılmaktadır (Callister Jr & Rethwisch, 2020). Bakır, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği ile bilinir ve elektronik, elektrikli aletler ve enerji sektöründe kritik bir role sahiptir. Bakır kablolar, motorlar, elektrik devreleri ve iletim hatlarında sıkça kullanılır. Titanyum ise korozyon direnci, yüksek mukavemet ve hafifliğiyle öne çıkar; aynı zamanda biyoyumlu yapısıyla biyomedikal uygulamalarda (örneğin protezler ve implantlar) ve havacılıkta sıkça kullanılır (Rogers, 2009).

Metallerin şekil alabilme özellikleri de endüstriyel üretimde önemli bir avantaj sağlar. Dövme, çekme, haddeleme ve döküm gibi yöntemlerle metallerin istenen form ve şekillere getirilmesi, üretim sürecini kolaylaştırırken malzeme israfını azaltır. Bu şekil verilebilirlik özelliği, aynı zamanda metallerin karmaşık ve yüksek hassasiyet gerektiren bileşenlerde kullanılmasını mümkün kılar. Örneğin, otomotiv sektöründe motor bileşenleri, vites kutuları ve diğer mekanik parçalar metal şekillendirme teknikleriyle üretilir. Metal yüzeylerin korozyona karşı dayanıklı hale getirilmesi için galvanizleme, anodize etme veya kaplama gibi teknikler de uygulanarak metallerin ömrü uzatılmaktadır (Kingery vd., 1976).

Bu özelliklerin tamamı, metallerin modern mühendislikte geniş bir uygulama yelpazesine sahip olmasını sağlamaktadır. Metal alaşımlarının geliştirilmesi, sektöre özgü ihtiyaçlara daha iyi cevap veren malzemeler sunmakta ve metalleri her geçen gün daha işlevsel kılmaktadır. Özetle, metaller dayanıklılık, mukavemet, esneklik ve iletkenlik gibi özellikleriyle modern mühendislik uygulamalarında vazgeçilmez bir malzeme grubu olarak konumlanmaktadır.

Polimerler, uzun zincir yapısında tekrarlayan molekül birimlerinden oluşan yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir ve hafiflik, dayanıklılık ve kimyasal direnç gibi özellikleriyle mühendislik malzemeleri arasında özel bir yere sahiptir. Polimerler, doğal (örneğin, kauçuk ve selüloz) ve sentetik (örneğin, polietilen ve PVC) olarak sınıflandırılabilir. Hafif yapıları, düşük yoğunlukları ve kolay işlenebilirlikleri sayesinde

otomotiv, elektronik, tıp, ambalaj ve inşaat gibi birçok endüstride yaygın olarak kullanılırlar (Hegde & Katti, 2016). Çoğu polimer, kimyasallara ve korozyona karşı dayanıklı olduklarından, agresif çevre koşullarına maruz kalan uygulamalarda tercih edilmektedirler. Ayrıca, polimerler genellikle iyi bir elektrik yalıtkanındır ve bu özellikleri nedeniyle kablo kaplamaları, elektriksel yalıtkanlar ve elektronik cihazların bileşenlerinde yaygınca kullanılırlar (Shackelford, 2000b).

Polimerler temel olarak termoplastikler ve termosetler olarak iki ana sınıfa ayrılır. Termoplastikler, ısıtıldığında yumuşayan ve soğutulduğunda yeniden sertleşen, böylece tekrar tekrar işlenebilen polimerlerdir. Polietilen, polipropilen ve PVC gibi termoplastikler, ambalaj malzemeleri, boru ve çeşitli tüketici ürünlerinde kullanılmaktadır. Termosetler ise ısıtıldıklarında sertleşip tekrar şekil değiştiremeyen polimerlerdir. Epoksi ve fenol reçineleri gibi termosetler, yüksek sıcaklık ve mekanik dayanım gerektiren uygulamalarda tercih edilir. Elastomerler, bir diğer polimer sınıfını oluşturarak yüksek elastikiyet özellikleriyle bilinir ve kauçuk gibi malzemelerle otomobil lastikleri, contalar ve esnek bağlantı elemanları gibi ürünlerde kullanılır (Callister Jr & Rethwisch, 2020).

Polimerlerin mühendislikteki önemini artıran bir diğer özellikleri, üretim süreçlerinde sağladıkları esnekliktir. Enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve döküm gibi yöntemlerle istenilen form ve yapıya kolayca getirilebilmeleri, polimerlerin seri üretim süreçlerine kolayca entegre olmasını sağlar. Polimer esaslı kompozitlerin, cam elyaf veya karbon fiber gibi takviyelerle güçlendirilmesi de yaygın bir uygulamadır ve bu sayede mekanik dayanıklılığı artırılmış polimer kompozitler, otomotiv ve havacılık gibi yüksek performans gerektiren sektörlerde kullanılabilir (Ashby, 2012). Mühendislik uygulamalarında yüksek performans ve hafiflik gereksinimlerine yanıt veren polimerler, çevresel sürdürülebilirlik açısından da araştırmalara konu olmakta ve geri dönüşüm potansiyelleri giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Seramikler, inorganik ve genellikle kristal yapılı, yüksek sıcaklıklarda işlenmiş katı malzemelerdir. Tarih boyunca pişmiş toprak, çömlekçilik ve yapı malzemesi olarak kullanılan seramikler, günümüzde ileri teknolojiye dayalı mühendislik malzemeleri olarak dikkat çekmektedir. Seramikler, üstün sertlik, kimyasal kararlılık ve yüksek sıcaklık dayanımı gibi özellikleriyle bilinir; bu özellikler, seramikleri aşınmaya, korozyona ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı hale getirir. Diğer mühendislik malzemelerinden farklı olarak seramikler, düşük elektriksel ve ısı iletkenlik özellikleri

ile öne çıkar, bu da onları elektrik ve elektronik sektörlerinde yalıtkan malzeme olarak ideal hale getirir (Kingery vd., 1976). Ek olarak, seramiklerin kimyasal olarak inert yapıları, aşındırıcı ve korozyif ortamlarda uzun ömürlü performans göstermelerini sağlar.

Seramikler, genel olarak oksit seramikler, karbürler, nitrürler ve cam seramikler olarak sınıflandırılmaktadır. Oksit seramikler, alümina (Al_2O_3) ve zirkonya (ZrO_2) gibi bileşikler içerir ve yüksek sıcaklık, kimyasal direnç ve aşınma dayanımı gerektiren uygulamalarda kullanılır. Örneğin, alümina, yüksek sertliği ve aşınmaya dayanıklılığı sayesinde kesici aletler, endüstriyel fırın parçaları ve termal bariyer kaplamaları gibi uygulamalarda tercih edilir. Zirkonya ise termal kararlılığı ve mekanik dayanıklılığıyla dikkat çeker ve özellikle biyomedikal implantlar ile oksijen sensörlerinde kullanılır (Richerson & Lee, 2018). Karbürler ve nitrürler, aşırı sert ve dayanıklı yapıları sayesinde aşınma ve yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda kullanılır. Örneğin, silikon karbür (SiC) ve bor nitrür (BN) gibi bileşikler, kesici uçlar, taşlama araçları, zırh kaplamaları ve yüksek sıcaklık fırınları gibi uygulamalarda tercih edilir.

Cam seramikler, hem amorf hem de kristal yapıların özelliklerini birleştirerek üretilen özel seramik türleridir ve termal kararlılıkları ile öne çıkar. Bu özellikleri, cam seramikleri mutfak gereçlerinde, biyomedikal implantlarda, optik cihazlarda ve elektronik bileşenlerde ideal hale getirir. Cam seramikler, düşük genleşme katsayısına sahip olmaları sayesinde ani sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklıdır ve bu nedenle yüksek ısı şok dayanımı gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılır (Callister Jr & Rethwisch, 2020).

Seramiklerin mühendislikte geniş bir kullanım alanı bulmalarını sağlayan temel özelliklerinden biri de yüksek basma dayanımıdır. Genellikle kırılğan yapıda olmalarına karşın, seramikler, yüksek basınç altında dayanıklılık gösterir ve yapısal uygulamalarda önemli avantajlar sunar. Seramiklerin kırılma tokluğu düşük olsa da, sertlikleri ve aşınma dayanımları, onları bilyalı rulmanlar, contalar, vana parçaları ve diğer yüksek aşınma direnci gerektiren parçalarda ideal hale getirir. Ayrıca, seramiklerin elektriksel yalıtkanlık özellikleri de önemlidir; bu özellikleri sayesinde, elektrik ve elektronik endüstrisinde yüksek performanslı yalıtkanlar, izolasyon malzemeleri ve kapasitörler gibi bileşenlerde sıkça kullanılmaktadır (Askeland vd., 2010).

Seramiklerin biyoyoumlu olması da onları tıp sektöründe önemli bir konuma taşımıştır. Biyomedikal uygulamalarda kullanılan hidroksiapatit (kristal dolgu) ve zirkonyum gibi

biyoseramikler, kemik ve diş implantları gibi alanlarda kullanılmaktadır. Biyoseramikler, insan dokularıyla uyumlu yapıları sayesinde doku bütünlüğünü korur ve biyolojik sistemlerle reaksiyona girmez, bu da onları protezlerde ve implantlarda güvenilir bir malzeme haline getirir. Sonuç olarak, seramikler, sertlik, ısıya ve kimyasallara karşı dayanıklılık, elektriksel yalıtkanlık ve biyouyumluluk gibi özellikleriyle birçok mühendislik uygulamasında ve biyomedikal alanda vazgeçilmez bir malzeme olarak öne çıkmaktadır.



3. KOMPOZİTLER

Kompozitler, iki veya daha fazla farklı malzemenin birleşiminden oluşan ve her bir bileşenin en iyi özelliklerini bir araya getirerek yeni, yüksek performanslı bir malzeme elde edilmesini sağlayan mühendislik malzemeleridir. Bu yapı, kompozitlerin hafiflik, yüksek mukavemet, dayanıklılık ve kimyasal direnç gibi özellikleri tek bir yapıda toplamasını mümkün kılar. Kompozitler genellikle matris ve takviye bileşenlerinden oluşur; matris bileşeni, kompozit malzemenin birliğini ve şekil bütünlüğünü sağlarken, takviye bileşeni mukavemeti ve dayanıklılığı artırır (Mallick, 2007). Matrisler çoğunlukla polimer, metal veya seramik bazlıdır; takviye malzemeleri ise karbon fiber, cam elyaf veya seramik parçacıklar gibi yüksek dayanımlı bileşenlerdir. Kompozitlerin bu yapılandırması, onları inşaat, otomotiv, havacılık ve spor ekipmanları gibi birçok sektörde tercih edilen malzemeler haline getirir. Matris türüne göre kompozitler, metal seramik ve polimer matrisli kompozitler olmak üzere üç ana sınıfa ayrılmaktadır.

3.1. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER

Alüminyum veya titanyum gibi metallerin içine yerleştirilen seramik veya karbon fiber takviyelerle güçlendirilir ve yüksek sıcaklık, aşınma dayanımı gerektiren uygulamalarda kullanılır. MMC'ler, örneğin uçak motoru bileşenleri ve ağır yüklere maruz kalan endüstriyel parçalar için idealdir (Chawla, 2012).

Metal matrisli kompozitler, yüksek sıcaklık dayanımı ve aşınma direnci gerektiren uygulamalarda tercih edilen kompozitlerdir. Alüminyum veya titanyum gibi hafif metaller matris olarak kullanılır ve karbon veya seramik liflerle takviye edilerek mukavemetleri artırılır. MMC'ler, uçak motorları, askeri zırh ve endüstriyel aşındırıcı parçalar gibi yüksek performans gerektiren alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Shackelford, 2000b).

MMK'ların üretiminde çeşitli yöntemler kullanılır. Toz Metalurjisi: Metal ve takviye tozlarının karıştırılıp preslenmesi ve ardından sinterlenmesiyle kompozit elde edilir. Bu yöntem, homojen mikro yapı ve yüksek yoğunluk sağlar (Kalemtas, 2014).

Döküm Yöntemleri: Ergitilmiş metal içerisine takviye malzemelerinin eklenmesiyle kompozit oluşturulur. Özellikle alüminyum matrisli kompozitlerin üretiminde yaygın olarak kullanılır (Sur & Kayabaşı, 2019).

Sürtünme Karıştırma Yöntemi (Friction Stir Processing): Katı haldeki metal yüzeyine takviye malzemelerinin sürtünme ile karıştırılmasıyla yüzey kompozitleri elde edilir. Bu yöntem, yüzey özelliklerini iyileştirmek için kullanılır (Gençer, 2021).

MMK'ların geliştirilmesinde, takviye malzemelerinin boyutu, şekli ve dağılımının yanı sıra matris-takviye ara yüzey özellikleri de kritik öneme sahiptir. Örneğin, nano boyutlu takviyelerin kullanımı, kompozitin mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirebilir (Maździarz & Nosewicz, 2024).

3.2. SERAMİK MATRİSLİ KOMPOZİTLER

Seramik matrisli kompozitler, olağanüstü yüksek sıcaklık dayanımı ve oksidasyon direnci ile bilinir. Seramik matris içine yerleştirilen seramik veya karbon lifleri, bu kompozitlerin roket motorları, nükleer reaktörler ve uzay araçları gibi aşırı koşullara maruz kalan uygulamalarda güvenle kullanılmasını sağlar. CMC'ler, kırılma direncini azaltmak için genellikle lif takviyeleriyle güçlendirilir ve çok yüksek sıcaklıklarda boyut kararlılığını koruyarak üstün performans gösterir (Richerson & Lee, 2018). Seramik Matrisli Kompozitler, yüksek sıcaklık dayanımı, kimyasal kararlılık ve mekanik mukavemet gibi özellikleri nedeniyle ileri mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan malzemelerdir (Kalemtaş, 2015).

Bu kompozitler, kırılma direnci nedeniyle bazı sınırlamaları olan seramik malzemelere, takviye elemanları eklenerek kırılma tokluğu, termal şok direnci ve mekanik dayanım gibi özellikler kazandırılır (Demir, 2008). Genellikle seramik matrisler olarak silisyum karbür (SiC), alümina (Al_2O_3) ve zirkonya (ZrO_2) tercih edilirken, takviye malzemesi olarak sürekli fiberler, süreksiz fiberler ve partiküller kullanılır (Kaya, 2016). Sürekli fiberler arasında SiC ve alümina fiberleri yaygın olarak tercih edilmekte olup, bu malzemeler özellikle yüksek sıcaklık dayanımı ve tokluk sağlar (Demir, 2008). Süreksiz fiberler ve partiküller ise üretim kolaylığı ve maliyet avantajı nedeniyle tercih edilmektedir (Kaya, 2016).

3.3. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLER

Polimer (Yunanca: poli "çok", meros "parça"; çok parçalı anlamında), monomer denilen görece küçük moleküllerin birbirlerine tekrarlar halinde eklenmesiyle oluşan çok uzun zincirli moleküllerdir (Clyne & Hull, 2019). Düşük yoğunluk, yüksek mukavemet ve kolay işlenebilirlik özellikleri sayesinde endüstride en yaygın kullanılan kompozit türüdür. Bu kompozitler, özellikle cam elyaf veya karbon fiber ile takviye edilerek otomotiv, havacılık ve spor ekipmanlarında geniş bir kullanım alanı bulur. Cam elyaf takviyeli polimerler (GFRP) hafif ve dayanıklı yapılarıyla özellikle taşıma ve altyapı projelerinde tercih edilmektedir.

En yaygın kullanılan kompozit türlerinden biri olan polimer matrisli kompozitler, düşük yoğunlukları ve yüksek mukavemetleri nedeniyle birçok sektörde tercih edilir. Epoksi reçine gibi polimer matrislerin içine cam elyaf veya karbon fiber gibi lif takviyeler eklenerek mekanik dayanıklılıkları artırılır. PMK'lar özellikle otomotiv, havacılık ve spor ekipmanlarında yaygın olarak kullanılır ve hafif yapılarıyla yakıt verimliliğine katkı sağlar (Callister Jr & Rethwisch, 2020).

Polimer Matrisli Kompozitler (PMK), polimer matrislerin içine takviye malzemelerinin eklenmesiyle oluşturulan malzemelerdir. Bu kompozitler, matris malzemesi olarak epoksi, polyester ve vinil ester gibi reçineler ile cam, aramid ve karbon elyaf gibi takviye malzemelerinin birleştirilmesi sonucunda üstün özellikler gösteren malzemelerdir. (Çakır & Berberoğlu, 2018).

PMK'lar, yüksek mukavemet, hafiflik, korozyon direnci ve tasarım esnekliği gibi avantajları nedeniyle havacılık, otomotiv, inşaat ve spor ekipmanları gibi çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, cam elyaf takviyeli polimer kompozitler, yüksek mukavemet, esneklik, sertlik ve kimyasal direnç gibi özelliklere sahiptir (Arı, 2022).

Üretim yöntemleri arasında el yatırma, reçine transfer kalıplama, vakum infüzyon ve otoklav kütleme gibi teknikler bulunmaktadır. Bu yöntemler, kompozitin istenen özelliklerine ve uygulama alanına göre seçilir. (Kaner, 2024). Polimer matrisli kompozitlerin bazı kullanım alanları Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Polimer matrisli kompozitlerin bazı kullanım alanları.

Sektör	Uygulama Alanları
Havacılık	Uçak gövdeleri, kanatlar, helikopter parçaları
Otomotiv	Hafif ve dayanıklı şasi, kaporta
Elektronik	Devre kartları, elektrik yalıtımı
Denizcilik	Tekneler, korozyona dayanıklı yüzeyler

3.3.1. Termoset Matrisler

Termoset matrisler, kürlenme işlemi sonrası yapısal olarak geri dönüşü olmayan bir özellik kazanarak, yüksek sıcaklık dayanımı, mekanik sağlamlık, kimyasallara karşı direnç ve boyutsal stabilite gibi üstün nitelikler sergiler. Epoksi, poliester, vinil ester, fenolik ve poliüretan reçineler, bu sınıfın en yaygın türleri arasında yer alır ve havacılık, otomotiv, denizcilik ve elektronik gibi farklı sektörlerde önemli bir rol oynar. Bu malzemeler, hafif ve dayanıklı yapılarıyla dikkat çekerken, yeniden işlenememe, düşük darbe dayanımı ve karmaşık üretim süreçleri gibi dezavantajlara sahiptir. Özellikle sürdürülebilirlik açısından geri dönüşümsüz olmaları, çevresel etkilerinin tartışılmasına yol açmaktadır (Kaya, 2024).

3.3.2. Termoplastik Matrisler

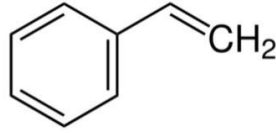
Termoplastik matrisler, polimer matrisli kompozitlerde ısıtıldığında yumuşayıp şekillendirilebilen, soğutulduğunda ise tekrar sertleşen polimerlerdir. Bu özellikleri, termoplastiklere geri dönüştürülebilirlik ve yeniden şekillendirilebilirlik avantajı sağlar. Darbe dayanımı yüksek olup kırılganlıkları düşüktür, ancak kimyasallara karşı dirençleri termosetlere kıyasla zayıftır. Isıya duyarlılıkları nedeniyle yüksek sıcaklıklarda eriyebilir veya deformasyona uğrayabilirler. Kolay işlenebilirlikleri sayesinde karmaşık geometrilere uygun olup, hafiflik ve esneklik gibi özellikleriyle otomotiv, havacılık, elektronik, medikal ve ambalaj sektörlerinde geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Bununla birlikte, düşük sertlik ve mukavemet gibi dezavantajlara sahiptirler, ancak kısa üretim süresi ve geri dönüştürülebilirlik özellikleri, çevre dostu malzeme seçimlerinde onları ön plana çıkarır (Talın, 2019).

3.3.2.1. Stiren Bazlı Epoksi Reçineler

Stiren, kimyasal olarak bir monomerdur ve genellikle polimerizasyon yoluyla

termoplastik veya termoset polimerlerin üretiminde kullanılır.

Stiren monomeri, kimya endüstrisinde geniş kullanım alanına sahip, aromatik bir hidrokarbon türevidir. Kimyasal formülü $C_8 H_8$ olan bu bileşik, fenil grubu ve etilen grubunun birleşiminden oluşur (Şekil 3.1). Stiren, renksiz, hoş kokulu bir sıvı olup, düşük viskoziteye sahiptir ve organik çözücülerde kolayca çözünür. Kaynama noktası $145\text{ }^{\circ}C$, erime noktası ise $-30.6\text{ }^{\circ}C$ 'dir.



Şekil 3.1. Stiren monomeri

Termoplastik bir polimer olan Polistiren (PS), stirenin polimerleşmesiyle elde edilir. Polistiren, gıda ambalajı, yalıtım malzemeleri ve çeşitli plastik ürünlerin üretiminde kullanılan yaygın bir termoplastiktir. Ayrıca, stiren, akrilonitril-bütadien-stiren ve stiren-bütadien kauçuğu gibi kopolimerlerin üretiminde de kullanılır. Bu malzemeler otomotiv, elektronik ve oyuncak sektörlerinde geniş bir uygulama alanına sahiptir.

Termoset reçinelerde, stiren, polyester ve vinil ester reçinelerde reaktif bir bileşen olarak kullanılır. Bu tür uygulamalarda, stiren polimerleşme sırasında matrisin bir parçası haline gelir.

Stiren bazlı epoksi reçineler, polimer endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahip olup, yüksek mekanik dayanım, kimyasal direnç ve ısıya karşı mukavemet gibi üstün özellikleriyle dikkat çekmektedir. Bu reçineler, özellikle kompozit malzeme üretiminde ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda tercih edilmektedir.

Kimyasal yapı açısından, stiren bazlı epoksi reçineler, epoksi grupları içeren polimer yapılarının stiren monomeri ile birleştirilmesiyle elde edilir. Bu süreçte, epoksi bazlı oligomerler stiren monomeriyle reaksiyona sokularak çapraz bağlı bir polimer ağı oluşturulur. Bu yapı, reçinenin yüksek mekanik dayanım ve kimyasal direnç gibi üstün özellikler sergilemesini sağlar.

Stiren bazlı epoksi reçinelerin kimyasal dirençleri yüksektir; asitler, bazlar ve solventlere karşı dayanıklıdırlar. Bu özellik, kimyasal ortamlarda çalışan ekipmanlarda kullanılmalarını sağlar.

Mekanik dayanım açısından, epoksi reçinenin yüksek mukavemeti ile stirenin sert ve

hafif yapısı birleşerek, mekanik streslere karşı dayanıklı ürünler oluşturur. Ayrıca, bu reçineler yüksek sıcaklıklarda dahi yapısal bütünlüğünü koruyabilme özelliğine sahiptir. Düşük viskoziteleri sayesinde, kalıplama ve kaplama süreçlerinde kullanım kolaylığı sunarlar. Kullanım alanları oldukça çeşitlidir. Kompozit malzeme üretiminde, cam elyafı, karbon elyafı gibi takviye malzemeleriyle birlikte kullanılarak, otomotiv ve havacılık sektöründe hafif, dayanıklı ve uzun ömürlü malzemeler üretmek için tercih edilirler. Ayrıca, korozyona dayanıklı kaplamalar ve suya karşı dirençli boyaların formülasyonlarında yer alırlar. Yüksek mukavemet gerektiren yapıştırıcı uygulamalarında da kullanılırlar. Elektrik ve elektronik sektöründe, izolasyon malzemelerinde ve elektronik devrelerde koruyucu kaplama olarak işlev görürler.

Avantajları arasında yüksek mekanik ve kimyasal dayanım, ısıya ve solventlere karşı direnç, hafif ve işlenebilir yapısı ile düşük maliyetli ve bol hammadde kaynağı bulunması sayılabilir. Ancak, çevresel faktörlere bağlı olarak çatlama riski, üretim sırasında stiren buharı emisyonu, polimerleşme sürecinde özel koşullar gerektirmesi ve geri dönüşüm sürecinin sınırlı olması gibi dezavantajları da mevcuttur.

Stiren bazlı epoksi reçineler, kimyasal dayanım ve mekanik özelliklerin bir arada sunulduğu uygulamalarda vazgeçilmez bir malzeme olarak kullanılmaya devam etmektedir.

3.4. KOMPOZİT MALZEMELERDE KULLANILAN TAKVİYELER

Polimer kompozit malzemelerde kullanılan takviye malzemeleri, kompozitin mekanik, termal ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek amacıyla seçilir. Doğal ve sentetik olmak üzere iki ana gruba ayrılan bu takviye malzemeleri, farklı avantaj ve sınırlamalar sunar.

Polimer kompozit malzemeler takviyesinde hem doğal hem de endüstriyel olarak üretilmiş çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Doğal takviye malzemeleri arasında en çok bilinen ve kullanılan bitkisel hücrelerin temel yapı taşı olan selüloz gibi ham ve işlenmemiş ürünler bulunmaktadır. Bununla birlikte, endüstriyel üretimle elde edilen birçok ticari takviye malzemesi de oldukça yaygın bir şekilde tercih edilmektedir.

