

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



ATEŞLİ SİLAHLAR İÇİN RONİN KİT TASARIMI

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEZER EKİN

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Sabri ÖZTÜRK

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fatih KAHRAMAN

BOLU, EKİM 2025

KABUL VE ONAY SAYFASI

Sezer EKİN tarafından hazırlanan “ATEŞLİ SİLAHLAR İÇİN
RONİN KİT TASARIMI” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Makine
Mühendisliği Ana Bilim Dalı Makine Mühendisliği Programında Yüksek Lisans
Tezi olarak oy birliği kabul edilmiştir. 20/10/2025

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof.Dr. Sabri ÖZTÜRK
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Doç.Dr. Fevzi Çakmak BOLAT
Kocaeli Üniversitesi

.....

Üye
Dr.Öğr.Üyesi Habibullah BİLGE
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu ve Şablonuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir
- aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin Turnitin adlı programında enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %30'u geçmemektedir.

.....

SEZER EKİN

ÖZET

ATEŞLİ SİLAHLAR İÇİN RONİN KİT TASARIMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SEZER EKİN
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
(TEZ DANIŞMANI: PROF.DR. SABRİ ÖZTÜRK)
(İKİNCİ DANIŞMAN:DR.ÖĞR.ÜYESİ MEHMET FATİH KAHRAMAN)
BOLU, EKİM - 2025
XI + 74 sayfa

Savunma sanayi, ülkelerin ekonomik ve siyasal gücünü belirleyen en önemli unsurlardan biri olup, sürekli gelişen teknolojilere uyum sağlamak zorundadır. Türkiye, bu alanda dışa bağımlılığı azaltarak yerli üretimi teşvik etmekte ve özel sektörün katkısıyla yenilikçi projeler geliştirmektedir. Özellikle kapalı alan operasyonlarında kullanılan hafif silahlar için ergonomik, dayanıklı ve isabet oranını artıran aksesuarların geliştirilmesi kritik önem taşımaktadır. Bu kapsamda, hafif silahlara tutuş kolaylığı ve nişan alma kabiliyeti kazandıran kitlerin yanı sıra, kullanıcı konforunu ve performansını artıran teleskobik dipçik sistemleri de büyük yenilik olarak öne çıkmaktadır. Her kullanıcının silah kullanma alışkanlığı farklı olduğu için sabit omuzluklar ergonomik sorunlara yol açmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak amacıyla, kompozit elyaf katkılı polimer malzemeden üretilen kompakt teleskobik dipçik tasarlanmıştır. Kolay değiştirilebilir omuzlukları sayesinde atış isabet kabiliyetini artıran bu sistem, sahada oluşabilecek deformasyonları da en aza indirir. Poliüretan, poliamid ve polikarbon gibi dayanıklı malzemelerden üretilen dipçik, hasarlarda kolayca değiştirilerek kullanım devamlılığını sağlar. Piyasada en ok kullanılan bu polimerlerin aksine PETG, PLA-CF ve PC polimerlerinin çalışması yapılmış ve düşme testinde PLA-CF ve PC malzemelerinin gerilme dayanımlarının uygun olduğu görülmüştür. Enjeksiyon kalıplama ile seri üretime uygun olan bu ürün, mukavemet açısından güçlü polimerlerden üretildiğinde dayanım sağlamaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: Hafif Silah, Polimer, Kompozit, Elyaf, Dipçik

ABSTRACT

**RONİN KIT DESIGN FOR FIREARMS
MSC THESIS
SEZER EKİN
BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: PROF.DR. SABRİ ÖZTÜRK)
(CO-SUPERVISOR: ASST.PROF.DR.MEHMET FATİH KAHRAMAN)
BOLU, OCTOBER 2025
XI + 74 pages**

Defense industry is one of the most crucial elements determining the economic and political power of nations, and it must continuously adapt to evolving technologies. Türkiye has been encouraging domestic production in this field to reduce foreign dependency and, with the contribution of the private sector, has been developing innovative projects. In particular, the development of ergonomic, durable, and accuracy-enhancing accessories for light weapons used in close-quarters operations has gained critical importance. Within this scope, kits that provide ease of handling and practical aiming, as well as telescopic stock systems that improve user comfort and performance, stand out as significant innovations. Since each user has different firearm handling habits, fixed buttstocks often cause ergonomic problems. To eliminate this issue, a compact telescopic stock has been designed using composite fiber-reinforced polymer material. With easily replaceable shoulder pads, this system improves shooting accuracy while minimizing possible deformations that may occur in the field. The stock, produced from durable materials such as polyurethane, polyamide, and polycarbonate, can be easily replaced in the event of damage, ensuring continuity of use. Unlike these commonly used polymers in the market, this study focused on PETG, PLA-CF, and PC polymers, and drop test results demonstrated that PLA-CF and PC exhibited suitable stress resistance. The product, being suitable for mass production through injection molding, ensures substantial mechanical strength when manufactured from high-performance polymers.

KEYWORDS: Light Weapon, Polymer, Composite, Fiber, Stock

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ.....	x
TEŞEKKÜR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Genel Bilgilendirme.....	1
1.2 Polimer Parçaların Avantajı	4
1.3 Silahlarda Polimer Kullanılan Parçalar.....	7
1.4 Polimer Silahların Piyasada ve Ekonomide Yeri	12
1.5 Polimer Silahların ve Parçaların Üretim Yöntemi.....	12
1.6 Polimer Malzemeler.....	15
1.7 Piyasa İhtiyacı ve Tasarımsal Avantajı.....	26
2. MATERYAL ve YÖNTEM	28
2.1 Kavramsal Tasarım.....	28
2.2 Nihai Tasarım	43
3. BULGULAR.....	46
3.1 Tasarım Bulguları	46
3.2 Deneyler.....	47
3.2.1 Deney Verileri.....	50
3.3 Sonlu Elemanlar Analizi.....	56
4. TARTIŞMA	70
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR.....	73

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Üretilen İlk Polimer Silah-Remington Nylon 66	2
Şekil 1.2. Türkiye’de Üretilen İlk Polimer Silah-Sarsılmaz B6.....	4
Şekil 1.3. Polimer Silah Gövdesi.....	7
Şekil 1.4. Polimer Kabza.....	8
Şekil 1.5. Polimer Şarjör	9
Şekil 1.6. Polimer Dipçik	9
Şekil 1.7. Polimer El Kundağı.....	10
Şekil 1.8. Polimer Tetik Koruyucu	11
Şekil 1.9. Polimer Pikatin Rayı	11
Şekil 1.10. Plastik Enjeksiyon Makinesi.....	13
Şekil 1.11. Plastik Enjeksiyon Kalıbı	15
Şekil 1.12. Plastik Enjeksiyon Polimer Hammadde	17
Şekil 1.13. Polimer Malzemelerin Çekme Dayanımı	20
Şekil 1.14. Polimer Malzemelerin Sertlik Değerleri.....	21
Şekil 1.15. Polimer Malzemelerin Darbe Dayanım Değerleri	22
Şekil 1.16. Polimer Malzemelerin Yoğunluk ve Su Emme Değerleri	24
Şekil 1.17. Caa Mck Ronin Kit Versiyonu.....	26
Şekil 2.1. Kit Ön Elcik ve Namlu	29
Şekil 2.2. Kit Parça Tasarımı-1	31
Şekil 2.3. Kit Parça Tasarımı-2	32
Şekil 2.4. Kit Montaj Parçalar-1	33
Şekil 2.5. Kit Montaj Parçalar-2.....	34
Şekil 2.6. Kit Stok Ölçüleri	36
Şekil 2.7. Teleskobik Dipçik Montaj Parçalar	37
Şekil 2.8. Teleskobik Dipçik Nihai Tasarım-1	38
Şekil 2.9. Teleskobik Dipçik Nihai Tasarım-2	40
Şekil 2.10. Teleskobik Dipçik Nihai Tasarım-3	41
Şekil 2.11. Kit Silahla Bağlantı Montaj-1	44
Şekil 2.12. Kit Silahla Bağlantı Montaj-2.....	44
Şekil 3.1. Çekme Testi Polimer Numune.....	48
Şekil 3.2. Çekme Testi Kırılmış Polimer Numune Şekil	49
Şekil 3.3. PC %30 Deney Verileri.....	50
Şekil 3.4. PC %50 Deney Verileri.....	50
Şekil 3.5. PC %70 Deney Verileri.....	51
Şekil 3.6. PLA-CF %30 Deney Verileri	51
Şekil 3.7. PLA-CF %50 Deney Verileri	52
Şekil 3.8. PLA-CF %70 Deney Verileri	52
Şekil 3.9. PETG %30 Deney Verileri	53
Şekil 3.10. PETG %50 Deney Verileri	53
Şekil 3.11. PETG %70 Deney Verileri	54
Şekil 3.12. PC %30 Maksimum Gerilme Dayanımı.....	57
Şekil 3.13. PC %30 Maksimum Şekil Değişimi.....	57
Şekil 3.14. PC %50 Maksimum Gerilme Dayanımı.....	58
Şekil 3.15. PC %50 Maksimum Şekil Değişimi.....	58
Şekil 3.16. PC %70 Maksimum Gerilme Dayanımı.....	59
Şekil 3.17. PC %70 Maksimum Şekil Değişimi.....	59

Şekil 3.18. PETG %30 Maksimum Gerilme Dayanımı	60
Şekil 3.19. PETG %30 Maksimum Şekil Değişimi.....	60
Şekil 3.20. PETG %50 Maksimum Gerilme Dayanımı	61
Şekil 3.21. PETG %50 Maksimum Şekil Değişimi.....	61
Şekil 3.22. PETG %70 Maksimum Gerilme Dayanımı	62
Şekil 3.23. PETG %70 Maksimum Şekil Değişimi.....	62
Şekil 3.24. PLA-CF %30 Maksimum Gerilme Dayanımı	63
Şekil 3.25. PLA-CF %30 Maksimum Şekil Değişimi	63
Şekil 3.26. PLA-CF %50 Maksimum Gerilme Dayanımı	64
Şekil 3.27. PLA-CF %50 Maksimum Şekil Değişimi	64
Şekil 3.28. PLA-CF %70 Maksimum Gerilme Dayanımı	65
Şekil 3.29. PLA-CF %70 Maksimum Şekil Değişimi	65
Şekil 3.30. Analiz Değerlerine Göre Gerilme Dayanımları Karşılaştırması.....	68
Şekil 3.31. Analiz Değerlerine Göre Şekil Değişimi Karşılaştırması.....	68



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Silah ve Silah Üretiminde Kullanılan Polimer Malzemeler	18
Tablo 2.1. Kit Fiziksel Ölçüler	37
Tablo 2.2. Kit Karşılaştırmalı Ağırlık Ölçüleri	42
Tablo 3.1. Farklı Malzeme ve Doluluk Oranındaki Yapıların Çekme Testi Sonucunda Elde Edilen Deneysel Verilerin Karşılaştırılması	55
Tablo 3.2. Normal Düşme Analiz Sonuçları	66



KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

NATO	: North Atlantic Treaty Organization
SIG	: Schweizerische Industrie Gesellschaft
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
PA	: Poliamid
PP	: Polipropilen
PU	: Poliüretan
PET	: Polietilen Tereftalat
PC	: Polikarbonat
PPO	: Polifenilensülfid
HDPE	: High Density Polyethylene
ABS	: Akrilonitril Bütadiyen Stiren
PEI	: Polietilenimin
GF	: Glass Fiber
PLA-CF	: Karbon Fiber Takviyeli Polilaktik Asit
PETG	: Polietilen Tereftalat Glikol

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında katkı ve desteklerini esirgemeyen birçok değerli kişiye içtenlikle teşekkür etmek isterim. Öncelikle, yüksek lisans sürecim boyunca bilgi ve deneyimleriyle bana rehberlik eden, yönlendirmeleriyle çalışmama yön veren yol gösteren saygıdeğer danışman hocam Sn. Prof. Dr. Sabri ÖZTÜRK ve Sn. Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fatih KAHRAMAN'a teşekkürlerimi sunarım. Mühendislik perspektifimi geliştirmeme ve savunma sanayine yönelik teknik bir bakış açısı kazanmama büyük katkı sağlamıştır.

Akademik hayatım boyunca desteklerini her daim hissettiğim bölüm hocalarıma, mühendislik disiplini anlamamda bana ışık tuttukları için minnettarım. Aynı zamanda laboratuvar, tasarım ve analiz süreçlerinde bilgi paylaşımı yapan değerli arkadaşlarıma da teşekkür ederim. Hayatımın her anında yanımda olan, sabırla beni destekleyen sevgili eşim ve aileme sonsuz teşekkürlerimle.

1.GİRİŞ

Uluslararası düzeyde ülkelerin ekonomik ve siyasal gücünü belirleyen temel unsurlardan biri olan savunma sanayii, dünyada yaşanan teknolojik gelişmelere paralel olarak sürekli bir değişim, yenilik ve modernizasyon ihtiyacı içerisinde. Riskli koşullarda operasyon yürüten güvenlik birimlerinin, silahlarını hızlı ve güvenli biçimde kullanarak tehditlere etkin şekilde karşılık verebilmeleri kritik öneme sahiptir. Ağır silahların özellikle kapalı alanlardaki kullanımının sınırlı olması, güvenlik güçlerini hafif silah kullanımına yönlendirmektedir. Ancak hafif silahların en önemli dezavantajları; nişan alma zorluğu ve uzun namlulu silahlara kıyasla daha düşük isabet oranlarıdır. Piyasada mevcut olan polimer bazlı kitler, düşük mekanik dayanımları nedeniyle güvenlik birimleri tarafından tercih edilmemektedir. Öte yandan, alüminyumdan talaşlı imalat ile üretilen kitler yüksek mukavemet sağlasa da üretim zorluğu, yüksek maliyet ve ağırlık gibi dezavantajlar taşımaktadır.

Bu tezin temel amacı, söz konusu problemleri ortadan kaldıracak şekilde; metal/polimer kompozit malzemelerden hibrit yapıda, enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilebilecek, hafif, dayanıklı, maliyet etkin ve ergonomik bir kit tasarımı gerçekleştirmektir. Geliştirilecek bu yeni nesil taktik kit ile hafif silahlara artırılmış nişan alma ve tutuş kolaylığı sağlanması hedeflenmektedir.

1.1 Genel Bilgilendirme

Polimer çerçeveli silah teknolojisinin kökenleri 1959 tarihli Remington Nylon 66 gibi deneysel modelle başlamış, ancak gerçek anlamda kitlesel kullanım, 1970’te Heckler & Koch VP70 ile gerçekleşmiştir; bu model, gövdesinde yüksek mukavemetli polimer kullanılarak sadece 820 g boş ağırlıkta üretilmiş ve enerji emici polimer esnekliği sayesinde hem yarı hem üçlü atım modunu barındırmıştır. Glock 17’nin 1982’de Avusturya Ordusu tarafından kabul edilmesiyle birlikte, Patentli “Polymer 2” malzemesi sayesinde bu model hem sıcaklık, nem ve kimyasal maddelere hem de darbeye karşı yüksek direnç göstermiş; bu da polimer gövdeli tabancaların küresel çapta yaygınlaşmasının önünü açmıştır .(Glock GmbH, 2021)

Polimer malzemeler, çelik çerçeveli modellere göre %30–40 daha hafif olarak özellikle askerî personel ve emniyet güçlerinde taşıma yorgunluğunu

azaltmakta, ayrıca bu malzemeler bakım gerektirmeyen dayanımları sayesinde zorlu çevre koşullarında yüksek güvenilirlik sunmaktadır. ABD ve NATO birlikleri, Glock'un yanı sıra Smith & Wesson M&P ve H&K USP gibi modüler polimer çerçeveli silahları operasyonel envanterlerine dahil etmiş; özellikle M&P modelinde Zytel polimer çerçeve + çelik şasi kombinasyonu, çok kademeli ergonomi ayarı ve titreşimli güvenlik özellikleriyle öne çıkmıştır. (Heckler ve Koch GmbH, 2019)

Polimer bileşenler; tetik muhafazası, şarjör gövdesi, aksesuar rayları, kabza ve dipçik gibi parçalarda boyutsal stabilite, kimyasal direnç ve yorulma dayanımı sağlamakta ve enjeksiyon kalıplama sayesinde düşük üretim maliyetiyle seri üretime uygun hale gelmektedir. Modern savaşlarda çelik yerine cam veya karbon elyaf takviyeli polimer fişek kovanlarının kullanımı, cephane taşımada %35–40 ağırlık avantajı sağlayarak kara birliği yükünü hafifletmiş ve ABD Deniz Piyadeleri tarafından test edilmiştir. Ancak, polimer çerçeveli silahların yüksek sıcaklığa maruz kalması durumunda mukavemet kaybı yaşanabildiği, bu sebeple silah üreticilerinin polimer formülasyonlarını termal stabilite ve mekanik dayanım açısından optimize ettiğine dair çalışmalar da mevcuttur. Günümüzde FN Five-seven ve SIG P320 gibi modeller, yüksek mermi kapasitesi, düşük geri tepme etkisi ve armorpenetrasyon kabiliyeti gibi özellikler sunarak polimer tabancaların çok yönlü kullanımını askeri ve kolluk kuvvetleri nezdinde perçinlemektedir. (Combat, 2022)



Şekil 1.1. Üretilen İlk Polimer Silah Remington Nylon 66

Polimer gövdeli tabancaların yaygınlaşması Şekil 1.1’de gösterilen, 1982’de Avusturya Ordusu tarafından kabul edilen Glock 17’nin başarısıyla başladı; bu modelin içine entegre edilen “Polymer 2” plastik, metal parçalara kıyasla hem

hafiflik hem de çevresel dayanıklılık.[1] Polimer çerçeveler, geleneksel metal gövdeli silahlara kıyasla %30–40 daha hafif olarak asker ve güvenlik personelinin taşıma yükünü azaltmakta; ayrıca yağmur, çamur, tuzlu su gibi zorlu çevre koşullarına karşı yüksek dayanıklılık sergilemektedir. ABD Silahlı Kuvvetleri ve emniyet birimleri, Glock'un yanı sıra SIG Sauer P320 (M17/M18), Heckler & Koch USP, Walther PPQ gibi çok sayıda polimer çerçeveli modeli operasyonel standardına dahil ederek bu silahların güvenilirlik, düşük bakım ihtiyaçları ve modülerlik avantajlarını kullanmaktadır. (Combat, 2022)

Polimer silahlar, enjeksiyon kalıplama teknikleri sayesinde düşük üretim maliyetiyle seri üretime uygun hale geldi; bu durum, yine depreşen lojistik ve bakım süreçlerini basitleştirirken maliyet etkinliği sağlamaktadır. Modern askeri mühimmat teknolojisinde, polimer kaplamalı fişek kovanları da %35–40 ağırlık tasarrufu sağlayarak cephane taşıma kapasitesini artırmakta ve ABD Deniz Piyadeleri gibi birimlerde test edilmektedir. (Entec, 2023)

Engineering polymers, cam elyaf, polikarbonat, polifenilen sülfür gibi malzemeler, silah parçalarında yüksek boyutsal kararlılık, kimyasallara direnç ve yorgunluk karşıtı performans sunarak tetik, şarjör gövdesi gibi kritik bileşenlerde tercih edilmektedir. Ayrıca polimer gövdeler, aksesuar rayları, değiştirilebilir kabza panelleri ve farklı renk seçenekleriyle hem görev odaklı modülerlik hem de bireysel özelleştirilebilirlik sunar; bu da silahın ergonomisini ve kullanıcı adaptasyonunu artırır. Polimer tabancalar, bu avantajları sayesinde günümüzde dünya orduları, polis güçleri ve siviller arasında en çok tercih edilen ateşli silah grubu haline gelmiştir. (Avbar vd., 2025)

Sarsılmaz B6, Türkiye'nin ilk yerli polimer gövdeli tabancasıdır ve hem horozlu hem de hafif ergonomik tasarıma sahiptir. Polimer gövde, çelik namlu ile uyum içinde çalışarak hem taşıma kolaylığı hem de hızlı nişan kabiliyeti sunar. B6, CZ-75 platformundan esinlenerek tasarlanmış bir polimer tabanca olup, yüksek bore-axis düzeneği sayesinde nişan alma kolaylığı ve özelleştirilebilirlik sunar. Polimer gövdeye eklenen sabit üç nokta arpacık ve gez sistemi, hızlı nişan alma kabiliyetini artırır. (Sarsılmaz, 2021)



Şekil 1.2. Türkiye’de Üretilen İlk Polimer Silah – Sarsılmaz B6 C LR

1.2 Polimer Parçaların Avantajı

Polimer silahlar, modern savunma sanayiinin hafiflik, dayanıklılık ve ergonomi ihtiyaçlarına akıllı bir mühendislik cevabıdır. Geleneksel çelik ya da alüminyum alaşımlı silahlara göre %30 ila %50 daha hafif olan polimer silahlar, kullanıcıya uzun süreli taşımalarda belirgin bir konfor sunar. Bu hafiflik, özellikle görev sırasında yüksek mobilite gerektiren askerî ve kolluk operasyonlarında personelin daha az yorulmasını sağlar. Ayrıca polimerin esnek yapısı, geri tepme kuvvetini emmede bir avantaj yaratarak atış anında daha az sarsıntı ile daha yüksek isabet oranı sağlar. Bu özellik, özellikle seri atışlarda kontrolü artırır. (Yılmaz ve Öztürk, 2019)

Polimer malzemeler, dış etkenlere karşı da oldukça dirençlidir. Su, tuz, çamur ve kimyasal çözücülere karşı gösterdiği doğal korozyon direnci sayesinde bakım ihtiyacını azaltır ve zorlu çevresel koşullarda uzun ömürlü performans sağlar. Metal gövdelerde zamanla oluşan paslanma, yüzey kararması gibi problemler polimerde neredeyse hiç görülmez. Üstelik üretim açısından da büyük

bir avantaj sunar; enjeksiyon kalıplama yöntemi ile karmaşık geometrilere sahip parçalar kısa sürede, düşük maliyetle ve yüksek hassasiyetle üretilebilir. Bu da hem askeri hem sivil kullanıcılar için ulaşılabilir fiyatlı ama kaliteli çözümler doğurur. (Glock GmbH , 2022)

Estetik ve fonksiyonellik açısından da polimer silahlar oldukça esnektir. Kabza yapısının kişiye özel değiştirilebilmesi, aksesuar raylarının entegre edilebilmesi ve hatta silah gövdesine farklı renk, doku ve kaplamaların uygulanabilmesi; silahı yalnızca bir savaş aracı değil, aynı zamanda özelleştirilebilir bir platform haline getirir. Ayrıca bu malzemelerin yüksek darbe emilimi, silahın düşme, çarpma gibi senaryolarda hasar alma riskini azaltır. (Kalpakjian ve Schmid, 2014)

Sonuç olarak, polimer silahlar; hafiflik, dayanıklılık, düşük maliyet, ergonomi ve özelleştirilebilirlik gibi özellikleri bir araya getirerek yalnızca kullanıcı dostu değil, aynı zamanda stratejik ve lojistik açıdan da ideal bir tercih haline gelmiştir. Geleneksel metal tabancaların yerini alması artık bir seçenek değil, doğal bir evrimdir. (Tamer, 2021)

Dünyada Polimer Silah ve Parçalarının Avantajları

1. Hafiflik ve Taşınabilirlik

Polimer gövdeler, çelik veya alüminyum alaşımlara kıyasla %30–50 daha hafif olduğundan özellikle ordu ve polis gibi uzun süre taşıma gerektiren kullanım alanlarında tercih edilir. (Kalpakjian ve Schmid, 2014)

2. Korozyon ve Kimyasal Dayanım:

Polimer yapılar su, tuz, çamur, yağ ve kimyasal çözücülere karşı dirençlidir. Bu sayede denizci birlikleri veya tropik iklimlerdeki görevlerde avantaj sağlar. (Tamer, 2021)

3. Düşük Üretim Maliyeti ve Seri Üretim İmkânı:

Enjeksiyon kalıplama ile üretilen polimer parçalar hem daha ucuz hem daha hızlı üretilebilir. Bu da geniş tedarik zincirleri için stratejik bir avantajdır. (Various, 2022)

4. Esneklik ve Geri Tepme Azaltımı:

Polimer malzemeler belli ölçüde esneme sağladığından atış anındaki enerjiyi bir miktar absorbe eder ve daha konforlu bir atış sunar.

(Kalpakjian ve Schmid, 2014)

5. Modülerlik:

Polimer gövdeye sahip silahlarda ray sistemleri, değiştirilebilir kabza panelleri ve renk seçenekleri gibi kişiselleştirme olanakları geniştir.

(Various, 2022)

6. Darbe-Dayanımı:

Özellikle karbon veya cam elyaf takviyeli polimerler, düşme ve darbelerde çatlamaya karşı dirençlidir. (Yılmaz ve Öztürk, 2019)

Türkiye’de Polimer Silah ve Parçalarının Avantajları

1. Yerlilik:

Polimer gövdeler, yerli üretim tesislerinde düşük maliyetle üretilebildiği için dışa bağımlılığı azaltır. (Glock GmbH , 2022)

2. Entegrasyon:

SAR9 ve Canik TP9 gibi yerli modellerde, polimer çerçeve sayesinde bakım kolaylığı, yedek parça uyumu ve düşük parça deformasyonu avantaj sağlar.

3. Güvenlik:

Emniyet Genel Müdürlüğü, Jandarma ve Polis Özel Harekat birimlerinde hafifliği ve ergonomisi nedeniyle polimer silahlar tercih edilmektedir. (Yılmaz ve Öztürk, 2019)

4. İhracat:

Polimer silahlar, maliyet/performans oranı sayesinde Afrika ve Asya ülkelerine ihracatta ciddi rekabet avantajı sağlar. (Yılmaz ve Öztürk, 2019)

1.3 Silahlarda Polimer Kullanılan Parçalar

Gövde (Frame)

Yarı otomatik tabancalarda gövde (frame), silahın iskeletidir; kabzayı, tetik mekanizmasını ve şarjör yuvasını içerir. Modern silahlarda genellikle cam elyaf takviyeli poliamid (PA6-GF30) gibi mühendislik sınıfı polimerlerle üretilir. Bu malzeme hem yüksek darbe dayanımı, hem de çalışma sıcaklığı toleransı açısından metale yakın performans sunar. Aynı zamanda enjeksiyon kalıplama ile kolayca üretilir. Glock gibi markalar bu teknolojiyi en iyi kullanan örneklerdendir. (Various, 2022)



Şekil 1.3. Polimer Silah Gövdesi

Kabza (Grip)

Kabza, kullanıcı ile temasın en yoğun olduğu yerdir. Burada genellikle termoplastik poliüretan (TPU) ya da kauçuk benzeri elastomer kaplamalar (TPE) kullanılır. Polimer kabzalar hem ergonomik şekillere uygun üretilebildiği hem de yüzey tutuşu (grip) artırıcı desenlerle optimize edilebildiği için tercih edilir. Ayrıca dış darbelere karşı dayanıklıdır ve kullanıcının eliyle uyumlu olacak şekilde şekillendirilebilir. (Glock GmbH , 2022)



Şekil 1.4. Polimer Kabza

Şarjör (Magazine)

Şarjörlerde genellikle polikarbonat (PC) veya naylon bazlı kompozitler (PA66-GF) kullanılır. Polikarbonat, yarı saydam yapısıyla mermi sayısını görmeyi sağlar, bu yüzden özellikle taktik şarjörlerde tercih edilir. Ayrıca darbe dayanımı ve esnekliği sayesinde deformasyona karşı dirençlidir. Polimer şarjörler, metal olanlara göre daha hafiftir ve paslanma yapmazlar. (Kalpakjian ve Schmid, 2014)



Şekil 1.5. Polimer Şarjör

Dipçik (Stock)

Tüfek ve karabinalarda kullanılan dipçikler, genellikle polipropilen (PP) veya ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) malzemelerden üretilir. ABS, yüksek rijitlik ve darbe dayanımı ile öne çıkar. Bazı gelişmiş modellerde cam elyaf takviyeli poliamid de kullanılır. Bu yapı sayesinde dipçik hem hafif hem de geri tepmeyi sönmüleyebilen yapıya sahip olur. Katlanabilir veya ayarlanabilir dipçiklerde polimer, metalden daha fazla tasarım esnekliği sağlar. (Various, 2022)



Şekil 1.6. Polimer Dipçik

El Kundağı (Handguard)

El kundağı, özellikle tüfeklerde namlunun altını saran ve elle tutulan parçadır. Yüksek sıcaklığa dayanıklı polimerler, örneğin PEI (Polyetherimide) veya ısıya dayanıklı poliamid türevleri burada tercih edilir. Çünkü namludan yayılan ısı bu bölgeyi etkileyebilir. Ayrıca polimer el kundakları, aksesuar rayları (Picatinny/KeyMod/M-LOK) ile bütünleşmiş üretilir. (Various, 2022)



Şekil 1.7. Polimer El Kundağı

Tetik Koruyucusu (Trigger Guard)

Tetik koruyucuları genellikle gövde ile bütünleşmiş şekilde üretilir ve aynı polimer malzemeyi paylaşır. Ancak ayrı üretilen modellerde ABS veya PA6 gibi darbe dayanımı yüksek polimerler tercih edilir. Hem soğukta kırılmama özelliği hem de hafifliği nedeniyle polimer tercih edilir. (Kalpakjian ve Schmid, 2014)



Şekil 1.8. Polimer Tetik Koruyucu

Aksesuar Rayı- (Accessory Rail-Picattiny Rail)

Lazer, fener gibi aksesuarların takıldığı bu bölge, genellikle gövdeye entegre olarak cam elyaf takviyeli poliamid (PA6-GF30) ile üretilir. Burada rijitlik önemli olduğu için %30-40 cam elyaf katkısı tercih edilir. Aksesuar rayları polimerle hem daha düzgün toleranslarla üretilir hem de silahın genel ergonomisini bozmaz. (Kalpakjian ve Schmid, 2014)



Şekil 1.9. Polimer Pikatin Rayı [5]

1.4 Polimer Silahların Piyasada ve Ekonomide Yeri

Polimer silahlar, özellikle 1990'lı yıllardan itibaren dünya silah endüstrisinde büyük bir dönüşüm yaratmış ve günümüzde hem askeri hem de sivil pazarda önemli bir yer edinmiştir. Hafiflik, dayanıklılık ve düşük üretim maliyeti gibi avantajları sayesinde, polimer gövdeli tabanca ve tüfekler küresel ölçekte birçok ülke ordusu ve kolluk kuvveti tarafından tercih edilmektedir. Örneğin Glock, SIG Sauer, Smith & Wesson gibi büyük üreticilerin en çok satan modelleri polimer tabanlıdır. Bu durum hem hammadde tedarik zincirlerinde hem de üretim teknolojilerinde değişim yaratmış; metal işleme yerine plastik enjeksiyon makineleri ve kalıp teknolojileri ön plana çıkmıştır. (Yang ve Li, 2022)

Türkiye'de de Sarsılmaz, Canik ve TİSAŞ gibi üreticiler, ihracata yönelik polimer gövdeli modeller geliştirerek savunma ihracat gelirlerine önemli katkılar sağlamaktadır. Ayrıca ABD, Avrupa ve Orta Doğu gibi bölgelerde sivil kullanıcılar arasında, dayanıklılığı ve hafifliği nedeniyle polimer silahlara olan talep her geçen yıl artmaktadır. Bu talep, savunma sanayisinde yerli polimer hammadde ve kompozit üretimi yatırımlarını da teşvik etmekte ve yerli/milli üretim kapasitesini genişletmektedir. Küresel savunma sanayi pazarında polimer tabanlı ateşli silahların toplam satış hacminin 2025 itibarıyla 5 milyar doları aşması beklenmektedir. (Tüyap, 2023)

1.5 Polimer Silahların ve Parçaların Üretim Yöntemi

Polimer silah gövdelerinin üretiminde yaygın olarak tercih edilen plastik enjeksiyon kalıplama süreci, granül hâlindeki termoplastik malzemelerin (PA66, PC vb.) sıcak silindir içinde eritilmesiyle başlar; eriyen malzeme, vida mekanizması tarafından yüksek basınçta kalıp boşluğuna enjekte edilir, bu yöntem kompleks geometrilerin hassas biçimde tekrar üretimini sağlar. (Greenleaf, 2021)

Bu süreçte bilimsel kalıplama ("scientific molding") metodolojisi uygulanarak; sıcaklık, basınç, soğutma hızı gibi parametreler sıkı şekilde kontrol edilir; bu sayede parça kalitesi tutarlılık kazanır ve hata oranı minimize edilir. Ayrıca birçok polimer silah gövdesinde, mukavemet ve sertlik değerlerini yaklaşık

%50 oranında artırabilen cam elyaf veya karbon elyaf takviyeli naylon (örneğin 40 % CF/PA66) gibi kompozit malzemeler kullanılır; bu malzemeler enjeksiyonla şekillendirilerek yüksek çekme dayanımı ve sertlik sunar. Ardından, insert-molding teknikleriyle kalıp aşamasında metal takviyeler gövde içine entegre edilerek mekanik dayanım daha da güçlendirilir. Üretimde kritik parametrelerden olan melt sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, kalıp sıcaklığı ve soğutma süresi, Taguchi gibi istatistiksel deney tasarımlarıyla optimize edilerek örneğin karbon-fiber takviyeli PA6'larda 280 °C melt sıcaklığı, 100 bar enjeksiyon basıncı ve 2 s enjeksiyon süresinin ideal kombinasyonu olduğu görülmüştür. (Avbar vd., 2025)

Son olarak, soğutma aşamasında conformal cooling channel (kalıbı takip eden özel kanallar) kullanımıyla soğuma süresi kısaltılır, iç gerilmeler azaltılır ve yüzey kusurları (örneğin eğilme, shrinkage) önemli ölçüde minimize edilir. Bu metodik yaklaşım sayesinde, polimer silah parçaları hem hafiflik hem yüksek mekanik dayanım, hem de yüksek tekrar üretilebilirlik sağlanarak seri üretime uygun hale gelir. (Greenleaf, 2021)



Şekil 1.10. Plastik Enjeksiyon makinesi [20]

•Enjeksiyon kalıplama süreci ve Makine yapısı Injection molding süreci; termoplastiklerin besleme hunisinden, ısıtmalı vida veya piston

sistemleriyle eritilip kalıp boşluğuna yüksek basınçla enjeksiyonunu içerir. Sıkıca kapanan kalıplarda soğutma süreci tamamlandığında parça katılaşır kalıptan alınır. Bu süreç, yüksek hacimli ve kompleks şekilli parçaların ekonomik olarak üretimini sağlar.

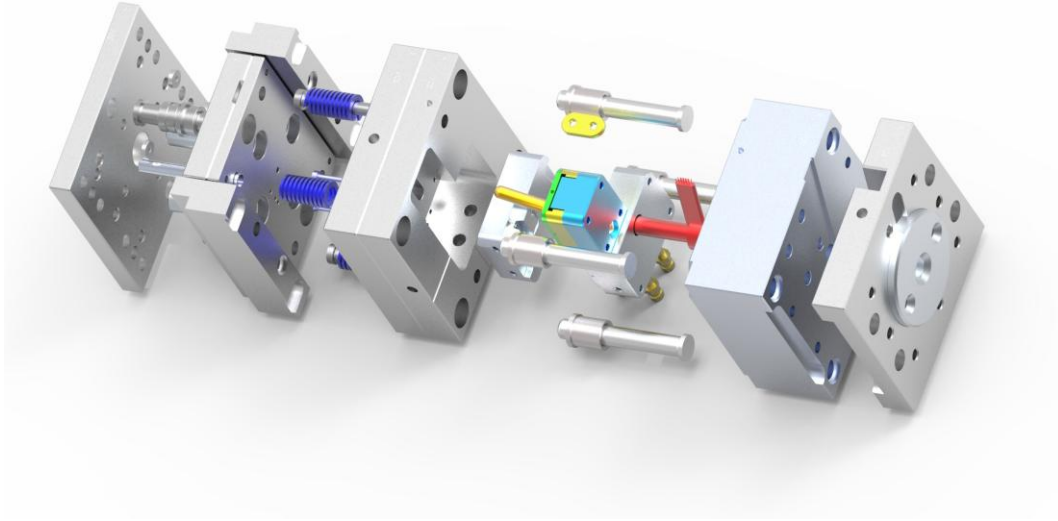
- Parametre optimizasyonu–Taguchi yaklaşımı,SCF/PA6 gibi kısa elyaf takviyeli naylonlarda en uygun mekanik özellikler; 100 bar enjeksiyon basıncı, 280 °C melt sıcaklığı, 100 °C kalıp sıcaklığı ve ~2 s enjeksiyon süresi ile elde edilmiştir ki bu %8’lik bir çekme dayanımı artışı sağlar. PP SPC sistemlerde de Taguchi yaklaşımıyla 260 °C varil sıcaklığı, 127 MPa basınç, 0.18 m/s hız ve 60 s tutma süresi optimum bulunmuştur. (Boaziz, 2005)

- Elyaf takviyeli kompozitlerde mekanik performans, kısa elyafli termoplastikler (örneğin cam/karbon-elastik naylon), fiber yönlenmesi ve uzunluğu ile elastik modül, çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerde olumlu sonuçlar verir. Fiber yönlenme açısının azalması ve elyaf boyunun uzaması mekanik mukavemeti artırır. (Boaziz, 2005)

- Soğutma sistemleri ve kalıp tasarımı Conformal cooling (eğrisel kanallar) sayesinde soğutma süresi kısalır, iç gerilmeler azalır ve yüzey kusurları minimize edilir. Soğutma parametrelerinin uygun seçilmesi (örneğin düşük kalıp sıcaklığı artan kristallik) parçanın mekanik ve termal özelliklerini etkileyebilir. (Wang vd., 2022)

- Insert-molding ve metal entegrasyonu,kalıpta metal ek parçalar yerleştirilerek (ör. tetik mili, namlu yeri) gerçekleştirilen insert-molding, polimer gövde ile metal arasındaki mekanik bağı güçlendirir. Bu yöntem, özellikle savunma sanayinde kritik bileşenlerin dayanımını artırır. (Wang vd., 2022)

- Gelişmiş yöntemler ve sürdürülebilirlik literatürde (microcellular injection, gas/water-assisted, micro-injection ve rapid thermal cycling) gibi yöntemler ve teknolojiler olup bu çalışmalar hem üretim verimliliğini artırmayı hem de ekolojik açıdan sürdürülebilirliği hedefliyor. (Wang vd., 2022)



Şekil 1.11. Plastik Enjeksiyon Kalıbı

1.6 Polimer Malzemeler

Poliamid

Poliamid ailesi, mühendislik termoplastikleri arasında en yaygın kullanılan gruplardan biridir. PA6 ve PA66; yüksek darbe direnci, ısı dayanımı (180–210 °C’ye kadar), düşük sürtünme katsayısı ve iyi aşınma direnci sunar. Cam elyafı takviye edildiğinde (GF-PA66), bu malzeme %30’a kadar daha rijit hale gelir ve silah gövdeleri, tetik köprüleri gibi yapısal dayanım gerektiren parçalarda güvenle kullanılır. (Ali vd., 2021)

Polikarbonat

PC, darbe dayanımı yüksek, optik şeffaflığa sahip bir termoplastiktir. Bu nedenle özellikle şeffaf şarjörlerde, dürbün kapaklarında veya nişangâh camlarında kullanılır. Mekanik olarak, darbe sonrası deformasyonlara karşı dayanıklıdır (Charpy darbe dayanımı: ~60–80 kJ/m²) ve –40 °C’ye kadar tokluğunu koruyabilir. (Ali vd., 2021)

Akrilonitril-Butadien-Stiren

ABS; darbe direnci, boyutsal stabilite ve işlenebilirlik açısından öne çıkan bir malzemedir. Genellikle kabza, dipçik ve aksesuar yüzey parçalarında tercih

edilir. Yüzey kalitesi çok iyidir, cilalanabilir. Elastiklik modülü yaklaşık 2.1 GPa civarındadır ve orta seviye yük taşıyan parçalarda idealdir. (Garg ve Verma, 2016)

Polietilen-Tereftalat

PET; sertlik ve kimyasal direnç açısından güçlü bir mühendislik plastiğidir. Mekanik özellikleri sayesinde iç bağlantı parçaları ve şarjör kilidi gibi yüksek hassasiyet isteyen küçük parçalarda kullanılabilir. Aynı zamanda sürtünme ve yorulmaya karşı da dirençlidir. (Garg ve Verma, 2016)

Poliüretan

Poliüretanlar, elastomerik yapısıyla öne çıkar. Dipçik dolgusu, kabza kaplamaları gibi elde temas eden, yumuşaklık ve konfor gerektiren alanlarda yaygındır. Elastikiyet modülü düşüktür ama aşınma direnci ve sönümleme kabiliyeti yüksektir. (Yazıcı,2021)

Polipropilen

PP, düşük yoğunluklu ve maliyet etkin bir polimerdir. Kimyasal direnci yüksektir ve iyi kalıplama özellikleriyle dikkat çeker. Kutular, kablo kanalları ve iç yapı bağlantılarında tercih edilir. Elastikiyet modülü yaklaşık 1.5 GPa'dır, darbe dayanımı orta seviyededir. (Yazıcı,2021)

Polietilen

HDPE, şarjör gövdeleri gibi hafiflik gerektiren parçalarda kullanılır. Kimyasal maddelere ve UV'ye karşı dayanıklıdır. Mekanik olarak esnek olmasına rağmen, yeterli yapısal rijitlik sunar. Genellikle 0.95 g/cm³ yoğunluğa ve 0.8 GPa modüle sahiptir. (Garg ve Verma, 2016)

Polieterimid

PEI, yüksek sıcaklık dayanımı (200–215 °C) ve boyutsal kararlılığı ile kritik iç parçalarda tercih edilir. Mekanik olarak çok rijittir (modül: ~3.2 GPa) ve yüksek performans isteyen uygulamalarda kullanılır. Isıl deformasyon sıcaklığı da yüksektir (>180 °C). (Marwah vd., 2020)

PLA-CF (Polilaktik Asit – Karbon Fiber Takviyeli)

PLA-CF, biyobozunur polilaktik asit (PLA) matrisinin karbon fiber takviyesi ile güçlendirilmiş bir kompozit malzemedir. Karbon fiber katkısı sayesinde saf PLA'ya kıyasla çok daha yüksek elastisite modülü, sertlik ve mukavemet değerlerine ulaşır. Bu durum, özellikle yük taşıyan parçaların ve mekanik dayanım gerektiren mühendislik uygulamalarının üretiminde PLA-CF'yi avantajlı kılar. Ayrıca lif takviyesi, parçaların daha hafif fakat daha rijit olmasını sağladığından otomotiv, savunma sanayi ve endüstriyel prototiplerde sıkça tercih edilir. (Garg ve Verma, 2016)

PETG (Polietilen Tereftalat Glikol)

PETG, amorf bir termoplastik olup yüksek darbe dayanımı, iyi kimyasal direnç ve kolay işlenebilirliği ile öne çıkar. PLA'ya kıyasla daha sünek bir yapı sergilediği için kırılmaya karşı dirençlidir ve uzun süreli kullanımda boyutsal stabilitesini daha iyi korur. Ayrıca yüksek sıcaklık dayanımı ve şeffaflık özelliği sayesinde hem mühendislik parçalarında hem de endüstriyel tasarım uygulamalarında sıkça tercih edilmektedir. PETG'nin işlenmesi PLA-CF'ye göre daha kolaydır ve baskı sonrası daha düzgün yüzey kalitesi elde edilebilir. (Garg ve Verma, 2016)



Şekil 1.12. Plastik Enjeksiyon Polimer Hammadde

Günümüzde dünya genelinde silah üretiminde en yaygın tercih edilen polimerler arasında başı, cam elyaf takviyeli poliamid 66 (GF-PA66) çekmektedir. Bu malzeme, yüksek darbe dayanımı, ısı kararlılığı ve sertliği sayesinde özellikle tabanca gövdeleri, kabzalar ve tetik muhafazaları gibi yapısal önem taşıyan parçalarda kullanılır. Bunun yanı sıra, polikarbonat (PC), şeffaflık ve darbeye karşı gösterdiği dirençle özellikle şarjör camlarında ve optik nişangâh elemanlarında öne çıkar. Akrilonitril Butadien Stiren (ABS) ise yüzey kalitesi, kolay işlenebilirliği ve darbe dayanımı sayesinde kabza ve ergonomik dış parçalarda tercih edilmektedir. Dünya genelindeki büyük üreticiler – örneğin Glock, FN Herstal, Heckler & Koch – bu polimerleri hem üretim verimliliği hem de dayanıklılık açısından avantajlı bulmakta; bu da polimerlerin modern silah teknolojilerinde metal parçaların yerini hızla almasına olanak tanımaktadır.

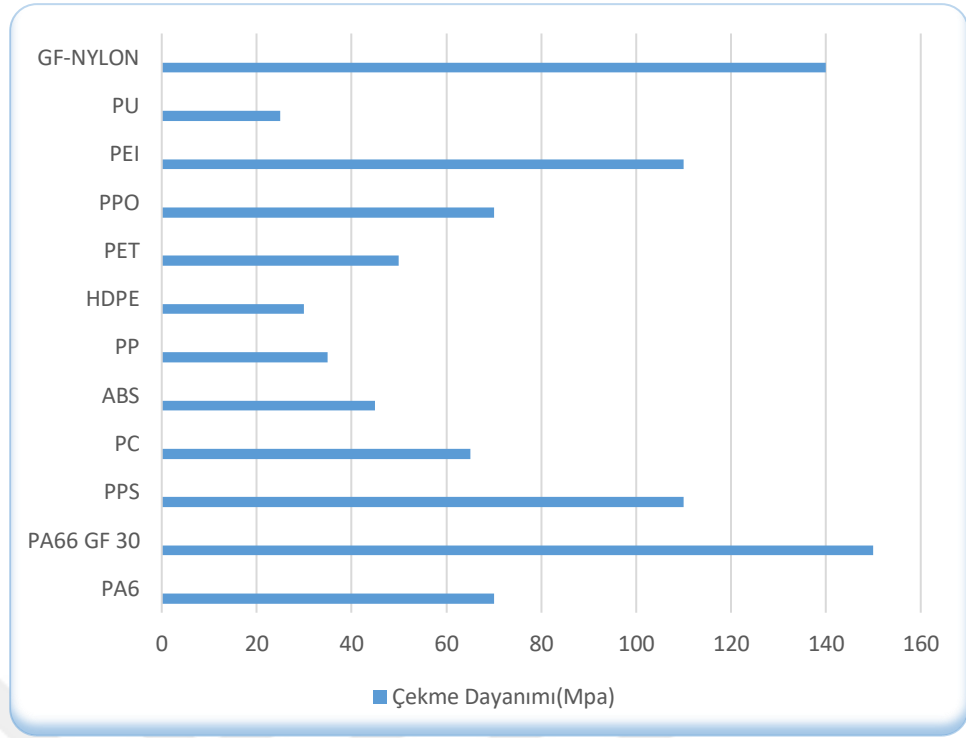
Tablo 1.1. Silah ve Silah Parçaları Üretiminde Kullanılan Polimer Malzemeler

Malzeme	Kısaltma	Özellikleri	Kullanım Alanı
Poliamid 66/6	PA6	Yüksek darbe ve ısı dayanım, düşük sürtünme	Gövde, şarjör, kabza
Polikarbonat	PC	Yüksek darbe direnci, şeffaflık	Şeffaf şarjörler, dürbün
Akrilonitril Butadiyen Stiren	ABS	İyi işlenebilirlik, orta seviyede mekanik dayanım	Kabza, dipçik, aksesuarlar
Polifenilensülfid	PPO	Isı kararlılık, boyutsal	İç yapılar, muhafaza parçaları
Polietilen Tereftalat	PET	Sertlik, yüzey kalitesi, kimyasal	Küçük enjeksiyon parçaları
Poliüretan	PU	Elastikiyet, aşınma direnci	Dipçik dolgusu, kabza kaplamaları
High Density Polyethylene	HDPE	Kimyasal direnç,	Şarjör gövdesi
Polipropilen	PP	Düşük yoğunluk, iyi	Kutu ve iç parçalar

Polietilenimin	PEI	Yüksek sıcaklık dayanımı, hassas üretim	Hassas iç parçalar
Cam Elyaf Takviyeli Poliamid	GF-PA6	Yüksek mekanik dayanım, ısı	Silah gövdesi, tetik

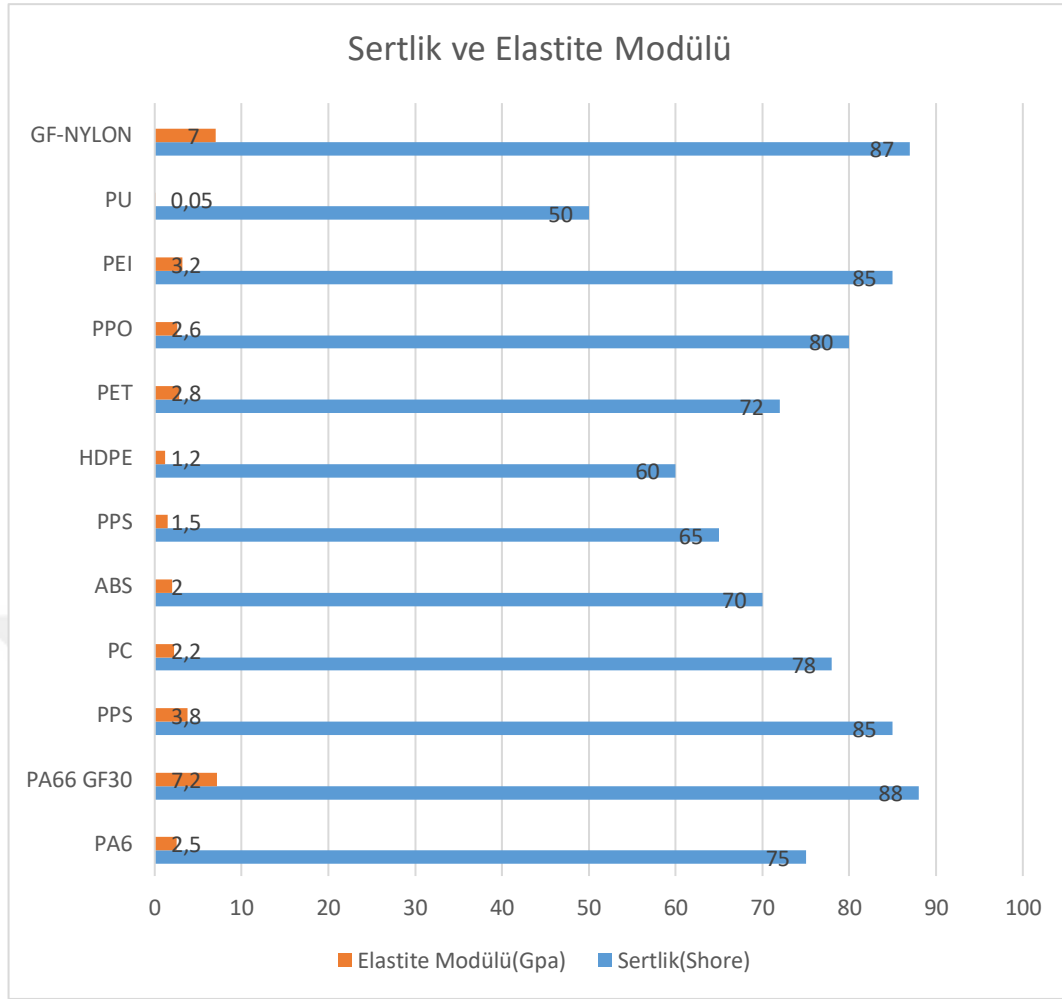
Tablo 1.1’de belirtilen silah yapımında yaygın olarak kullanılan cam elyaf takviyeli PA66 (GF-PA66), yaklaşık 5 GPa’lık elastik modülü ve 150–160 MPa arası çekme dayanımı ile gövde ve kritik yapısal bileşenlerde yüksek rijitlik ve mukavemet sağlaması belirtilmiştir. Polikarbonat (PC), ortalama 2.3–2.4 GPa bir elastik modül ve 55–75 MPa çekme dayanımı sunar; özellikle şeffaf nişangâhlar ve şarjörler için yüksek darbe performansı ($\sim 600\text{--}850\text{ J/m izod}$) ile öne çıkar. Yüzey kalitesi ve işlenebilirlik avantajına sahip ABS, 2.1–2.4 GPa elastik modül ve yaklaşık 41–45 MPa çekme dayanımı sunarak kabza ve aksesuar parçalarında tercih edilir. PET, yüksek sürtünme direnci ve sert yapısı ile tanınır ve yaklaşık 2–4 GPa elastik modül ile küçük mekanik parçalar için uygundur. (Marwah vd., 2020)