Doğal takviye malzemeleri, yenilenebilir kaynaklardan elde edilir ve çevre dostu olmalarıyla dikkat çeker. Selüloz, keten, kenevir, jüt, sisal gibi bitkisel lifler sıkça tercih edilir. Bu lifler, hafif olmaları ve düşük maliyetli yapılarıyla kompozitlere çevreye duyarlı bir alternatif sunar. Ayrıca doğal liflerin biyobozunur olması, sürdürülebilirlik

açısından avantaj sağlar. Ancak, doğal takviyelerin nem alma eğilimleri ve kimyasal dirençlerinin sınırlı olması, performanslarını bazı uygulamalarda sınırlandırabilir.

Sentetik takviye malzemeleri ise cam elyafı, karbon elyafı, aramid gibi yüksek mukavemet ve dayanıklılık sunan malzemelerden oluşur. Bu malzemeler, üstün mekanik özellikler ve kimyasal direnç gerektiren uygulamalarda tercih edilir. Özellikle, cam elyafı, bu takviye malzemeleri arasında tüketim ve kullanım miktarı açısından en önde gelen malzeme olarak öne çıkmaktadır. Cam elyafının yanı sıra karbon elyafı, aramid, polyester, naylon ve polietilen gibi farklı malzemeler de kompozit üretiminde kullanılmaktadır. Örneğin, karbon elyafı zaman zaman "grafit elyafı" olarak da adlandırılmakta ve yüksek mukavemet ile ısı dayanımı gerektiren özel uygulamalarda tercih edilmektedir.

Gelişmiş özellikler sunan bazı takviye malzemeleri ise metal ve metal oksitler gibi özel amaçlarla üretilmiştir. Bu malzemeler, son ürünün gereksinimlerine ve üretim süreçlerinin ihtiyaçlarına uygun alternatifler sunar. Takviye türleri arasında fitiller, öğütülmüş lifler, kesilmiş lifler, sürekli keçeler ve ısı ile şekillendirilebilen keçeler gibi çeşitli formlar bulunmaktadır. Ayrıca çok yönlü takviyeler, sürekli elyafların dokunarak, örülerek ya da dikilerek kumaş veya levha şeklinde düzenlenmesiyle oluşturulmaktadır. Tek yönlü takviyeler ise şerit, demet, tek yönlü kumaş ve fitil gibi materyalleri içerir.

Kompozit malzemelerin üretimine başlandığı ilk dönemlerde takviye malzemeleri genellikle tekstil ürünleri ve kumaşlarla sınırlıydı. Cam elyafının takviye olarak kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, polimer ile takviye malzemesi arasında daha sağlam bir kimyasal bağ oluşturma ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla, elyaf üretim süreçlerinde elyaf yüzeyine bağlayıcı malzemeler uygulanmaya başlanmıştır. Zamanla, özellikle nemli ortamlar için polimerlerin elyafa daha iyi yapışmasını sağlamak amacıyla yüzey kaplama maddeleri geliştirilmiştir. Bu maddeler arasında krom kompleksleri, organo silikon bileşikleri ve yakın geçmişte ticari hale gelen organo titanyum bileşikleri bulunmaktadır.

Elyaf üretimi sırasında, aşınma nedeniyle oluşabilecek zararları önlemek için kaydırıcılar ve polimer emülsiyonları gibi koruyucu maddeler de elyaf yüzeyine uygulanmaktadır. Bu yüzey işlemleri, yalnızca malzemenin dayanıklılığını artırmakla kalmayıp üretim süreçlerini de daha verimli hale getirmiştir. Günümüzde takviye malzemeleri, hem

termoset hem de termoplastik reçinelerle birlikte kullanılarak kompozitlerin dayanıklılığını ve performansını artırmada önemli bir rol oynamaktadır (*CTP Teknolojisi*, t.y.).

3.4.1. Cam Elyaf

Cam elyafi, en sık kullanılan fiber malzemeler arasında yer almakta ve geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Uygulama alanlarına bağlı olarak, cam elyafının kompozisyonu ve özellikleri değişiklik göstermektedir. Bu çeşitlendirme, elyaf türlerinin belirli kısaltmalar ve isimlerle tanımlanmasına yol açmıştır.

Cam elyafının çeşitlendirilmesi, belirli kısaltmalar ve isimlerle yapılır. Bu tür kısaltmalar, kullanılan cam elyafının türünü veya formunu belirtir. Bazı yaygın cam elyafi türleri şunlardır.

Elektrik camı (E cam), elektriksel yalıtım özellikleri ile bilinir ve genel amaçlı uygulamalarda kullanılır. Süper cam (S cam), yüksek mukavemet ve termal dayanıklılık gerektiren uygulamalarda kullanılır. Kimyasal cam (C cam) kimyasal direnci yüksek olan cam elyafıdır ve genellikle kimyasal uygulamalarda tercih edilir. Alkali Dayanıklı cam (AR cam), beton ve yapı kompozitlerinde kullanılır, özellikle alkali ortamlarda dayanıklıdır. Bu tür çeşitlilik, cam elyafının farklı fiziksel ve kimyasal özellikler sunarak çok geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmasına olanak sağlar (Zor, 2024).

Cam elyafları, çeşitli bileşenlerden üretilen fiber malzemelerdir ve her tür cam, belirli performans özelliklerine göre farklı bir yapıya sahiptir. Örneğin, E-cam genellikle düşük maliyetli olup, silika, alüminyum oksit ve soda gibi bileşenlerden oluşur. Bu tür, elektriksel yalıtım ve genel dayanıklılık gerektiren uygulamalarda tercih edilir. Diğer taraftan, S-cam yüksek mukavemet ve termal dayanıklılık gerektiren daha özel uygulamalarda kullanılır. Bu cam türü, daha fazla silika ve alüminyum oksit içerir ve ek olarak magnezyum oksit ile güçlendirilmiştir, bu da onun daha sağlam ve ısı dayanıklı olmasını sağlar.

Bir başka önemli cam türü olan C-glass, özellikle kimyasal dayanıklılığıyla bilinir ve bor oksit içerir. Kimyasal süreçlerde veya asidik ortamlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Son olarak, AR-glass ise alkali dayanıklılığı yüksek cam türlerinden biridir ve beton gibi malzemelerle birlikte yapı sektöründe yaygın olarak kullanılır. AR-glass'ın bor oksit içeriği, ona özellikle alkali ortamlarda sağlamlık kazandırır.

Her cam türü, kullanım alanına ve gerekli olan performans özelliklerine göre özel olarak formüle edilmiştir. E-cam, genel dayanıklılık için uygunken, S-cam daha zorlu koşullar altında daha iyi performans gösterir. C-cam ve AR-cam ise, kimyasal ve alkali dayanıklılık gerektiren uygulamalar için idealdir. Bu bileşen farklılıkları, her cam türünü belirli bir kullanım alanına özel hale getirir (Talın, 2019).

Cam elyafı, yüksek mukavemeti, hafifliği ve ekonomik üretim maliyeti sayesinde, çeşitli endüstriyel uygulamalarda takviye malzemesi olarak vazgeçilmez bir öneme sahiptir (Onat, 2015).

Bu çalışmada Şekil 3.2. Şişecam E-mat 450g/m² Cam Elyaf keçe'daki 450g/m² Şişe Cam E-Mat keçe kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Şişecam E-mat 450g/m² Cam Elyaf keçe.

3.5. KOMPOZİT MALZEMELERDE KİMYASAL KÜRLEME BİLEŞENLERİ

3.5.1. Sertleştiriciler

Polimer kompozit malzemelerde sertleştiriciler, reçine sistemlerinin polimerleşmesini sağlayarak nihai ürünün mekanik ve kimyasal özelliklerini iyileştirir. Sertleştirici, reçine sisteminde çapraz bağ oluşumunu başlatır ve reçinenin sıvı halden katı hale geçmesini

sağlar. Sertleştiricilerin doğru seçimi, kompozit malzemelerin dayanıklılığı, sertliği ve kimyasal direncini doğrudan etkiler.

Epoksi bazlı sistemlerde reçine, epoksi gruplarını aktive eden sertleştiricilerle reaksiyona girer ve çapraz bağlı üç boyutlu bir yapı oluşturur. Amin türevi sertleştiriciler, anhidrit sertleştiriciler, poliamid sertleştiriciler kullanılmaktadır. Amin türevi sertleştiricilere imidazoller, dietilentriamin (DETA) ve trientilentetramin (TETA) örnek olarak verebiliriz.

Doymamış polyester reçinelerde sertleştiriciler, serbest radikal reaksiyonunu başlatan bileşenlerdir. Bu amaçla en yaygın kullanılanlar organik peroksitlerdir. Peroksitler, serbest radikal oluşumunu başlatarak polimerleşmeyi sağlar. Örneğin, Metil Etil Keton Peroksit (MEKP) oda sıcaklığında hızlı reaksiyon sağlarken, Benzoil Peroksit (BPO) orta sıcaklıklarda stabil ve kontrollü kürlenme gerçekleştirir. Kümülatif peroksitler ise daha yavaş reaksiyon hızına sahip olup büyük parçaların üretiminde tercih edilir.

Vinil ester reçineler için sertleştiriciler, vinil ester reçineler, epoksi reçinelerin özelliklerini polyester reçinelerin işlem kolaylığıyla birleştirir. Sertleştiriciler, vinil gruplarının serbest radikal polimerizasyonunu başlatır. Bu süreçte organik peroksitler ve hızlandırıcılar kullanılır; örneğin, MEKP ve Kobalt Naftenat kombinasyonu kürlenme sürecini başlatırken, Benzoil Peroksit (BPO) düşük sıcaklıklarda etkin bir seçenek olarak tercih edilir.

Poliüretan reçineler için sertleştiriciler, poliüretan sistemlerde sertleştiriciler, izosiyanat gruplarının hidroksil grupları ile reaksiyonunu sağlar. Örneğin, İzoforon Diizosiyanat (IPDI), Toluendiizosiyanat (TDI) Metilen Difenil Diizosiyanat (MDI). Bu sertleştiriciler, hızlı reaksiyon süreleri ve yüksek mekanik performans sağlar.

Silikon reçineler için sertleştiriciler, silikon bazlı reçinelerde kürlenme, silikon-oksijen bağlarının oluşması ile sağlanır. Organo-Titanatlar ve Kalay Türevi Bileşikler yaygın olarak kullanılır. Nemle temas ederek kürlenme reaksiyonunu başlatır.

Polimer kompozit malzemelerde kullanılan sertleştiriciler, malzemenin polimerleşme ve kürlenme süreçlerini yöneterek nihai ürünün fiziksel ve kimyasal performansını belirler. Farklı reçine türleri için aminler, anhidritler ve peroksitler gibi çeşitli sertleştirici türleri kullanılır. Sertleştirici seçimi, kompozit malzemenin kullanılacağı koşullara göre optimize edilmektedir (İstif, 2016).

3.5.2. Hızlandırıcılar

Peroksitler ısıtıldığında veya bir hızlandırıcı ile birlikte kullanıldığında, reaktif hale dönüşerek, doymamış polyesterin reaksiyona girmesini (polyester moleküllerinin çapraz bağ oluşturmalarını) ve sertleşmesini sağlar. Başlıca hızlandırıcılar kobalt oktoat, kobalt naftenat, dimetil anilin ve dietilen anilindir. Doymamış polyesterleri sertleştirmede kullanılan hızlandırıcılar, kobalt ve vanadyum metallere birleşikleri ile azotlu bileşiklerdir. Bu nedenle bu hızlandırıcılar kobalt hızlandırıcısı, vanadyum hızlandırıcısı ve amin hızlandırıcısı diye adlandırılmaktadır.

3.5.3. Aktivatorlar

Aktivatorlar, reçine ile sertleştirici arasındaki kimyasal reaksiyonları başlatan bileşenlerdir. Genellikle peroksit sistemlerinde kullanılırlar. Bu maddeler, peroksitlerin serbest radikal üretme kapasitesini artırarak reaksiyonun başlatılmasını hızlandırır. Kobalt Naftenat, doymamış polyester reçineleri için sıkça kullanılır ve MEKP gibi peroksitlerin etkinliğini artırır. Dimetil Anilin (DMA), peroksitlerin etkinliğini artıran bir başka yaygın aktivatördür.

3.5.4. UV Işık (Fotokürleme)

Ultraviyole ışık (UV), bazı polimer sistemlerinin kürlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. UV ışığı, foto-aktif monomerler ve foto-katalizörler ile etkileşime girerek, kürleme reaksiyonunu başlatır.

3.5.5. Isı (Termal Kürleme)

Isı, genellikle termoset reçinelerinin kürlenmesini sağlamak için kullanılır. Yüksek sıcaklık, özellikle epoksi reçineleri, fenolik reçineler ve polyimide reçineleri gibi materyallerde, kimyasal reaksiyonları başlatan veya hızlandıran bir etki yapar. Özellikle bazı epoksi ve poliamid reçinelerinde, reaksiyonları başlatmak için ısı kullanılır.

3.5.6. Akrilik Asit ve Diğer Monomerler

Bazı monomerler ve akrilik asit türevleri, polimerizasyonu başlatabilir ve kürlenmeyi teşvik edebilir. Bu tür monomerler, belirli reçine türlerinde polimerleşme hızını artırabilir.

3.5.7. Katalizörler

Katalizörler, kimyasal reaksiyonların hızını artırır ancak reaksiyon sonunda kendileri değişmeden kalırlar. Epoksi reçineleri ve vinil ester gibi sistemlerde bazik veya asidik katalizörler kullanılarak kürlenme hızlandırılabilir. Amin bazlı katalizörler, epoksi reçineleri için sıkça kullanılır ve reaksiyon hızını artırır.

3.5.8. Modifiye Edici Katkı Maddeleri

Bazı katkı maddeleri reçine sisteminin reaktivitesini değiştirebilir ve dolaylı olarak kürlenme hızını etkileyebilir. Bu maddeler, kürlenme reaksiyonlarının kontrolünü sağlamak amacıyla kullanılan dolgular, plastikleştiriciler veya yükleme maddeleri olabilir.

3.6. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM PROSESLERİ

Kompozit malzeme prosesleri, farklı özelliklere sahip malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan kompozit yapıların üretiminde kullanılan yöntemlerdir. Bu prosesler, kompozit malzemelerin mekanik dayanımını, hafifliğini ve performansını maksimize edecek şekilde tasarlanır. Proses seçimi, kullanılan matris ve takviye malzemelerine, üretilecek parçanın boyutuna, geometrisine ve nihai kullanım amacına bağlı olarak değişir. Kompozit malzeme üretiminde başlıca prosesler, el yatırma yöntemi, reçine transfer kalıplama, vakum torbalama, pultrüzyon yöntemi, otoklav yöntemi, filament sarma, sıcak pres kalıplama ve sprej yöntemi'dir.

3.6.1. El Yatırma Yöntemi

El yatırma yöntemi en basit ve yaygın kullanılan manuel kompozit üretim tekniklerinden biridir. El yatırma yönteminin temel aşamaları kalıp hazırlığı, takviye malzemesinin yerleştirilmesi reçine uygulaması, hava çıkarma ve kürlenme (sertleşme)'dir. Üretim sürecine başlamadan önce kalıp temizlenir ve yüzey düzgünlüğü sağlanır. Kalıp üzerine, ürünün kalıptan kolay çıkmasını sağlamak amacıyla ayırıcı madde (wax veya ayırıcı sprej) uygulanır. Takviye malzemesi (cam elyafı, karbon elyafı vb.) kalıp üzerine katmanlar halinde elle serilir. Elyafın, kalıp yüzeyine düzgün bir şekilde oturması sağlanır. Reçine, bir fırça veya rulo yardımıyla elyafların üzerine uygulanır. Elyafların reçineyle tam doygun hale gelmesi sağlanarak hava kabarcıklarının oluşması önlenir. Bazı durumlarda reçinenin akışkanlığını artırmak için

katalizör veya hızlandırıcılar kullanılır. Reçine uygulandıktan sonra yüzeydeki hava kabarcıkları özel bir rulo (hava alma rulosu) ile uzaklaştırılır. Bu işlem, malzemenin boşluksuz ve homojen bir yapıya sahip olmasını sağlar. Parça, oda sıcaklığında veya gerektiğinde ısıtma yoluyla kürlenmeye bırakılır. Reçine tamamen sertleştikten sonra parça kalıptan çıkarılır. Kürlenmiş parça kalıptan çıkarıldıktan sonra, yüzey pürüzlülükleri giderilir, fazla malzemeler kesilir ve gerekli yüzey işlemleri (zımparalama, boyama vb.) yapılır El yatırma yöntemi, kompozit malzemelerin üretiminde en eski ve en basit yöntemlerden biri olup düşük maliyetli ve esnek üretim imkanı sunar. Büyük boyutlu ve karmaşık şekilli parçaların üretimi için ideal olan bu yöntem, manuel olması nedeniyle üretim hızının düşük olması ve kalite kontrolünün zor olması gibi dezavantajlara sahiptir. Ancak, doğru uygulama ve işçilikle oldukça dayanıklı ve kullanışlı kompozit parçalar elde etmek mümkündür (Mallick, 2007).

3.7. KOMPOZİT MALZEMELERİN UYGULAMA ALANLARI

Kompozit malzemeler, dayanıklılığı artırmak, ağırlığı azaltmak ve belirli mühendislik gereksinimlerini karşılamak amacıyla farklı malzemelerin bir araya getirilmesiyle elde edilir. Bu birleşim sayesinde, tek bir malzemenin sağlayamayacağı çeşitli özellikler tek bir yapıda bir araya getirilebilir. Kompozitlerin en önemli özelliklerinden biri, yüksek mukavemet ve hafifliği bir arada sunmalarıdır. Bu özellik, özellikle taşıma, havacılık ve otomotiv sektörlerinde yakıt verimliliği sağlamaya yönelik tasarımlar için önemlidir. Örneğin, karbon fiber takviyeli polimer kompozitler, çeliğe yakın mukavemet sağlarken onun yoğunluğunun sadece dörtte birine sahiptir (Mallick, 2007).

Kompozitlerin özellikleri kullanılan matris ve takviye malzemelerine göre değişiklik gösterir, bu da çeşitli mekanik özelliklere sahip kompozitlerin üretilmesine olanak tanır. Matris malzemesi kompozitin bütünlüğünü sağlarken, takviye malzemesi mukavemeti artırır ve çoğunlukla lif veya partikül formundadır. Korozyon direnci de kompozitlerin önemli özelliklerinden biridir; özellikle cam elyaf veya karbon fiber takviyeli kompozitler, nem, kimyasal maddeler ve yüksek sıcaklık gibi çevresel faktörlere karşı dayanıklıdır. Bu özellik, kompozitleri korozyon riski yüksek olan denizcilik ve kimya endüstrileri için uygun hale getirir (Chawla, 2012).

Kompozitlerin mühendislik uygulamalarında bu kadar yaygın kullanılmasının başlıca nedeni, mekanik özelliklerinin bileşen malzemelerinin özelliklerinden üstün olmasıdır.

Örneğin, karbon fiber takviyeli polimerler, çelik kadar mukavemet sağlarken yoğunluğu çeliğin yalnızca dörtte biri kadardır. Bu özellik, kompozitleri otomotiv ve havacılık sektörlerinde yüksek mukavemetle hafifliği bir arada sunan mükemmel bir çözüm haline getirir; böylece yakıt tasarrufu sağlanır ve verimlilik artırılır. Aynı zamanda, kompozitler esneklik, korozyon dayanımı ve düşük termal genişleme gibi avantajlar sunar, bu da onları kimyasal ve su altı yapıların yanı sıra enerji sektöründe boru hatları, tanklar ve depolama sistemlerinde ideal hale getirir (Callister Jr & Rethwisch, 2020).

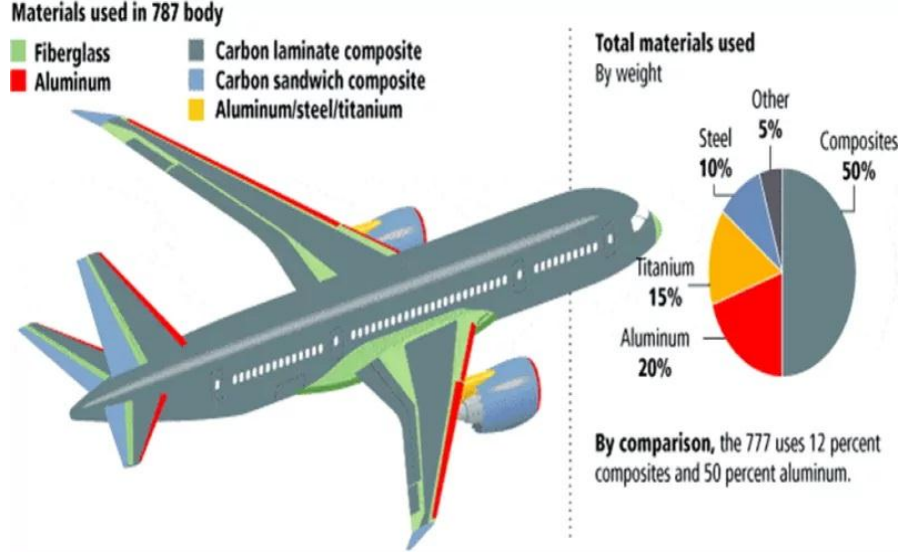
Kompozitlerin üstün özellikleri, inşaat sektöründe de kullanılmalarını sağlamaktadır. Karbon veya cam elyafla güçlendirilmiş beton gibi kompozitler, binaların mukavemetini artırırken daha ince ve hafif yapı elemanlarının oluşturulmasını sağlar. Ayrıca, kompozit malzemeler prefabrik yapı bileşenlerinde kullanılarak hızlı ve esnek inşaat süreçlerine katkı sunar. Spor ekipmanlarında ise kompozitler, hem hafif hem de dayanıklı yapıdaki raketler, kayaklar, bisikletler ve golf sopaları üretmek için tercih edilmektedir. Benzer şekilde, denizcilik sektöründe korozyona dayanıklı ve hafif kompozitler, gemi gövdeleri, tekneler ve su altı bileşenleri için idealdir (Ashby, 2012).

Sonuç olarak, kompozitler, yüksek dayanıklılık, düşük ağırlık, esneklik ve kimyasal direnç gibi özellikleri sayesinde modern mühendislikte geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Teknolojideki ilerlemelerle birlikte kompozit malzemelerin geliştirilmesi ve uyarlanabilirliği artmakta; bu malzemeler, gelecekte daha dayanıklı, hafif ve çevre dostu yapılar ve ürünler tasarlanmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Bir kompozitin teknolojik olarak kompozit sayılabilmesi için ara yüzey bağının yeterli olması gerekir.

3.7.1. Havacılık ve Uzay Endüstrisi

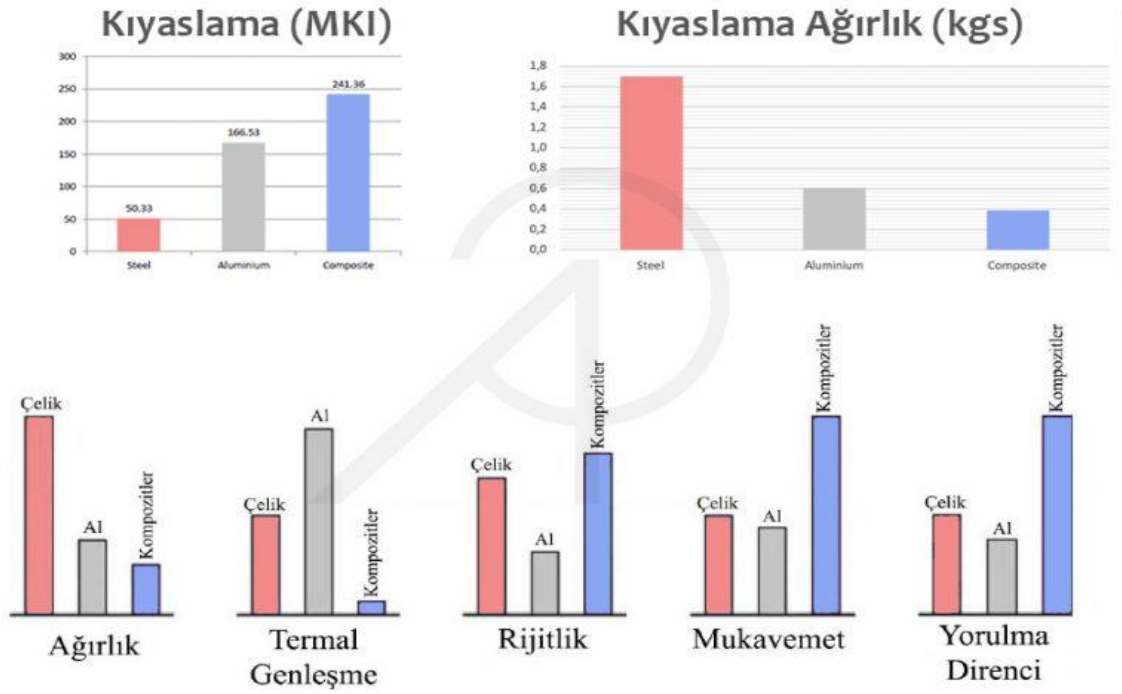
Kompozitler, yüksek mukavemet, düşük ağırlık ve ısı direnç özellikleri nedeniyle uçak gövdeleri, kanatlar, motor parçaları ve uzay araçlarında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Karbon fiber takviyeli polimerler (CFRP), uçaklarda yakıt verimliliğini artırırken uçuş menzilini uzatmak için kritik öneme sahiptir (Mallick, 2007). Şekil 3.3.'de bir yolcu uçağında kullanılan malzemeler gösterilmektedir. Buna göre kullanılan kompozit miktarı dikkat çekmektedir.