Çok düşük yoğunluğu ($\sim 0.9\text{ g/cm}^3$) ile PP, düşük maliyetli gövde içi bağlantılarda kullanılırken; 1.5 GPa elastik modülü ve $\sim 35\text{ MPa}$ çekme dayanımıyla yeterli dayanıklılık sağlar. Hafif ve kimyasala dayanıklı HDPE (0.5–1.2 GPa modül, 15–40 MPa çekme dayanımı) özellikle şarjör yapılarında kullanılır. PEI (Utem), 3.2 GPa modül ve 115 MPa çekme dayanımı ile yüksek sıcaklık ve boyutsal kararlılık gerektiren kritik iç bileşenlerde öne çıkar; $T_g \sim 215\text{ }^\circ\text{C}$ ’dir. (Shaik vd., 2023)



Şekil 1.13. Polimer Malzemelerin Çekme Dayanımı

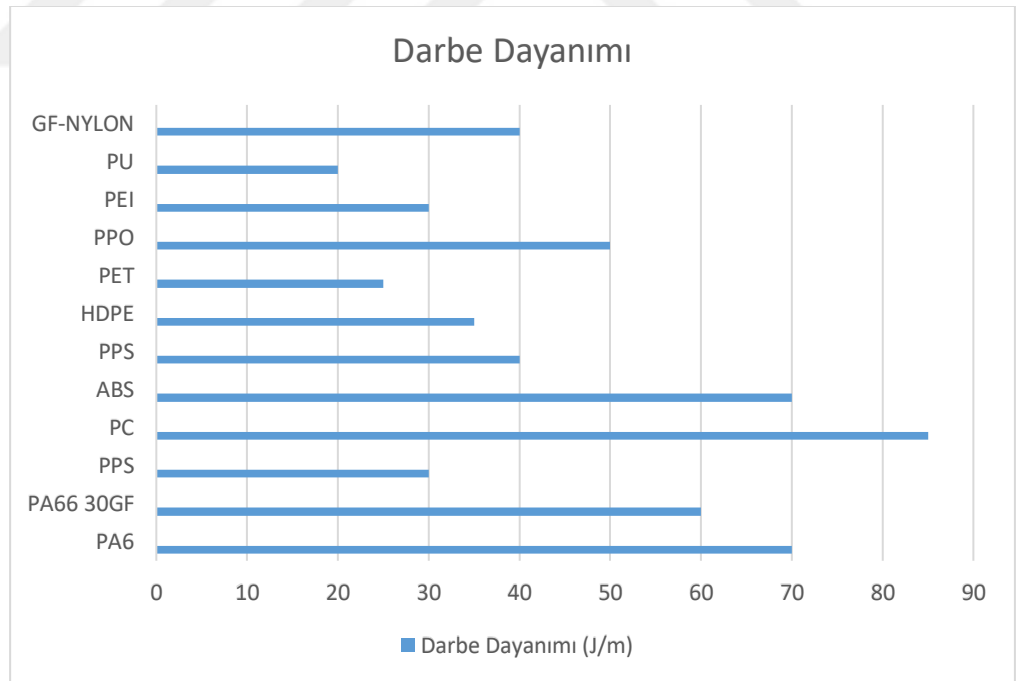
Şekil 1.13’de belirtilen polimer malzemelerin çekme dayanımı değerleri, moleküler yapılarındaki zincir bağlarının tipi ve dizilimine bağlı olarak geniş bir aralıkta değişiklik gösterebilir. Termoplastik polimerler genellikle daha düşük sertlik değerlerine sahipken, çapraz bağlı termoset polimerler daha yüksek sertlik sunar. Sertlik, özellikle silah gövdesi gibi darbeye ve sürtünmeye maruz kalan uygulamalarda, malzemenin deformasyona karşı gösterdiği direnci belirlemede kritik bir parametredir. Bu nedenle, örneğin poliamid (PA6) gibi fiber takviyeli polimerler, hem mekanik dayanımı hem de yüksek sertlik değerleri sayesinde tercih edilir. Ayrıca, polimerin içine katılan dolgu maddeleri ve katkıları, sertliği artırarak yüzeysel deformasyonlara karşı mukavemeti optimize edebilir.



Şekil 1.14. Polimer Malzemelerin Sertlik Değerleri

Polimer malzemelerin mekanik performansını anlamada elastik modül ve sertlik değerleri kritik rol oynar. Bu iki özellik, malzemenin hem deformasyona karşı direncini hem de yüzey dayanıklılığını belirleyen temel parametrelerdir. Analiz edilen polimerler arasında, özellikle PA66 + %30 cam elyaf takviyeli poliamid ve GF-Nylon gibi elyaf destekli mühendislik sınıfı polimerler, 7 GPa'yı aşan elastik modül değerleriyle dikkat çeker. Bu yüksek rijitlik, bu tür malzemeleri özellikle yapısal sağlamlık ve şekil kararlılığı gerektiren uygulamalarda vazgeçilmez kılar. Yüksek elastik modülleri sayesinde, bu malzemeler uzun süreli yük altında bile boyutsal stabilitesini korur. PPS, PEI ve PPO gibi mühendislik termoplastikleri ise 3–4 GPa aralığında elastik modül değerlerine sahip olup, yüksek sıcaklıklarda çalışabilen ama aynı zamanda şekilsel bütünlüğünü de koruyabilen çözümler sunar.

Bunun yanında, PP, HDPE ve poliüretan gibi daha esnek ve hafif polimerler, 0.05–1.5 GPa gibi daha düşük elastik modül değerleriyle öne çıkar. Bu malzemeler rijitlikten çok darbe sönümleme, esneklik ve hafiflik aranan uygulamalarda tercih edilir. Özellikle poliüretan, esnek yapısı ve düşük elastik modülü sayesinde titreşim sönümleyici veya ergonomik yapılarda tercih edilen bir seçenektir. Sertlik açısından bakıldığında ise, PA66-GF, PPS ve PEI gibi mühendislik polimerleri 85–90 Shore D arasında değerlere ulaşarak dış etkilere, çizilmeye ve yüzey yıpranmasına karşı yüksek direnç sunar. Bu özellikleri sayesinde savunma sanayii, otomotiv ve endüstriyel makine parçalarında yaygın olarak kullanılırlar. Öte yandan ABS, PP ve HDPE gibi polimerler daha orta seviyede sertliğe sahip olup işlenebilirliği, düşük maliyeti ve yeterli mekanik performansı sayesinde yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Sonuç olarak, elastik modül ve sertlik değerleri; bir polimerin hangi mühendislik problemine uygun olduğunu belirlemede temel yol gösterici kriterlerdir. Kullanılacak parçanın maruz kalacağı yük, sıcaklık, darbe ve çevresel koşullar doğrultusunda bu değerlerin optimize edilmesi, performans ve maliyet dengesinin sağlanması açısından büyük önem taşır.

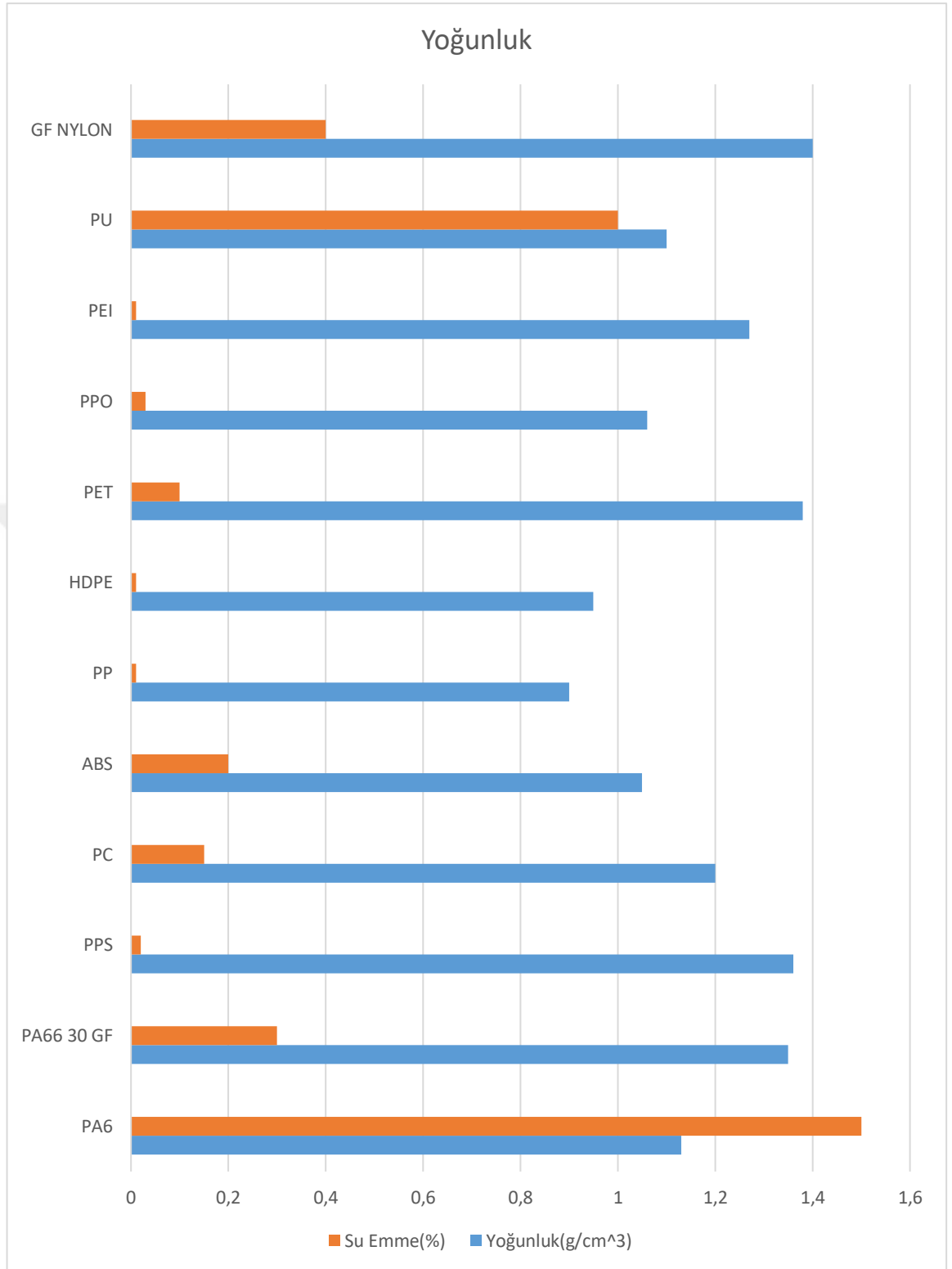


Şekil 1.15. Polimer Malzemelerin Darbe Dayanım Değerleri

Şekil1.15’de belirtilen polimer malzemelerin darbe dayanımı ve aşınma direnci, özellikle mekanik yükleme altında çalışan parçaların uzun ömürlü ve güvenilir olmasında belirleyici rol oynar. Tabloya göre, polikarbonat (PC), 85 kJ/m² gibi yüksek darbe dayanımıyla öne çıkar ve bu özelliği sayesinde şok, titreşim veya ani kuvvetlere maruz kalan parçalarda vazgeçilmez bir tercihtir. Bu malzeme aynı zamanda polimerler arasında "neredeyse kırılmaz" olarak tanımlanabilecek kadar tok bir yapıya sahiptir. Benzer şekilde ABS ve PA6 da 70 kJ/m² seviyelerinde darbe dayanımı sunarak hem ekonomik hem de dayanıklı çözümler arayan kullanıcılar için ideal seçeneklerdir. Özellikle PA6, darbe direnciyle birlikte düşük sürtünme katsayısı sayesinde hareketli parçalarda da tercih edilmektedir.

Öte yandan, PA66 + %30 cam elyaf ve GF-Nylon gibi cam elyafla güçlendirilmiş malzemeler, darbe dayanımlarını bir miktar düşürse de, yapılarında sağladıkları yüksek rijitlik ve ısı kararlılığı sayesinde daha sağlam bir gövde yapısı sunarlar. Bu tür malzemeler, plastik deformasyon yerine kırılma eğiliminde olsa da yüksek mukavemetleri ve çok iyi aşınma dirençleri sayesinde silah gövdesi, kızak yatakları ve mekanik bağlantı elemanlarında uzun süreli kullanıma olanak tanır. PPS, PEI ve PPO gibi yüksek performanslı mühendislik polimerleri ise 25–50 kJ/m² aralığında daha düşük darbe dayanımı sunmalarına rağmen, yüksek sıcaklık altında bile boyutsal stabilite ve kimyasal/aşındırıcı ortamlara karşı yüksek direnç sağlayarak özel uygulamalarda kritik rol oynar.

Düşük yoğunluklu ve esnek yapılı PP, HDPE ve poliüretan gibi malzemeler ise genellikle 20–40 kJ/m² aralığında darbe dayanımı sunarlar. Bu gruptaki malzemeler kırılmak yerine esner ve darbeyi emer; bu da onları tamponlama veya esneklik gerektiren alanlarda değerli kılar. Ancak aşınma direnci bakımından bu esnek malzemeler mühendislik sınıfı polimerlerin gerisinde kalır. Özetle, darbe dayanımı yüksek ancak aşınma direnci düşük olan polimerler ile tam tersi özelliklere sahip rijit ve aşınmaya dayanıklı polimerler arasında doğru dengeyi kurmak, malzeme seçiminde uygulamaya özgü kritik bir tercihtir. (Chen, 2019)



Şekil 1.16. Polimer Malzemelerin Yoğunluk ve Su Emme Değerleri

Şekil 1.16’de belirtilen polimer malzemelerin yoğunluk ve su emme oranları, hem mekanik performanslarını hem de uzun vadeli çevresel dayanımlarını doğrudan etkileyen önemli mühendislik parametreleridir. Yoğunluk, bir malzemenin birim hacimdeki kütlesini tanımlarken; su emme oranı, malzemenin nemli ortamlarda boyutsal kararlılığını ve yapısal bütünlüğünü koruyup koruyamayacağını belirler. Örneğin, PP (Polipropilen) ve HDPE gibi düşük yoğunluklu malzemeler ($\sim 0.90\text{--}0.95\text{ g/cm}^3$) oldukça hafif olup taşınabilirlik ve maliyet avantajı sunar. Aynı zamanda %0.01 gibi çok düşük su emme oranlarıyla, nemli veya dış ortam koşullarında boyutsal stabilitelerini korurlar. Bu özellikleri, onları özellikle dış ortamda kullanılacak taşıyıcı parçalar ve mühimmat taşıma aksesuarları gibi alanlar için uygun hale getirir. (Mao vd., 2014)

Buna karşın, PA6 gibi yüksek su emme oranına sahip malzemeler (%1.5 civarı), nemli ortamlarda şişme, boyutsal değişim veya mukavemet kaybı gibi sorunlara yol açabilir. Ancak bu malzemenin sürtünme ve darbe dayanımı yüksek olduğu için kuru koşullarda halen önemli avantajlar sunar. Cam elyaf takviyeli PA66 ve GF-Nylon gibi mühendislik sınıfı polimerler, takviye sayesinde hem yoğunluklarını artırarak ($1.35\text{--}1.40\text{ g/cm}^3$) rijitlik sağlar hem de su emme oranlarını %0.3–0.4 gibi orta seviyelere çekerek nem etkilerine karşı daha dirençli hale gelirler. (Kirchheim vd., 2014)

PPS, PEI ve PPO gibi gelişmiş mühendislik polimerleri ise hem yüksek yoğunlukları ($1.27\text{--}1.38\text{ g/cm}^3$) hem de çok düşük su emme değerleri (%0.01–0.03) ile öne çıkar. Bu malzemeler hem boyutsal kararlılık hem de çevresel dayanım gerektiren uygulamalarda uzun ömürlü çözümler sunar. Sonuç olarak, bir polimer malzeme seçilirken hem ağırlık avantajı sağlayacak düşük yoğunluk hedeflenmeli, hem de ortam nemine karşı gösterdiği tepki dikkate alınmalıdır. Uygulama şartlarına uygun olarak bu iki özelliğin dengeli bir şekilde değerlendirilmesi, sistemin uzun ömürlü ve güvenilir çalışması açısından büyük önem taşır. (Husain vd., 2018)

1.7 Piyasa İhtiyacı ve Tasarımsal Avantajı

1.Stabilite

Ronin kitlerin en temel faydalarından biri, kullanıcıya tabancayı omuz dayanağı ile kullanma imkânı sunmasıdır. Geleneksel olarak tek elle veya çift elle tutulan tabancalar, geri tepme sırasında hedef üzerinde kalmakta zorlanabilir. Ancak Ronin kiti ile silah omza yaslanabildiğinden, silah üç noktadan (omuz, sağ el, sol el) desteklenir. Bu sayede ateşleme sırasında oluşan geriye yönlü kuvvet daha dengeli dağıtılır ve silah kontrolü belirgin biçimde artar. Bu, özellikle seri atışlarda hedefe olan isabet oranını artırarak kullanıcıya operasyonel avantaj sağlar. Ronin kit, küçük çaplı bir tabancayı daha büyük ve kontrollü bir platforma dönüştürerek stabiliteyi ciddi biçimde iyileştirir.

2.Aksesuar

Ronin kitlerin çoğunda üstte, yanda ve altta yer alan Picatinny raylar (1913 standardı) sayesinde çeşitli taktik ekipmanlar rahatlıkla entegre edilebilir. Bu; kırmızı nokta nişangahlar, holografik optikler, fenerler, lazer işaretleyiciler, dikey tutma kolları gibi ekipmanların montajını mümkün kılar. Böylece kullanıcı, çevresel koşullara ve görev ihtiyacına göre silahını kişiselleştirebilir. Örneğin gece operasyonlarında termal nişangah ve LED takviyesi; kapalı alanlarda ise düşük profil fener/lazer kombinasyonu kullanılabilir. Ayrıca Ronin kitin bazı sürümleri susturucu ve namlu uzatma aparatlarını da destekleyecek şekilde tasarlanır.



Şekil 1.17. Caa Mck Ronin Kit Versiyonu

Geliştirilen mikro dönüşüm kiti platformu, kompakt form faktörü ve modüler konstrüksiyon yaklaşımı ile mevcut ticari çözümlerden ayrılan yenilikçi bir tasarım anlayışı yansıtmaktadır. Tasarımda ön bölüme entegre edilmiş katlanabilir yardımcı el kundağı, atış hattındaki hâkimiyeti olumlu yönde etkilerken, yakın mesafe angajmanlarında denge ve kontrolü artıran bir destek görevi görmektedir. Bu elcik modülünün katlanabilir yapıda olması, görev dışı konumda kitin kapladığı hacmi minimuma indirerek taşınabilirliği ve hızlı konfigürasyon değişimini mümkün kılmaktadır.

Üst gövdeye yerleştirilmiş kızak modülü, gövdeden tamamen ayrılabilir olacak şekilde tasarlanmış olup bakım, temizlik ve parça değişimi gibi operasyonel süreçleri ciddi ölçüde kolaylaştırmaktadır. Bu ayrılabilirlik özelliği aynı zamanda tasarımın üretim maliyetlerini azaltan modüler bir montaj felsefesiyle geliştirilmesine olanak sağlamış, uzun vadeli lojistik ve servis etkinliğini desteklemiştir. Parça optimizasyonu ve hafif metal-polimer hibrit malzeme kullanım stratejisi sayesinde sistem toplam kütlesi azaltılmış, kullanıcıya uzun süreli görevlerde ergonomik avantaj sunulmuştur. Dipçik bölümünde uygulanan yaylı teleskobik mekanizma ise hem geri tepmeyi sönümleyen bir arayüz olarak görev yapmakta hem de farklı kullanıcı antropometrilerine uyarlanabilen bir atış pozisyonu oluşturarak ergonomik çeşitliliği artırmaktadır. Bu sayede atıcı, tercih ettiği omuz mesafesine hızlı bir şekilde erişebilmekte, hedef geçişlerinde daha kontrollü ve stabil bir performans elde edebilmektedir. Ayrıca bu mekanizma, titreşim ve darbe yüklerinin gövdeye aktarımını azaltarak sistem bileşenlerinin yorulma ömrünü artıran yapısal bir katkı sunmaktadır.

Genel olarak tasarım; kompakt mimari, yüksek modülerlik seviyesi, artırılmış ergonomik uyarlanabilirlik ve bakım-montaj kolaylığı gibi parametrelerin dengeli bir şekilde optimize edildiği gelişmiş bir dönüşüm platformu ortaya koymaktadır. Bu yönüyle mevcut mikro dönüşüm kitlerine fonksiyonel alternatif oluştururken, askeri ve kanun uygulayıcı kullanıcı profillerinin sahadaki operasyonel gereksinimlerine doğrudan karşılık veren yenilikçi bir mühendislik çözümüdür.

2. MATERİYAL ve YÖNTEM

2.1 Kavramsal Tasarım

Yeni nesil dipçik ve hafif silah kitleri, ergonomi, dayanıklılık ve maliyet avantajlarını bir araya getirerek modern savaş koşullarına uygun yenilikçi çözümler sunmaktadır. Geleneksel yekpare dipçiklere kıyasla, modüler yapıya sahip bu sistemler; farklı boyutlarda omuzluk seçenekleri ile kullanıcıların fiziki özelliklerine ve operasyonel ihtiyaçlarına uyum sağlamakta, aynı zamanda montaj kolaylığı sayesinde değişim sürecini hızlandırmaktadır. Poliüretan ve poliamid gibi yüksek aşınma direnci ve esneklik sağlayan mühendislik polimerlerinden üretilen omuzluklar, zorlu saha koşullarında uzun ömürlü performans sunmaktadır. Geri dönüştürülmüş hammaddelerle üretilibilmeleri sayesinde çevresel sürdürülebilirliği desteklerken, maliyetleri de önemli ölçüde düşürmektedir. Polimer kompozit yapılar, geleneksel alüminyum dipçiklerde karşılaşılan ağırlık ve yüksek üretim maliyeti gibi sorunları ortadan kaldırarak, hafiflik ve dayanıklılığı optimal düzeyde birleştirmektedir.

Benzer şekilde, hafif silahlar için geliştirilen taktiksel dönüşüm kitleri de kullanım kolaylığı ve atış isabetliliğini artırmayı hedeflemektedir. Alüminyumdan imal edilen kitler yüksek yapısal mukavemet sunsa da üretim süreci, maliyet ve ağırlık açısından çeşitli dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle, polimer-kompozit malzemelerle geliştirilen hibrit yapılar ön plana çıkmakta hem yüksek darbe dayanımı hem de düşük ağırlık sağlayarak etkin bir çözüm sunmaktadır. Yaklaşık %50 daha hafif olan bu sistemler, ayarlanabilir yanaklık, katlanabilir ve teleskopik dipçik gibi ergonomik özellikleri sayesinde kullanıcıya kişiselleştirilmiş bir deneyim sunmaktadır. Özellikle yakın muharebe senaryolarında, geleneksel ağır silahlara göre daha yüksek hareket kabiliyeti sağlayan bu yeni nesil kitler; güvenlik birimlerine operasyonel esneklik kazandırmakta, aynı zamanda modern muharebe şartlarına uyumlu, hafif, dayanıklı ve maliyet etkin bir silah platformu oluşturmaktadır.



Şekil 2.1. Kit Ön Elcik ve Namlu

Kompozit malzemelerin temel avantajı, içerdği bileşenlerin üstün niteliklerini tek bir çatı altında toplayabilmesidir. Bu özellik, malzemenin kullanım alanına uygun beklenen performansı sunması amacıyla kompozitlerin tercih edilmesini sağlamaktadır. Düşük özgül ağırlıkları sayesinde, zırh ve silah gibi taşınması gereken ekipmanların üretildiği takımların hafif kalması ve kullanıcılarının daha yüksek performans sergilemesi mümkün olmaktadır. Son yıllarda teknolojiye gelişmelerle birlikte, ileri kompozitlerin savunma sanayisindeki yeri ve uygulama alanları hızla genişlemektedir. Silahlar yüksek şiddette ve sürekli tekrarlayan darbe yüklerine maruz kaldığından, bu parçalarda kullanılacak malzemelerden çekme mukavemeti değerinin yüksek olması ve elastisite modülüne sahip olmaları beklenmektedir. Savunma sanayine yönelik üretilen kompozit malzemelerden talep edilen nitelikler olarak aşınma direnci, kolay şekillendirilebilme, korozyon ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılık, renklendirilebilme imkanı ve titreşim sönümleme kabiliyetidir. Silah parçaları, kullanım sürecinde atım sayısına bağlı aşınma, farklı iklim ve doğa şartlarına dayanıklılık, çevresel faktörlerin neden olduğu korozyon etkileri, taşınabilirlik ve

ergonomik kullanım gibi çeşitli gereksinimleri karşılamalıdır. Silah üreticilerinin en yüksek performansa sahip silahları üretebilmeleri için bu unsurlara en uygun malzemeyi seçmeleri büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, belirlenen parametrelerin önem derecelerine göre sıralanması ve en ideal malzemenin tespit edilmesi gerekmektedir. Söz konusu önceliklerin belirlenmesine yönelik oluşturulan malzeme özellikleri sıralaması mukavemet, elastite modülü, darbe dayanımı, maliyet, aşınma direnci, sertlik ve yoğunluk şeklindedir. Silah parçalarının üretiminde kullanılacak polimer matrisli kompozit malzemelerin sahip olması gereken özellikler belirli bir önem sırasına göre değerlendirilmiştir. En kritik faktör elastite modülü olarak belirlenmiş olup, bunu sırasıyla sertlik, aşınma direnci, mukavemet, sıcaklık kararlılık, sertlik, yoğunluk ve üretim maliyeti takip etmektedir.