Şekil 3.3. Yolcu uçağında kullanılan malzeme oranları.

3.7.2. Otomotiv Endüstrisi

Karbon fiber ve cam elyaf takviyeli polimer kompozitler, otomotiv sektöründe hem dayanıklılığı artırmak hem de araç ağırlığını azaltmak için yaygın olarak kullanılır. Bu hafif malzemeler, yakıt verimliliğini artırırken aracın performansını ve manevra kabiliyetini de iyileştirir. Aynı zamanda, kompozit malzemelerin korozyona dayanıklı yapısı, otomobillerin ömrünü uzatır (Ashby, 2012). Şekil 3.4’de kompozit malzemelere göre diğer malzemelere kıyaslanması gösterilmiştir. Şekil 3.5’de otomotivde kullanılan bazı kompozitler gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Otomotivde kullanılan malzemelerin kıyaslanması



Şekil 3.5. Otomotivde kullanılan bazı kompozitler

3.7.3. Yapı ve İnşaat

Kompozit malzemeler, binaların ve altyapı projelerinin dayanıklılığını artırmak için de kullanılmaktadır. Betonun dayanıklılığını artırmak amacıyla karbon elyaf veya cam elyafla takviye edilmiş kompozitler, daha ince ve hafif yapı elemanlarının oluşturulmasını sağlar. Ayrıca, kompozitler prefabrik yapı bileşenlerinde hızlı ve dayanıklı çözümler sunar; köprüler, deniz yapıları ve su altı boru sistemlerinde de korozyona dayanıklı yapısıyla tercih edilir (Callister Jr & Rethwisch, 2020).

4. ATIK ARAÇ LASTİKLERİ

Atık araç lastikleri (veya atık otomobil lastikleri), araçların kullanım ömrü sona eren, aşınan ve işlevini kaybeden lastikleridir (Şekil 4.1.). Bu lastikler, genellikle kauçuk, çelik tel, tekstil lifleri gibi bileşenlerden oluşur ve bu yapıları nedeniyle geri dönüşüm ve imha işlemleri zor olabilir. Atık araç lastikleri, çevresel etkileri nedeniyle önemli bir atık yönetimi sorununa yol açar (Çataklı & Ergüder, 2019). Bununla birlikte, doğru bir şekilde işlenerek bu lastikler, değerli geri kazanım malzemelerine dönüştürülebilir ve çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılabilir.



Şekil 4.1. Temsili atık araç lastiği ve lastik tozunun gösterimi.

Atık lastik tozu, ömrünü tamamlamış lastiklerin mekanik veya kriyojenik yöntemlerle öğütülmesi sonucu elde edilir. Bu süreçte, lastikler önce çelik teller ve tekstil liflerinden arındırılır, ardından küçük parçacıklara ayrılır. Elde edilen toz, genellikle 50 mikron ile 500 mikron arasında değişen parçacık boyutlarına sahiptir (Karabörk & Akdemir, 2013).

Atık lastik tozu, yüksek elastikiyet ve dayanıklılık gösteren kauçuk esaslı bir malzemedir. İçeriğinde doğal ve sentetik kauçuk, karbon siyahı ve dolgu malzemeleri bulunur. Bu bileşenler, tozun yüksek esneklik ve enerji emme kapasitesine sahip olmasını sağlar (Karabörk & Akdemir, 2013).

Atık araç lastikleri genellikle kauçuk, çelik tel ve tekstil liflerinden yapılır. Kauçuk, lastiğin esnekliğini ve dayanıklılığını sağlarken, çelik tel ve tekstil lifleri, lastiğe güç ve yapısal destek ekler. Bu karmaşık yapı, geri dönüşümünü zorlaştırabilir. Lastikler, zorlu koşullarda (yol, hava koşulları, sürüş hızı vb.) dayanıklı olabilmek için yüksek performanslı malzemelerle üretilir. Bu özellik, onları çevreye zarar vermeyecek şekilde hızla bozulmaya karşı dirençli hale getirir.

Atık lastikler, çevreye zarar verebilecek birkaç önemli özelliğe sahiptir. Bu lastikler doğada binlerce yıl bozulmadan kalabilir. Bu, doğrudan çevresel kirliliğe yol açabilir. Ayrıca, yanıcı özelliklere sahip olduklarından depolama alanlarında yangın riski oluşturur. Lastik yangınları, genellikle uzun süreli ve zor söndürülen yangınlara yol açar, aynı zamanda büyük miktarda zehirli duman yayarlar. Bunların yanı sıra, su birikintilerinde bırakılan lastikler, sinek gibi hastalık taşıyan canlıların üreme alanı haline gelebilir. Bu durum, halk sağlığı açısından risk teşkil etmektedir (Durna vd., 2020).

Atık lastikler, yeniden kullanılabilir ve değerli kaynaklar haline getirilebilir. Geri dönüşüm süreci, çevresel etkileri azaltarak bu malzemelerin yeniden ekonomiye kazandırılmasını sağlar. Atık lastikler, genellikle kristalize kauçuk (crumb rubber) haline getirilerek çeşitli endüstrilerde kullanılır. Bu ürün, yol yüzeylerinde, spor alanlarında ve inşaat sektöründe kullanılabilir (Çataklı & Ergüder, 2019).

Atık lastiklerin önemli bir kısmı, yakıt olarak kullanılabilir. Tire-derived fuel (TDF) olarak bilinen bir yöntemle, lastikler yakılarak enerji üretilebilir. Ancak bu işlemde, çevresel etkilerin yönetilmesi gerekir. Aynı zamanda, atık lastiklerdeki çelik teller ve tekstil lifleri de geri kazanılabilir. Çelik teller, metal endüstrisinde yeniden

kullanılabilirken, tekstil lifleri başka ürünlerde değerlendirilebilir. Bu atık lastikler, bazı işlemlerle yeni ürünlere dönüştürülebilir. Örneğin, lastiklerden elde edilen kauçuk, yeni lastik üretiminde veya başka ürünlerde (örneğin, ayakkabı tabanı, mat, yalıtım malzemeleri vb.) kullanılabilir (Çataklı & Ergüder, 2019).

Atık lastiklerin yönetimi, doğru depolama, geri dönüşüm ve imha işlemleriyle çevre üzerinde olumsuz etkilerin en aza indirilmesini hedefler. Dünyanın birçok yerinde, atık lastiklerin düzgün bir şekilde işlenmesi için çeşitli yasalar ve düzenlemeler bulunmaktadır. Atık lastiklerin depolanması, genellikle sıkı düzenlemelere tabidir. Bu, yangın risklerini ve çevresel etkileri minimize etmek için önemlidir. Geri dönüştürülmüş lastikler, inşaat sektöründe çeşitli projelerde kullanılabilir. Bu lastikler, toprak dolgusu veya ses yalıtımı gibi uygulamalarda değerlendirilebilir (Çataklı & Ergüder, 2019).

Atık araç lastikleri, dünya genelinde çevresel sürdürülebilirlik için önemli bir sorun teşkil etmektedir. Geri dönüşüm ve yeniden kullanım yöntemleri ile lastiklerin çevresel etkileri azaltılabilir. Son yıllarda, atık lastiklerin işlenmesi ve çevresel etkilerinin yönetilmesi konusunda yenilikçi teknolojiler ve çözümler geliştirilmiştir. Yenilikçi geri dönüşüm teknolojileri, lastiklerin çevre dostu bir şekilde işlenmesini sağlayacak yollar sunmaktadır. Çevre dostu atık yönetim politikalarının benimsenmesi, atık lastiklerin işlenmesini daha verimli hale getirebilir ve geri dönüşüm oranlarını artırabilir (Çataklı & Ergüder, 2019).

Atık lastiklerin yönetimi, geri dönüşüm sistemlerinin geliştirilmesi ve etkili yasal düzenlemelerle sağlanmaktadır. Türkiye’de, Atık Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği kapsamında lastiklerin çevresel etkilerinin azaltılması ve geri kazanım süreçlerinin desteklenmesi hedeflenmektedir. Avrupa Birliği ve diğer birçok ülke de benzer düzenlemelerle atık lastiklerin toplanmasını, geri kazanımını ve yeniden kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir (Durna vd., 2020). Dünyada her yıl ortaya çıkan atık lastik miktarı, küresel ölçekte önemli bir çevre sorunu oluşturmaktadır. Yapılan bir bildiriye, bu sorunun boyutlarını ortaya koyan çarpıcı veriler paylaşılmıştır. Halihazırda dünya genelinde yaklaşık 1.1 milyar araç bulunduğu ve her yıl 1.7 milyar yeni lastik üretildiği belirtilmiştir. Bu üretim ve tüketim döngüsü, her yıl 1 milyardan fazla atık lastiğin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Atık lastiklerin çevreye olan etkileri, özellikle depolama ve geri dönüşüm altyapısının yetersiz olduğu bölgelerde ciddi sorunlara yol açmaktadır. Bu durum, lastik tüketiminin sürdürülebilirlik sınırlarını zorlayan hızını

açıkça göstermektedir. Atık lastiklerin yönetimi için geri dönüşüm teknolojilerinin geliştirilmesi, etkili yasal düzenlemelerin yapılması ve toplumun bu konuda bilinçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Ancak, üretim ve atık oluşum hızını dengelemek adına küresel ölçekte daha kapsamlı ve uzun vadeli çözümler gerekmektedir (Forrest, 2014).



5. MATERİYAL VE YÖNTEM

5.1. MATERİYALLER

Yerel bir geri dönüşüm tesisinden atık otomobil lastikleri temin edilmiştir. Atık lastik tozunun parçacık boyutları, partikül boyutu, 50–150 mikron arasında değişmektedir. Polipol 3562, doymamış poliester reçineler arasında yer alan ve ortoftalik esaslı bir yapıya sahip bir malzemedir. Kompozit malzeme üretiminde yaygın olarak kullanılan bu reçine, filament sarma yöntemi ve el yatırma tekniği başta olmak üzere çeşitli üretim yöntemlerine uygunluğu ile öne çıkar. Düşük viskozite özelliği, malzemenin işlem kolaylığını artırırken, üstün ıslatma kabiliyetiyle takviye malzemelerle etkin bir şekilde etkileşim sağlar. Bu özellikler, Polipol 3562'yi CTP (Cam Takviyeli Plastik) ürün üretimi için ideal hale getirir. Bu özelliklerinden dolayı Polipol 3562 bu tez çalışmasında kullanılmıştır.

Karışım Oranları: Atık lastik tozu %0 (kontrol numunesi), %10, %15, %23 ve %27 oranlarında reçineye eklenmiştir.

Cam elyaf, üstün özellikleri sayesinde modern endüstrinin vazgeçilmez malzemelerinden biridir. Kompozitin mekanik dayanımını artırmak amacıyla cam elyaf takviyesi kullanılmıştır. Numune üretiminde 450 g/m² birim ağırlığa sahip, el yatırması için kırılmış keçe cam elyaf sabit bir miktarda kullanılmıştır. Kompozitin çekme, eğilme ve darbe dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

5.2. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

Yapılan numuneler el yatırma yöntemiyle hazırlanmıştır. Önce 4 mm kalınlık, 300 mm uzunluk ve 200 mm en olacak şekilde kalıp hazırlanmıştır. Stiren bazlı reçine ayrı bir kap içerisinde sertleştirici ile karıştırılmış, hazırlanan kalıp içerisine bir miktar dökülüp yayılmıştır. Üzerine 450 g/m² birim ağırlığa sahip keçe cam elyaf serilmiş, iyice ıslanması sağlanmıştır. Daha sonra kalan reçine, kalıbı tam dolduracak şekilde (4 mm) üzerine dökülüp yayılmıştır. Şekil 5.1.'de %0 atık lastik tozu içeren kompozit

görülmektedir. %10, %15, %23 ve %27 atık lastik içeren kompozitler; atık lastik tozları ağırlıkça önce reçine ile karıştırılmış, sertleştirici eklenip karıştırılıp aynı şekilde kalıba döküm yapılmıştır.

Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5,'da sırasıyla %0, %10, %15, %23 ve %27 atık lastik oranlarına sahip kompozitler görülmektedir.



Şekil 5.1. %0 atık lastik tozu içeren kompozit



Şekil 5.2. %10 atık lastik tozu içeren kompozit



Şekil 5.3. %15 atık lastik tozu içeren kompozit



Şekil 5.4. %23 atık lastik tozu içeren kompozit



Şekil 5.5. %27 atık lastik tozu içeren kompozit

Hazırlanan kompozitler standartlara uygun şekil ve ölçüde kesilebilmeleri için

üzerlerine kağıt bant yapıştırılıp çizildi. (Bkz. Şekil 5.6.)



Şekil 5.6. Kompozitlerin uygun ölçülerde kesilmesi için üzerlerine kağıt bant yapıştırıldı
Uygun boyuta getirilen numuneler, tezgah üstü kıl testere ile standartla uygun hale getirildi. (Bkz. Şekil 5.7.)



Şekil 5.7. Numunelerin standartlara uygun hale kesilmesi

5.3. ÇEKME DENEYİ

Çekme deneyi ISO 527-2 standartlarına göre yapılmıştır. Bu standartlara uygun ölçülerde numuneler hazırlanmıştır. (Bkz. Şekil 5.8.)



Şekil 5.8. Çekme deney numuneleri

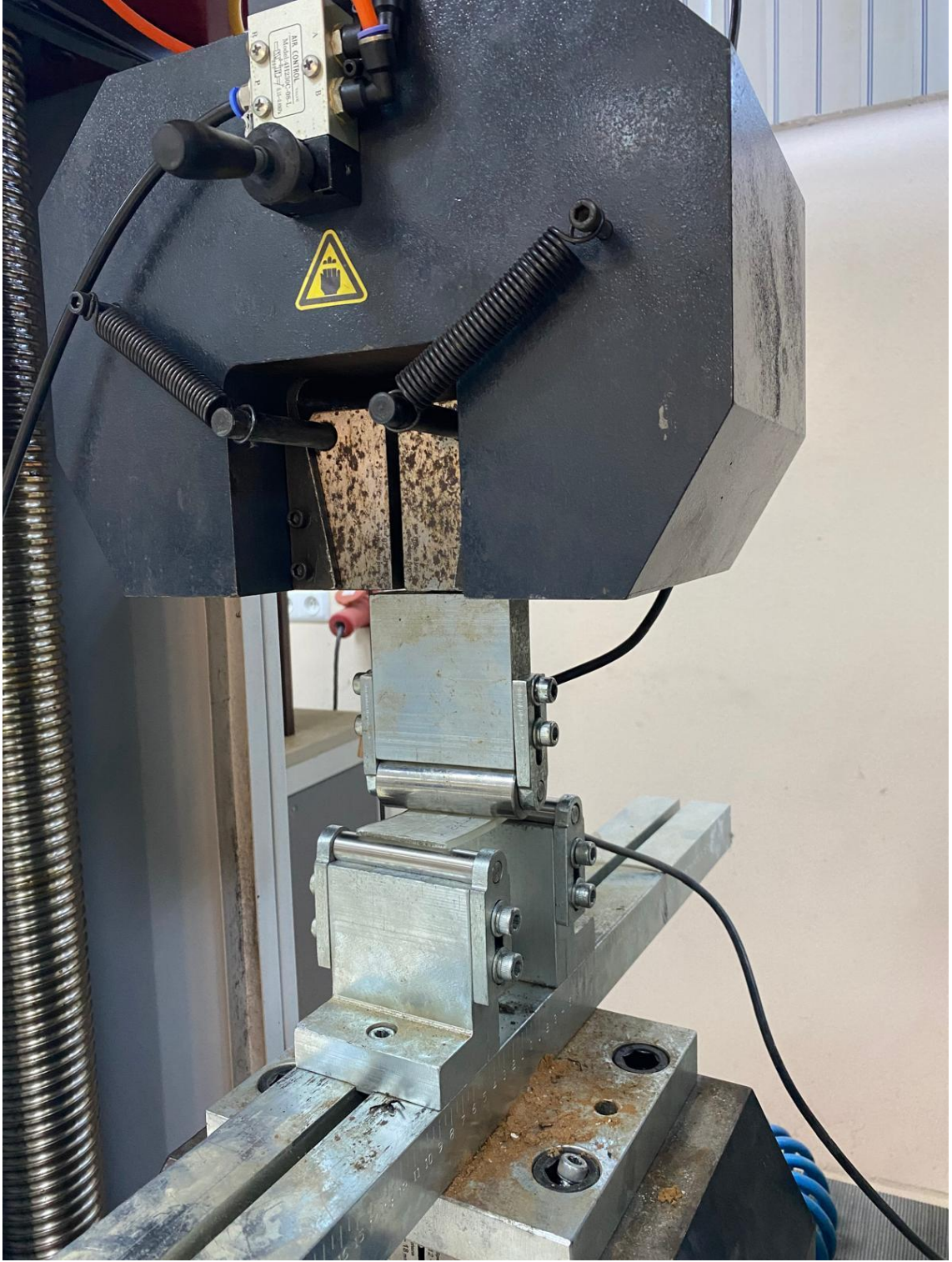
Hazırlanan deney numuneleri Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan çekme basma eğilme test cihazında yapılmıştır. (Bkz. Şekil 5.9.)



Şekil 5.9. Çekme Basma Eğilme test cihazı

5.4. EĞİLME DENEYİ

Hazırlanan numuneler, ASTM D790 standardına uygun olarak, Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan çekme basma eğilme test cihazında yapılmıştır. (Bkz. Şekil 5.9.). Eğilme deneyi örneği görülmektedir.

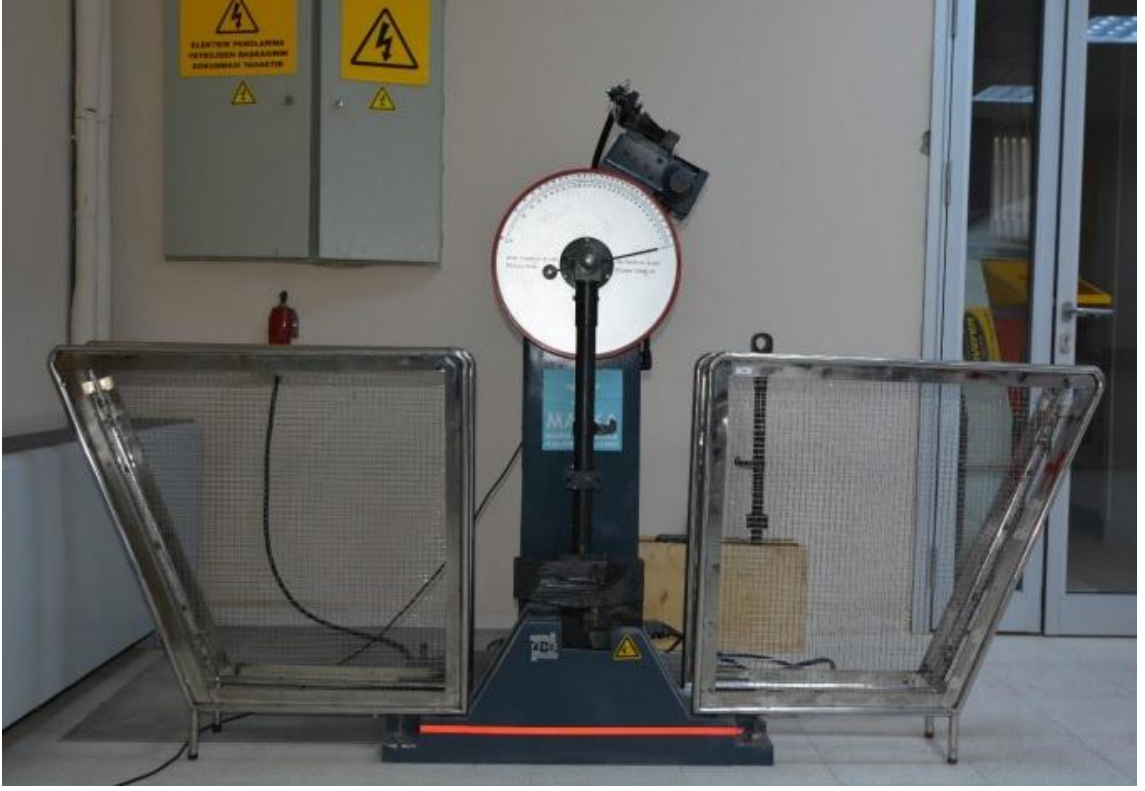


Şekil 5.10. Eğilme deneyi örneği

5.5. DARBE DAYANIMI DENEYİ

ISO 179 standardına göre hazırlanmış numunelerin, Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan darbe dayanım

test cihazında darbe dayanımları ölçülmüştür. (Bkz. Şekil 5.11)



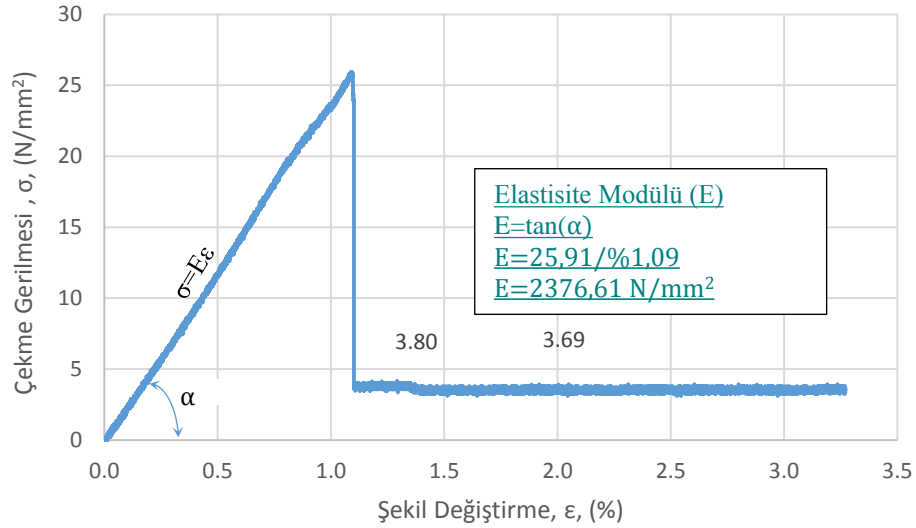
Şekil 5.11. Darbe dayanım test cihazı

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

6.1. %0 ATIK LASTİK TOZU İÇEREN KOMPOZİTİN ÇEKME TESTİ

6.1.1. Çekme Gerilmesi – Şekil Değişirme Grafiğinin Yorumlaması (%0 Atık Lastik Kompozit)

%0 Atık lastik tozu katkılı kompozitin çekme gerilmesi (σ)-şekil değişirme grafiği Şekil 6.1'de görülmektedir. Grafikte çekme gerilmesinin deneyin başlangıcından maksimum çekme gerilmesine ($25,91 \text{ N/mm}^2$) kadar doğrusal bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu bölgede malzemenin Hoek Yasasına ($\sigma=E\varepsilon$) uygun olarak elastik davranış gösterdiğini söylemek mümkündür. Yani, uygulanan yük kaldırıldığında malzeme eski haline dönebilir. Gerilme-şekil değişirme eğrisinin bu bölgedeki eğimi ($E=\sigma/\varepsilon =\tan\alpha$) malzemenin elastisite modülünü ($2376,61 \text{ N/mm}^2$) vermektedir.

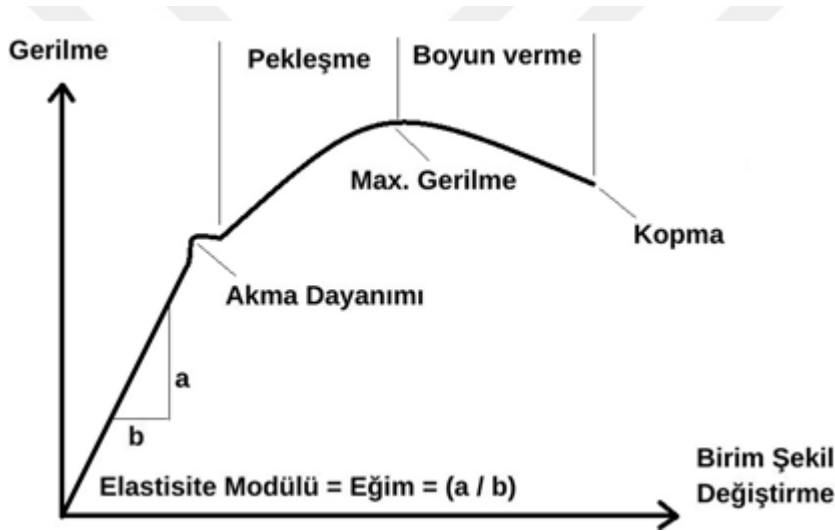


Şekil 6.1. %0 atık lastik tozu katkılı kompozitin çekme gerilmesi-şekil değişirme grafiği

Maksimum çekme gerilmesinden sonra gerilmeler ani bir şekilde azalarak $3,80 \text{ N/mm}^2$ civarlarına ulaşmakta ve sonrasında şekil değiştirmelerin artmasıyla da gerilmelerde dikkate değer bir değişim gözlenmemektedir. Malzeme maksimum çekme gerilmesine kadar lineer elastik özellik gösterirken maksimum çekme gerilmesinden sonra ani ve

gevrek bir şekilde yenilmektedir.