Geleneksel polimer kompozit esaslı tabancaların üretiminde cam elyaf takviyeli PA66 malzemesi yaygın olarak tercih edilmektedir. Tabancanın en önemli parçalarından biri olan ve sürekli yüksek darbeye maruz kalan ana gövde bölgesinde, cam elyaf oranı %25 - %30 seviyelerine çıkarılmaktadır. Problem tanımına göre, hafif silahların polimer gövdelerinin yüksek dayanım ve düşük yoğunluklu malzemelerden üretilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, polimer gövde tasarımlarında poliamid malzeme tercih edilmektedir. Ayrıca, poliamid kullanılarak elyaf türlerinin üretildiği pek çok çalışma bize yol göstermektedir. Diğer bileşenlerde ise bu oran %15 - %25 arasında değişmektedir. Bu bölümde, polimer kompozit malzemelerle ilgili yapılan araştırmalara yer verilerek, bu malzemelerin silah üretimindeki kullanımı hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur. Polimer tabanlı silah üretiminde kullanılan malzemeler, mukavemet, darbe dayanımı, aşınma direnci ve sıcaklık kararlılığı gibi çeşitli özelliklere göre seçilmektedir.



Şekil 2.2. Kit Parçalar-1

Yeni nesil dipçik ve hafif silah kitleri, ergonomi, dayanıklılık ve maliyet avantajlarını bir araya getirerek modern savaş koşullarına uygun yenilikçi çözümler sunmaktadır. Geleneksel yekpare dipçiklere kıyasla, modüler yapıya sahip bu sistemler; farklı boyutlarda omuzluk seçenekleri ile kullanıcıların fiziki özelliklerine ve operasyonel ihtiyaçlarına uyum sağlamakta, aynı zamanda montaj kolaylığı sayesinde değişim sürecini hızlandırmaktadır.

Poliüretan ve poliamid gibi yüksek aşınma direnci ve esneklik sağlayan mühendislik polimerlerinden üretilen omuzluklar, zorlu saha koşullarında uzun ömürlü performans sunmaktadır. Geri dönüştürülmüş hammaddelerle üretilibilmeleri sayesinde çevresel sürdürülebilirliği desteklerken, maliyetleri de önemli ölçüde düşürmektedir. Polimer kompozit yapılar, geleneksel alüminyum dipçiklerde karşılaşılan ağırlık ve yüksek üretim maliyeti gibi sorunları ortadan kaldırarak, hafiflik ve dayanıklılığı optimal düzeyde birleştirmektedir.



Şekil 2.3. Kit Parçalar-2

Benzer şekilde, Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3, Şekil 2.4’te ana tasarım görselleri verilmiştir. Hafif silahlar için geliştirilen taktiksel dönüşüm kitleri de kullanım kolaylığı ve atış isabetliliğini artırmayı hedeflemektedir. Alüminyumdan imal edilen kitler yüksek yapısal mukavemet sunsa da üretim süreci, maliyet ve ağırlık açısından çeşitli dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle, polimer-kompozit malzemelerle geliştirilen hibrit yapılar ön plana çıkmakta hem yüksek darbe dayanımı hem de düşük ağırlık sağlayarak etkin bir çözüm sunmaktadır. Yaklaşık %50 daha hafif olan bu sistemler, ayarlanabilir yanaklık, katlanabilir ve teleskopik dipçik gibi ergonomik özellikleri sayesinde kullanıcıya kişiselleştirilmiş bir deneyim sunmaktadır.

Özellikle yakın muharebe senaryolarında, geleneksel ağır silahlara göre daha yüksek hareket kabiliyeti sağlayan bu yeni nesil kitler; güvenlik birimlerine operasyonel esneklik kazandırmakta, aynı zamanda modern muharebe şartlarına uyumlu, hafif, dayanıklı ve maliyet etkin bir silah platformu oluşturmaktadır.



Şekil 2.4. Kit Montaj Parçalar

Dönüşüm kitlerinin temel çalışma prensibi, klasik tabanca platformlarını herhangi bir kalıcı değişikliğe uğratmadan çok amaçlı, omuzdan destekli bir atış sistemine dönüştürmektir. Bu dönüşüm, tabancanın bir dış iskelet formundaki taktiksel kılıf içerisine yerleştirilmesiyle sağlanır. Kullanıcı, mevcut tabancasını RONİN kitin gövdesine yerleştirerek sabitler; böylece silah, daha dengeli bir tutuşla omuzdan destekli şekilde kullanılabilir hâle gelir. Bu yapı, özellikle yakın mesafe çatışmalarda tabancanın kontrolünü, hedef üzerindeki stabilitesini ve tekrar atışlarda hassasiyetini artırır.

Kitin iç yapısı, tabancayı sıkı toleranslarla kavrayan ve mekanik kilitleme sistemleriyle güvenli şekilde sabitleyen bir düzeneğe sahiptir. Bu sabitleme sistemi sayesinde, kullanıcı herhangi bir alet kullanmadan tabancayı kit içerisine yerleştirebilir ya da kiten çıkarabilir. Kitin dış yapısı genellikle polimer-kompozit ya da alüminyum alaşım malzemelerden üretilir; bu malzemeler, yüksek darbe dayanımı, düşük ağırlık ve termal kararlılık gibi özellikler sunar.



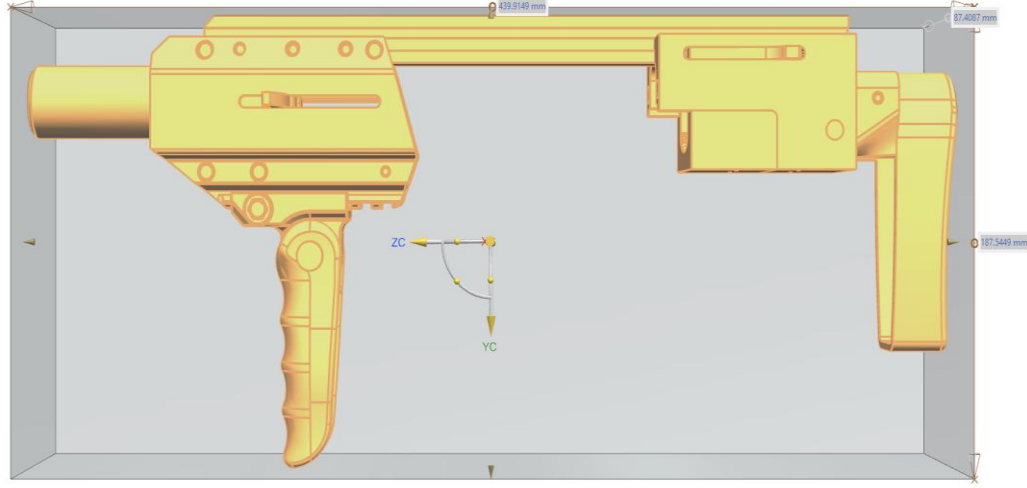
Şekil 2.5. Kit Montaj Parçalar-2

Kitler, bütünleştirilmiş Picatinny ray sistemleri sayesinde optik nişangâhlar, lazer işaretleyiciler, taktik fenerler ve dikey kabzalar gibi aksesuarların montajına olanak tanır. Bu yönüyle, kullanıcı silahını görev türüne göre kişiselleştirebilir. Ayrıca bazı gelişmiş modellerde katlanabilir dipçik, ayarlanabilir yanaklık ve susturucu adaptörü gibi modüler özellikler de yer almaktadır. Kitin sağladığı en temel avantajlardan biri, tabancayı tüfek benzeri bir dengeyle kullanabilmeyi mümkün kılmasıdır. Üç noktadan destek alan yapı (omuz, sağ el, sol el), atıcının daha az geri tepme hissederek seri ve isabetli atışlar yapmasına yardımcı olur. Böylece hem profesyonel güvenlik güçleri hem de sportif atıcılar, tabancayı daha etkin bir silah sistemine dönüştürmüş olur.

Kompozit malzemelerin temel avantajı, içerdiği bileşenlerin üstün niteliklerini tek bir yapıda birleştirebilmesidir. Bu özellik, kullanım alanına uygun performans kriterlerinin karşılanması açısından kompozit malzemeleri cazip kılmaktadır. Düşük özgül ağırlıkları sayesinde, zırh ve silah gibi taşınabilir ekipmanların üretiminde tercih edilen bu malzemeler, kullanıcıya daha yüksek hareket kabiliyeti ve uzun süreli görevlerde daha az yorgunluk imkânı sunmaktadır. Son yıllarda teknoloji alanında yaşanan ilerlemelerle birlikte, ileri kompozitlerin savunma sanayisindeki rolü ve uygulama alanları hızla genişlemiştir.

Silahlar yüksek frekansta tekrarlayan darbe yüklerine maruz kaldığından, bu tür sistemlerde kullanılan malzemelerin yüksek çekme mukavemetine ve yeterli elastik modüle sahip olması beklenmektedir. Savunma sanayisine yönelik geliştirilen kompozit malzemelerden talep edilen diğer başlıca özellikler arasında aşınma direnci, şekillendirilebilirlik, korozyon ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılık, renklendirilebilirlik ve titreşim sönümleme yeteneği yer almaktadır. Silah parçaları kullanım ömrü boyunca; yüksek atım sayısı nedeniyle oluşan aşınma, zorlu iklim ve çevresel koşullarda çalışma zorunluluğu, korozyon direnci, taşınabilirlik ve ergonomik gereklilik gibi birçok kritere maruz kalmaktadır. Bu sebeple, üreticilerin en yüksek performansa sahip sistemleri geliştirebilmeleri için doğru malzeme seçimi kritik öneme sahiptir. Bu doğrultuda belirlenen teknik kriterler önem derecesine göre sıralanmakta ve en uygun malzemenin tespiti hedeflenmektedir. Öncelikli sıralamaya göre, mukavemet, elastik modül, darbe dayanımı, maliyet, aşınma direnci, sertlik ve yoğunluk öne çıkmaktadır.

Polimer matrisli kompozitlerin hafif silah üretiminde kullanılabilmesi için sahip olması gereken nitelikler de belirli bir öncelik sırasına göre değerlendirilmiştir. En kritik faktör olarak elastik modül ön plana çıkarken, bunu sırasıyla sertlik, aşınma direnci, mekanik mukavemet, yüksek sıcaklıkta stabilite, yoğunluk ve üretim maliyeti takip etmektedir. Geleneksel polimer kompozit esaslı tabanca üretiminde, cam elyaf takviyeli PA66 malzemesi öne çıkan tercihlerden biridir. Tabancanın yüksek darbe yüklerine maruz kalan ana gövde bölgesinde bu oran %25–30 seviyelerine kadar çıkarılmaktadır. Diğer yardımcı bileşenlerde ise bu oran genellikle %15–25 aralığında değişmektedir. Problem tanımına göre, hafif silah gövdelerinin yüksek dayanım ve düşük yoğunluk sağlayan malzemelerden üretilmesi gerekmektedir. Bu çerçevede, poliamid esaslı malzemeler öncelikli olarak tercih edilmekte ve farklı elyaf türleriyle takviye edilerek geliştirilmiş çözümler üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Bu bölümde, polimer kompozit malzemelere yönelik araştırmalar ışığında, bu malzemelerin silah üretiminde kullanımı ve performans kriterlerine etkisi ayrıntılı şekilde ele alınmaktadır.



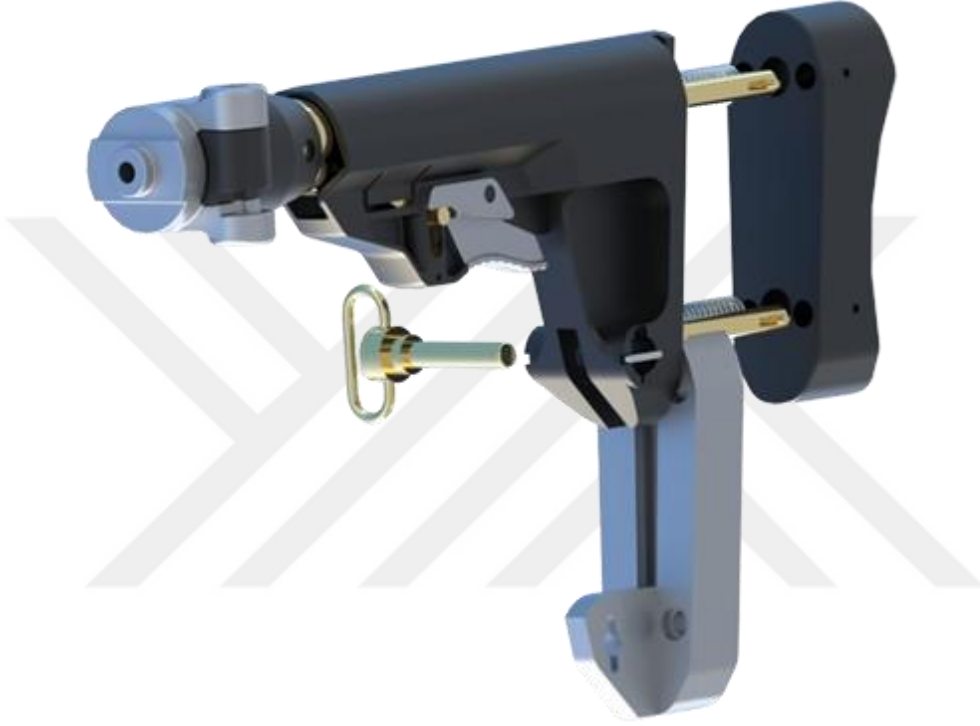
Şekil 2.6. Kit Stok Ölçüleri

Tablo 2.1. Kit Fiziksel Ölçüler

Özellik	Değer
Uzunluk	440 mm
En	87 mm
Boy	188 mm

Teleskopik polimer dipçikler, modern silah sistemlerinde modülerlik ve ergonomik uyum açısından vazgeçilmez bir unsur hâline gelmiştir. Bu yapıların temel çalışma prensibi, dipçiğin uzunluğunun kullanıcı ihtiyacına göre ayarlanmasına ve görev profiline göre farklı bileşenlerle entegre edilebilmesine dayanır. Geleneksel sabit dipçiklerin aksine, teleskopik sistemler çok kademeli yapıları sayesinde hem yakın muharebe hem de uzun mesafe operasyonlarda avantaj sağlar. Bu sistemler, özellikle yüksek darbe direnci, düşük ağırlık ve dayanıklılığı bir arada sunan polimer kompozit malzemelerle üretildiğinde hem kullanıcı konforu hem de operasyonel verimlilik açısından ön plana çıkar.

Yenilikçi olarak omuzluk kısmı değiştirilebilir biçimde tasarlanan teleskopik dipçikler ise, bu modülerliğe yeni bir boyut kazandırmaktadır. Değiştirilebilir omuzluk yapısı sayesinde, kullanıcılar farklı zemin koşullarına, omuz anatomilerine ya da ekipman konfigürasyonlarına uygun parçaları kolaylıkla adapte edebilir. Bu özellik sadece ergonomiyi geliştirmekle kalmaz, aynı zamanda bakım, üretim ve lojistik süreçlerinde esneklik ve maliyet avantajı da sağlar.



Şekil 2.7. Teleskobik Dipçik Montaj Parçalar

Bu bağlamda, Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’de gösterilen teleskopik polimer dipçiklerin kullanıcıya sunduğu başlıca avantajlar şunlardır: ve görev ihtiyaçlarına göre uyarlanabilirlik kazandırmaktadır. Uzunluk ayar mekanizması sayesinde atıcı, dipçiği kendi omuz ve kol yapısına göre kolayca ayarlayabilir. Bu yapı, özellikle zırh giyildiğinde oluşan mesafe farklarını telafi ederek hedefleme doğruluğunu artırmaktadır. Polimer bazlı teleskopik dipçikler hem hafiflikleriyle taşınabilirliği kolaylaştırmakta hem de darbelere karşı yüksek direnç göstermektedir. Kompozit malzemeler kullanılarak üretilen bu dipçikler, yüksek sıcaklık stabilitesi, düşük geri tepme iletimi ve titreşim sönümleme özellikleri ile taktik silahlar için önemli bir avantaj sunar.

Teleskopik sistemin çok kademeli yapısı, hızlı konum değişimlerine olanak tanırken, kilit mekanizması ile güvenli kullanım sağlar. Ayrıca birçok modelde bütünleşmiş yanaklık desteği ve kabze bağlantı alanları bulunur. Bu sayede, atıcıların kişisel konforları ve atış stabilitesi en üst düzeye çıkarılır. Bu dipçiklerin modüler yapısı sayesinde farklı görev profillerine göre kolayca değiştirilebilir veya aksesuarlarla zenginleştirilebilir olması, özellikle özel kuvvetler ve operasyonel birlikler için ciddi bir operasyonel esneklik sunar.



Şekil 2.8. Teleskobik Dipçik Kavramsal Tasarım

1-Kişiyeye Özel Konfor ve Uyarlanabilirlik

Değiştirilebilir omuzluk yapısı, kullanıcıların omuz yapısına, giysi (zırh, mont) kalınlığına veya görev türüne göre en uygun konfigürasyonu seçmelerine olanak tanır. Bu sayede:

- Daha konforlu ve kararlı bir omuzlama sağlanır.
- Uzun süreli görevlerde yorgunluk azaltılır.
- Tüm kullanıcılar için evrensel uyum elde edilir (kadın-erkek, farklı vücut yapıları vb.).

2- Modülerlik ve Görev Esnekliği

Görev profiline göre farklı omuzluklar takılabilir (örneğin):

- Kaymaz yüzeyli taktik omuzluklar,
- Amortisörlü geri tepme azaltıcı omuzluklar,
- Hafif polimerden üretilmiş hızlı tepki amaçlı kısa omuzluklar.

Bu, aynı dipçik yapısıyla çok çeşitli görevleri karşılayabilmenizi sağlar.

3-Üretim ve Lojistik Avantajı

Tek gövdeye çok sayıda uyumlu omuzluk üretebilmek:

- Yedek parça standardizasyonu sağlar,
- Üretim maliyetini düşürür,
- Bakım ve onarım süreçlerini kolaylaştırır.

4-Saha Koşullarına Uyum

Omuzluk parçası aşırı ısı, çamur, kar, yağmur gibi çevresel etkenlerden zarar görse bile kolayca değiştirilebilir. Bu durum:

- Sistemin kullanım dışı kalmasını engeller,
- Görev sürekliliğini sağlar.

5-Yenilik ve Ticarileşme Potansiyeli

Bu tip bir yapı:

- Uluslararası standartlara uygun taktik silah sistemleri içinde farklılaştırıcı bir tasarım unsurudur.
- Kullanıcı geri bildirimlerine göre geliştirilebilir, ürün gamı genişletilebilir.
- Hem askeri hem sportif atıcılık pazarında marka bilinirliği ve tercih sebebi oluşturur.



Şekil 2.9. Teleskobik Dipçik Nihai Tasarım-1

Şekil 2.9’da gösterilen yaylı mekanizma ile entegre edilmiş teleskobik polimer dipçikler, kullanıcı konforunu ve atış performansını daha da ileriye taşıyan bir yeniliktir. Bu sistem, dipçik içerisinde yer alan yaylı yapının, atış sırasında oluşan geri tepme enerjisini kademeli olarak absorbe etmesine dayanır. Böylece hem omuz bölgesine binen ani kuvvet azaltılır hem de silahın denge noktası korunarak hedef üzerinde kalıcılık sağlanır. Özellikle seri atışlarda oluşan titreşimlerin ve geri tepme dalgalarının sönümlenmesi, atıcının kontrolünü artırır ve isabet oranını yükseltir. Ayrıca, yaylı yapı, darbe yüklerinin şok etkisini dağıtarak dipçiğin yapısal ömrünü uzatır. Polimer kompozitlerle birleştğinde bu sistem hem hafiflik hem de mukavemet bakımından optimum bir çözüm sunar. Değiştirilebilir omuzluk yapısı ile birleştirildiğinde ise bu tür dipçikler, kullanıcıya hem ergonomik uyum hem de görev koşullarına göre esnek konfigürasyon imkânı sağlayarak, sahada üstünlük kazandırır.



Şekil 2.10. Teleskobik Dipçik Nihai Tasarım-2

Tablo 2.2. Kit Karşılaştırmalı Ağırlık Ölçüleri

Malzeme	Ağırlık(kg)
ABS	0.592
PP	0.508
HDPE	0.536
PET	0.779
PPO	0.598
PEI	0.717
PU	0.677
PA 66	0.643
PC 30GF	0.818
PA66 30GF	0.762
PC	0.677
PLA-CF	0.712
PETG	0.594
AISI 304	4.457
AL-5000	1.495
AL-6000	1.523

Malzeme yoğunluğu, ağırlık performansında belirleyici unsurdur. 564191 mm³ gibi sabit bir hacme sahip parça, kullanılan malzemenin yoğunluğuna bağlı olarak ciddi ağırlık farklılıkları gösterir. Tablo2.2’de belirtilen bu bağlamda:

- En hafif malzemeler arasında yaklaşık 0.508 kg ağırlıkla Polipropilen (PP) öne çıkmaktadır. Bunu HDPE (0.536 kg) ve ABS (0.592 kg) takip etmektedir. Bu malzemeler, özellikle düşük taşıma yükü gerektiren uygulamalarda (örn. taşınabilir hafif silah bileşenleri, iç mekan parçaları) tercih edilir.
- Cam elyaf takviye edilmiş polimerler ise yoğunluk açısından artış göstermektedir. Örneğin:
 - Cam elyaf takviyeli Polikarbon (PC): 0.818 kg
 - Cam elyaf takviyeli Poliamid (PA66): 0.761 kg

Bu fark, mukavemeti artırmak için eklenen cam elyaf katkısından kaynaklanmakta olup, özellikle dayanım gerektiren silah bileşenlerinde bu malzemelere yönelim doğurmaktadır.

- Standart Polikarbonat (PC) 0.677 kg ile nispeten dengeli bir yapı sunarken, Poliamid (PA66) de 0.643 kg ile hem darbe direnci hem de elastikiyet sağlayarak silah gövdeleri ve hareketli parçalar için ideal bir tercih olur.

Metalik malzemelerde ise ağırlık farkı dramatik şekilde artmaktadır:

- Alüminyum 5000 Serisi: 1.496 kg,
- Alüminyum 6000 Serisi: 1.523 kg,
- Paslanmaz Çelik (AISI 304): 4.461 kg

Bu değerler, polimer malzemelere göre 2 ila 8 kata kadar daha ağır yapılar anlamına gelir. Paslanmaz çelik, üstün yapısal dayanımı nedeniyle tercih edilse taşınabilirlik ve enerji verimliliği açısından ciddi bir dezavantaj oluşturur. Bu tablo, hafiflik, dayanıklılık ve üretim maliyeti arasında yapılacak tercihlerde rehber niteliğindedir. Özellikle savunma sanayi ve mobil sistemlerde:

- Polimer esaslı malzemeler, mükemmel bir ağırlık-performans dengesi sunarken;
- Takviyeli kompozitler, daha yüksek mekanik dayanım için idealdir;
- Metaller, maksimum dayanıklılık gerektiren, ancak ağırlığın önemsiz olduğu sistemlerde tercih edilmelidir.

2.2 Nihai Tasarım

Türkiye'nin savunma sanayisinde son yıllarda gösterdiği atılım, yerli ve özgün çözümlerin geliştirilmesini stratejik bir hedef hâline getirmiştir. Bu bağlamda, klasik tabancaları çok maksatlı taktik silahlara dönüştüren Ronin dönüşüm kitleri hem güvenlik güçlerine esneklik kazandırmakta hem de yurtdışına bağımlılığı azaltarak milli üretim kabiliyetini güçlendirmektedir. Özellikle yakın mesafe operasyonlarında sağladığı yüksek manevra kabiliyeti, optik entegrasyonu ve omuz destekli atış imkânı sayesinde, Ronin sistemleri modern muharebe sahalarında büyük avantaj sunar.

Kullanıcıya göre ayarlanabilen ve omuzluk kısmı değiştirilebilir şekilde geliştirilen teleskobik polimer dipçikler, ergonomik uyum, geri tepme kontrolü ve saha dayanıklılığı bakımından yenilikçi bir çözüm sunmaktadır. Bu tür modüler ve hafif sistemlerin yerli üretimi, Türkiye'nin dışa bağımlılığını azaltırken, aynı zamanda uluslararası pazarda rekabetçi ve ihracat potansiyeli yüksek ürünler geliştirmesine olanak tanımaktadır. Özellikle Afrika, Orta Doğu ve Orta Asya gibi taktik ekipman talebi yüksek olan bölgelerde, bu ürünler yerli savunma firmaları için önemli bir ticari fırsat alanı oluşturmaktadır.



Şekil 2.11. Kit Silahla Bağlantı Şablonu-1



Şekil 2.12. Kit Silahla Bağlantı Şablonu-2

Bu tür modüler silah sistemlerinde başarıyı belirleyen en kritik unsurlardan biri, ergonomi, mekanik entegrasyon ve yapısal sağlamlık dengesinin doğru şekilde kurulmasıdır. Omuzluk kısmı değiştirilebilir teleskobik dipçik tasarımında; farklı omuz yapısına uyum sağlayabilen modül geometrisi, yük aktarım noktalarının optimum dağılımı ve kilitlenme mekanizmasının darbe anında deformasyona karşı güvenli çalışması büyük önem taşır. Ayrıca, polimerin akma ve kırılma davranışları

göz önüne alınarak seçilen cam elyaf takviyeli mühendislik malzemeleri, yapıya sadece mukavemet değil aynı zamanda titreşim sönümleme ve termal kararlılık özellikleri de kazandırmaktadır. Ronin kit ile bu dipçiğin entegrasyonu sırasında, tabancanın şasiye sıfır toleransla oturması ve namlu ekseninin omuz hizasıyla paralel konumda tutulması atış hassasiyetini doğrudan etkileyen parametrelerdendir. Ayrıca kilitli mekanizmanın kolay takılıp sökülebilir yapıda olması, kullanıcıya operasyon sahasında bakım kolaylığı ve hızlı müdahale imkânı sunar. Tüm bu detaylar, sadece bir ürün değil; yüksek mühendislik içeren bir taktik çözüm platformu ortaya koymaktadır.



3. BULGULAR

3.1 Tasarım Bulguları

Bu çalışmada, hafif silahlar için geliştirilen Ronin kit ve omuzluk kısmı değiştirilebilir teleskobik dipçik tasarımında farklı polimer malzemelerin mekanik ve üretim performansları detaylı olarak incelenmiştir. Yapılan analizlerde hem malzeme seçimlerinin hem de üretim yöntemlerinin nihai ürünün dayanımı, işlevselliği ve üretilebilirliği üzerinde doğrudan etkili olduğu görülmüştür. Özellikle PA66 GF (cam elyaf takviyeli poliamid 66) ve PC GF (cam elyaf takviyeli polikarbonat) malzemeleri, çekme dayanımı, darbe direnci, ısı kararlılık ve boyutsal stabilite açısından üstün performans sergilemiştir. PA66 GF ile üretilen teleskobik dipçik prototiplerinde 120 MPa seviyelerine ulaşan çekme dayanımı elde edilmiş, bu değer hem omuzda oluşan mekanik yükleri karşılamakta yeterli olmuş hem de darbelere karşı deformasyon göstermemiştir. Malzemenin düşük sürtünme katsayısı sayesinde, teleskobik yapının hareketli parçaları arasında akıcı ve sessiz bir çalıştırma sağlanmıştır.

Ronin kit gövdesinde kullanılan PC GF malzemesi ise yüksek rijitlik, termal direnç ve yüzey kalitesi ile öne çıkmıştır. Bu sayede silah üzerine entegre edilen optik, aksesuar ve ray sistemleri yüksek stabilite ile sabitlenebilmiş; parça üzerindeki mikro deformasyonlar minimuma indirgenmiştir. Ayrıca, katkı oranı artırılan numunelerde sertlik ve darbe dayanımı daha da yükselmiş, ancak işlenebilirlik açısından enjeksiyon kalıplama parametrelerinin daha hassas kontrol edilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Üretim yöntemi karşılaştırmalarında ise enjeksiyon kalıplamayla elde edilen parçaların hem homojen yapı hem de yüzey bütünlüğü açısından 3D yazıcı ve CNC işleme yöntemleriyle üretilen numunelere göre daha üstün olduğu gözlemlenmiştir. 3D baskıyla üretilen prototiplerde katman arası bağların zayıflığı nedeniyle darbe altında çatlama riski artarken, enjeksiyonla üretilen numunelerde bu tür sorunlara rastlanmamıştır. CNC ile işlenen prototiplerde ise malzeme israfı ve üretim süresi ciddi bir dezavantaj olarak değerlendirilmiştir.

Yoğunluk ve hacim karşılaştırmaları sonucu, aynı geometrik hacme sahip 7075-T6 alüminyum ile kıyaslandığında polimer esaslı parçalar yaklaşık %50–60 oranında daha hafif çıkmış ve bu da kullanıcı ergonomisine, silahın tepme kontrolüne ve taşıma kolaylığına doğrudan katkı sağlamıştır. Özellikle mobil birliklerde görev yapan personel için ağırlığın azaltılması, operasyonel verimlilik açısından önemli bir avantaj sunmaktadır.

3.2 Deneyler

Bu çalışmada, literatürde polimer esaslı silahlarda yaygın olarak kullanılan poliamid (PA), polipropilen (PP) ve poliüretan (PU) gibi mühendislik polimerlerine alternatif olarak, üç farklı termoplastik malzeme olan polilaktik asit (PLA), karbon fiber takviyeli PLA (PLA-CF), polietilen tereftalat glikol (PETG) ve polikarbonat (PC) seçilmiştir. Söz konusu malzemeler, üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle farklı doluluk oranlarında (%30, %50 ve %70) numune üretilerek değerlendirilmiştir. Çekme testinde cihazdan elde edilen ham veriler genellikle uygulanan kuvvet (F) ve numunenin uzaması (ΔL) şeklindedir. Ancak mühendislik açısından malzemenin iç gerilme durumunu ve şekil değiştirme kapasitesini görmek için bu değerler gerilim (σ) ve gerinim (ϵ) cinsine çevrilir.

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

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Bu iki formül yardımıyla kuvvet–deplasman eğrisindeki her bir veri noktası gerilim–gerinim değerine dönüştürülür. Böylece malzemenin elastik modülü, akma noktası, kopma dayanımı ve süneklik gibi mekanik özellikleri daha doğru şekilde incelenebilir. Her bir numune, standart çekme testi prosedürleri kapsamında mekanik performans açısından incelenmiş ve elde edilen yük–uzama grafiklerinden elastisite modülü, akma dayanımı ve nihai çekme mukavemeti gibi kritik parametreler hesaplanmıştır. Çekme testlerinden elde edilen deneysel veriler, sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile ANSYS yazılımında doğrulama amaçlı modellenmiş; böylece malzemelerin doluluk oranına bağlı olarak sergiledikleri gerilme–şekil değiştirme davranışları nümerik olarak karşılaştırılmıştır. Çekme testi verileri üzerinden malzemenin elastisite modülü, gerilme–gerilim eğrisinin başlangıçtaki

doğrusal bölgesi dikkate alınarak belirlenmiştir. Elastisite modülü, malzemenin elastik bölgede uygulanan birim şekil değiştirmeye karşı gösterdiği birim gerilme miktarını ifade eden temel bir mekanik özelliktir.

Bu amaçla, eğrinin başlangıç kısmında yük ve uzama değerleri arasındaki orantılı artış bölgesi tanımlanmış; bu bölgedeki lineer eğilim, Hooke Kanunu ($\sigma=E \cdot \epsilon$) temel alınarak değerlendirilmiştir. Gerilme–şekil değiştirme ilişkisi doğrusal davranıştan sapmaya başladığı noktaya kadar olan kısım, elastik deformasyon bölgesi olarak kabul edilmiştir. Bu doğrusal kısımda, veriler üzerinde en küçük kareler yöntemiyle (least-squares fit) regresyon analizi uygulanarak doğrunun eğimi hesaplanmış ve bu eğim elastisite modülü olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.1. Çekme Testi Polimer Numune

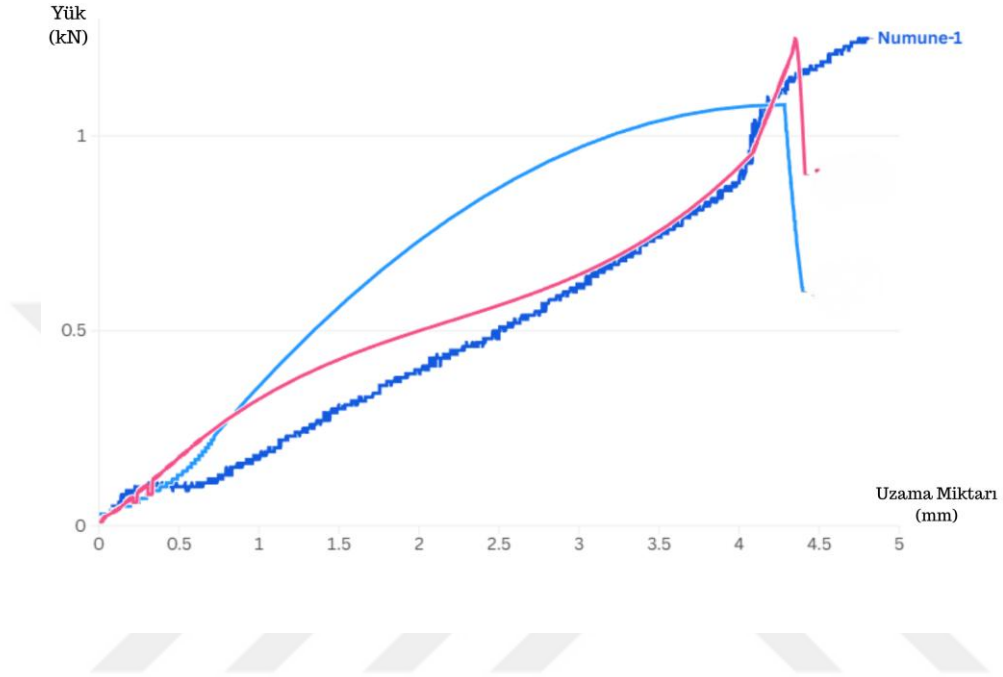


Şekil 3.2. Çekme Testi Kırılmış Polimer Numune

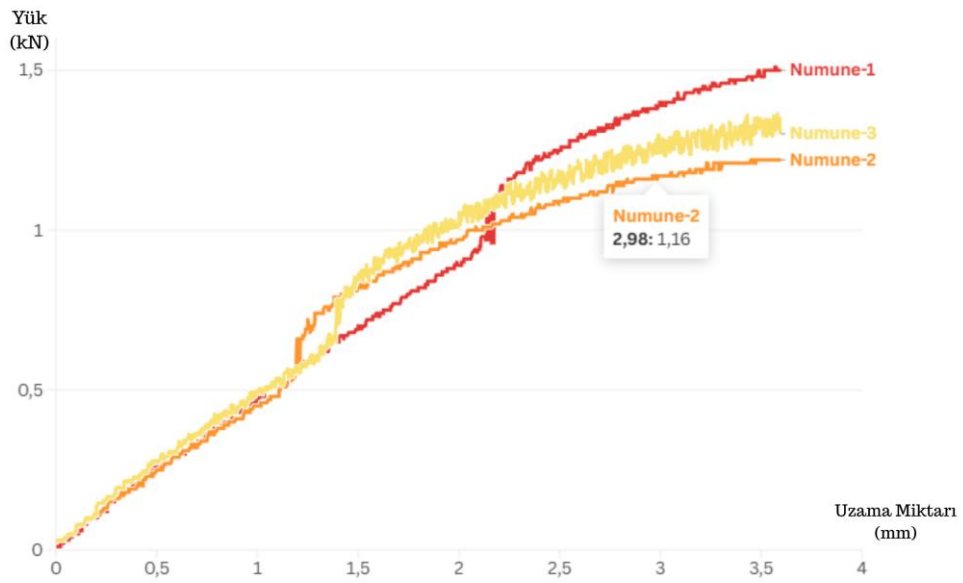
Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de deneylere ait görseller verilmiştir. Bu kapsamda, PLA, PETG ve PC gibi malzemelerin mekanik yanıtları ile karbon fiber katkılı PLA’nın kompozit yapısı arasındaki farklar detaylı olarak değerlendirilmiş, özellikle PLA-CF numunelerinde yüksek rijitlik ve mukavemet değerleri elde edilmiştir. Böylece, deneysel ve sayısal sonuçlar birlikte ele alınarak, alternatif polimer malzemelerin savunma sanayinde küçük silah gövdeleri gibi kritik uygulamalardaki potansiyeli tartışılmıştır.

3.2.1 Deney Verileri

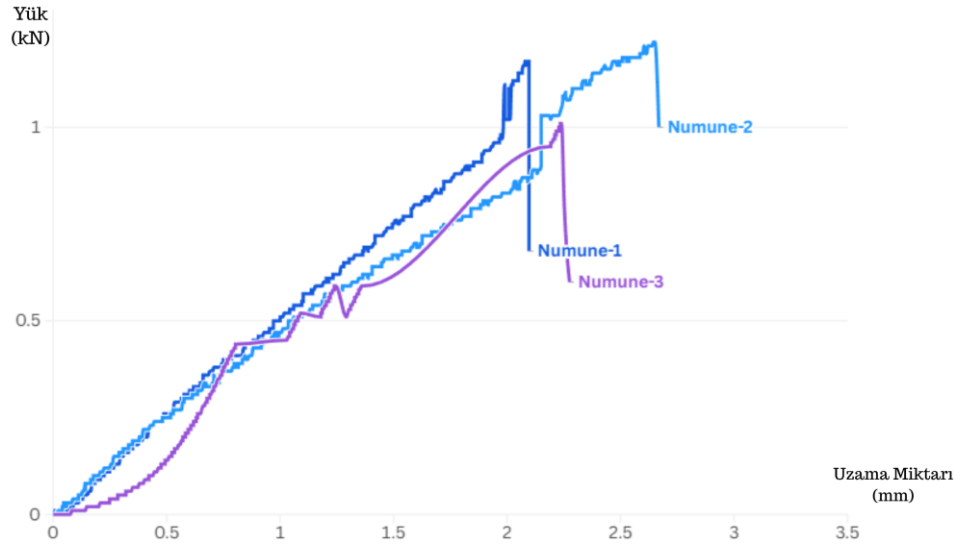
Çekme testi sonucunda 9 farklı numuneyle 3'er kez deney yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre oluşturulan grafikler aşağıdaki gibidir:



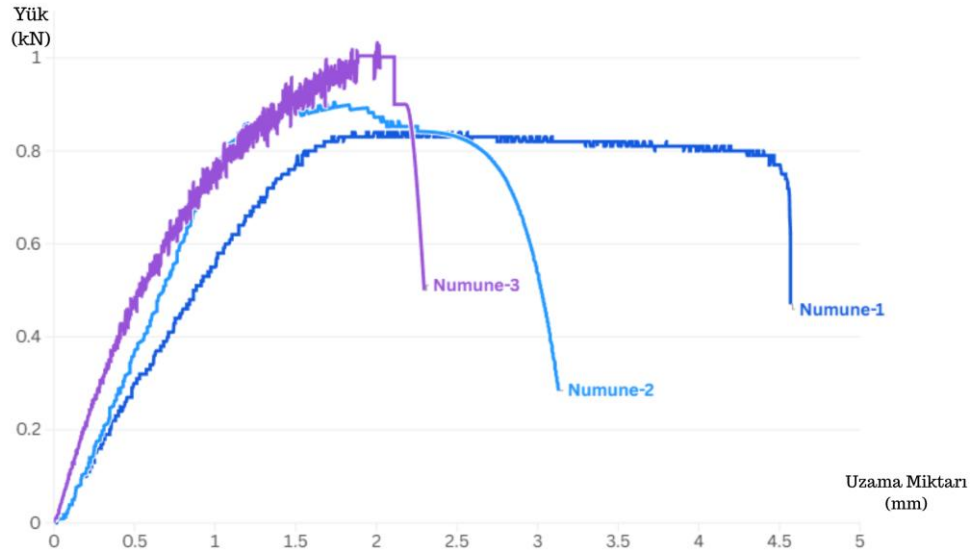
Şekil 3.3. PC %30 Deney Verileri



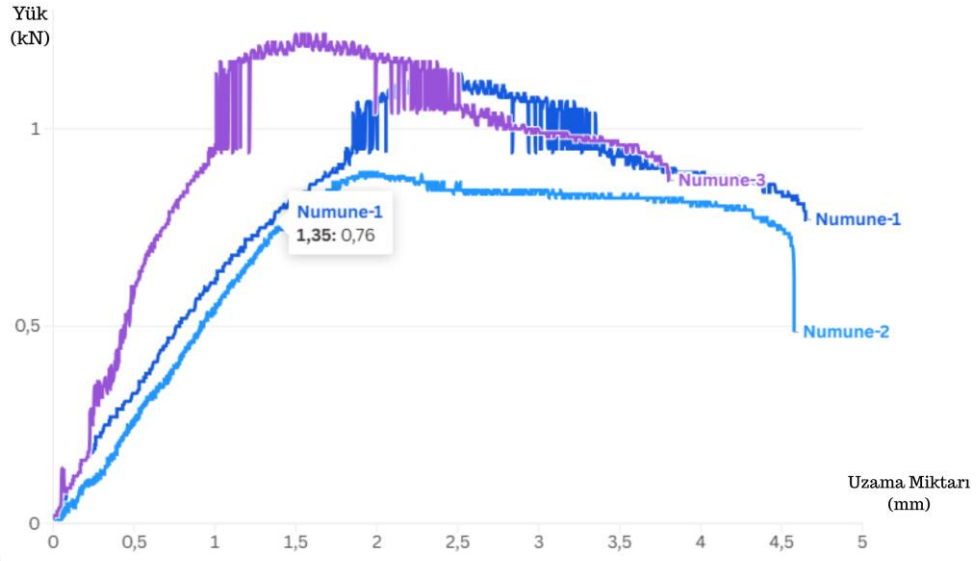
Şekil 3.4. PC %50 Deney Verileri



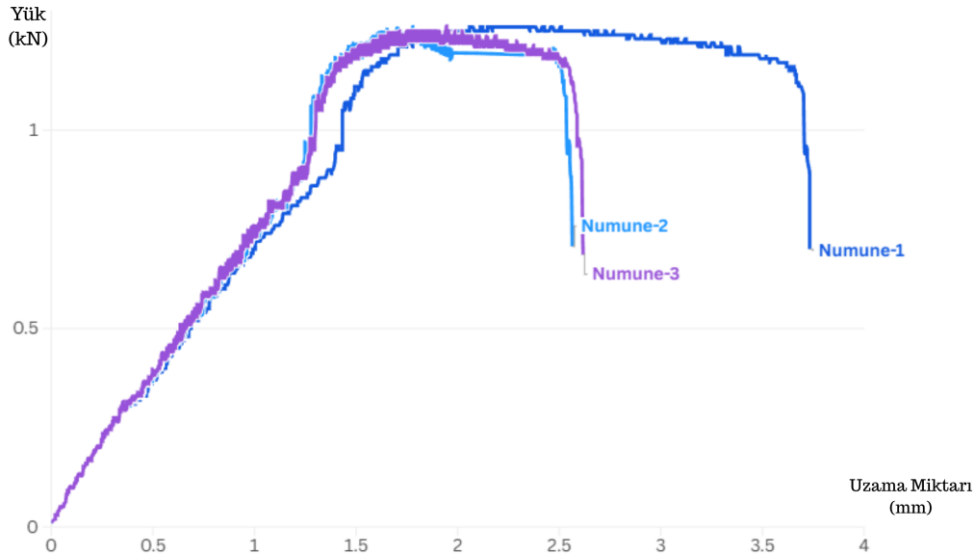
Şekil 3.5. PC %70 Deney Verileri



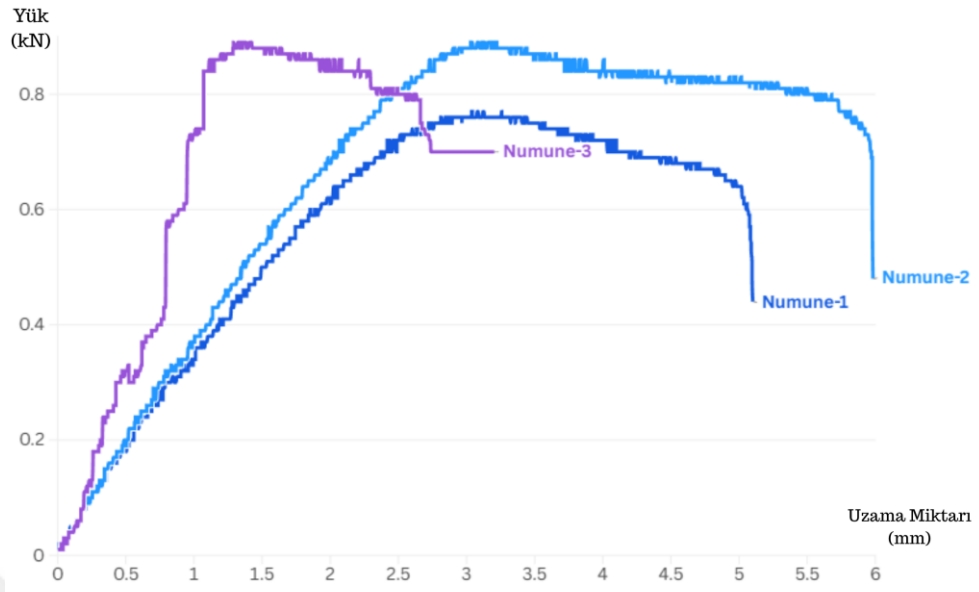
Şekil 3.6. PLA-CF %30 Deney Verileri



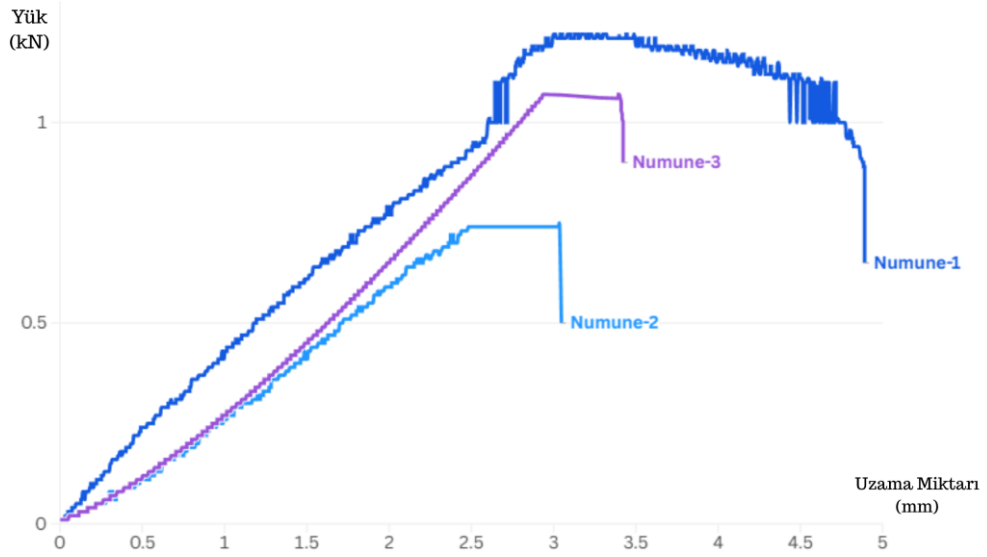
Şekil 3.7. PLA-CF %50 Deney Verileri



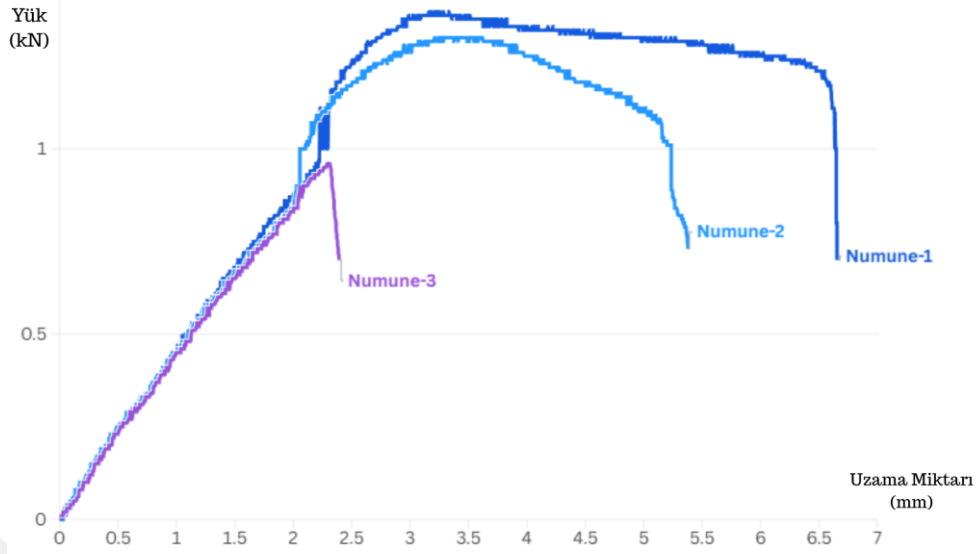
Şekil 3.8. PLA-CF %70 Deney Verileri



Şekil 3.9. PETG %30 Deney Verileri



Şekil 3.10. PETG %50 Deney Verileri



Şekil 3.11. PETG %70 Deney Verileri

PC %30 için deney verileri Şekil 3.3'te, PC %50 için Şekil 3.4'te, PC %70 için de Şekil 3.5'te yük/şekil değiştirme verileri verilmiştir. PLA-CF %30 için Şekil 3.6'da PLA-CF %50 için Şekil 3.7'de, PLA-CF %70 için Şekil 3.8'de deney sonuçları gösterilmiştir. PETG %30 için Şekil 3.9'da PETG %50 için Şekil 3.10'da PETG %70 için de Şekil 3.11'de deney verileri gösterilmiştir. Tüm verileri topladığımızda ortaya çıkan değerler Tablo 3.1'de paylaşılmıştır.

Yapılan üç farklı çekme testi sonucunda elde edilen eğriler, genel davranış bakımından benzer bir eğilim göstermelerine rağmen, numuneler arasında belirli oranda farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu farklılıkların temel nedeni, özellikle 3B baskı yöntemiyle üretilen polimer numunelerde görülen üretim kaynaklı değişkenliklerdir. (Parker, 2023)

Katman yönü, doluluk oranı, baskı hızı, soğuma koşulları ve malzeme içi boşlukların dağılımı gibi parametreler, numunenin mekanik özelliklerinde mikroyapısal düzeyde farklılıklar oluşturabilmektedir. Ayrıca test sırasında oluşan çevresel koşullar (sıcaklık, nem) ve cihazın hassasiyet limitleri de yük-şekil değiştirme davranışında küçük sapmalara yol açabilmektedir. Elde edilen eğriler incelendiğinde, Şekiller 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.8, 3.10, 3.11'de "Numune-1" Şekil 3.7

ve Şekil 3.9’da “Numune 2” olarak adlandırılan test sonucunun hem tepe yük hem de şekil değiştirme bakımından ortalama eğilimle en uyumlu olduğu, ayrıca deneysel olarak en kararlı kırılma davranışını sergilediği görülmüştür. Bu nedenle, ilerleyen analizlerde temsil edici veri olarak dikkate alınmış ve karşılaştırmalı değerlendirmeler bu numune üzerinden gerçekleştirilmiştir.