İnşaat çeliği gibi malzemelerde çekme gerilmesi-şekil değiştirme grafiğinde elastik bölgeden plastik bölgeye geçişte çekme gerilmesinin şekil değiştirme eksenine paralel olduğu bir sınır gerilme durumu söz konusu olmaktadır (Bakınız Şekil 6.2). Çekme gerilmesi, akma dayanımı denilen bu sınır gerilme değerine erişince şekil değiştirmelerin artması için gerilmelerin de artmasına gerek olmamaktadır. İnşaat çeliğinin dayanabileceği maksimum çekme gerilmesinden önce ulaşılan akma sınırı çelik için oldukça karakteristiktir. Akma dayanımına ulaşan çelikte büyük kalıcı şekil değiştirmeler gözlemlenmektedir. Çalışma konusu kompozit malzemedeki standart inşaat çeliğinde görülen Şekil 6.2'deki gibi sünek gerilme-şekil değiştirme davranışı gözlenmemektedir.



Şekil 6.2. Standart inşaat çeliğinde gözlemlenen gerilme-şekil değiştirme grafiği

Malzeme büyük bir deformasyona uğramadan kopmaktadır. Bu durum, %0 atık lastik içeren kompozitin cam elyaf ve epoksi matrisinin kırılğan bir yapıya sahip olduğunu gösterebilir. Maksimum gerilme değeri çalışmamızdaki diğer numunelere nazaran oldukça yüksek, bu da malzemenin çekme dayanımı açısından güçlü olduğunu ortaya koyar.

6.1.2. Elastisite Modülü ve Hesaplanması

Elastisite modülü, çekme testinde malzemenin elastik deformasyon bölgesindeki gerilme (stress) ve şekil değiştirme (strain) arasındaki ilişkiyi tanımlar. Hesaplama için genellikle Hooke Yasası temel alınır. Hooke yasasına göre;

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Burada:

- E: Elastisite Modülü (N/mm²)
- σ : Çekme Gerilmesi (N/mm²)
- ϵ : Şekil değiştirme (Birimsizdir % olarak ifade edilir)

Hesaplama Adımları

Elastik Bölgenin Belirlenmesi;

Çekme testi sırasında malzemenin elastik deformasyon gösterdiği doğrusal bölge seçilir. Bu bölge, genellikle grafiğin başlangıç kısmında bulunur.

Test verilerinde elastik bölgenin başlangıcından maksimum gerilmeye kadar olan şekil değiştirme hesaplanır.

Şekil değiştirme (ϵ), uzamanın başlangıç boyuna oranıdır, aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$\epsilon(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

ΔL : Uzama miktarı (mm)

L_0 : Malzemenin başlangıçtaki boyu (mm)

Gerilmenin Hesaplanması;

Gerilme (σ), uygulanan kuvvetin kesit alanına oranıdır:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Test sırasında doğrudan ölçülen gerilme (σ) değerleri verilmiştir.

Elastisite Modülünün Hesaplanması;

Elastisite modülü, gerilme-şekil değiştirme grafiğinde başlangıç doğrusal elastik kısmın eğimi; elastik bölgedeki en büyük çekme gerilmesinin (σ_{max}) bu gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirmeye oranı (ϵ) olarak hesaplanmıştır.

$$E = \frac{\sigma_{\text{çmax}}}{\varepsilon}$$

Bu çalışmada:

$\sigma_{\text{çmax}}$ = Maksimum çekme gerilmesi değeri = 25,91 N/mm²

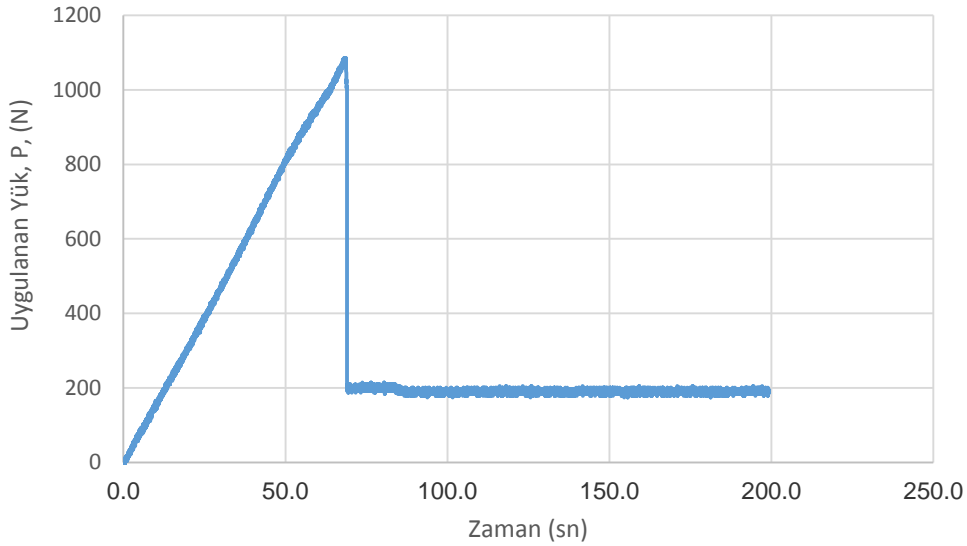
ε = Maksimum çekme gerilmesine karşılık gelen şekil değiştirme

$$E = \frac{25,91}{0,0109}$$

E=2376,61 N/mm² olarak bulunur.

6.1.3. Uygulanan Yük Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%0 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.3. %0 atık lastik tozu katkıli kompozitin kuvvet zaman grafiği görülmektedir. Uygulanan yük-zaman grafiği, çekme testi sırasında numune üzerinde uygulanan kuvvetin zamanla nasıl değiştiğini gösterir. Bu grafik, çekme testinin çeşitli aşamalarını anlamak için kullanışlıdır.



Şekil 6.3. %0 atık lastik tozu katkıli kompozitin kuvvet zaman grafiği

Kuvvet, teste başladığında sıfırdır ve hızlı bir şekilde artmaya başlar. Bu bölgede, numune henüz elastik deformasyon evresindedir ve kuvvetle beraber malzeme düzgün bir şekilde uzamaktadır.

Kuvvetin artış hızı, elastik deformasyonun devam ettiği bu doğrusal bölgede daha kararlı hale gelir. Bu aşamada malzeme, yük kaldırıldığında eski haline dönebilecek şekilde elastik deformasyona uğrar.

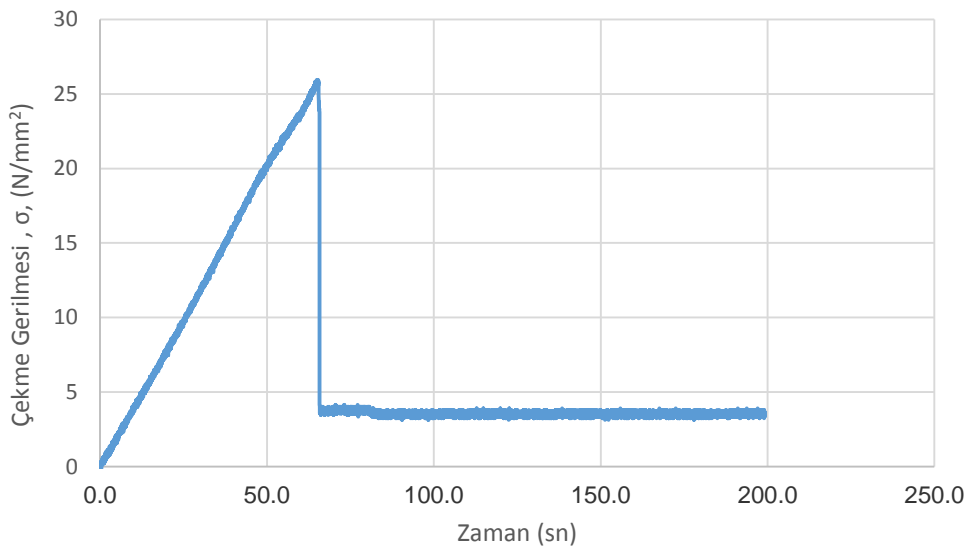
Maksimum kuvvet numunenin maksimum yük taşıyabildiği noktadır. Bu, genellikle yenilme öncesi meydana gelir ve malzemenin çekme dayanımıyla ilişkilidir. Maksimum kuvvet değerinden sonra numune üzerinde çatlaklar veya ciddi deformasyonlar görülür.

Kuvvet aniden düşmüş ve numune kopmuştur. Bu nokta malzemenin kırılma veya süneklik derecesini değerlendirirken önemlidir.

%0 atık lastik katkılı kompozitte kuvvetin zamanla düzenli bir şekilde arttığı, malzemenin elastik deformasyon ve plastik deformasyon bölgelerinden geçtiği açıkça görülmektedir. Maksimum kuvvet değerinden sonra yenilme meydana gelmiş ve grafik ani olarak düşmüştür. Dolayısıyla ani gevrek bir yenilme olduğu söylenebilir.

6.1.4. Çekme Gerilmesi - Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%0 Atık lastik İçeren Kompozit)

(Şekil 6.4.) Çekme gerilme-zaman grafiği, çekme testi sırasında malzemenin zamanla gerilme (stress) değerlerinde nasıl bir değişim yaşadığını gösterir. Bu grafik, kuvvet-zaman grafiği ile benzer özellikler taşısa da, numunenin kesit alanı gibi faktörleri hesaba katarak malzemenin mukavemetini doğrudan yansıtır.



Şekil 6.4. %0 atık lastik tozu içeren kompozitin gerilme zaman grafiği

Testin başlangıcında gerilme değeri sıfırdır ve zamanla doğrusal olarak artmaya başlar.

Bu aşamada, uygulanan kuvvet malzemenin kesit alanına orantılı bir şekilde gerilme yaratır. Malzeme elastik deformasyon bölgesindedir ve doğrusal davranış sergiler. Bu bölge Hooke Yasası'na uygun bir eğilim gösterir.

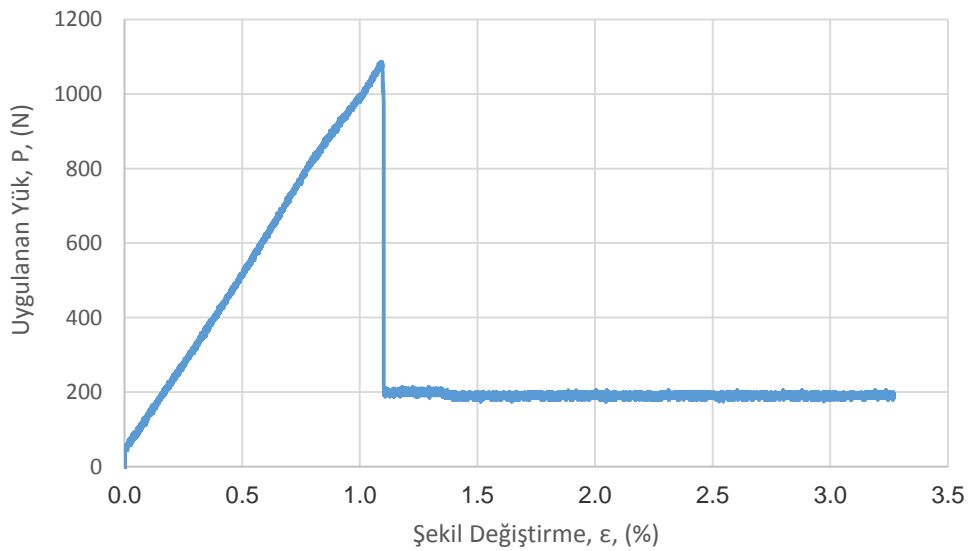
Grafik, doğrusal eğimini koruyarak gerilme değerlerinin düzenli bir şekilde arttığını gösterir. Bu, malzemenin elastik özelliklerinin hakim olduğu bölgedir. Bu bölge boyunca, uygulanan yük kaldırıldığında malzeme başlangıç haline geri dönebilir. Maksimum çekme gerilmesinden (25.91 N/mm²) sonra ani bir gerilme azalması olmuştur.

Grafik, en yüksek çekme gerilmesi değeri olan 25.91 N/mm²'ye ulaşır. Bu değer, malzemenin kopmadan önce taşıyabileceği maksimum yükü temsil eder.

Maksimum gerilme değerinden sonra grafik ani bir düşüş gösterir. Bu, numunenin kopması nedeniyle gerilmenin hızla düştüğü andır. Malzeme artık yük taşıyamaz hale gelir.

6.1.5. Uygulanan Yük - Şekil Değiştirme (%) Grafiğinin Yorumlanması (%0 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.5.'de uygulanan yük-şekil değiştirme grafiği görülmektedir. Kuvvet-şekil değiştirme grafiği, çekme testi sırasında uygulanan kuvvetin numunenin uzama yüzdesine karşı nasıl değiştiğini gösterir. Bu grafik, malzemenin elastik ve plastik deformasyon davranışlarını doğrudan anlamak için kullanılır.



Şekil 6.5. %0 atık lastik tozu içeren kompozitin kuvvet şekil değiştirme grafiği

Uygulanan kuvvet başlangıçta sıfırdır ve uzama yüzdesi arttıkça kuvvet düzenli bir şekilde artmaya başlar.

Bu bölge, elastik deformasyon bölgesini temsil eder ve kuvvet ile uzama arasında doğrusal bir ilişki görülür. Malzeme, bu bölgede Hooke Yasası'na uygun davranır.

Grafik boyunca kuvvetin hızlı ve doğrusal bir şekilde artması, malzemenin elastik deformasyon aşamasında olduğunu gösterir.

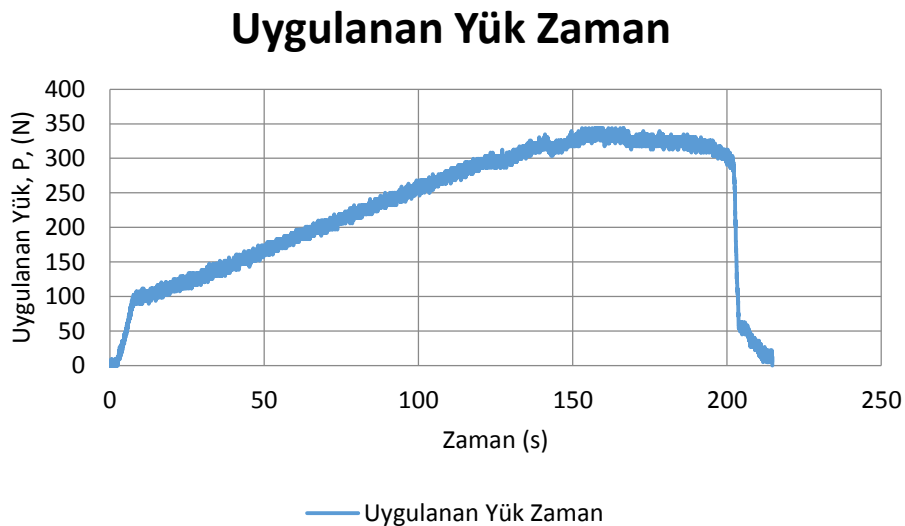
Bu bölge, malzemenin elastisite modülünün hesaplandığı bölgedir. Yük kaldırıldığında malzeme eski şekline geri dönebilir. Elastik sınırdan sonra, malzemenin yük taşıma kapasitesi ani olarak düşüş göstermiştir.

Malzeme artık kalıcı deformasyona uğramış ve plastik bölgeye geçmiştir.

6.2. %0 LASTİK TOZU İÇEREN KOMPOZİTİN EĞİLME TESTİ

6.2.1. Uygulanan Yük Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%0 Atık lastik İçeren Kompozit)

3 noktalı eğilme deneyinde %0 atık lastik tozu içeren kompozit malzemenin ortasına uygulanan yükün zamanla değişimi Şekil 6.6'da verilmiştir. İlk yükleme sırasında, yük ve zaman arasında doğrusal bir ilişki görülüyor. Bu bölge, malzemenin elastik deformasyon gösterdiği ve herhangi bir kalıcı şekil değişikliği yaşanmadığı bölgeyi temsil ediyor.



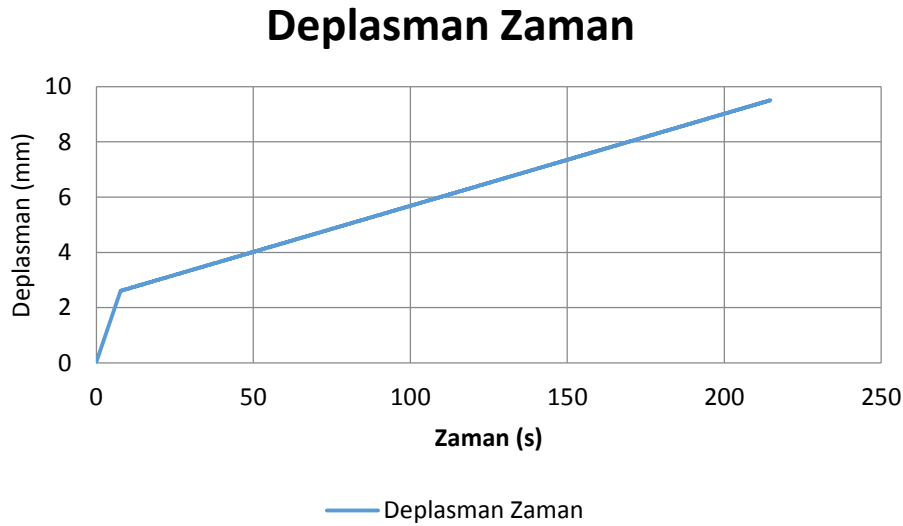
Şekil 6.6. %0 atık lastik tozu içeren kompozitin yük zaman grafiği

Yük zamanla artarken elastik sınırın ötesine geçiyor, bu da plastik deformasyonun başladığını gösteriyor. Plastik bölge, malzemenin enerjiyi emerek yapısal deformasyona uğradığı alan olarak tanımlanabilir.

Zamanla yükte düşüşler gözlemleniyor. Bu, muhtemelen malzeme üzerinde mikro çatlakların oluşması ve yük taşıma kapasitesinin azalmasıyla ilişkilendirilebilir.

6.2.2. Deplasman - Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%0 Atık lastik İçeren Kompozit)

3 noktalı eğilme deneyinde %0 atık lastik tozu içeren kompozit malzemenin ortasında yaptığı deplasmanın zamanla değişimi Şekil 6.7. 'de verilmiştir. Başlangıçtaki düşük deplasman değerleri, malzemenin elastik özelliklerini temsil ediyor. Yükün artışıyla birlikte orantılı olarak deplasmanın da artış eğiliminde olduğu görülmektedir.



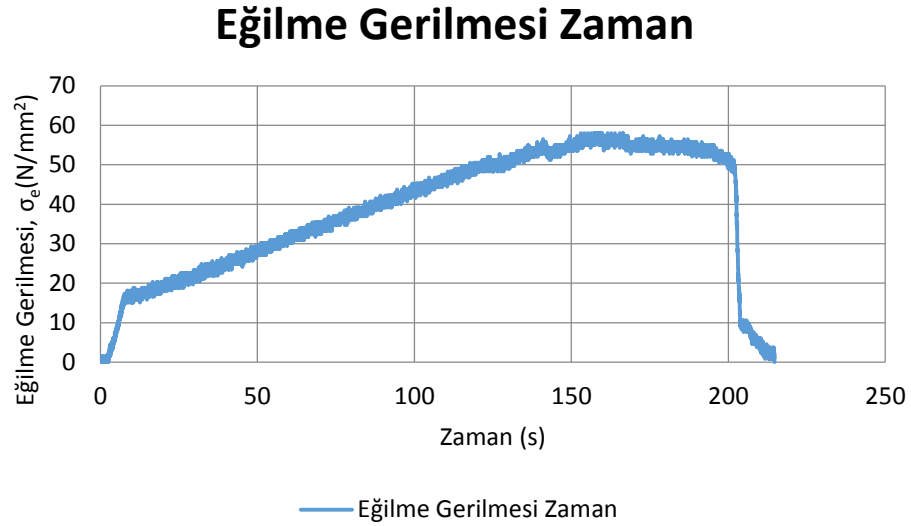
Şekil 6.7. %0 atık lastik tozu içeren kompozitin deplasman - zaman grafiği

Deplasmanın hızlı bir şekilde artmaya başladığı noktalar, malzemenin elastik limitini aştığı ve kalıcı deformasyonun meydana geldiği bölgeyi işaret eder.

6.2.3. Eğilme Gerilmesi Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%0 Atık lastik İçeren Kompozit)

%0 atık lastik tozu içeren kompozit malzemenin ortasında hesaplanan eğilme gerilmelerinin zamanla değişimi Şekil 6.8.' de verilmiştir. Gerilmenin uygulanan yük zaman grafiğine benzer olarak zamanla doğrusal olarak arttığı, malzemenin elastik

deformasyon gösterdiği ve yükü doğru orantılı olarak gerilme oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.8. %0 atık lastik içeren kompozitin eğilme gerilmesi zaman grafiği

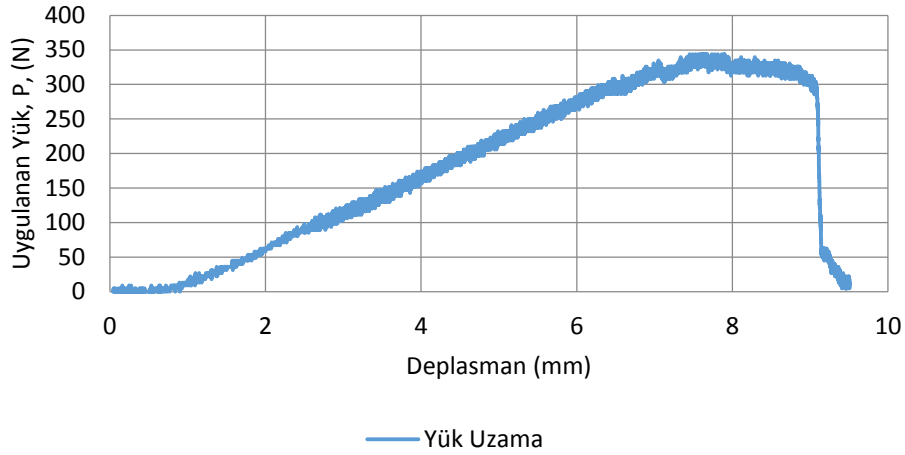
Belirli bir noktada gerilme maksimum seviyeye (58.2 MPa) ulaşmıştır. Bu değer, malzemenin taşıyabileceği en yüksek eğilme dayanımını ifade etmektedir.

Maksimum eğilme gerilmesinden sonra malzeme yüksek deplasmanlar yapması nedeniyle eğilme mukavemetini kaybetmeye başlamakta ve nihayetinde eğilme gerilmesi 0'a ulaşarak malzeme kırılmaktadır.

6.2.4. Uygulanan Yük Deplasman Grafiğinin Yorumlanması (%0 Atık lastik İçeren Kompozit)

Kompozit malzemeye uygulanan yük ve deplasman değişimleri Şekil 6.9.'da verilmiştir

Uygulanan Yük Deplasman



Şekil 6.9. %0 atık lastik içeren kompozitin uygulanan yük - deplasman grafiği

Maksimum yükün uygulandığı (343.80 N) andaki deplasman değeri 7.53mm dir. Bu noktadan itibaren yük azalmaya başlamış ve ani bir düşüşle sıfıra inmiştir.

6.3. EĞİLME DAYANIMI

Eğilme dayanımı $\sigma_{max} = \frac{3P \cdot L}{2b \cdot h^2}$ formülüne göre hesaplanır.