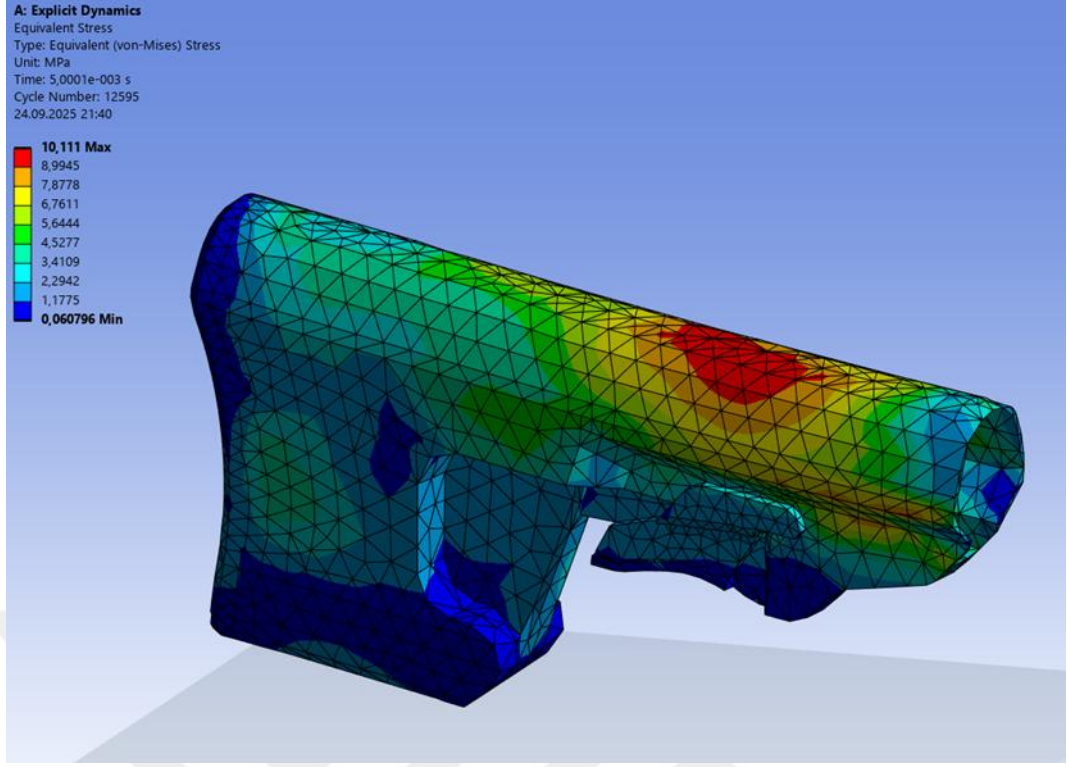
Tablo 3.1. Farklı Malzeme ve Doluluk Oranındaki Yapıların Çekme Testi Sonucunda Elde Edilen Deneysel Verilerin Karşılaştırılması

Malzeme	Maksimum Yük(kN)	Maksimum Gerilme Dayanımı(N/mm ²)	Deplasman(mm)	Elastite Modülü(MPa)
PETG-30	0,89	22,49	5,98	482
PETG-50	1,22	30,87	4,89	554
PETG-70	1,37	32,43	4,52	666
PLA-CF-30	0,84	21,16	4,65	736
PLA-CF-50	1,14	27,84	4,56	758
PLA-CF-70	1,26	30,89	3,73	977
PC-30	1,25	31,02	4,81	605
PC-50	1,51	36,838	3,59	673
PC-70	1,63	38,72	2,09	743

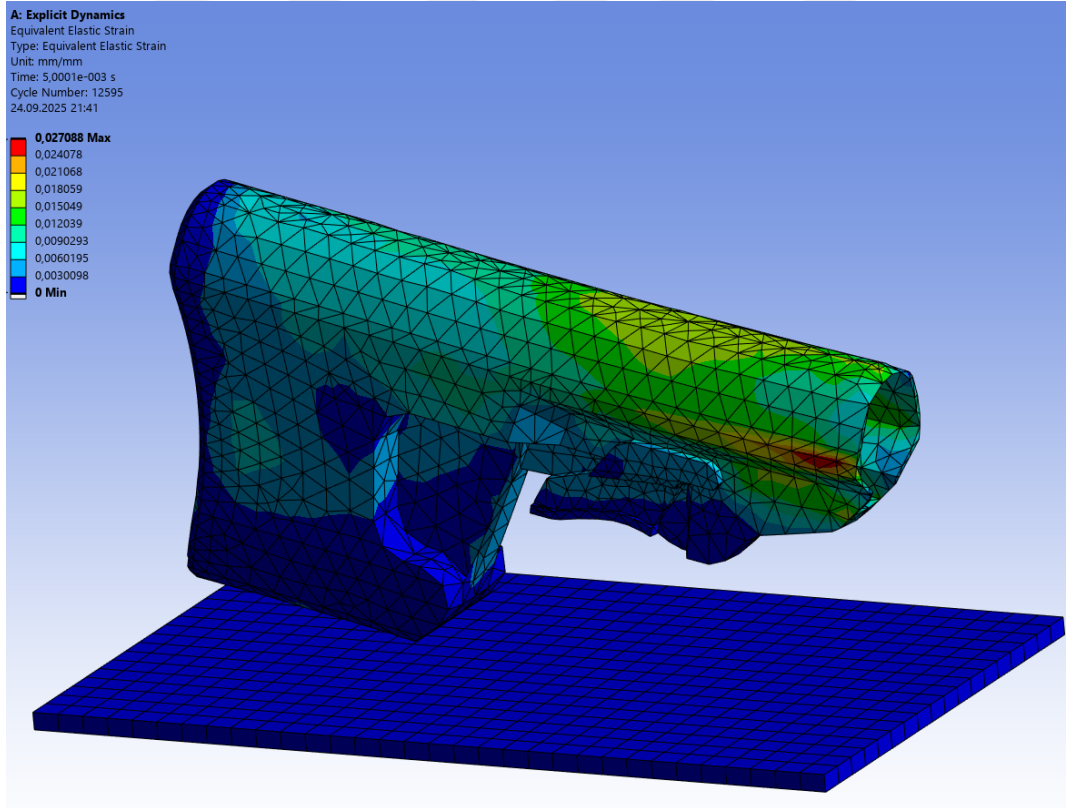
Tablo 3.1’den elde edilen veriler incelendiğinde, doluluk oranının artışıyla birlikte tüm malzemelerde elastisite modülü ve maksimum yük değerlerinde belirgin bir iyileşme gözlenmiştir. PLA-CF numuneler, karbon fiber takviyesinin etkisiyle en yüksek elastisite modülünü (977 MPa) göstermiş ve bu sayede rijitlik açısından diğer malzemelerin önüne geçmiştir. Bununla birlikte, maksimum gerilme dayanımı açısından en yüksek değerlerin PC numunelerde elde edilmesi dikkat çekicidir; PC-70 numunesi 38,72 MPa ile en yüksek gerilme değerine ulaşmıştır. Bu durum, PLA-CF’nin lif takviyesi sayesinde rijitlik kazandığını ancak kırılabilirliğinin artması nedeniyle nihai gerilme dayanımında PC kadar yüksek performans sergileyemediğini ortaya koymaktadır. PC malzemelerin daha sünek yapısı, yük altında daha fazla enerji absorbe etmesine ve kopma anına kadar dayanımını korumasına imkân tanımıştır. Öte yandan PETG numuneler, PLA-CF ve PC’ye kıyasla hem elastisite modülü hem de gerilme dayanımı açısından daha düşük performans göstermiş, ancak sünek davranışı nedeniyle şekil değiştirme kapasitesinde daha dengeli sonuçlar sunmuştur. Genel olarak değerlendirildiğinde, PLA-CF rijitlik bakımından, PC ise gerilme dayanımı açısından öne çıkmakta; doluluk oranı ise her iki parametre üzerinde kritik bir rol üstlenmektedir.

3.3 Sonlu Elemanlar Analizi

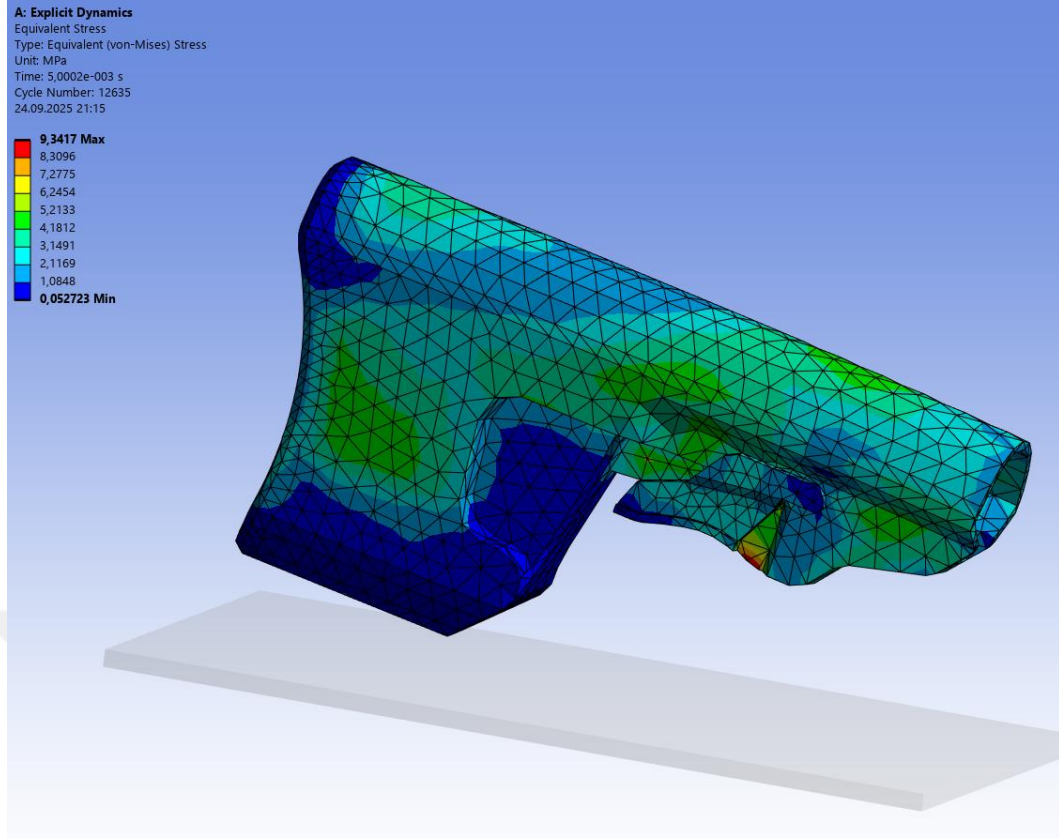
Bu çalışmada, farklı doluluk oranlarının mekanik performans üzerindeki etkisini incelemek amacıyla üç farklı polimer malzeme (PLA-CF, PETG ve PC) kullanılarak numuneler tasarlanmıştır. Her bir malzeme için %30, %50 ve %70 olmak üzere üç farklı doluluk oranında numune modellenmiş ve elde edilen veriler, sonlu elemanlar analizi yöntemiyle ANSYS yazılımında değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde, Analizlerde deneysel çekme testlerinden elde edilen malzeme bilgileri kullanılmıştır. Bu sayede, farklı doluluk oranlarına sahip numunelerin darbe dayanımları karşılaştırmalı olarak incelenmiş hem malzeme türünün hem de doluluk oranının numune davranışı üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur. 1,5 m yükseklikten düşme simüle edilmiş olup malzemenin yere vurma anındaki hızı 5440 mm/s olarak belirlenmiştir.