Maksimum yük (P): 343.80 N

Destekler arası mesafe (L): 90mm

Kesit genişliği (b): 50mm

Kesit kalınlığı (h): 4mm

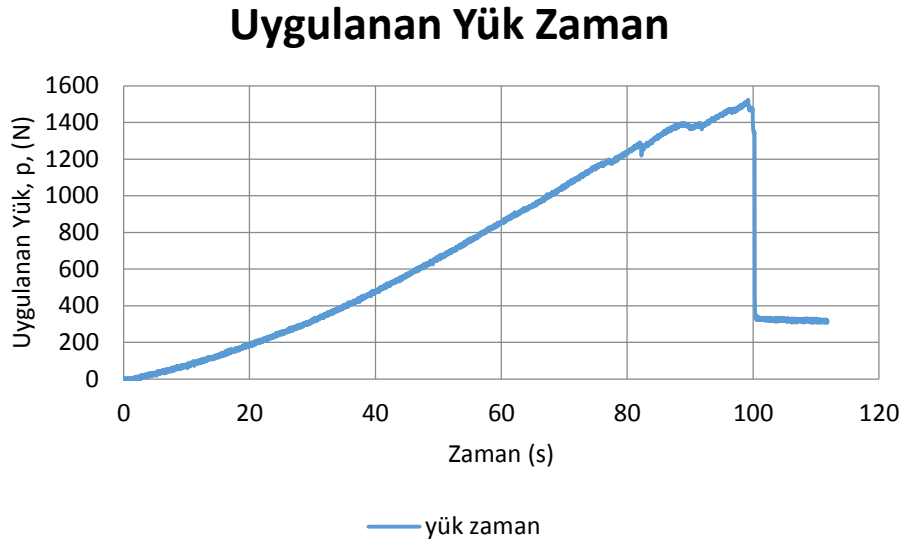
Buna göre; Eğilme Dayanımı 58.02 N/mm² 'dir.

6.4. %10 ATIK LASTİK İÇEREN KOMPOZTİN ÇEKME TESTİ

6.4.1. Uygulanan Yük Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%10 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.10. 'da %10 atık lastik tozu içeren kompozitin, uygulanan yük – zaman grafiği görülmektedir. Grafik, ilk olarak yükün zamanla düzenli bir şekilde arttığını gösteriyor. Bu doğrusal artış, malzemenin elastik deformasyon bölgesinde olduğunu kanıtlar. Bu

bölge, malzemenin şekil değiştirdiği ancak deformasyonun yük kaldırıldıktan sonra tamamen geri döneceği anlamına gelir



Şekil 6.10. %10 atık lastik içeren kompozitin uygulanan yük zaman grafiği

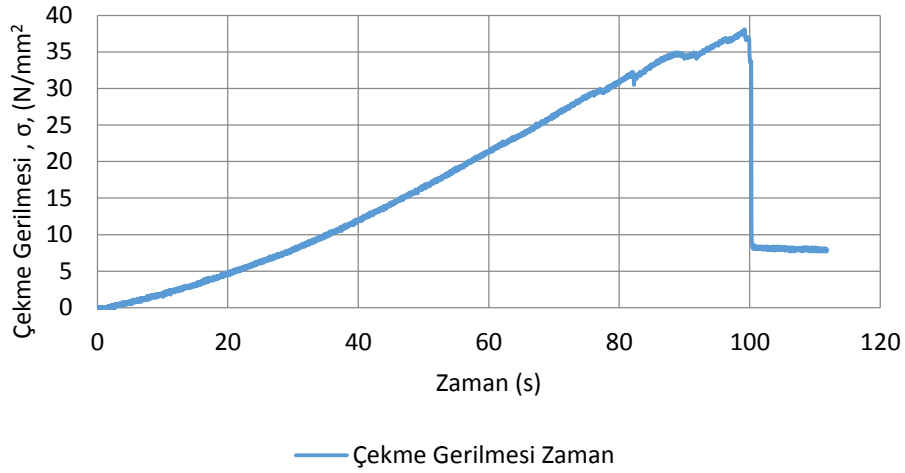
Maksimum yük noktasından itibaren, yük taşıma kapasitesinde bir azalma görülür. Bu, plastik deformasyonun başladığına ve malzemenin kalıcı şekil değişikliğine uğradığına işaret eder.

Plastik deformasyon bölgesi boyunca yükteki dalgalanmalar, malzeme içinde mikro çatlakların oluştuğuna veya lif-matris ara yüzeyinde ayrılma yaşandığına dair ipuçları verebilir.

6.4.2. Çekme Gerilmesi Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%10 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.11. 'de %10 lastik tozu içeren numunenin çekme gerilmesi – zaman grafiği görülmektedir. Bu grafik, çekme testi sırasında çekme gerilmesinin zamanla nasıl değiştiğini gösterir. Gerilmenin zamanla artışı, yük taşıma kapasitesinin doğrudan bir yansımasıdır.

Çekme Gerilmesi Zaman



Şekil 6.11. %10 atık lastik içeren kompozitin gerilme zaman grafiği

Testin başlangıcından bir süre sonra tam olarak doğrusal bir artış söz konusudur. Bu bölge elastik deformasyon bölgesidir ve bu bölgede numune Hooke yasasına uygun davranır.

Maksimum gerilmeden sonra gerilmenin azalmaya başlaması, malzeme yapısında mikro çatlaklar veya lif-matris bağ kopmaları gibi zararların başladığını gösterir.

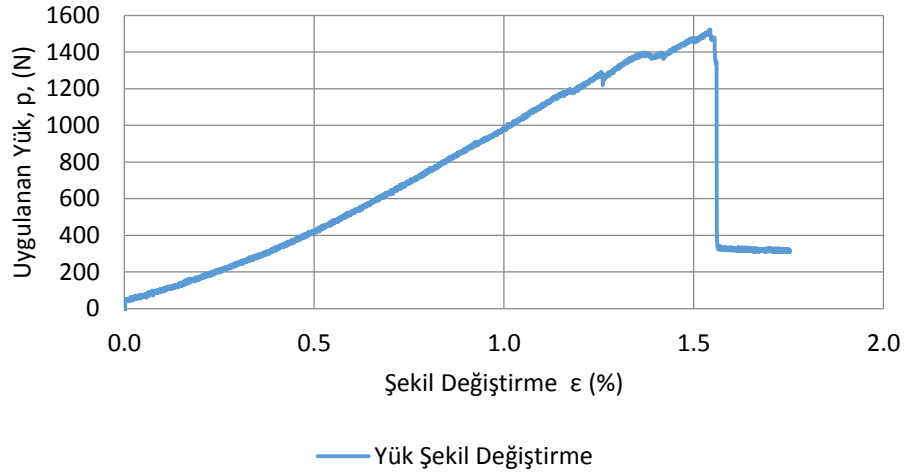
Gerilme azalırken malzeme halen yük taşıyor olabilir, bu da malzemenin dayanıklılık sınırlarını zorladığını ve olası bir kırılmaya yaklaştığını ifade eder.

Zaman ilerledikçe gerilme azalışı, yorulma dayanımı üzerinde çalışmayı gerektirebilir.

6.4.3. Uygulanan Yük Şekil Değiştirme Grafiğinin Yorumlanması (%10 Atık lastik İçeren Kompozit)

(Şekil 6.12.) Yük ve uzama arasındaki doğrusal ilişki, elastik deformasyon bölgesini ifade eder. Bu bölgedeki eğim, malzemenin temsil eder.

Uygulanan Yük Şekil Değişirme



Şekil 6.12. %10 atık lastik içeren kompozitin uygulanan yük şekil değişirme grafiği

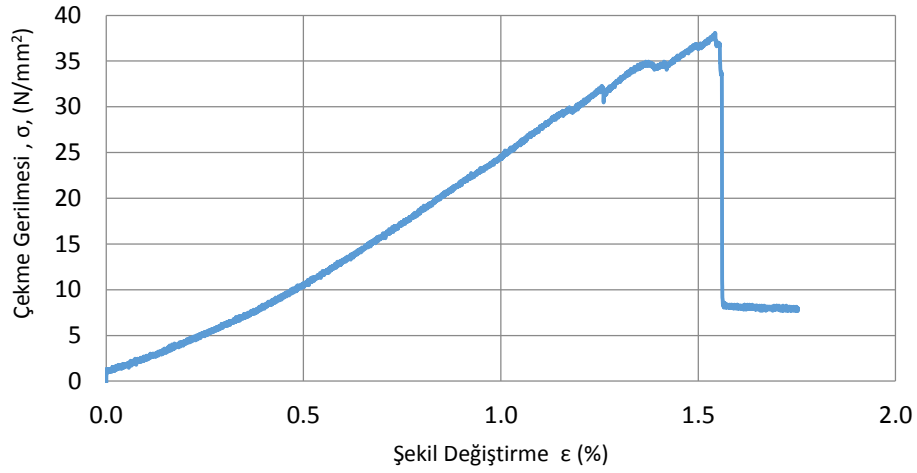
Plastik deformasyon bölgesine geçişle birlikte doğrusal ilişki sona erer ve grafik daha yatay bir seyir izler. Bu, malzemenin enerji absorpsiyon kapasitesinin devreye girdiği bölgedir.

Elastik deformasyon, malzemenin mukavemetinin ve rijitliğinin bir göstergesidir. Plastik bölge ise malzemenin sünek davranışını ve kırılmadan önce deformasyona devam edebilme kabiliyetini gösterir. Bu grafik, yük taşıma kapasitesi ve uzama limitlerini belirlemek için kritik öneme sahiptir.

6.4.4. Çekme Gerilmesi Şekil Değişirme Grafiğinin Yorumlanması (%10 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.13. 'de çekme gerilmesine karşı şekil değişirme grafiği görülmektedir. Çekme gerilmesi – şekil değişirme eğrisindeki doğrusal eğim, Hooke yasasına uygundur. Bu, malzemenin elastik deformasyona direncini gösterir.

Çekme Gerilmesi Şekil Değişirme



Şekil 6.13. %10 atık lastik içeren kompozitin çekme gerilmesi şekil değişirme grafiği

Akma noktası, plastik deformasyonun başladığı ve malzemenin artık geri dönülmez bir şekilde şekil değiştirmeye başladığı yerdir.

Maksimum gerilme noktasından sonra gerilme azalmaya başlar ve malzeme kırılmaya yaklaşır. Bu kırılma noktası, malzemenin dayanıklılığını ve yük taşıma kapasitesinin sınırlarını gösterir.

Elastikiyet modülü, malzemenin rijitlik seviyesini gösterir ve şu şekilde hesaplanmıştır:

- **Maksimum Gerilme:** 38.07 N/mm²
- **Karşılık Gelen Uzama Yüzdesi:** 3.085
- **Elastisite Modülü:** 2472.08 N/mm²

Malzemenin taşıyabileceği maksimum yük ve gerilme kapasitesi analiz edilmiştir. Bu, malzemenin rijitliği ve sünekliği arasında bir denge olduğunu gösterir.

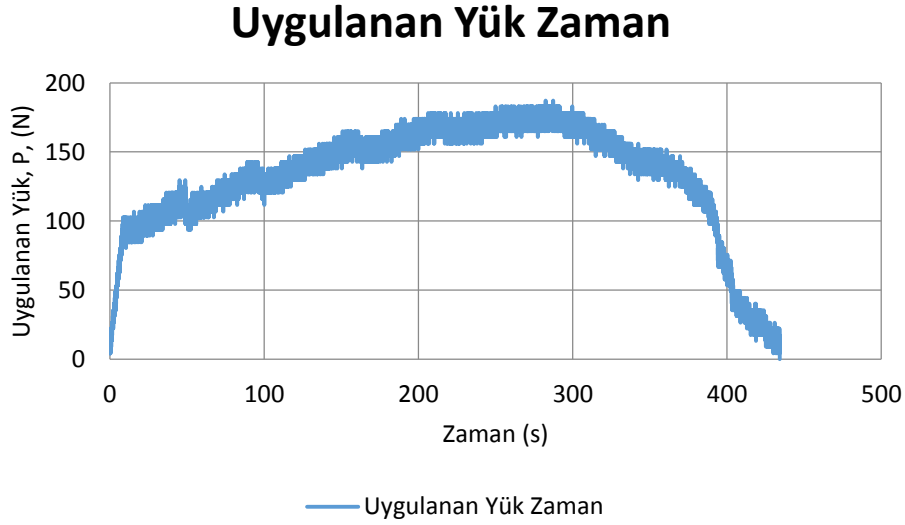
2472.08 N/mm² olarak hesaplanmıştır ve bu değer, malzemenin rijitliğini ve elastik deformasyon dayanımını ifade eder.

6.5. %10 ATIK LASTİK TOZU İÇEREN KOMPOZİTİN EĞME TESTİ

6.5.1. Uygulanan Yük Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%10 Atık lastik İçeren Kompozit)

Üç noktalı eğme deneyinde %10 atık lastik tozu içeren numunenin ortasına uygulanan

yükün zamanla değişimi Şekil 6.14. 'de verilmiştir. Zamanla yükte düzenli bir artış gözlemleniyor. Bu artış, malzemenin elastik deformasyon bölgesinde olduğunun bir göstergesidir.



Şekil 6.14. %10 atık lastik içeren kompozitin uygulanan yük zaman grafiği

Maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşıldığında, malzeme artık daha fazla yük taşıyamayacak bir noktaya geliyor. Bu noktanın ötesinde, yük taşıma kapasitesi düşmeye başlıyor.

Maksimum yükten (187.20 N) sonra düşüş, malzemenin kırılmaya veya deformasyona başladığını gösterir.

Elastik deformasyon sırasında yük ile zaman arasındaki doğrusal ilişki, malzemenin rijitliğinin ve elastik davranışının bir göstergesidir.

Maksimum yük noktası, malzemenin eğme dayanımı için kritik bir parametredir. Bu, malzemenin bir tasarımda taşıyabileceği en yüksek yükü belirler.

Yük taşıma kapasitesindeki ani düşüş, malzeme içinde mikro çatlakların oluştuğuna veya lif-matris bağlarının kopmaya başladığına işaret edebilir.

6.6. EĞİLME DAYANIMI

Maksimum yük (P): 187.20N

Destekler arası mesafe (L): 90mm

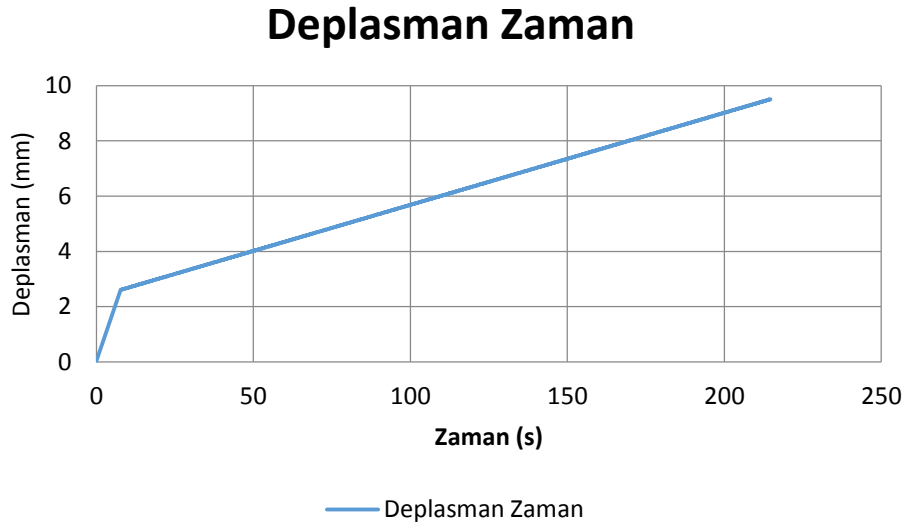
Kesit genişliği (b): 50mm

Kesit kalınlığı (h): 4mm

Buna göre; Eğilme Dayanımı 31.59N/mm² dir.

6.6.1. Deplasman Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%10 Atık lastik İçeren Kompozit)

3 noktalı eğilme deneyinde %0 atık lastik tozu içeren kompozit malzemenin ortasında yaptığı deplasmanın zamanla değişimi Şekil 6.15. 'de verilmiştir. Başlangıçtaki düşük deplasman değerleri, malzemenin elastik özelliklerini temsil ediyor. Yükün artışıyla birlikte orantılı olarak deplasmanın da artış eğiliminde olduğu görülmektedir.



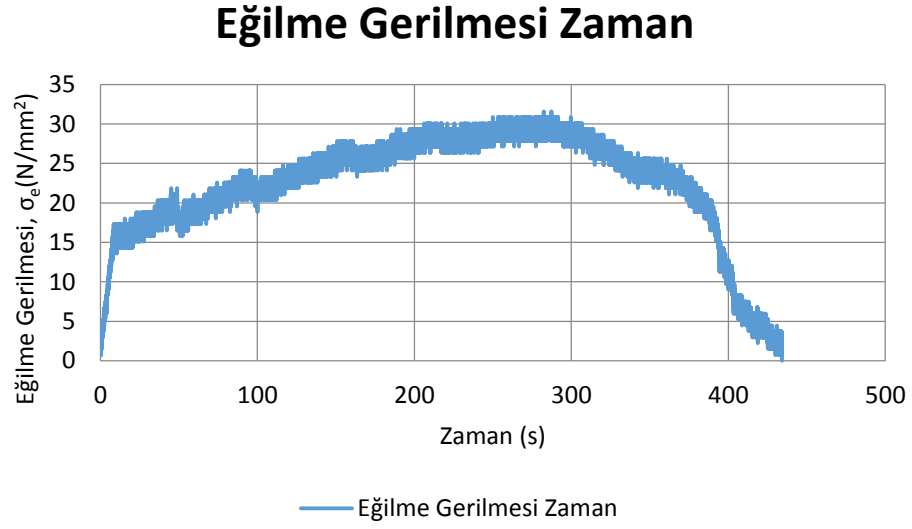
Şekil 6.15. %10 atık lastik içeren kompozitin deplasman zaman grafiği

Deplasmanın hızlı bir şekilde artmaya başladığı noktalar, malzemenin elastik limitini aştığı ve kalıcı deformasyonun meydana geldiği bölgeyi işaret eder.

6.6.2. Eğilme Gerilmesi Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%10 Atık lastik İçeren Kompozit)

Eğilme gerilmesinin zamanla değişimini gösteren grafik Şekil 6.16. 'de verilmiştir. Eğilme gerilmesi zamanla artarak maksimum (31.59n/mm²) bir değere ulaşıyor. Bu, malzemenin maksimum yük taşıma kapasitesine eşdeğer bir gerilme seviyesine

ulaştığını gösterir.



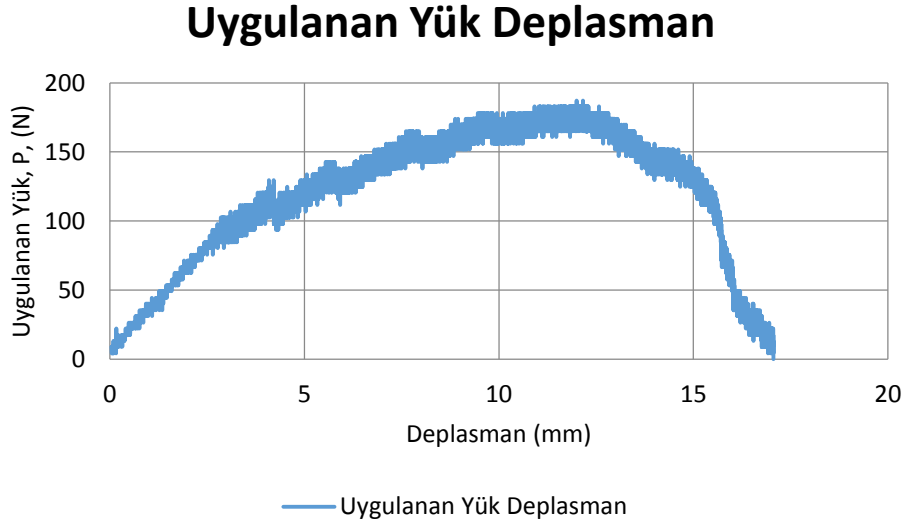
Şekil 6.16. %10 atık lastik içeren kompozitin gerilme zaman grafiği

Maksimum eğilme gerilmesi noktasından sonra gerilme azalmaya başlıyor. Bu durum, malzeme içinde hasar oluşumu ve mukavemet kaybını işaret eder.

Maksimum gerilme noktası, malzemenin eğme dayanımını belirleyen önemli bir parametredir. Gerilme azalırken malzeme hala yük taşımaya devam ediyorsa, bu durum malzemenin plastik deformasyon veya lif-matris ara yüzeylerinde çatlaklar geliştirdiğini ifade edebilir.

6.6.3. Uygulanan Yük Deplasman Grafiğinin Yorumlanması (%10 Atık lastik İçeren Kompozit)

Kompozit malzemeye uygulanan yük ve deplasman değişimleri Şekil 6.8’de verilmiştir.



Şekil 6.17. %10 atık lastik tozu içeren kompozitin uygulanan yük – deplasman grafiği

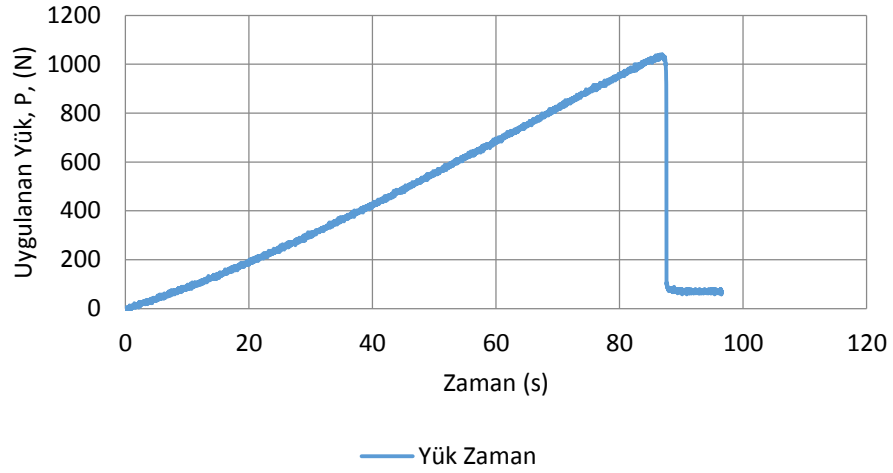
Uygulanan maksimum 187.20N yüke karşılık 12 mm deplasman değeri ölçülmüştür. Bu değerden sonra deplasman değeri arttıkça uygulanan yük sıfıra inmiştir.

6.7. %15 ATIK LASTİK TOZU İÇEREN KOMPOZİTLERİN ÇEKME TESTİ

6.7.1. Uygulanan Yük ve Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%15 Atık lastik İçeren Kompozit)

%15 atık lastik tozu içeren kompozit numunesinin, uygulanan yüke karşı zaman grafiği Şekil 6.18. ‘de verilmiştir. Yük, zamanla artarak bir maksimum değere (1040.40N) ulaşır ve ardından azalmaya başlar. Maksimum yük noktası, malzemenin elastik deformasyon kapasitesinin sınırını belirtir.

Uygulanan Yük Zaman



Şekil 6.18. %15 atık lastik tozu içeren kompozitin yük zaman grafiği

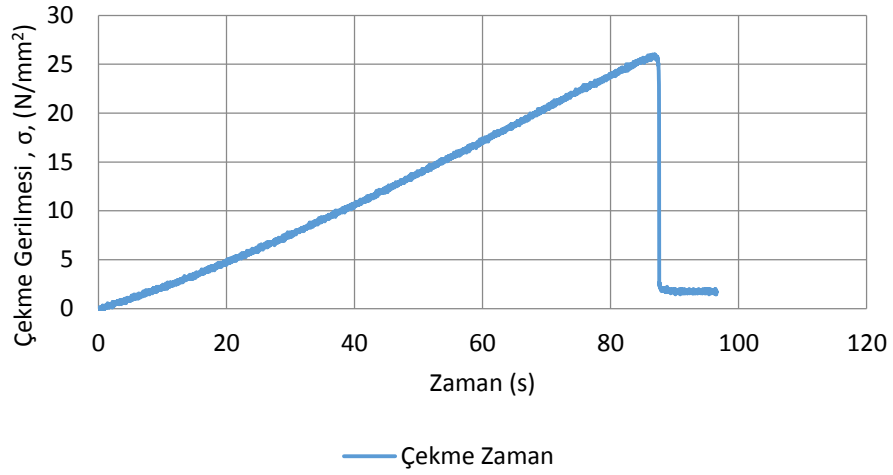
Azalma eğilimi, malzemenin kırılma veya plastik deformasyona geçtiğini gösterir.

Elastik deformasyon bölgesindeki yük artışı, malzemenin yük taşıma kapasitesini temsil eder. Yükteki ani düşüş, lif-matris ara yüzeyinde ayrılma veya çatlakların oluştuğunu işaret eder.

6.7.2. Çekme Gerilmesi Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%15 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.19. 'de %15 atık lastik tozu içeren kompozit numunesinin çekme gerilmesine karşı zaman grafiği verilmiştir. Çekme gerilmesi, zamanla doğrusal olarak artar ve maksimum 26.01 değerine ulaştıktan sonra azalır. Maksimum gerilme, malzemenin mukavemet sınırını ve dayanım kapasitesini ifade eder.