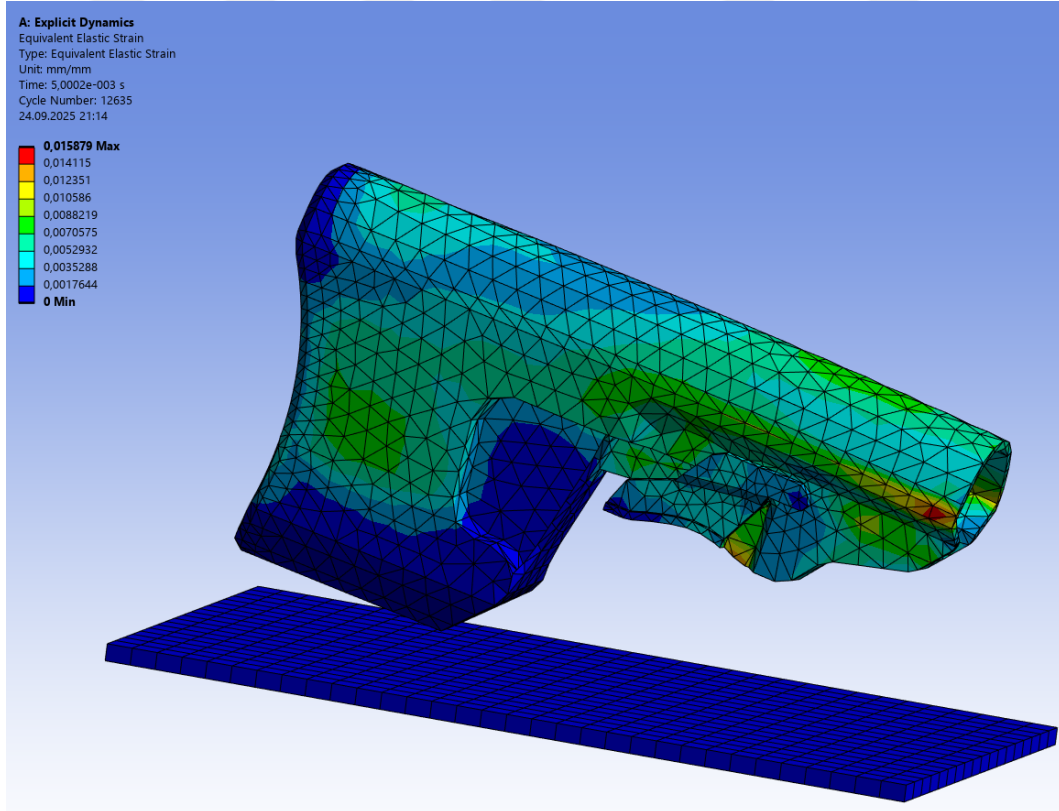
Şekil 3.12. PC %30 Anlık Gerilme Değeri



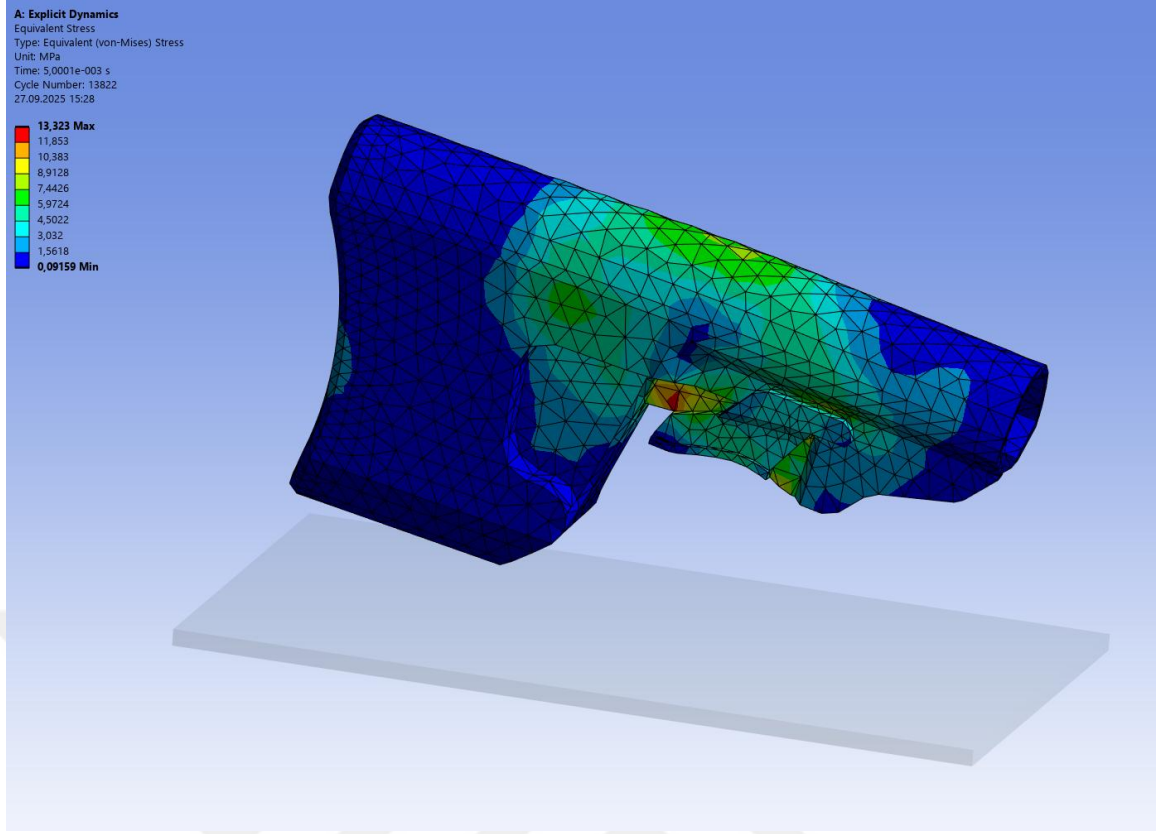
Şekil 3.13. PC %30 Anlık Şekil Değişimi



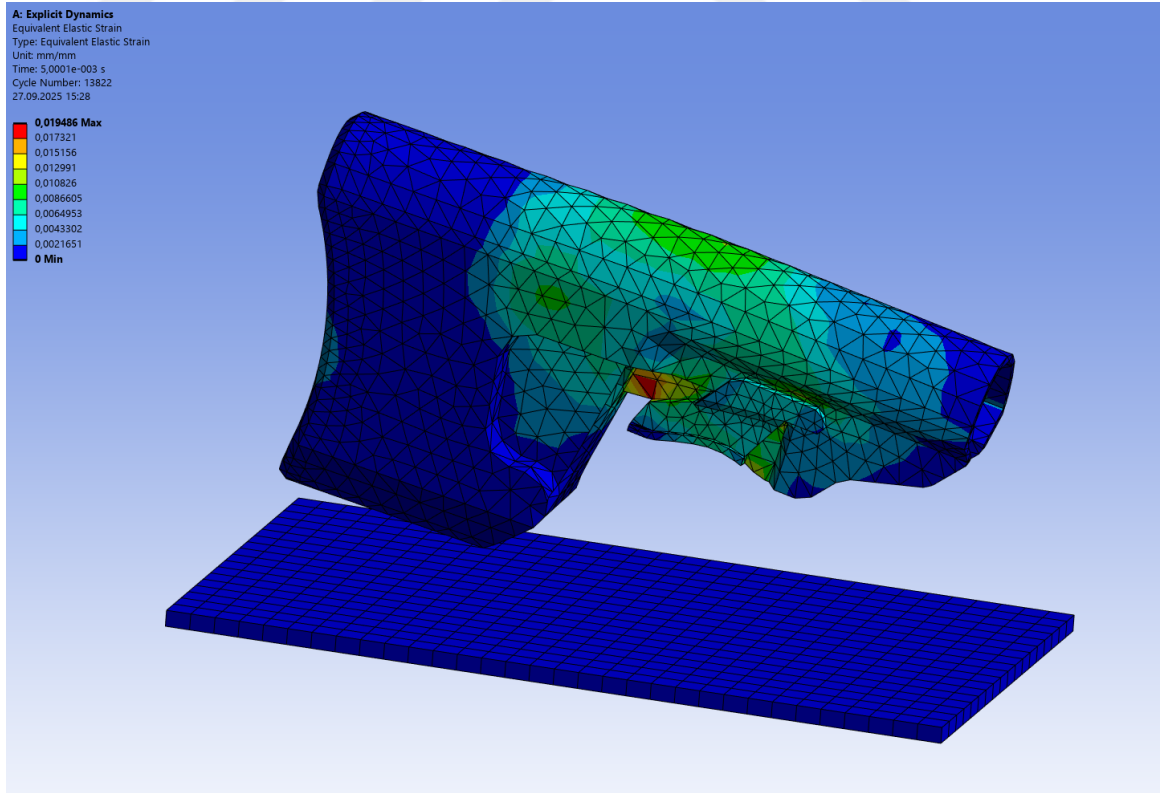
Şekil 3.14. PC %50 Anlık Gerilme Değeri



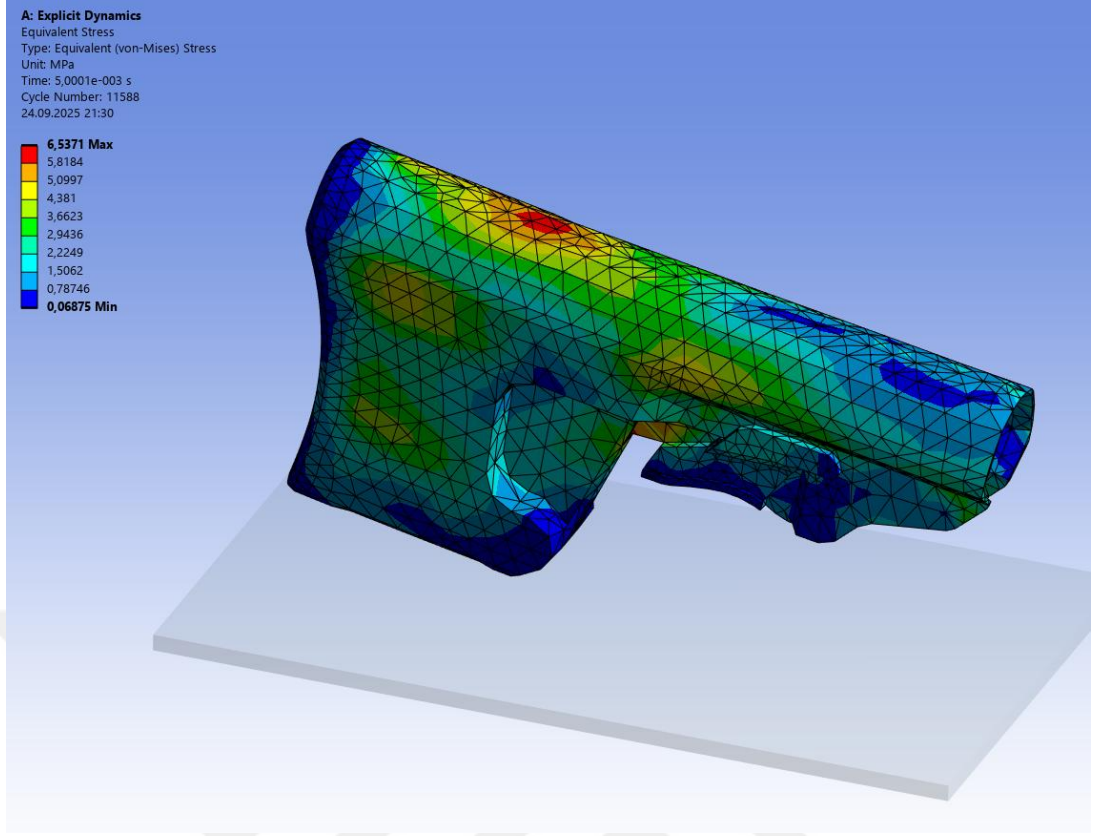
Şekil 3.15. PC %50 Anlık Şekil Değişimi



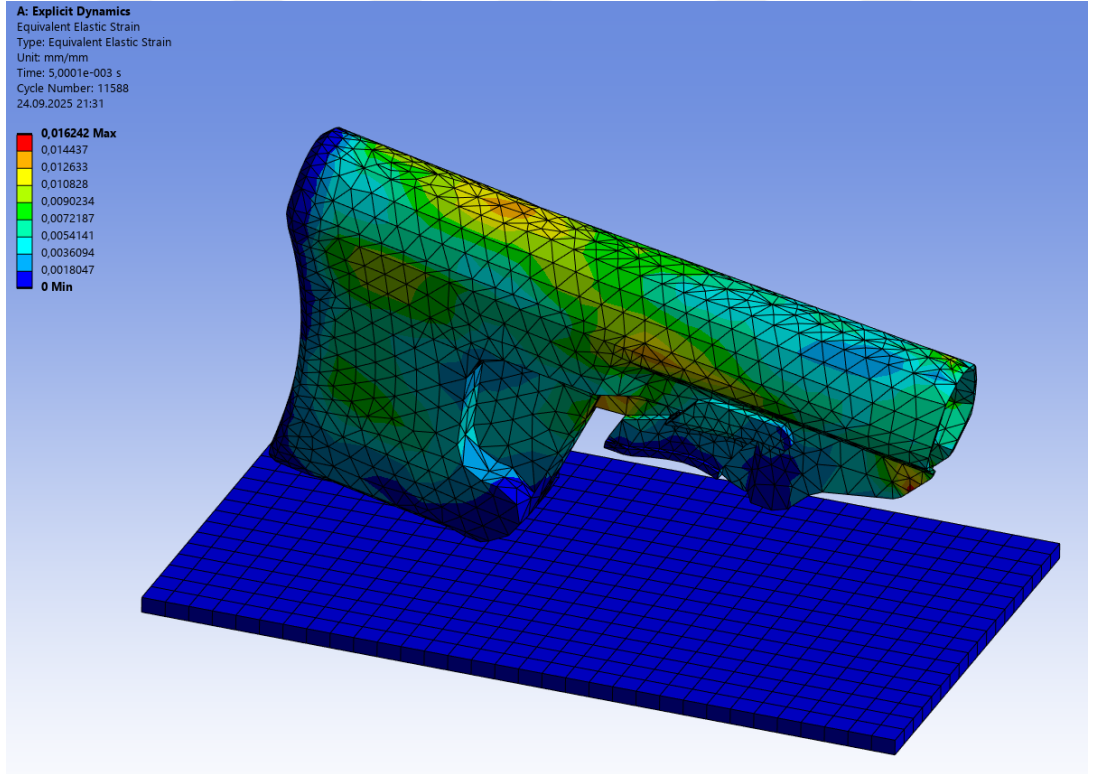
Şekil 3.16. PC %70 Anlık Gerilme Değeri



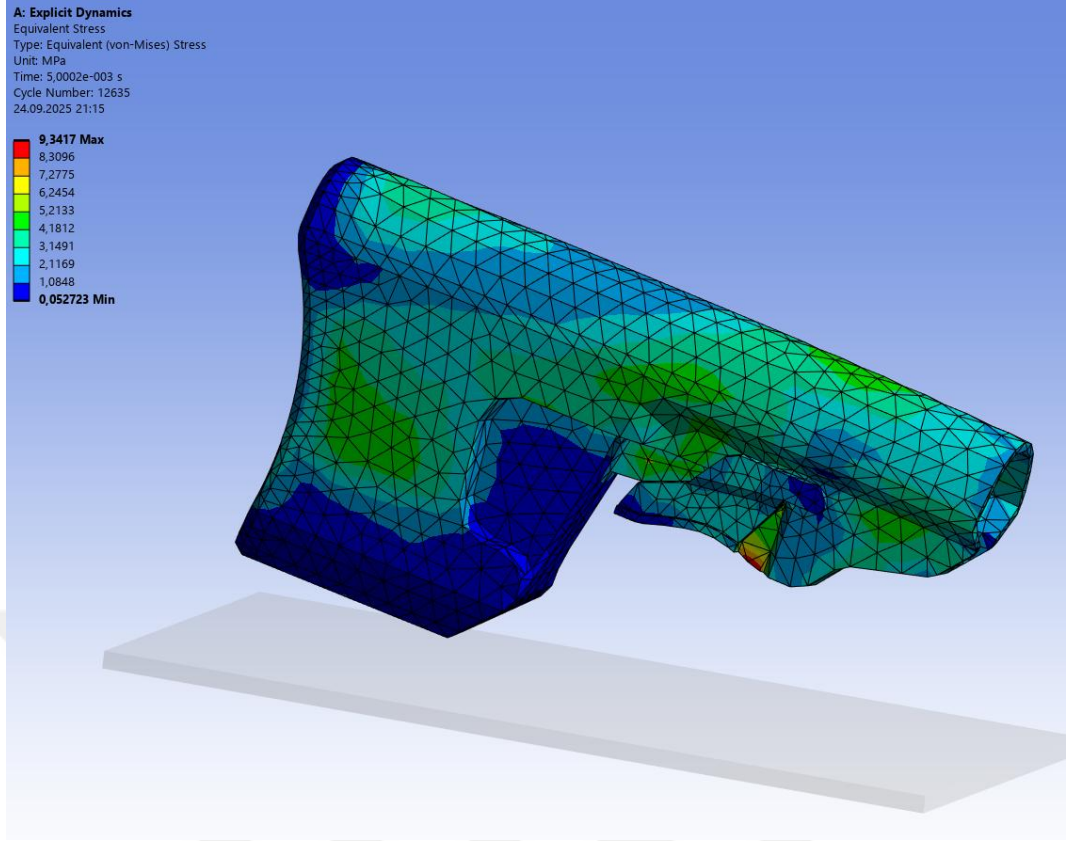
Şekil 3.17. PC %70 Anlık Şekil Değişimi



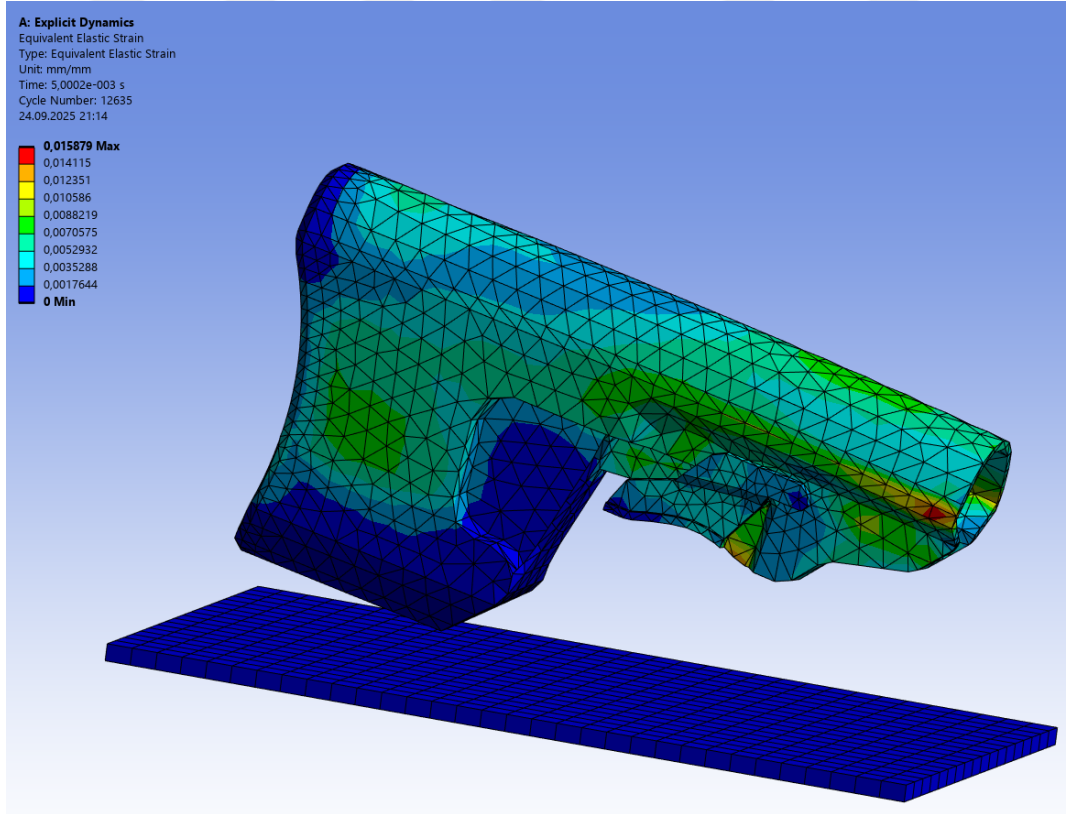
Şekil 3.18. PETG %30 Anlık Gerilme Değeri



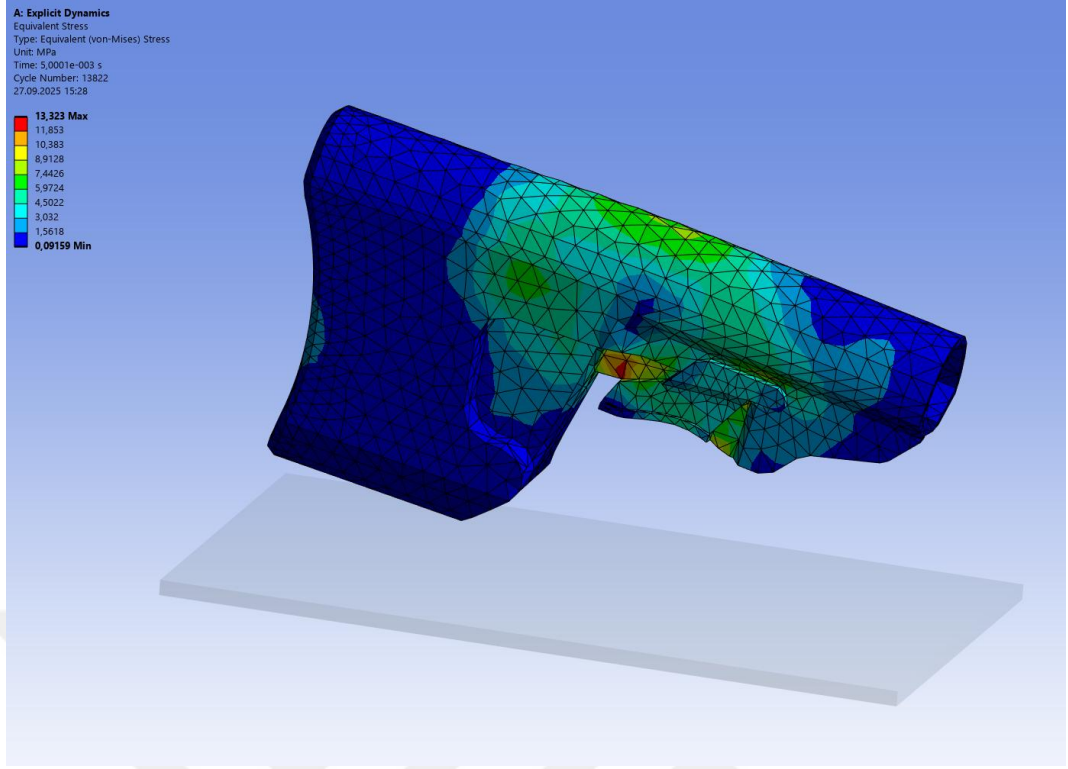
Şekil 3.19. PETG %30 Anlık Şekil Değişimi



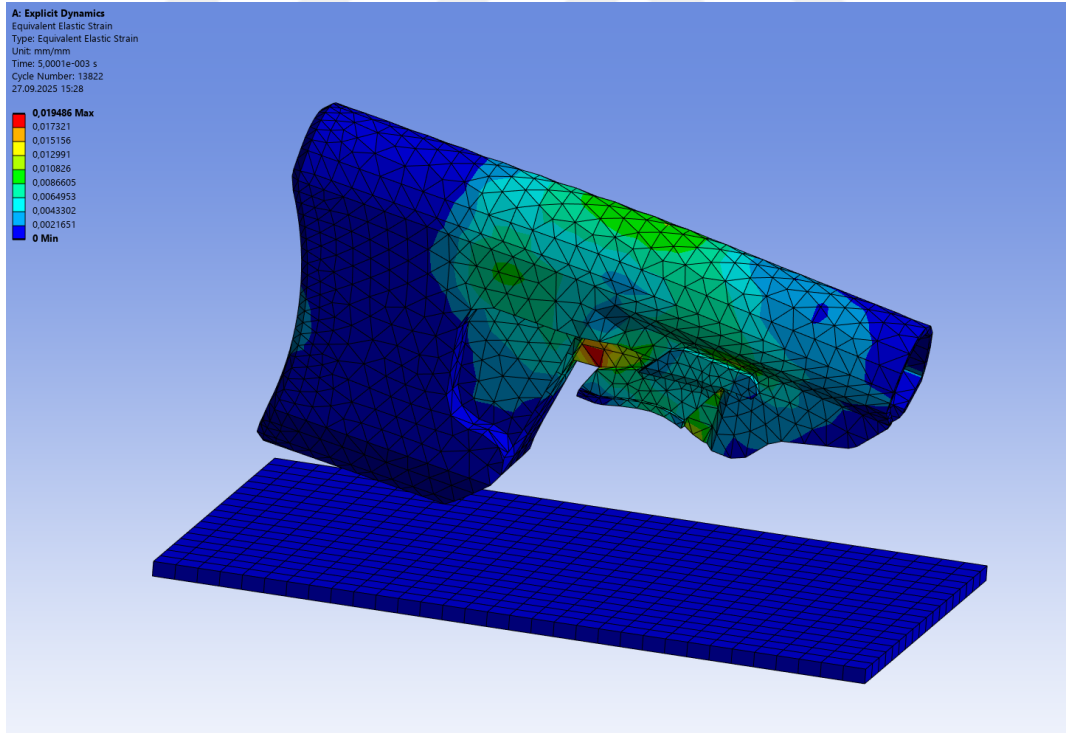
Şekil 3.20. PETG %50 Anlık Gerilme Değeri



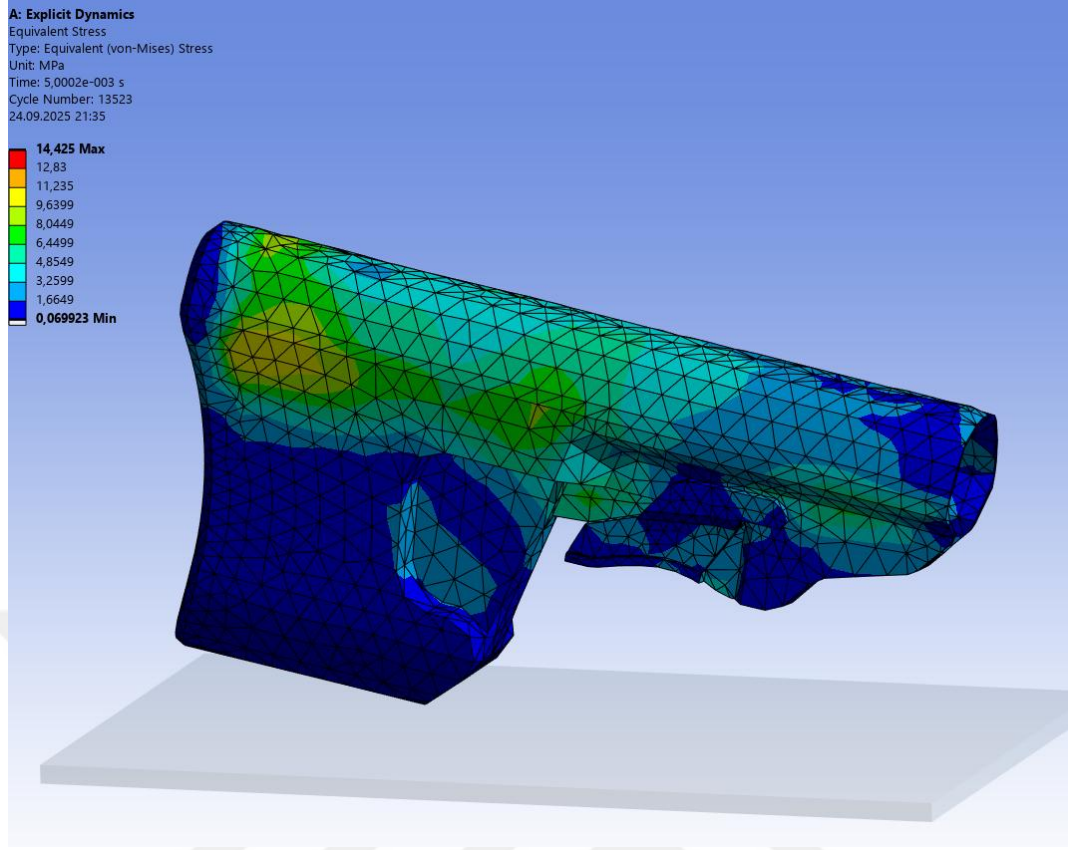
Şekil 3.21. PETG %50 Anlık Şekil Değişimi



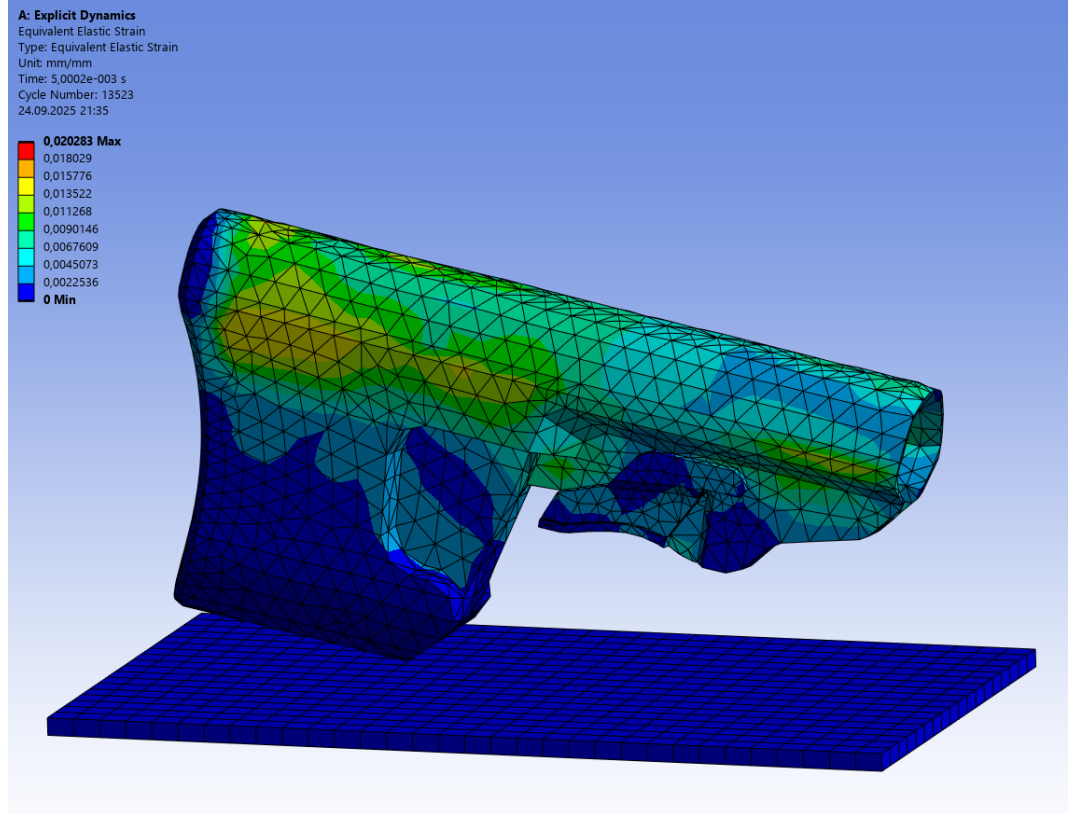
Şekil 3.22. PETG %70 Anlık Gerilme Değeri



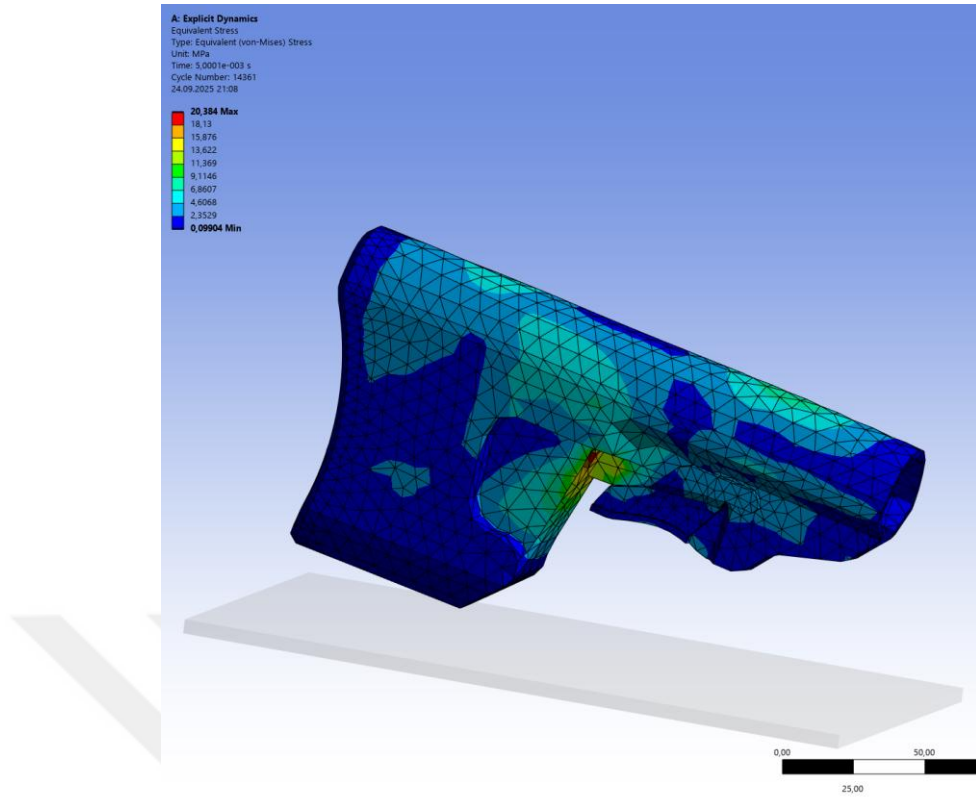
Şekil 3.23. PETG %70 Anlık Şekil Değişimi



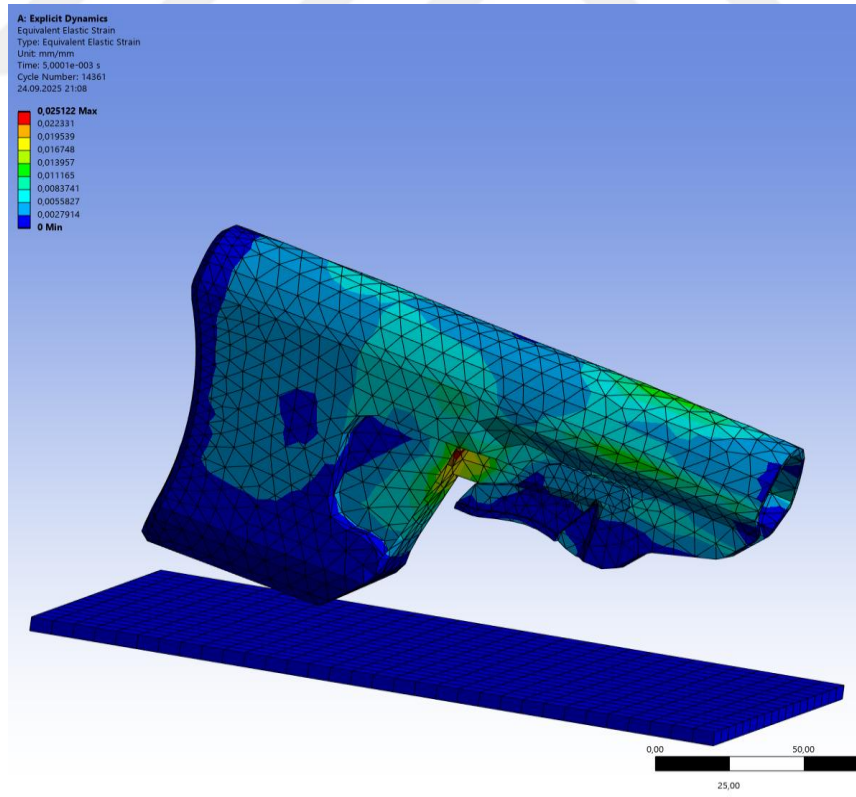
Şekil 3.24. PLA-CF %30 Anlık Gerilme Değeri



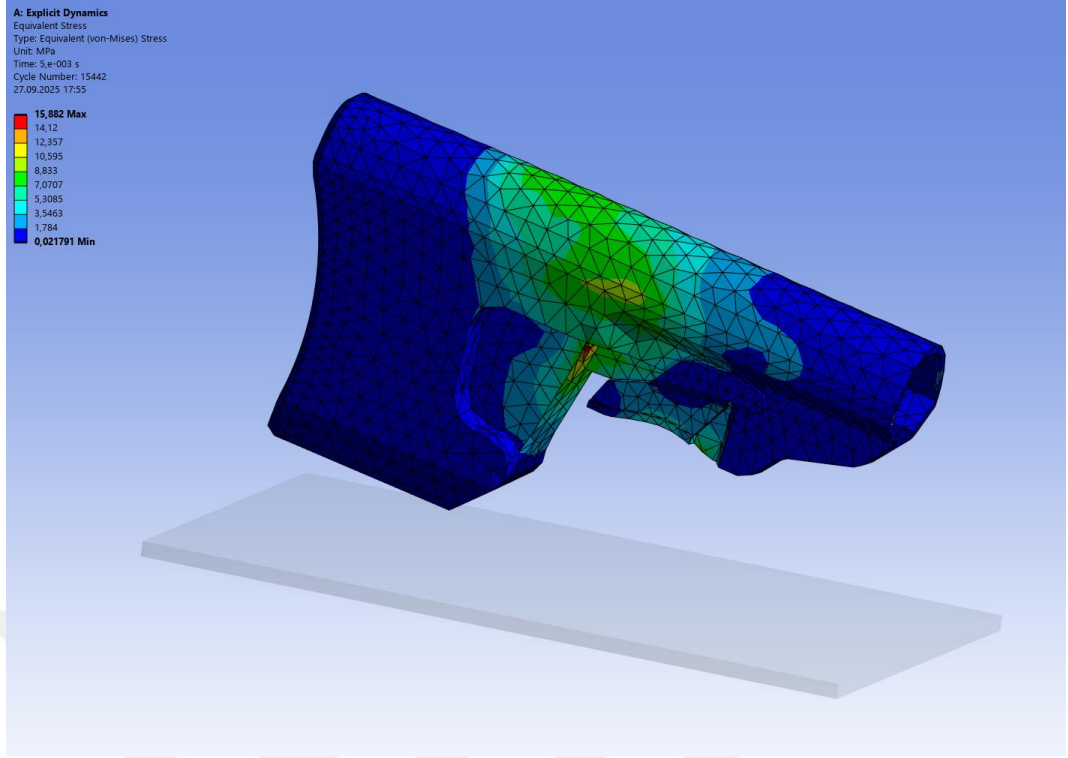
Şekil 3.25. PLA-CF %30 Anlık Şekil Değişimi



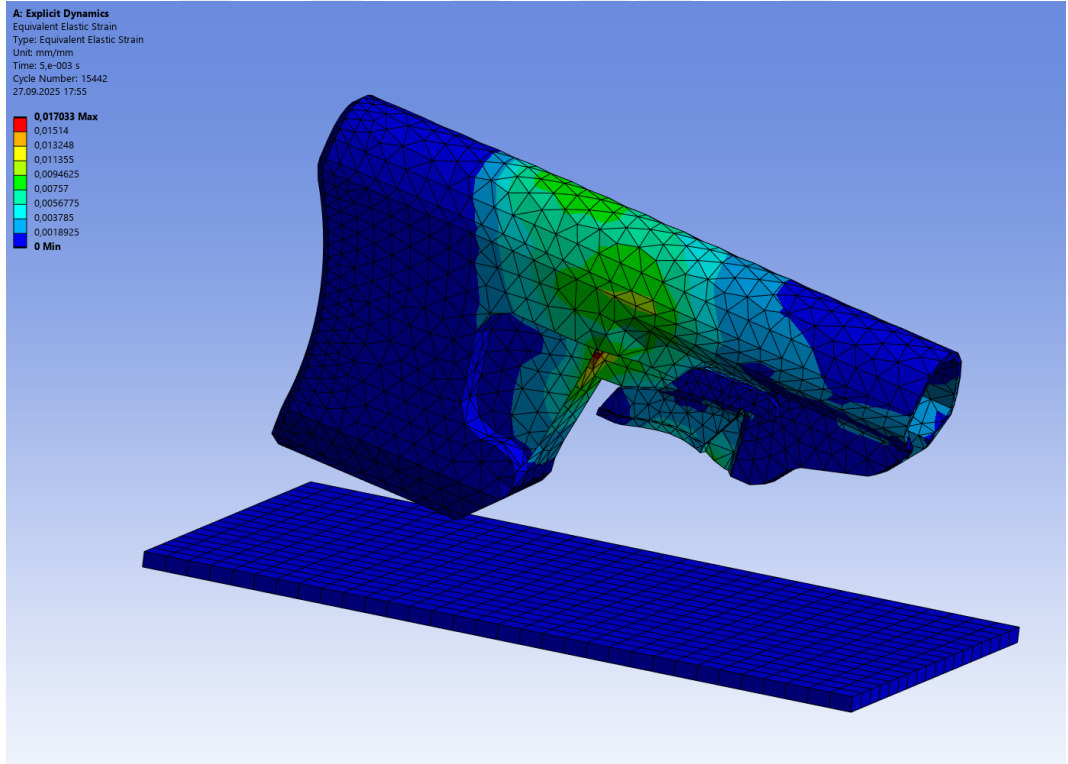
Şekil 3.26. PLA-CF %50 Anlık Gerilme Dayanımı



Şekil 3.27. PLA-CF %50 Anlık Şekil Değişimi



Şekil 3.28. PLA-CF %70 Anlık Gerilme Dayanımı



Şekil 3.29. PLA-CF %70 Anlık Şekil Değişimi

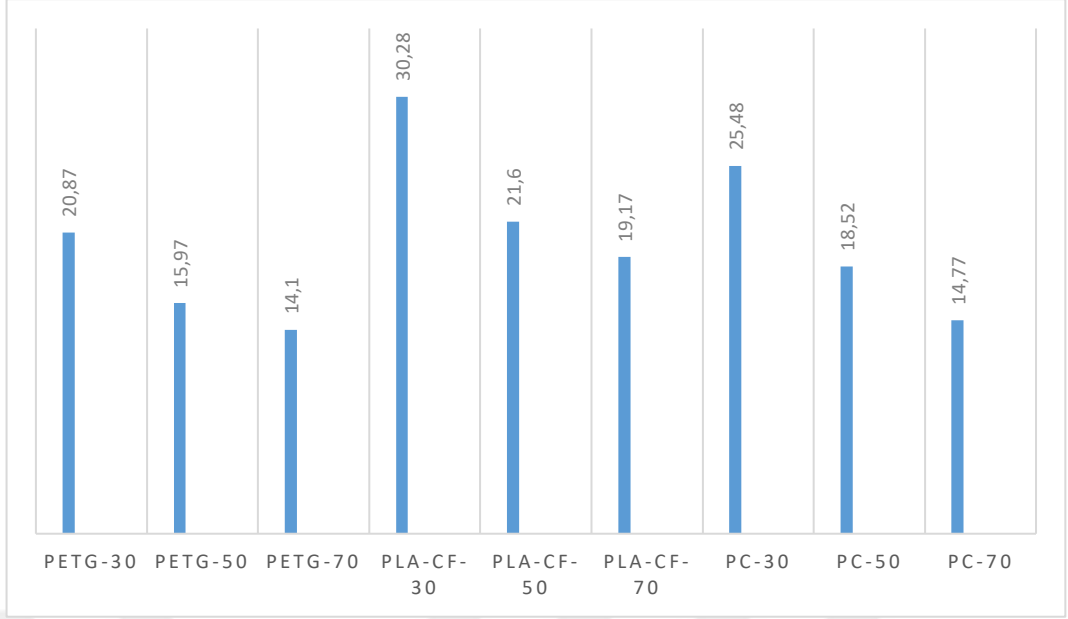
Tablo 3.2. Normal Düşme Analiz Sonuçları

Malzeme	Anlık Gerilme Değeri(MPa)	Anlık Şekil Değişimi(%)
PETG-30	20,87	0,0619
PETG-50	15,97	0,0418
PETG-70	14,10	0,0350
PLA-CF-30	30,28	0,0588
PLA-CF-50	21,60	0,0354
PLA-CF-70	19,17	0,0325
PC-30	25,48	0,0603
PC-50	18,52	0,0398
PC-70	14,77	0,0346

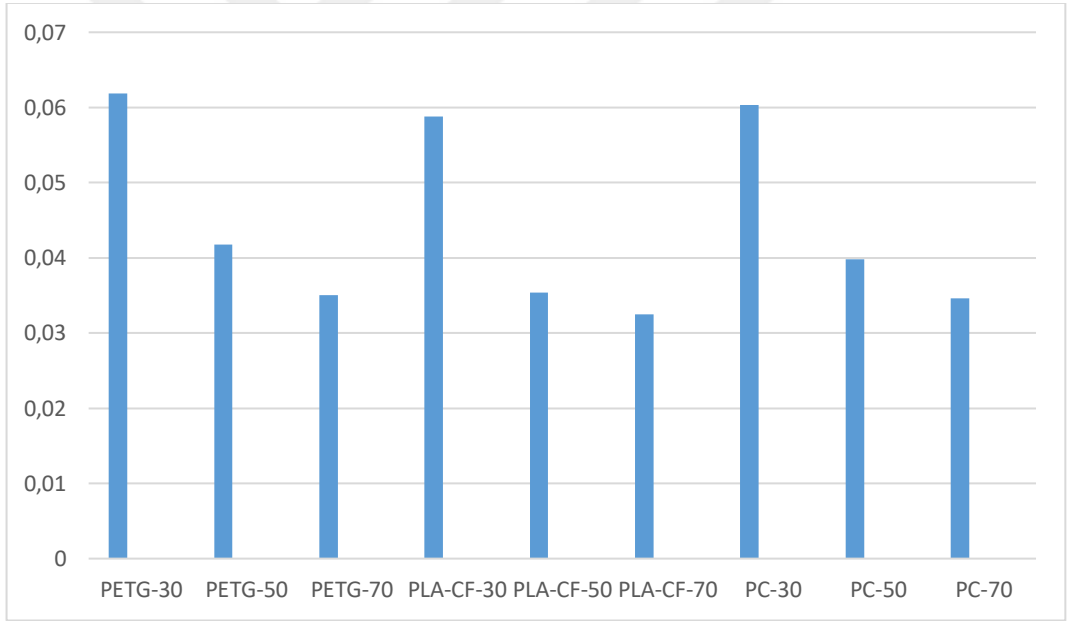
Tablo 3.2’den elde edilen veriler, farklı polimer malzemelerin (PETG, PLA-CF ve PC) üç farklı doluluk oranında (%30, %50 ve %70) çekme testlerine ait Anlık gerilme değeri ve Anlık şekil değiştirme değerlerini ortaya koymaktadır. Genel eğilim incelendiğinde, tüm malzemelerde doluluk oranının artmasıyla birlikte maksimum gerilme dayanımında belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Örneğin, PETG’de %30 dolulukta 20,87 MPa olan gerilme dayanımı %70 dolulukta 14,10 MPa seviyesine gerilemiştir. Benzer şekilde, PC malzemesinde %30 dolulukta 25,48 MPa değerine ulaşılırken, %70 dolulukta bu değer 14,77 MPa’a düşmüştür. Bu durum, düşük doluluk oranlarında daha homojen yük dağılımı ve yüksek malzeme içi enerji sönmüleme kapasitesinden kaynaklanabilir.

PC %30 için Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’ te analiz değerleri gösterilmiştir. PC %50 için Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’te analiz sonuçları gösterilmiştir. PC %70 için Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de analiz sonuçları gösterilmiştir. PETG %30 için analiz değerleri Şekil 3.18 ve Şekil 3.19 ‘da belirtilmiştir. PETG %50 için Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de analiz sonuçları gösterilmiştir. PETG %70 için Şekil 3.22 ve 3.23 te gösterilmiştir. Aynı şekilde PLA-CF %30 için Şekil 3.24 ve Şekil 3.25’te sonuçlar gösterilmiştir. PLA-CF-%50 için analiz sonuçları Şekil 3.26 ve Şekil 3.27’de gösterilmiştir. PLA-CF %70 için Şekil 3.28 ve Şekil 3.29’da sonuçlar gösterilmiştir. Buna bağlı olarak malzemeler arasında kıyaslama yapıldığında, PLA-CF özellikle %30 doluluk oranında 30,28 MPa ile en yüksek maksimum gerilme dayanımını sergilemiştir. Bu sonuç, karbon fiber katkısının mekanik performansı belirgin şekilde artırdığını göstermektedir. Buna karşın, aynı malzemede doluluk oranı arttıkça dayanım değerlerinde düşüş eğilimi dikkat çekmektedir (%70 dolulukta 19,17 MPa). Anlık şekil değiştirme değerleri incelendiğinde ise genel olarak %30 doluluk oranında en yüksek deformasyon değerleri elde edilmiştir. Örneğin, PETG-30’da 0,0619 mm, PC-30’da 0,0603 mm iken, doluluk oranı arttıkça bu değerlerin 0,03 mm civarına kadar düştüğü görülmektedir. Bu durum, düşük doluluk oranlarının malzemeye daha yüksek süneklik ve deformasyon kabiliyeti kazandırdığını göstermektedir.

Sonuç olarak, elde edilen veriler doluluk oranının artmasının malzemenin hem gerilme dayanımı hem de şekil değiştirme kapasitesi üzerinde doğrudan etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle PLA-CF malzemesinin düşük doluluk oranlarında sağladığı yüksek dayanım, fiber takviyesinin mekanik performansı artırıcı etkisini net bir biçimde ortaya koymaktadır. Bu bulgular, polimer esaslı malzemelerin mekanik özelliklerinin yalnızca malzeme türüne değil, aynı zamanda doluluk oranına da yüksek derecede bağlı olduğunu ve tasarım süreçlerinde bu iki parametrenin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.



Şekil 3.30. Analiz Değerlerine Göre Anlık Gerilme Değerleri Karşılaştırması



Şekil 3.31. Analiz Değerlerine Göre Anlık Şekil Değişimi Karşılaştırması

Şekil 3.30’da farklı malzeme türleri ve doluluk oranları için elde edilen anlık gerilme değerleri karşılaştırılmaktadır. Sonuçlar, PLA-CF-30 numunesinin 30,28 MPa ile en yüksek tepe gerilmesine ulaştığını, bunu PC-30 ve PLA-CF-50 numunelerinin izlediğini göstermektedir. Bu durum, karbon fiber takviyesi ve artan doluluk oranı ile sistem rijitliğinin yükselmesi sonucunda, darbe yükünün daha kısa temas süresi içinde ve daha yüksek gerilme seviyeleriyle aktarıldığını

göstermektedir. Buna karşın PETG ve bazı yüksek doluluk oranına sahip konfigürasyonlarda (örneğin PC-70), anlık gerilme değerlerinin daha düşük gerçekleşmesi, bu yapıların darbe etkisini daha geniş bir deformasyon bölgesine yayarak tepe gerilme büyüklüğünü sınırladığını düşündürmektedir. Dolayısıyla düşük anlık gerilme değerleri, özellikle darbe yükleri altında kritik kesitlerde gerilme yığılmalarının azaltılmasının hedeflendiği uygulamalar için daha avantajlı bir davranışa işaret etmektedir. Elde edilen bulgular, malzeme türü ve doluluk oranının temas rijitliği ve tepe gerilme seviyesi üzerinde belirleyici olduğunu ve tasarım sürecinde bu parametrelerin kontrollü biçimde seçilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.



4. TARTIŞMA

Gerçekleştirilen düşme testleri sonucunda, parçanın darbe açısının mekanik davranış üzerinde son derece belirleyici olduğu açıkça görülmektedir. Normal düşme senaryosunda, parçanın zemine geniş yüzeyiyle temas etmesi sebebiyle darbe enerjisi gövdeye homojen bir şekilde dağılmış, bu nedenle ölçülen maksimum gerilme dayanımları görece düşük kalmıştır. Ancak deformasyon dağılımı daha yaygın gerçekleşmiş ve malzeme enerjiyi sünek deformasyon yoluyla absorbe etme eğilimi göstermiştir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda, hafif silah parçalarının üretiminde polimer malzemelerin kullanımı hem teknik hem de operasyonel açılardan yeniden değerlendirilmiştir. Geleneksel olarak metal malzemeler, özellikle alüminyum alaşımları (örneğin 7075-T6) ve çelik türevleri, bu tür askeri ve yarı askeri bileşenlerde tercih edilse de günümüzde polimer bazlı mühendislik malzemeleri ciddi bir alternatif haline gelmiştir. Ronin kit ve teleskobik dipçik gibi fonksiyonel ve yapısal bileşenlerde metal kullanımı, yüksek mukavemet, termal direnç ve uzun ömür açısından avantaj sağlasa da bu durum beraberinde yüksek ağırlık, üretim maliyeti ve karmaşık işleme gereksinimlerini de getirir. Özellikle mobil birlikler ve özel operasyon birimleri için silahın toplam ağırlığı, kullanıcı ergonomisi üzerinde doğrudan etkilidir. Metal sistemlerle donatılmış bir platform, saha koşullarında taşıma konforunu ve manevra kabiliyetini olumsuz etkileyebilir.

Tüm bu veriler ışığında değerlendirildiğinde, bu çalışmadaki Ronin kit ve dipçik tasarımı özelinde yüksek kaliteli, katkılandırılmış mühendislik polimerleriyle üretim hem kullanıcı dostu hem de üretim verimliliği açısından daha avantajlı bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Ancak ağır hizmet, yüksek ısı ve darbe altında çalışacak parçalar için metal sistemlerin halen kritik öneme sahip olduğu, hibrit tasarımların ise iki malzeme grubunun avantajlarını birleştirebileceği düşünülmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu analizlerden elde edilen bulgular, teleskobik dipçik yapısında kullanılan polimer malzemenin performansının yalnızca mukavemet değerine değil, aynı zamanda malzemenin doluluk oranına ve iç yapısına da doğrudan bağlı olduğunu göstermektedir. Genel olarak PLA-CF malzemesi, yüksek dayanım ve rijitlik gerektiren savunma sanayi bileşenleri için en uygun malzeme olarak öne çıkmıştır. Karbon fiber takviyesi, özellikle düşük doluluk oranlarında yapıya önemli ölçüde rijitlik kazandırmış ve yük aktarımını optimize etmiştir. Ancak bu durum, darbe enerjisinin sönümlenmesi açısından dezavantaj oluşturabilir. PC malzemesi, PLA-CF'ye kıyasla daha düşük gerilme değerlerine ulaşmasına rağmen, elastik deformasyon kapasitesi sayesinde yapısal bütünlüğünü koruyarak iyi bir denge sunmuştur. PETG ise sünek karakteriyle enerji emme kabiliyeti bakımından en avantajlı malzeme olmuş, ancak mukavemet yönünden yetersiz kalmıştır.

Sonuç olarak, yüksek dayanım gerektiren bileşenlerde PLA-CF, tokluk ve şekil değişimi dengesi istenen uygulamalarda PC, enerji absorbe edici veya deformasyona toleranslı sistemlerde ise PETG malzemesi tercih edilmelidir. Bu bağlamda, teleskobik dipçik yapısında optimum performans için malzeme seçimi uygulama koşullarına göre dengeli biçimde yapılmalı; düşük doluluk oranlarında PLA-CF, orta oranlarda PC ve yüksek enerji sönümleme gereksinimlerinde PETG malzemesi önerilmektedir.

Bu deneysel bulgular ışığında, polimer malzemelerin savunma sanayiinde kullanım potansiyeli daha iyi anlaşılmaktadır. Geleneksel olarak metal veya alüminyumdan üretilen parçalara kıyasla, polimerler önemli avantajlar sunmaktadır. Öncelikle maliyet açısından bakıldığında, polimerlerin hammadde fiyatlarının daha düşük olması ve seri üretimde enjeksiyon kalıplama gibi verimli yöntemlerle işlenebilmesi, üretim maliyetlerini ciddi ölçüde düşürmektedir. Ayrıca polimerler hafiflikleri sayesinde, özellikle taşıma kolaylığı ve ergonomi gerektiren sistemlerde büyük avantaj sağlamaktadır. Örneğin Ronin kit tasarımlarında kullanılan polimer gövdeler, kullanıcıya daha hafif, kolay taşınabilir ve ergonomik çözümler sunarken aynı zamanda dayanım açısından da kabul edilebilir seviyeleri korumaktadır.

Üretim açısından değerlendirildiğinde, polimerler karmaşık geometrilerin kısa sürede ve yüksek hassasiyetle üretilebilmesine imkân tanımaktadır. Bu durum savunma sanayiinde özelleştirilmiş tasarımlar, modüler çözümler ve kullanıcı ihtiyaçlarına göre farklı varyasyonların kolayca geliştirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Metal işleme yöntemlerinde yüksek maliyetli ve uzun süreçler gerektiren tasarım değişiklikleri, polimer malzemelerle çok daha kısa sürede hayata geçirilebilmektedir.

Tasarım avantajları ise polimer kullanımını daha da ön plana çıkarmaktadır. RONİN kit tasarımları, polimer gövdeler sayesinde silahların farklı kullanım senaryolarına hızla adapte edilmesine olanak tanımaktadır. Özellikle hafiflik, ergonomi ve modülerlik açısından polimer gövdeler, metal gövdelere kıyasla daha kullanıcı dostu çözümler sunmaktadır. Bunun yanı sıra, teleskobik dipçiklerde polimer malzemelerin sağladığı en önemli faydalardan biri, omuzluk kısmının değiştirilebilir ve yay mekanizmasıyla desteklenebilir şekilde tasarlanabilmesidir. Bu özellik, atıcının farklı koşullarda daha stabil ve konforlu bir atış yapmasını sağlamakta; aynı zamanda geri tepmeyi absorbe ederek atıcı üzerindeki yükü azaltmaktadır. Bunun yanında polimer teleskobik dipçikler, ayarlanabilir yapıları sayesinde farklı vücut yapısına sahip kullanıcılar için özelleştirilebilmekte ve askeri/taktik operasyonlarda esneklik sağlamaktadır. Yaylı mekanizmaların entegrasyonu ile geri tepme kuvveti kısmen sönümlenmekte, bu da özellikle seri atışlarda atış doğruluğunu artırmaktadır. Ayrıca, polimerin korozyona karşı dayanıklı yapısı, metal dipçiklere kıyasla daha uzun ömürlü kullanım imkânı sunmaktadır.

Sonuç olarak hem yapılan deneysel analizler hem de tasarım ve üretim boyutunda sağlanan avantajlar göz önünde bulundurulduğunda, polimer esaslı malzemelerin savunma sanayiinde metal veya alüminyum alternatiflerine güçlü bir rakip olduğu görülmektedir. Polimerler, maliyet avantajı, hafiflik, tasarım esnekliği ve darbe dayanımı açısından sağladıkları faydalar ile özellikle Ronin kit ve teleskobik dipçik gibi ergonomi, modülerlik ve dayanıklılığın ön planda olduğu uygulamalarda önemli bir potansiyele sahiptir. Gelecekte bu tür parçaların geliştirilmesinde polimerlerin kullanımı hem endüstriyel verimliliği hem de kullanıcı deneyimini artıracak stratejik bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- Ali, M. A., Rahman, M. M., & Saad, M. H. M. (2021). Analysis of tensile and impact strength of HDPE under various loadings. *Materials Performance & Characterization*, 10(1), 105–113.
- Aselsan A.Ş. (2022). Silah sistemleri 2022 yılı faaliyet raporu. Ankara, Türkiye: Aselsan.
- Avbar, E., Yıldız, T., & Karşı, N. G. (2025). PA66 esaslı karbon elyaf takviyeli polimerlerin mekanik performansı üzerine bir inceleme. *Composites Science and Technology*, 217, 109175. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2025.109175>
- Avbar, M., Oliveira, G. H. M. d., & Amancio Filho, S. d. T. (2025). Enhancing mechanical properties of PA66 with carbon-based nano fillers. *Journal of Composites Science*, 9(1), 112–125.
- Bouaziz, A. B. (2005). Characterization of polyamide 66 obturator materials by differential scanning calorimetry and mechanical testing. *Polymer Testing*, 24(8), 1001–1008.
- Chen, S. (2019). Numerical investigation of conformal cooling channels (Master's thesis). University of Waterloo.
- Combat Operators. (2022). Injection molded polymer frames and military efficiency. *Defense Engineering Journal*, 44(3), 112–120.
- Erdem, M. (2020). Polimer esaslı malzemelerin hafif silah gövdelerinde kullanımı ve mekanik özellikleri. *Savunma Sanayi Dergisi*, 12(3), 145–159.
- Entec Polymers. (2023). Engineering polymers for firearms applications [Technical whitepaper]. Entec Polymers.
- Garg, A., & Verma, N. (2016). Mechanical behavior of polypropylene and its blends: A review. *Journal of Materials Science*, 51(13), 6353–6372.
- Glock GmbH. (2021). Glock pistols technical dossier. Glock Official Publications.
- Glock GmbH. (2022). Polymer technology in firearms: A Glock perspective. Austria: Glock Publications.
- Greenleaf, M. (2021). Precision manufacturing in quality control using scientific molding techniques. *Plastics Engineering Journal*, 77(5), 45–52.
- Güler, H., & Yılmaz, M. (2023). Enjeksiyon parametrelerinin Taguchi yöntemiyle çekme dayanımına etkisi. *Journal of Polymer Process Engineering*, 5(2), 101–110.
- Heckler & Koch GmbH. (2019). USP operator's manual. Oberndorf am Neckar, Germany: Author.
- Husain, A., Khan, A. H., & Ansari, R. S. (2018). Ballistic performance evaluation of polycarbonate plate. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 455, 012034. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/455/1/012034>
- Kalpajian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing engineering and technology* (7th ed.). Pearson Education.
- Khan, M. R., Saleh, M. N., & Rahman, A. (2021). Conformal cooling in polymer injection molds: Design and performance. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 117(9), 2563–2578.
- Kirchheim, A., Katrodiya, Y., Zumofen, L., Ehrig, F., & Wick, C. (2014). Dynamic conformal cooling improves injection molding. Hannover University Thesis.
- Lopes, D. R., Oliveira, M. S. A., & Carbas, R. J. C. (2022). Characterization of fatigue strength of 40% carbon fiber reinforced PA66 composites. *Polymer Composites*, 43(11), 5822–5833.

- Mao, Q., Hong, Y., & Wyatt, T. P. (2014). Insert injection molding of polypropylene single polymer composites. *Composites Science and Technology*, 104, 70–78.
- Marwah, O. M., Ibrahim, M. R., & Hassan, M. A. (2020). Investigation of mechanical properties of PET under different process parameters. *Journal of Thermoplastic Polymer Materials*, 33(6), 782–792.
- Milli Savunma Bakanlığı. (2021). Savunma Sanayii Dergisi (Sayı 56, s. 22–30). Milli Savunma Bakanlığı Yayınları.
- Parker, M. (2023). Strength and its variability in 3D printing of polymer matrix composites. *Composites Part B: Mechanical Engineering*, 258, 110823. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.110823>
- Samsun Yurt Savunma (Canik). (2022). TP9 serisi tanıtım kataloğu. Samsun Yurt Savunma.
- Sarsılmaz Silah Sanayi A.Ş. (2021). SAR9 kullanım kılavuzu ve teknik özellikler. Sarsılmaz Silah Sanayi A.Ş.
- Shaik, Y. P., Naidu, N. K., Yadavalli, V. R., & Muthyala, M. R. (2023). Comparison of the mechanical characteristics of ABS using three different plastic production techniques. *Open Access Library Journal*, 10(3), 1–12. <https://doi.org/10.4236/oalib.2023.101030>
- Shooting Illustrated. (2020). Why polymer pistols are the future of handguns. Retrieved from <https://www.shootingillustrated.com>
- Tamer, M. (2021). Yeni nesil silah sistemlerinde kompozit ve polimer malzemelerin rolü. *ASELSAN Akademi Bülteni*, 8(2), 89–102
- Various Authors. (2022). Enjeksiyon döngüsü ve vida tasarımı üzerine teknik bilgiler.
- Wang, J., Mao, Q., Jiang, N., & Chen, J. (2022). Effects of injection molding parameters on properties of insert injection molded polypropylene single polymer composites. *Polymers*, 14(2), 372.
- Whatcott, T. B. (2020). Effects of conformal cooling channels on additively manufactured injection molding tooling (Master's thesis). Utah State Üniversitesi.
- Yang, J., & Li, Z. (2022). Optimization of injection molding process using Taguchi method (PMC). *Polymer Manufacturing and Composites Journal*, 12(4), 220–229.
- Yazıcı, S. (2021). Polieterimid (Ultem) malzemesinin termal ve mekanik davranışlarının incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Yılmaz, S., & Öztürk, A. (2019). Polimer malzeme teknolojisinin askeri uygulamaları. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Yu, M., & Wang, C. C. L. (2017). Development of a smart plastic injection mold with conformal cooling. *Journal of Manufacturing Processes*, 28, 503–513.