Çekme Gerilmesi Zaman



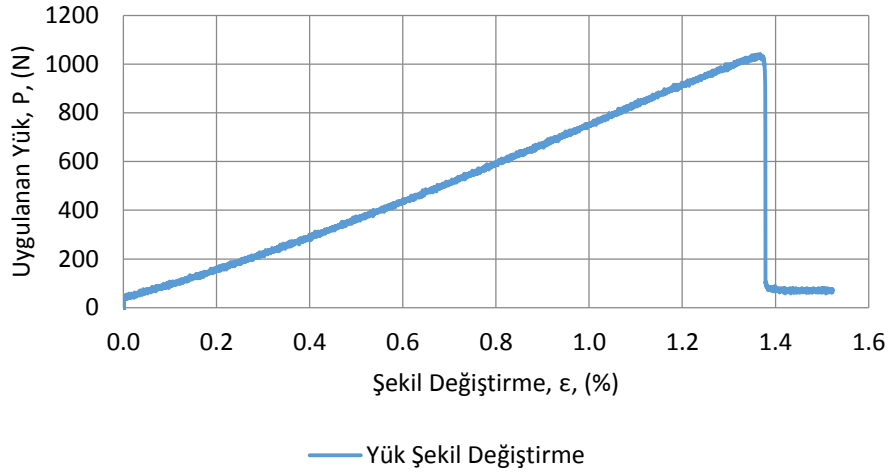
Şekil 6.19. %15 atık lastik tozu içeren kompozitin çekme gerilmesi zaman grafiği

Maksimum gerilmeden sonra azalma, malzemenin mikro çatlaklar nedeniyle mukavemet kaybettiğini gösterir. Gerilme azalırken malzemenin yük taşıma kapasitesinin bir kısmını koruması, plastik deformasyon sürecine işaret edebilir.

6.7.3. Uygulanan Yük Şekil Değiştirme Grafiğinin Yorumlanması (%15 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.20. 'de %15 atık lastik tozu içeren numunenin uygulanan yük karşı şekil değiştirme grafiği verilmiştir. Yük ve uzama arasındaki doğrusal ilişki, malzemenin elastik deformasyon bölgesini ifade eder. Maksimum yük taşıma kapasitesi noktasında uzama sınırlıdır ve ardından yük azalır.

Uygulanan Yük Şekil Değişirme



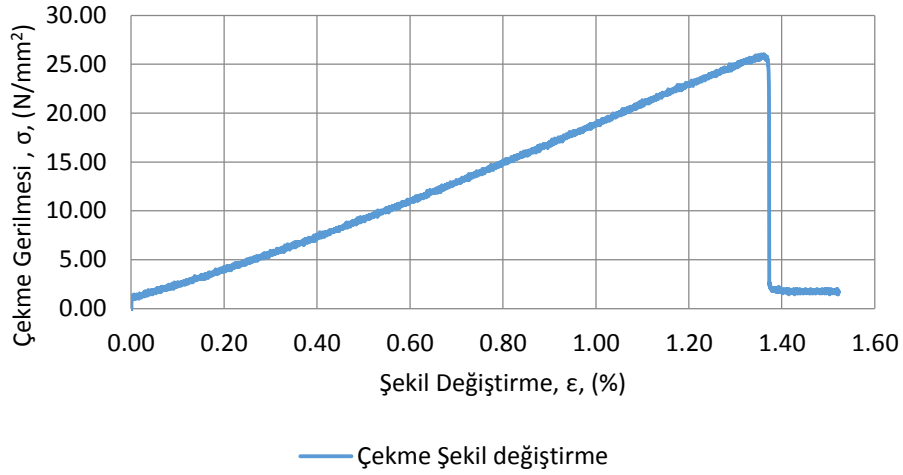
Şekil 6.20. %15 atık lastik tozu içeren kompozitin yük uzama grafiği

Elastik deformasyon bölgesindeki yük artışı, malzemenin rijitliği hakkında bilgi verir. Plastik deformasyon olmadan kırılmaya gitmesi, malzemenin kırılma bir yapıya sahip olduğunu gösterir.

6.7.4. Çekme Gerilmesi Şekil Değişirme Grafiğinin Yorumlanması (%15 Atık lastik İçeren Kompozit)

%15 atık lastik tozu içeren kompozitin çekme gerilmesi – şekil değişirme grafiği Şekil 6.21. 'de verilmiştir. Grafik ilk doğrusal olarak artmaktadır. Bu bölge Hooke yasasına uygun olan bölgedir. Gerilme ve uzama arasındaki ilişki, elastik deformasyon bölgesinde doğrusal bir eğilim gösterir. Maksimum gerilme noktasından sonra azalan eğilim, malzemenin kırılma aşamasına yaklaştığını gösterir.

Çekme Gerilmesi Şekil Değişirme



Şekil 6.21. %15 atık lastik tozu içeren kompozitin gerilme uzama grafiği

Bu grafik, malzemenin elastisite modülünü ve kırılma öncesi davranışını anlamak için kritik bir göstergedir. Gerilme azaldıkça uzamanın sabit kalması, malzemenin çatlaklar nedeniyle deformasyon kapasitesini yitirdiğini ifade eder.

1912.50 N/mm² elastisite modülü, hesaplanmıştır. Bu değer, malzemenin esnekliğe karşı sergileyebilecek olduğu direnci ifade eder. Belirli bir noktaya kadar yük taşıma kapasitesini koruyabileceğini gösterir.

Maksimum gerilme değeri (26.01 N/mm²), malzemenin mukavemet ve dayanıklılığı hakkında bilgi verir.

- **Maksimum Gerilme (σ):** 26.01 N/mm²
- **Karşılık Gelen Uzama (ϵ %):** 1.36 mm
- **Elastisite Modülü (E):** 1912.50 N/mm²

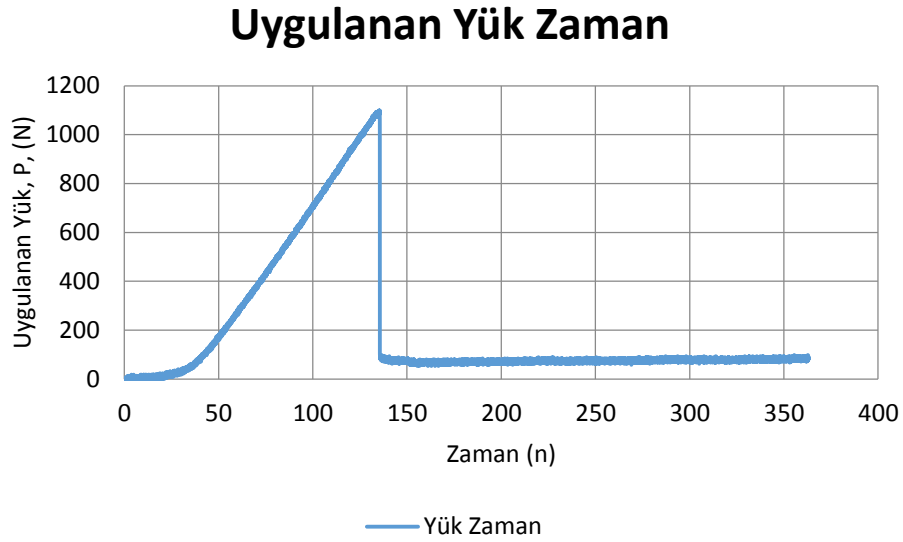
Not: %15 atık tozu içeren kompozitin eğme testi yapılamamıştır.

6.8. %23 ATIK LASTİK TOZU İÇEREN KOMPOZİTİN ÇEKME TESTİ

6.8.1. Uygulanan Yük Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%23 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.22. 'de %23 atık lastik tozu içeren numuneye ait uygulanan yüke karşı zaman grafiği verilmiştir. Grafik, yükün zamanla artış ve azalış eğilimlerini açıkça

göstermektedir. Zamanla düzenli artış, elastik deformasyon bölgesine işaret eder. Bu bölgede malzeme, dış yüklemelere karşı esnek bir şekilde tepki verir.



Şekil 6.22. %23 atık lastik tozu içeren kompozitin uygulanan0 yük zaman grafiği

Maksimum yük (1098.60N) kapasitesine ulaşıldıktan sonra, yükte ani bir düşüş görülmektedir. Bu düşüş, lif-matris ara yüzeyinde kopmalar veya malzemenin çatlaklar oluşturması nedeniyle meydana gelir.

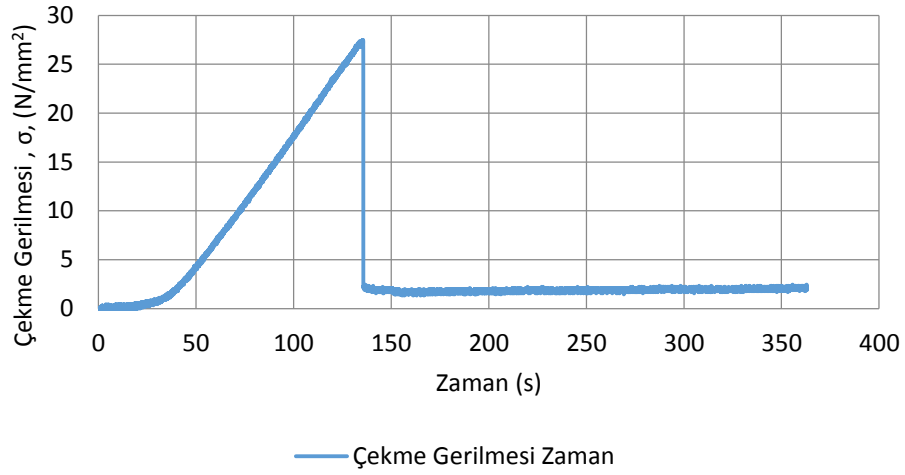
Maksimum yük noktasına kadar olan artış, malzemenin deformasyona karşı direncini ifade eder.

Yük azalmaya başladığında, malzeme mukavemet kaybına uğramış ve plastik deformasyon sınırlı bir şekilde başlamış olabilir.

6.8.2. Çekme Gerilmesi Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%23 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.23. 'de %23 atık lastik içeren kompozitin zamanla çekme gerilmesi grafiği verilmiştir. Gerilme, zamanla düzenli bir şekilde artarak maksimum (27.47N) bir değere ulaşır. Bu, elastik deformasyon bölgesinin sona erdiğini işaret eder.

Çekme Gerilmesi Zaman



Şekil 6.23. %23 atık lastik tozu içeren kompozitin çekme gerilmesi zaman grafiği

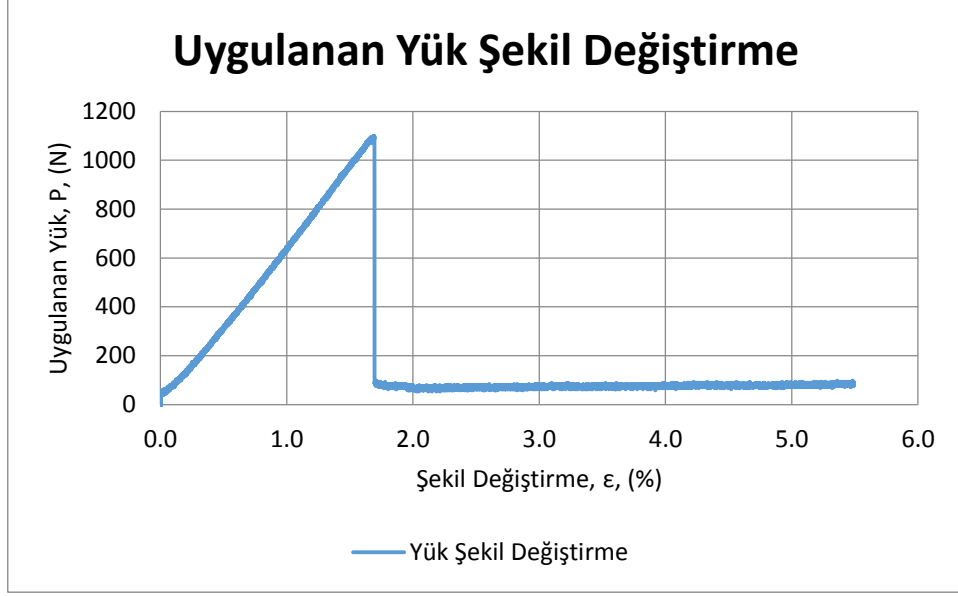
Maksimum gerilme noktasından sonra azalma, malzemenin mukavemet kaybı yaşadığını ve kırılmaya doğru ilerlediğini gösterir.

Maksimum gerilme değerine kadar olan doğrusal artış, malzemenin elastik deformasyon kapasitesini yansıtır.

Maksimum gerilme noktasından sonra azalma, malzemenin çatlaklar ve kopmalar nedeniyle yük taşıma kapasitesini kaybettiğini gösterir.

6.8.3. Uygulanan Yük Şekil değiştirme Grafiğinin Yorumlanması (%23 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.24. 'de %23 atık lastik tozu içeren kompozitin uygulanan yüke karşı şekil değiştirme grafiği verilmiştir. Yük ve uzama arasındaki doğrusal ilişki, elastik deformasyon bölgesinde net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6.24. %23 atık lastik tozu içeren kompozitin uygulanan yük şekil değişirme grafiği

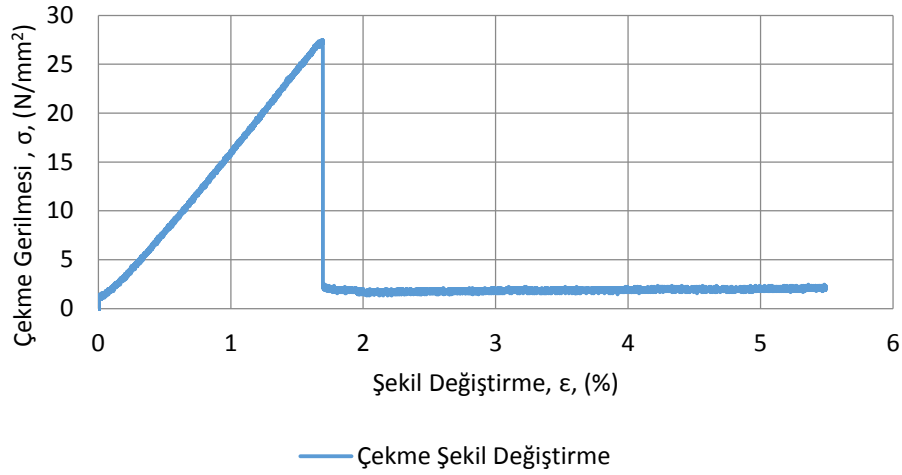
Maksimum yük (1098.60N) noktasından sonra uzama artışı olmadan yük azalmaya başlar, bu da malzemenin kırılma eğilimine girdiğini gösterir.

Doğrusal bölge, malzemenin elastisite modülünü ifade eder. Bu, yük taşımaya karşı deformasyon direncini yansıtır.

6.8.4. Çekme Gerilmesi Şekil Değişirme Grafiğinin Yorumlanması (%23 Atık lastik İçeren Kompozit)

%23 atık lastik tozu içeren kompozitin çekme gerilmesi – şekil değişirme grafiği Şekil 6.25. 'de verilmiştir. Çekme gerilmesi ve şekil değişirme arasındaki doğrusal ilişki, elastik deformasyon bölgesinde belirgin bir şekilde gözlemlenir. Bölge Hooke yasasına uygundur. Maksimum gerilme (27.47N/mm²) noktasından sonra gerilme azalır, ancak uzama sabit kalır. Bu, malzemenin kırılma eğilimine girdiğini ifade eder.

Çekme Gerilmesi Şekil Değişirme



Şekil 6.25. %23 atık lastik tozu içeren kompozitin çekme gerilmesi şekil değişirme grafiği

Doğrusal bölgenin eğimi, elastisite modülünü temsil eder. Bu, malzemenin yük taşıma kapasitesini gösterir. Maksimum gerilme noktası olan 27.47 N/mm^2 'den sonra gerilme azalırken uzama sabit kalır, bu da malzemenin çatlaklar nedeniyle kırılmaya yaklaştığını işaret eder.

- **Maksimum Gerilme (σ):** 27.47 N/mm^2
- **Karşılık Gelen Uzama (ϵ %):** 1.69 mm
- **Elastisite Modülü (E):** 1625.148 N/mm^2

Hesaplanan elastisite modülü, malzemenin deformasyon direncini ve yük taşıma kapasitesini destekler.

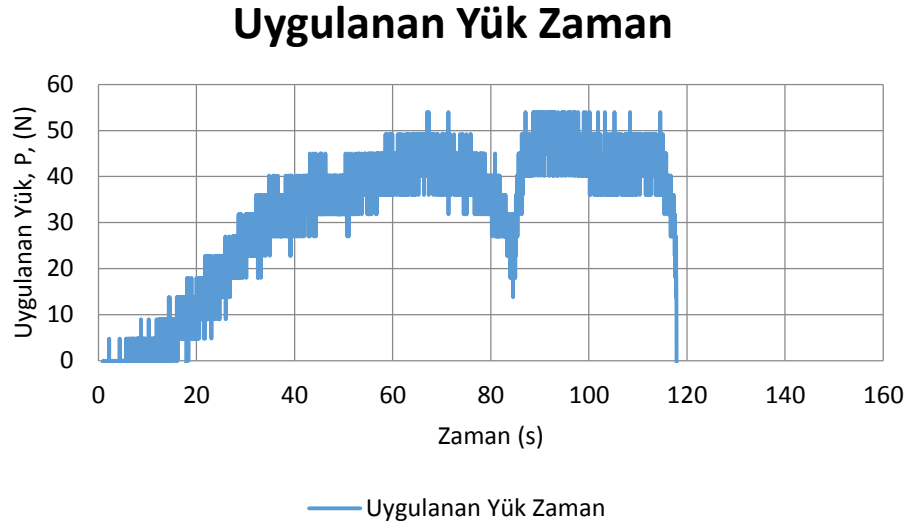
27.47 N/mm^2 olan maksimum gerilme değeri, malzemenin mukavemet kapasitesini ortaya koyar.

6.9. %23 ATIK LASTİK TOZU İÇEREN KOMPOZİTİN EĞME TESTİ

6.9.1. Uygulanan Yük Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%23 Atık lastik İçeren Kompozit)

%23 atık lastik içeren kompozitin uygulanan yük – zaman grafiği Şekil 6.26. 'da verilmiştir. Grafik, yükün zamanla artışını ve maksimum bir noktaya ulaştıktan sonra

azaldığını gösteriyor.



Şekil 6.26. %23 atık lastik tozu içeren kompozitin uygulanan yük zaman grafiği

İlk etapta yük, zamanla doğrusal bir şekilde artıyor ve elastik deformasyon bölgesinde malzeme yük taşıma kapasitesini gösteriyor.

Maksimum yük noktasından sonra, yükte düşüş gözlemleniyor. Bu düşüş, malzemenin kırılma veya plastik deformasyon sınırına ulaştığını gösterir.

Elastik deformasyon bölgesindeki düzenli yük artışı, malzemenin mukavemetini ifade eder.

Maksimum yükten sonraki ani düşüş, lif-matris ara yüzeyindeki zayıflamayı veya çatlakların oluşumunu işaret eder.

6.10. EĞİLME DAYANIMI

Maksimum yük (P): 54.00 N

Destekler arası mesafe (L): 90mm

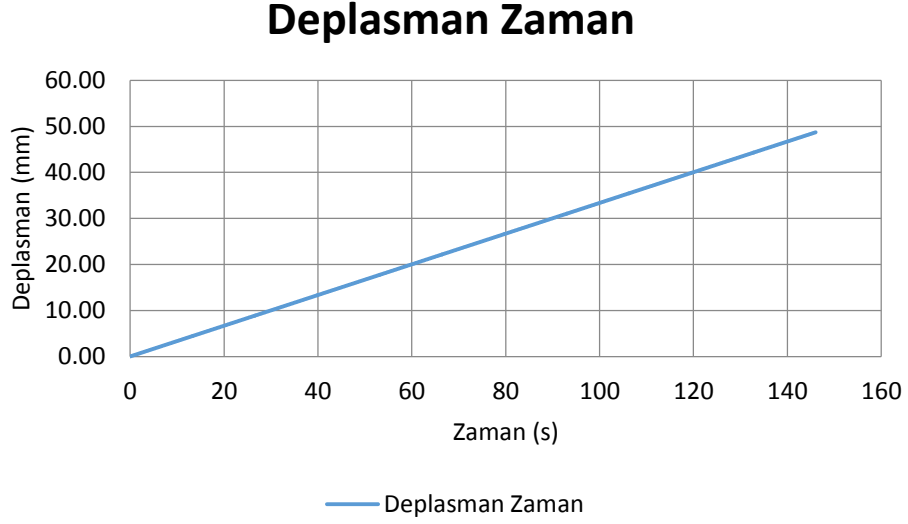
Kesit genişliği (b): 50mm

Kesit kalınlığı (h): 4mm

Buna göre; Eğilme Dayanımı 9.11 N/mm² dir.

6.10.1. Deplasman Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%23 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.27. 'de %23 atık lastik tozu içeren kompozitin deplasmana karşı zaman grafiği verilmiştir. Deplasman zamanla yavaş bir şekilde artış gösterir ve maksimum yük noktasında sabitlenir.



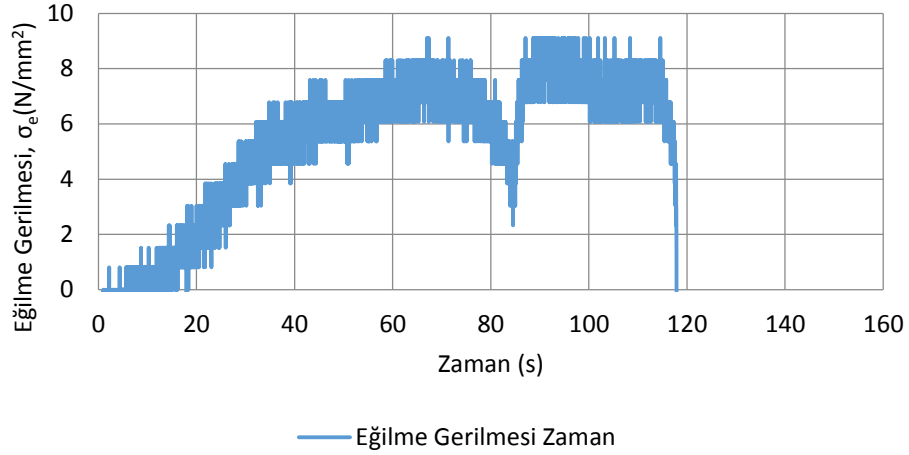
Şekil 6.27. %23 atık lastik tozu içeren kompozitin deplasman zaman grafiği

Malzemenin deformasyon kapasitesinin sınırlı olduğu gözlemleniyor; bu durum, elastik deformasyonun baskın olduğunu ve sünek davranışın eksik olduğunu gösterir.

6.10.2. Eğilme Gerilmesi Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%23 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.28. %23 atık lastik tozu içeren kompozitin eğilme gerilmesi zaman grafiği verilmiştir. Gerilme, zamanla artarak maksimum (9.11N/mm²) bir değere ulaşıyor ve ardından azalma eğilimi gösteriyor.

Eğilme Gerilmesi Zaman



Şekil 6.28. %23 atık lastik tozu içeren kompozitin eğilme gerilmesi zaman grafiği

Maksimum gerilme, malzemenin mukavemet sınırını ve yük taşıma kapasitesinin son noktasını ifade eder.

Gerilmenin azalma eğilimi, malzemenin mukavemet kaybını ve plastik deformasyona geçişteki zayıflığını gösterir.

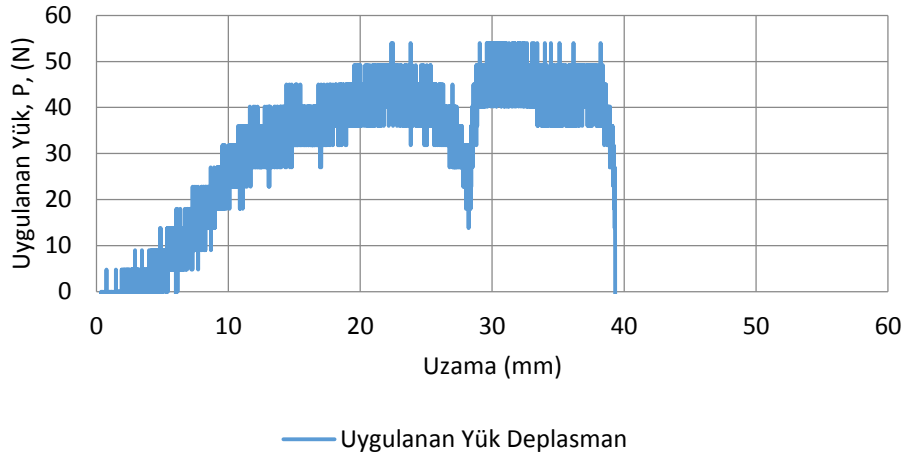
Elastik deformasyon bölgesindeki gerilme artışı, malzemenin mukavemet kapasitesini ifade eder.

Gerilme azalırken malzemenin yük taşıma kapasitesinin tükenmeye başladığı anlaşılır.

6.10.3. Uygulanan Yük Deplasman Grafiğinin Yorumlanması (%23 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.29. 'de %23 atık lastik tozu içeren kompozit numunesinin uygulanan yük – deplasman grafiği verilmiştir. Uygulanan yük ve deplasman arasındaki doğrusal ilişki, elastik deformasyon bölgesinde net bir şekilde gözlemlenir.

Uygulanan Yük Deplasman



Şekil 6.29. %23 atık lastik tozu içeren kompozitin yük uzama grafiği

Maksimum yük noktasına ulaşıldıktan sonra, uzama sabit kalırken yükte bir düşüş görülür. Bu düşüş, lif-matris ara yüzeyindeki zayıflamayı veya çatlakların oluşumunu işaret eder.

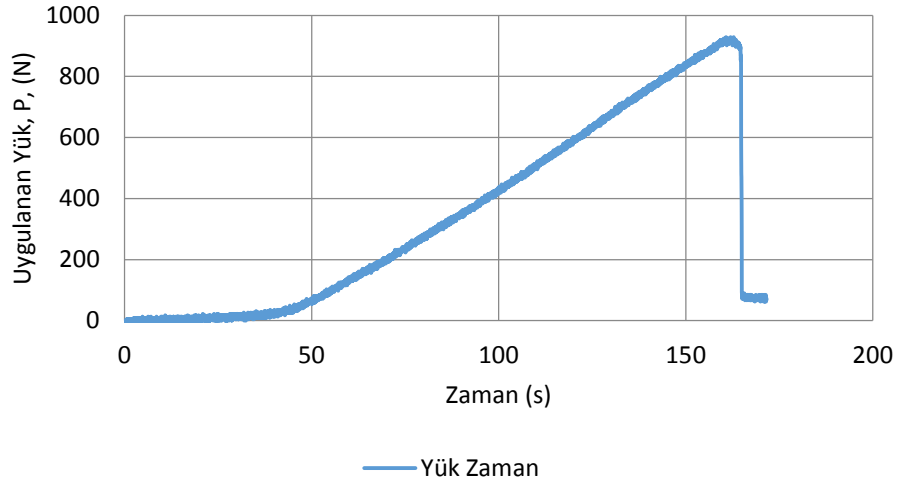
Elastik deformasyon bölgesindeki doğrusal artış, malzemenin rijitliğini ve elastik deformasyona karşı direncini ifade eder.

6.11. %27 ATIK LASTİK TOZU İÇEREN KOMPOZİTİN ÇEKME TESTİ

6.11.1. Uygulanan Yük Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%27 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.30. 'de %27 atık lastik tozu içeren kompozit numunesine ait uygulanan yük – zaman grafiği verilmiştir. Uygulanan yük, zamanla doğrusal olarak artış gösterir ve maksimum (928.80N) bir noktaya ulaştıktan sonra azalır. Maksimum yük noktası, malzemenin elastik deformasyon kapasitesini ifade eder.

Yük Zaman



Şekil 6.30. %27 atık lastik tozu içeren kompozitin yük zaman grafiği

Maksimum yük noktasındaki ani düşüş, malzeme içinde çatlakların oluşmaya başladığına veya lif-matris ara yüzeyinin zarar gördüğüne işaret eder.

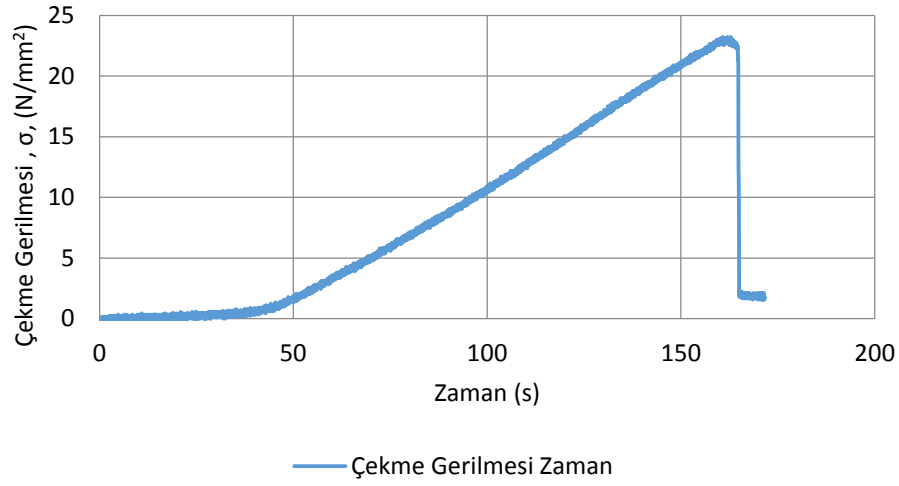
Yük artışı elastik deformasyon bölgesini temsil eder. Bu bölgede malzeme esnek bir şekilde yük taşıyabilir ve deformasyonun geri dönüşü mümkündür.

Maksimum yük noktasından sonraki düşüş, malzemenin mukavemet kaybına uğradığını ve kırılma bir davranış sergilediğini ifade eder.

6.11.2. Çekme Gerilmesi Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%27 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.31. 'de %27 atık lastik tozu içeren kompozitin çekme gerilmesinin zamanla değişim grafiği verilmiştir. Gerilme, zamanla artış göstererek maksimum bir noktaya ulaşır ve ardından azalma eğilimi gösterir. Maksimum gerilme noktası, malzemenin mukavemet sınırını ifade eder.

Çekme Gerilmesi Zaman



Şekil 6.31. %27 atık lastik tozu içeren kompozitin çekme gerilmesi zaman grafiği

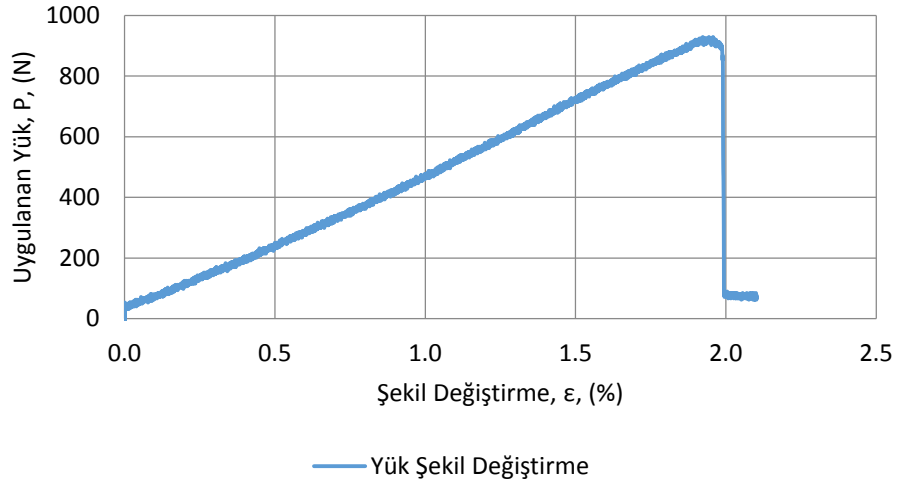
Gerilme azaldığında, malzemenin çatlaklar nedeniyle mukavemet kaybına uğradığı anlaşılır.

Gerilme artışının doğrusal olduğu bölge, elastik deformasyon bölgesini temsil eder ve malzeme bu bölgede Hooke yasasına uygun davranır. Gerilme azalmaya başladığında malzemenin kırılmaya yaklaştığını gösterir.

6.11.3. Uygulanan Yük Şekil Değiştirme Grafiğinin Yorumlanması (%27 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.32. 'de %27 atık lastik tozu içeren kompozitin uygulanan yüke karşı şekil değiştirme grafiği verilmiştir. Yük ve uzama arasında doğrusal bir ilişki görülmektedir; bu durum elastik deformasyon bölgesini ifade eder.

UygulananYük Şekil Değişirme



Şekil 6.32. %27 atık lastik tozu içeren kompozitin uygulanan yük şekil değişirme grafiği

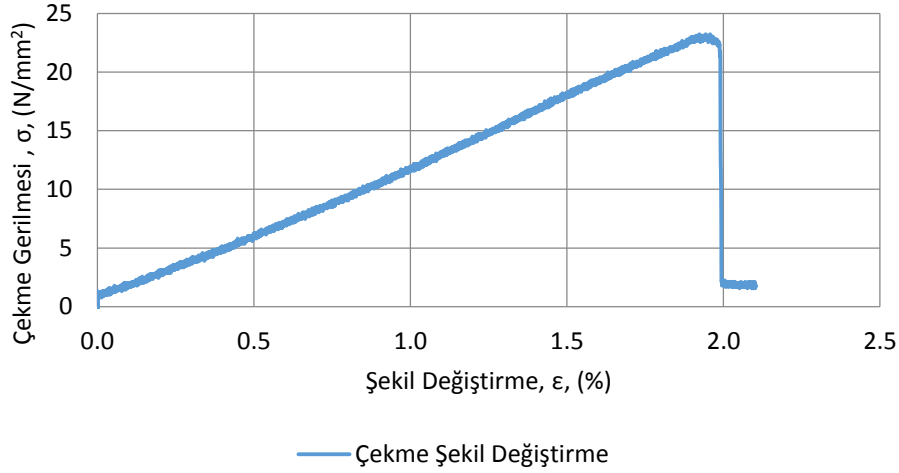
Maksimum yük noktasına ulaşıldığında şekil değişirme sabitlenir ve yük azalmaya başlar. Bu, malzemenin kırılğan davranış sergilediğini ifade eder.

Şekil değiştirmenin sabit kalması, malzemenin enerji absorpsiyon kapasitesinin sınırlı olduğunu gösterir.

6.11.4. Çekme Gerilmesi Şekil Değişirme Grafiğinin Yorumlanması (%27 Atık lastik İçeren Kompozit)

%27 atık lastik tozu içeren kompozit numunesinin çekme gerilmesi – şekil değişirme grafiği Şekil 6.33. 'da verilmiştir. Gerilme ve uzama arasındaki doğrusal ilişki elastik deformasyon bölgesinde net bir şekilde gözlemlenir.

Çekme Gerilmesi Şekil Değişirme



Şekil 6.33. %27 atık lastik tozu içeren kompozitin çekme gerilmesi şekil değişirme grafiği

Maksimum çekme gerilmesi (23.22N/mm²) noktasından sonra gerilme azalırken şekil değişirme sabit kalır. Bu durum, malzemenin kırılmaya eğilimli olduğunu gösterir.

Çekme gerilmesi – şekil değişirme eğrisindeki doğrusal bölge, elastisite modülünün bir göstergesidir.

Maksimum gerilmeden sonra gerilmenin azalması, malzemenin kırılmaya yaklaştığını gösterir.

Elastisite modülü şöyledir;

- **Maksimum Gerilme (σ):** 23.22 N/mm²
- **Karşılık Gelen Uzama (ϵ %):** 1.96 mm
- **Elastikiyet Modülü (**E**):** 1184.69 N/mm²

Elastisite modülünün 1184.69 N/mm² olarak hesaplanması, malzemenin önceki oranlara kıyasla rijitlikte bir azalma gösterdiğini ifade eder.

Bu azalma, malzemenin %27 oranındaki atık lastik tozunun elastik deformasyon özelliklerini etkilediğini göstermektedir.

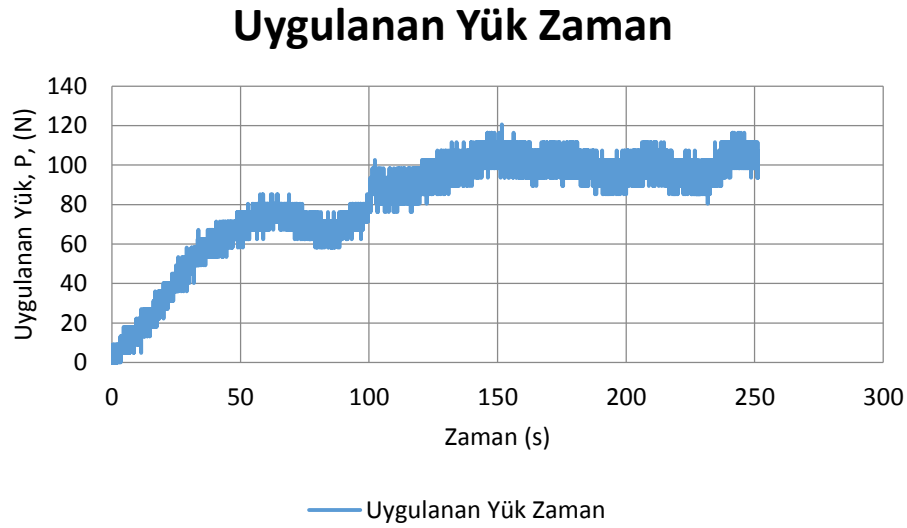
Maksimum çekme gerilmesi (23.22 N/mm²), malzemenin önceki kompozit oranlarına kıyasla daha düşük mukavemet gösterdiğini işaret eder.

Uzamanın 1.96 mm olarak hesaplanması, malzemenin deformasyon altında kırılmaya geçmeden önce enerji absorpsiyon kapasitesini koruduğunu ifade eder.

6.12. %27 ATIK LASTİK TOZU İÇEREN KOMPOZİTİN EĞME TESTİ

6.12.1. Uygulanan Yük Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%27 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.34. 'da %27 atık lastik oranına sahip kompozitin uygulanan yük – zaman grafiği verilmiştir. Grafik, zamanla yükün düzenli bir artış gösterdiğini ve ardından maksimum bir değere ulaştığını ortaya koymaktadır.



Şekil 6.34. %27 atık lastik tozu içeren kompozitin uygulanan yük zaman grafiği

Maksimum yük (120.60N) noktasından sonra, yükte belirgin bir düşüş görülür. Bu düşüş, malzemenin mukavemet sınırına ulaştığını ve çatlaklar nedeniyle mukavemet kaybı yaşadığını gösterir.

Yükün zamanla doğrusal artışı, malzemenin elastik deformasyon bölgesinde mekanik stabilitesini ifade eder.

Maksimum yük noktası, malzemenin taşıyabileceği en yüksek yük miktarını temsil eder. Bu noktanın ötesinde, çatlaklar veya lif-matris bağlarının kopması nedeniyle mukavemet kaybı görülür.

6.12.2. Eğilme Dayanımı

Maksimum yük (P): 120.60 N

Destekler arası mesafe (L): 90mm

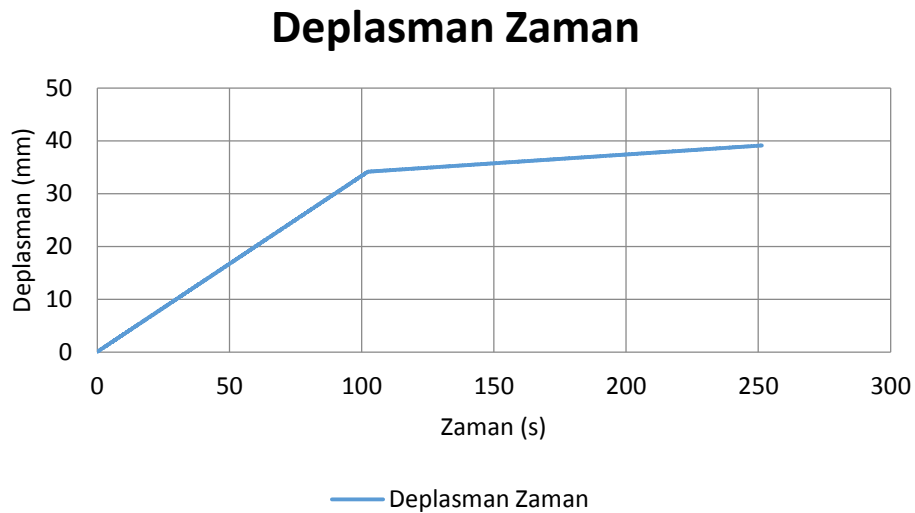
Kesit genişliği (b): 50mm

Kesit kalınlığı (h): 4mm

Buna göre; Eğilme Dayanımı 20.35 N/mm² dir.

6.12.3. Deplasman Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%27 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.35. 'de %27 atık lastik oranına sahip kompozitin deplasman – zaman grafiği verilmiştir. Grafik, deplasmanın zamanla artış gösterdiğini, ancak elastik deformasyon bölgesinin sonunda görünür bir yavaşlama olduğunu göstermektedir.

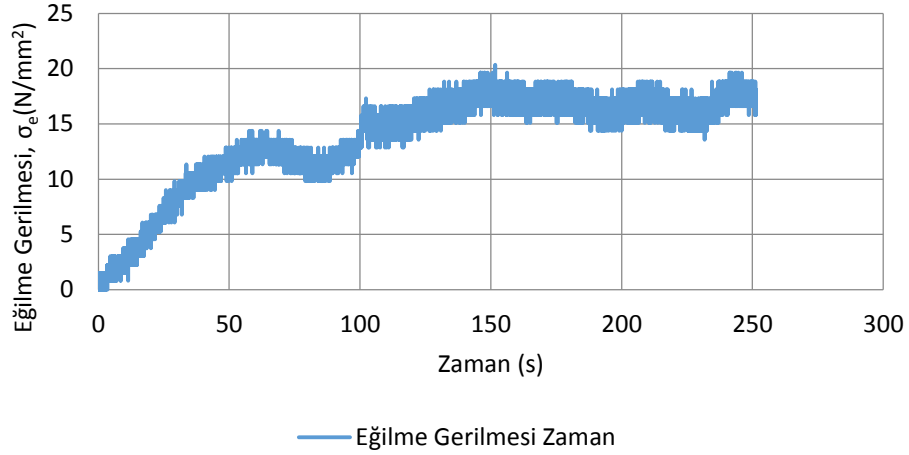


Şekil 6.35. %27 atık lastik tozu içeren kompozitin deplasman zaman grafiği

6.12.4. Eğilme Gerilmesi Zaman Grafiğinin Yorumlanması (%27 Atık lastik İçeren Kompozit)

%27 atık lastik tozu içeren kompozitin eğilme gerilmesi – zaman grafiği Şekil 6.36. 'de verilmiştir. Eğilme gerilmesi, zamanla artarak maksimum (20.35N/mm²) bir değere ulaşır ve ardından yatay gitmeye başlar.

Eğilme Gerilmesi Zaman



Şekil 6.36. %27 atık lastik tozu içeren kompozitin gerilme zaman grafiği

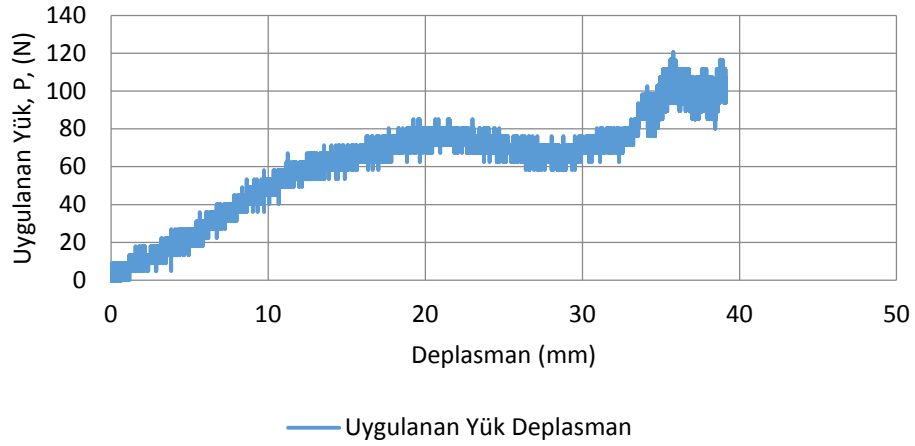
Maksimum eğilme gerilme noktası, malzemenin mukavemet sınırını ifade eder ve elastik deformasyon kapasitesinin son noktasını işaret eder.

Maksimum gerilme, malzemenin taşıyabileceği en yüksek gerilme kapasitesini ifade eder. Gerilmenin maksimum noktadan sonra yatay olarak devam etmesi, çatlakların oluştuğunu ve malzemenin mukavemet kaybına uğradığını gösterir. Ancak sıfıra düşmemesi nedeniyle malzemenin elastik yapıda olduğunu söyleyebiliriz.

6.12.5. Uygulanan Yük Deplasman Grafiğinin Yorumlanması (%27 Atık lastik İçeren Kompozit)

Şekil 6.37. 'de %27 atık lastik oranına ait uygulanan yük- deplasman grafiği verilmiştir. Grafik, uygulanan yük ve deplasman arasındaki doğrusal bir ilişkiyi yansıtır. Bu doğrusal ilişki, elastik deformasyon bölgesini temsil eder.

Uygulanan Yük Deplasman



Şekil 6.37. %27 atık lastik tozu içeren kompozitin yük uzama grafiği

Yük ve uzama arasındaki doğrusal ilişki, malzemenin elastik yapıda olabileceğini ifade eder. Bu durum, malzemenin deformasyona karşı direncini temsil eder.

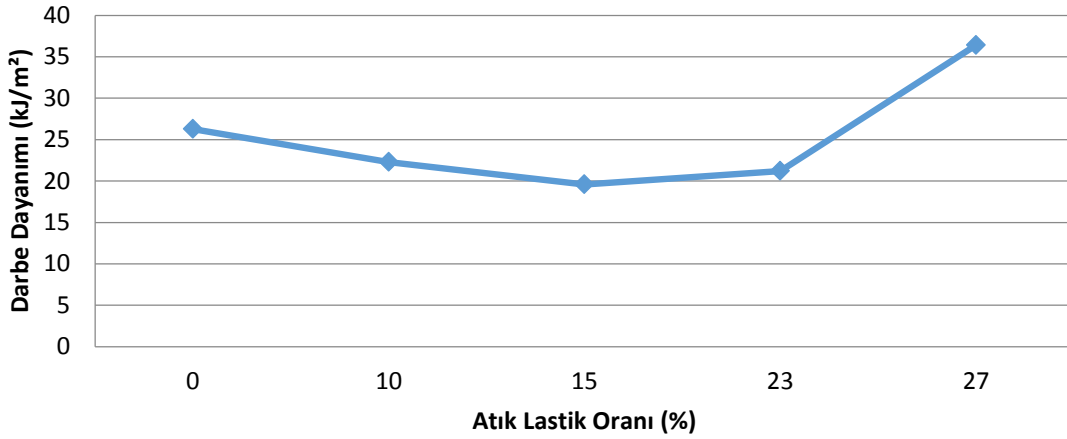
6.13. DARBE TESTİ

Çizelge 6.1.'de ve Şekil 6.38.'de Atık lastik oranına göre darbe dayanımı karşılaştırması gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Atık lastik oranına göre darbe dayanımı karşılaştırması

Atık lastik oranı	(J)	Darbe Dayanımı (KJ/m ²)
%0	1,051	26,276
%10	0,892	22,301
%15	0,784	19,595
%23	0,849	21,220
%27	1,456	36,400

Atık Lastik Oranına Göre Darbe Dayanımı



Şekil 6.38. Atık lastik oranına göre darbe dayanımı grafiği

Başlangıç (%0): Atık lastik tozu içermeyen kontrol grubunda darbe dayanımı en yüksek seviyede gözlenmiştir (**26.276 kJ/m²**). Bu durum, saf cam elyaf ve reçine kombinasyonunun güçlü bir mekanik performans sağladığını göstermektedir.

Orta Oranlar (%10 - %15): Darbe dayanımında bir düşüş yaşanmıştır (22.301 kJ/m² ve 19.595 kJ/m²). Bu, atık lastik tozunun matrisle yeterince güçlü bir bağ kuramamasından veya homojen dağılmada yaşanan zorluklardan kaynaklanabilir.

Daha Yüksek Oranlar (%23): %15'e kıyasla bir toparlanma gözlenmiş ve darbe dayanımı 21.220'ye çıkmıştır. Bu, lastik tozunun belirli bir seviyede bağlanma sağlamış olabileceğini veya cam elyaf katkısının darbe yüklerini bir miktar absorbe ettiğini gösterebilir.

En Yüksek Oran (%27): Darbe dayanımı 36.400 kJ/m² ile zirveye çıkmıştır. Bu şaşırtıcı artış, atık lastik tozunun yüksek oranda kullanıldığında esneklik ve enerji emme kapasitesini artırmış olabileceğini gösteriyor. Ancak, homojen karışımın korunmuş olması ve yeterli bağlanma da bu sonucu etkilemiş olabilir.

Atık lastik tozu, matrise esneklik kazandırarak enerji emilimini artırabilir. Bu, özellikle %27 oranındaki artışta belirgindir. %10 ve %15 oranlarında darbe dayanımında düşüş, lastik tozunun matrisle uyum eksikliğinden kaynaklanabilir. Yüksek oranlarda homojen karışım sağlanamaması, darbe dayanımını olumsuz etkileyebilir.

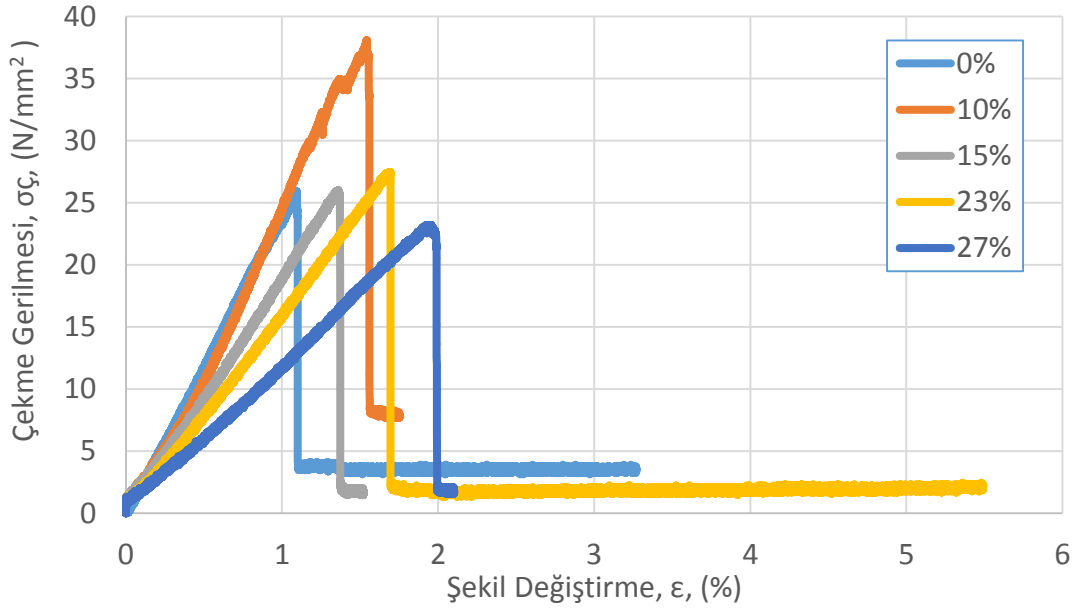
Sonuçlara bakıldığında %27 oranındaki artış, bu çalışmada en yüksek darbe dayanımını sağlamıştır. Bununla birlikte, %10-15 seviyelerindeki düşüşler, daha düşük oranların

mekanik uyumu açısından iyileştirilebileceğini göstermektedir.

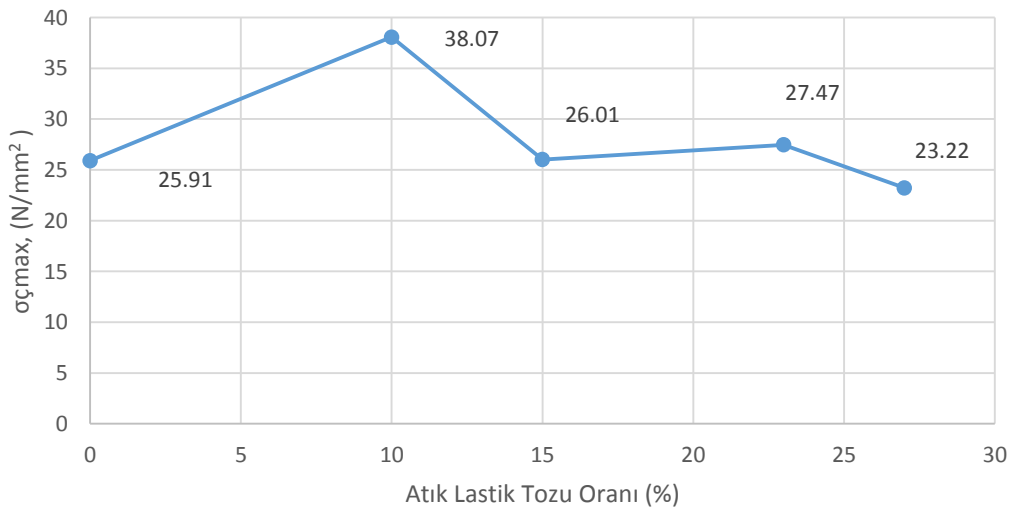
7. DEĞERLENDİRME

7.1. ÇEKME TESTİ DEĞERLENDİRMESİ

%0, %10, %15, %23 ve %27 atık lastik tozu katkılı kompozit malzemelerin çekme gerilmesi-şekil değiştirme grafikleri Şekil 7.1. 'de verilmiştir. Maksimum çekme gerilmelerinin atık lastik tozu oranlarına göre değişimi Şekil 7.2. 'te verilmiştir.



Şekil 7.1. %0, %10, %15, %23, %27 atık lastik tozu içeren kompozitlerin çekme gerilmesi – şekil değiştirme grafiği

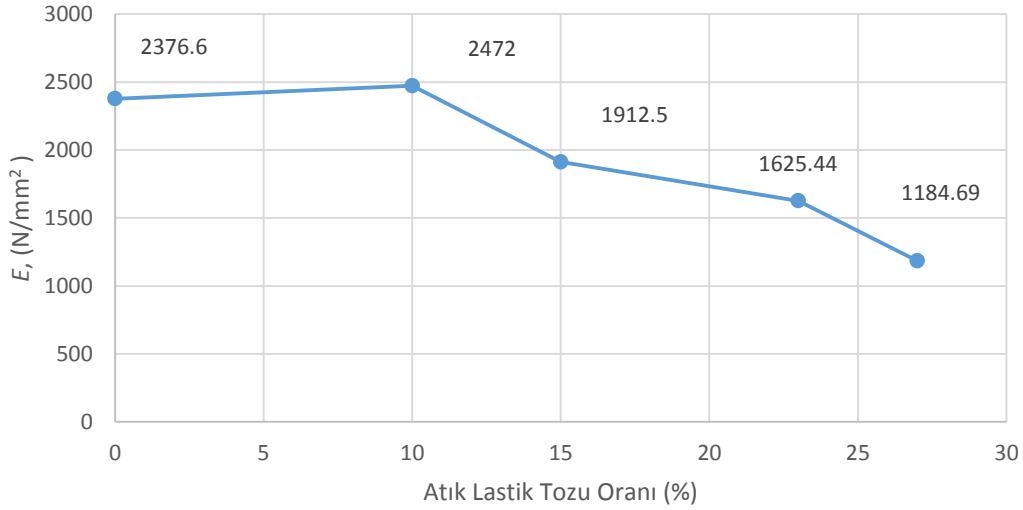


Şekil 7.2. Maksimum çekme gerilmesinin atık lastik tozu oranlarına göre değişimi

Grafikler incelendiğinde en yüksek çekme dayanımının $38,07 \text{ N/mm}^2$ ile %10 atık lastik tozu katkılı kompozitte görüldüğü gözlenmektedir. %10 katkı oranına kadar çekme dayanımı artarken sonrasında nispeten azalmaktadır. Bu çalışmada çekme mukavemeti açısından kompozit malzemede optimum atık lastik tozu miktarının %10 olduğu söylenebilir. %0 - % 10 arası atık lastik tozu miktarının maksimum çekme dayanımı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla ilave deneylerin yapılması faydalı olabilir.

Kompozit malzemede atık lastik tozu miktarı %10'dan fazla olduğunda malzemenin maksimum çekme dayanımı azalmaktadır. Bu durum kompozit malzemede %10'dan fazla atık lastik tozu miktarının olmasıyla numunelerin daha boşluklu bir yapıya kavuşmasından kaynaklı olabilir. Numunede boşluk oranının artmasıyla çekme dayanımlarının azalması beklenir.

Elastisite modüllerinin atık lastik tozu oranlarına göre değişimi Şekil 7.3. 'te verilmiştir.

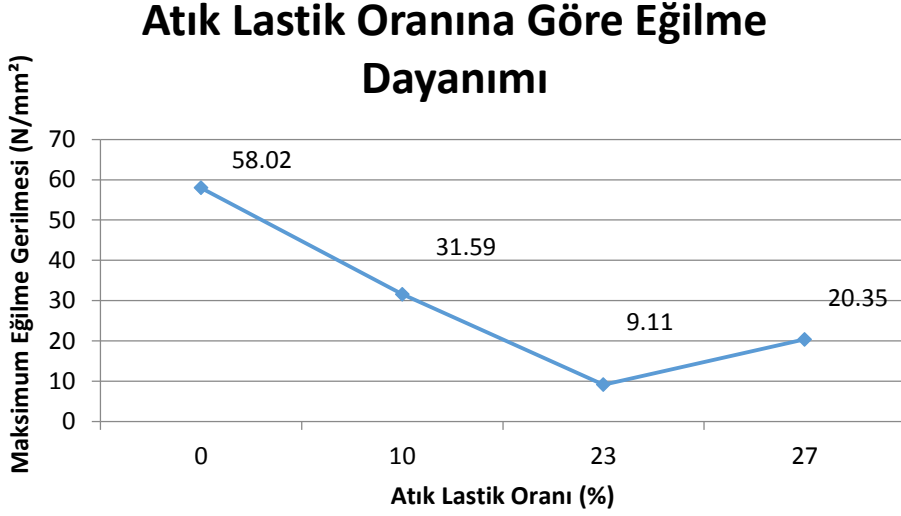


Şekil 7.3. Elastisite modüllerinin atık lastik oranlarına göre değişimi

%0 ve %10 atık lastik tozu içeren kompozitlerin elastisite modülleri birbirine oldukça yakın değerlerdedir (Bkz Şekil 7.3). %10 atık lastik tozu içeren kompozit %0 atık lastik tozu içeren kompozit malzemedan daha yüksek çekme gerilmelerine dayanabildiğinden daha yüksek şekil değiştirme kabiliyetine sahiptir (Bkz Şekil 7.1). %10 atık lastik tozundan daha yüksek oranlarda atık lastik tozundaki artışa bağlı olarak elastisite modülleri azalmakta, şekil değiştirmeler artmaktadır.

7.2. EĞME TESTİ DEĞERLENDİRMESİ

Atık lastik tozu oranlarına göre maksimum eğilme gerilmelerinin değişimi Şekil 7.4. 'de verilmiştir.



Şekil 7.4. Atık lastik oranına göre eğilme dayanımı

%0 atık lastik içeren numune 58,02 N/mm² maksimum eğilme gerilmesi değeri ile en yüksek eğilme dayanımına sahiptir. Bu durum malzemenin herhangi bir atık lastik katkısı olmadan daha yüksek eğilme dayanımına sahip olduğunu göstermektedir.

%10 atık lastik içeren kompozit için;

Maksimum eğilme gerilmesi 31.59 N/mm² seviyesine düşmüştür. Bu oran, malzemenin içinde bulunan lastik fazının kompozitin eğilme dayanımını azalttığını göstermektedir.

%15 atık lastik içeren kompozit için eğilme testi yapılamamıştır.

%23 atık lastik içeren kompozit için;

9,11 N/mm² maksimum eğilme gerilmesi değeri ile kompozit malzemeler içinde en düşük eğilme dayanımı değeri elde edilmiştir. Atık lastik tozu oranı

9,11 N/mm² seviyesine kadar düşmüştür, bu da atık lastik oranındaki artışın %23 atık lastik miltarı oranına kadar malzemenin eğilmede yük taşıma kapasitesini ciddi ölçüde düşürdüğünü ifade eder. Bu, muhtemelen kompozitteki matris ile takviye arasındaki bağın zayıflaması veya lastik fazının kırılabilirlik yaratmasıyla açıklanabilir.

%27 atık lastik içeren kompozit için;

Dayanım 20.35 N/mm^2 seviyesine yükselmiştir. Bu, %23'e kıyasla bir iyileşme olduğunu gösterir. Lastik oranındaki artışın belirli bir eşiğe ulaştığında malzeme içinde daha iyi bir enerji sönümlene etkisi yaratabileceğini gösterebilir

Çizelge 7.1.'de atık lastik oranlarına göre darbe dayanımları ve birbirlerine göre dayanım seviyeleri gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Atık lastik oranına göre darbe dayanımı ve dayanım seviyesi karşılaştırması

Atık Lastik Oranı	Enerji(J)	DarbeDayanımı(kJ/m²)	Dayanım Seviyesi
%0	1,051	26,276	Yüksek
%10	0,892	22,301	Orta-Yüksek
%15	0,784	19,595	Orta
%23	0,849	21,220	Orta-Yüksek
%27	1,456	36,400	Çok Yüksek

%0 oranında darbe dayanımı yüksek bulunmuş, %15 oranında en düşük seviyeye inmiştir.

%27 oranında ise maksimum enerji absorpsiyonu ve darbe dayanımı elde edilmiştir.

8. SONUÇ

Bu tez çalışmasında stiren bazlı epoksi reçine içinde farklı oranlarda atık lastik tozu ve cam elyaf ile güçlendirilerek kompozit malzemeler üretilmiş, çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe dayanımı gibi mekanik özellikleri incelenmiştir. Malzemelerin mekanik özellikleri literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Çalışmamızın sonuçları, literatürde bildirilen eğilimlerle büyük ölçüde uyumlu olmakla birlikte bazı dikkat çekici farklılıklar da gözlenmiştir.

Çekme dayanımının yüzey modifikasyonu ile artırıldığına yönelik bir bilgi varsa değerlendirmeler kısmına atıf verilerek belirtilmeli.

Daha önce ilgili bölümlere eklediğim aşağıdaki sonuçları biraz değiştirerek aynı anlamı ifade edecek şekilde yazarsan daha iyi olur.

Çekme dayanımı açısından en yüksek çekme dayanımı $38,07 \text{ N/mm}^2$ ile %10 atık lastik tozu katkılı kompozitte görülmüştür. %10 katkı oranına kadar çekme dayanımı artarken sonrasında nispeten azalmaktadır. Bu çalışmada çekme mukavemeti açısından kompozit malzemede optimum atık lastik tozu miktarının %10 olduğu söylenebilir. %0 - %10 arası atık lastik tozu miktarının maksimum çekme dayanımı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla ilave deneylerin yapılması faydalı olabilir.

Kompozit malzemede atık lastik tozu miktarı %10'dan fazla olduğunda malzemenin maksimum çekme dayanımı azalmaktadır. Bu durum kompozit malzemede %10'dan fazla atık lastik tozu miktarının olmasıyla numunelerin daha boşluklu bir yapıya kavuşmasından kaynaklı olabilir. Numunede boşluk oranının artmasıyla çekme dayanımlarının azalması beklenir.

Eğilme dayanımı açısından, literatürde lastik tozu oranı arttıkça dayanımın azaldığı bildirilmiştir. Çalışmamızda da bu eğilim genel olarak doğrulanmıştır. Ancak %27 oranında beklenmedik bir artış ($20,35 \text{ N/mm}^2$) dikkat çekici bulunmuştur. %0 oranında en yüksek eğme dayanımı $58,02 \text{ N/mm}^2$ olarak ölçülmüş, %23 oranında ise bu değer $9,11 \text{ N/mm}^2$ 'ye düşmüştür. Literatürde benzer bir artış eğilimi nadiren bildirilmiştir. Bu durum, kompozit yapısındaki mekanik veya kimyasal etkilerle açıklanabilir ve daha fazla araştırmayı gerekli kılmaktadır.

Darbe dayanımı açısından, literatür çalışmaları lastik tozu oranı arttıkça dayanımda belirgin artışlar olduğunu göstermektedir. Çalışmamızda da benzer bir eğilim gözlenmiştir. %0 oranında darbe dayanımı 26,276 kJ/m² olarak ölçülmüş, %27 oranında ise bu değer 36,400 kJ/m²'ye ulaşmıştır. Bu sonuçlar, darbe dayanımı açısından yüksek enerji absorpsiyonu gerektiren uygulamalarda atık lastik tozu içeren kompozitlerin büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir

Genel olarak, çekme dayanımı ve eğilme dayanımı değerlerinde lastik tozu oranı arttıkça düşüş eğilimi gözlenirken, darbe dayanımı artış göstermiştir. Literatürle uyumlu olarak, yüzey modifikasyonlarının veya lif-matris bağlarının iyileştirilmesi gibi yöntemlerin özellikle çekme ve eğilme dayanımında daha iyi sonuçlar elde edilmesine katkı sağlayabileceği değerlendirilmiştir. Ayrıca, %27 oranında gözlenen eğilme dayanımı artışının nedenleri detaylı bir şekilde incelenerek, gelecekteki çalışmalar için yeni iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanınabilir.

Bu çalışma, atık lastik tozunun sürdürülebilir kompozit malzeme üretimindeki potansiyelini ortaya koyarak literatüre önemli katkılar sağlamaktadır. Elde edilen bulgular, çevre dostu ve ekonomik malzeme tasarımı açısından değerli bilgiler sunmakta ve gelecekteki araştırmalar için yol gösterici nitelik taşımaktadır.

9. KAYNAKLAR

- Arı, A. (2022). *'Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi'*. Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye.
- Ashby, M. F. (2012). *Materials and the environment: Eco-informed material choice*. Elsevier.
[https://books.google.com/books?hl=tr&lr=&id=Y2qghvWIj1YC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Ashby,+M.+F.+\(2012\).+Materials+and+the+Environment:+Eco-informed+Material+Choice.+Butterworth-Heinemann.&ots=MOri8BV2w7&sig=4b4m3K974OUxjTgGZUQEhV1cfTM](https://books.google.com/books?hl=tr&lr=&id=Y2qghvWIj1YC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Ashby,+M.+F.+(2012).+Materials+and+the+Environment:+Eco-informed+Material+Choice.+Butterworth-Heinemann.&ots=MOri8BV2w7&sig=4b4m3K974OUxjTgGZUQEhV1cfTM)
- Ashby, M. F., & Jones, D. R. H. (2012). *Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications and Design*. Elsevier.
- Askeland, D. R., P. Fulay, P., & J. Wright, W. (2010). *The Science and Engineering of Materials*. Cengage Learning.
- Bledzki, A. K., & Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science*, 24(2), 221-274. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(98\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(98)00018-5)
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials science and engineering: An introduction*. John Wiley & sons.
[https://books.google.com/books?hl=tr&lr=&id=dmoTEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA19&dq=Callister,+W.+D.+\(2007\).+Materials+Science+and+Engineering:+An+Introduction.+John+Wiley+%26+Sons.&ots=O-FqIKs-kY&sig=uMfiV-_XPONVKDoNFIEFVot03D8](https://books.google.com/books?hl=tr&lr=&id=dmoTEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA19&dq=Callister,+W.+D.+(2007).+Materials+Science+and+Engineering:+An+Introduction.+John+Wiley+%26+Sons.&ots=O-FqIKs-kY&sig=uMfiV-_XPONVKDoNFIEFVot03D8)
- Chawla, K. K. (2012). *Composite Materials: Science and Engineering*. Springer Science & Business Media.
- Clyne, T. W., & Hull, D. (2019). *An Introduction to Composite Materials*. Cambridge University Press.
- CTP Teknolojisi. (t.y.). Cam Elyaf Sanayii A.Ş.
- Çakir, M., & Berberoğlu, B. (2018). E-Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Matrisli Kompozit Malzemelerin Elyaf Oranındaki Artış İle Mekanik Özelliklerindeki Değişimlerin

İncelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(3), 734-740.
<https://doi.org/10.31202/ecjse.415482>

Çatakılı, T., & Ergüder, T. H. (2019). Biyo-devulkanizasyon: Atık Lastik Yönetiminde Çevre Dostu Bir Yaklaşım. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 20-34.

Demir, M. (2008). *Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretimi*. Academia.

Durna, E., Koz, G., & Genç, N. (2020). Türkiye’de Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Yönetiminde En Uygun Bertaraf Seçeneğinin PROMETHEE Ve Bulanık PROMETHEE Yöntemi ile Belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 23(4), 915-927.
<https://doi.org/10.2339/politeknik.591100>

Forrest, M. J. (2014). (PDF) *Recycling and Re-use of Waste Rubber*. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/304570696_Recycling_and_Re-use_of_Waste_Rubber

Gençer, G. M. (2021). Sürtünme Karıştırma Prosesi ile Elde Edilen Yüzey Metal Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerini Geliştiren Çoklu Mekanizmalar. *Mühendis ve Makina*, 62(705), 681-701.
<https://doi.org/10.46399/muhendismakina.930170>

Hegde, R. R., & Katti, K. S. (2016). *Advances in Polymer Composites*. CRC Press.

İstif, M. (2016). ‘Kompozit Üretim Sektöründe Stiren, Toz ve Gürültü Maruziyetinin Değerlendirilmesi’. Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

Jr, W. D. C., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. John Wiley & Sons.

Kalemtas, A. (2014). Metal Matrisli Kompozitlere Genel Bir Bakış. *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi*.

Kalemtas, A. (2015). *Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler*.
https://www.academia.edu/30520139/Seramik_Matrisli_Kompozit_Malzemeler

Kaner, S. (2024). Polimer Matrisli Karbon Kompozit Malzemelerin SiC Takviye Oranlarının Mekanik ve Metalurjik Özelliklere Etkileri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 12(2), 605-614.
<https://doi.org/10.29109/gujsc.1407288>

- Kaya, A. ihsan. (2016). Kompozit Malzemeler ve Özellikleri. *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 29, 38-45.
- Kaya, A. ihsan. (2024, Ekim 17). *Kompozit Nedir? Kompozit Malzemeler ve Özellikleri - Turkchem* [Kimya Sanayi Haber Portalı]. [turkchem.net. https://turkchem.net/kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri.html](https://turkchem.net/kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri.html)
- Kingery, W. D., Bowen, H. K., & Uhlmann, D. R. (1976). *Introduction to Ceramics*. John Wiley & Sons.
- Laoutid, F., Bonnaud, L., Alexandre, M., Lopez-Cuesta, J.-M., & Dubois, Ph. (2009). New prospects in flame retardant polymer materials: From fundamentals to nanocomposites. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 63(3), 100-125. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2008.09.002>
- Mallick, P. K. (2007). *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design, Third Edition* (3. bs). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420005981>
- Marinković, S. B., Ignjatović, I. S., Radonjanin, V. S., & Malešev, M. M. (2012). Recycled Aggregate Concrete for Structural Use – An Overview of Technologies, Properties and Applications. İçinde M. N. Fardis (Ed.), *Innovative Materials and Techniques in Concrete Construction* (ss. 115-130). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1997-2_7
- Maździarz, M., & Nosewicz, S. (2024). *Atomistic investigation of deformation and fracture of individual structural components of metal matrix composites* (No. arXiv:2403.05371). arXiv. <http://arxiv.org/abs/2403.05371>
- Onat, A. (2015). *Kompozit malzemeler ders notu*. Studylibtr.Com. <https://studylibtr.com/doc/568088/kompozit-malzemeler-ders-notu>
- Pacheco-Torgal, F., Cabeza, L. F., Labrincha, J., & Magalhaes, A. G. de. (2014). *Eco-efficient Construction and Building Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies*. Woodhead Publishing.
- Rana, S., & Figueiro, R. (2016). *Advanced Composite Materials for Aerospace Engineering: Processing, Properties and Applications*. Woodhead Publishing.
- Richerson, D. W., & Lee, W. E. (2018). *Modern Ceramic Engineering: Properties, Processing, and Use in Design, Fourth Edition* (4. bs). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429488245>

- Rogers, R. P. (2009). *An Economic History of the American Steel Industry*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203881033>
- Shackelford, J. F. (2000a). *Materials science for engineers. Upper Saddle River, New Jersey*.
- Shackelford, J. F. (2000b). *Materials science for engineers. Upper Saddle River, New Jersey*.
- Siddique, R., & Naik, T. R. (2004). Properties of concrete containing scrap-tire rubber – an overview. *Waste Management*, 24(6), 563-569.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.01.006>
- Smith, C. S. (2012). *A History Of Metallography: The Development Of Ideas On The Structure Of Metals Before 1890*. Literary Licensing, LLC.
- Sur, G., & Kayabaşı, İ. (2019). Hafif Metal Ana Fazlı Kompozit Malzeme Üretim Sisteminin Tasarım, İmalat Ve Performansının İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(1), 63-79.
<https://doi.org/10.29109/gujsc.414933>
- Talın, A. O. (2019, Kasım 24). Termoplastik Malzemeler Nelerdir? Termoplastiklerin Özellikleri Nelerdir? *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Sitesi*.
<https://malzemebilimi.net/termoplastik-malzemeler-nelerdir-termoplastiklerin-ozellikleri-nelerdir.html>
- Thakur, V. K., Thakur, M. K., & Kessler, M. R. (2017). *Handbook of Composites from Renewable Materials, Design and Manufacturing*. John Wiley & Sons.
- Zor, M. (2024). *Kompozit Malzeme Mekaniği Ders Notları*. Dokuz Eylül Üniversitesi.
<https://drive.google.com/file/d/1HL1BymGeIjyH3V2347M9oVvQcpep41Y/view>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Veysel ATAR

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kompozit Malzeme Teknolojileri	Düzce Üniversitesi	2025
Lisans	Kimya	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	2011
Lise		Kadriye Moroğlu Lisesi	2003

TEZDEN ÇIKAN YAYIN

V. Atar, S. Allı, ‘‘Mechanical Properties of Waste Tire Powder and Fiberglass-Reinforced Styrene-Based Epoxy Composites’’ *19th International Istanbul Congress On Life, Engineering, Architecture, And Mathematical Sciences*, İstanbul, Türkiye, s 377- 390, 2024. ISBN:978-9952-8536-8-1