

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



3D YAZICI DESTEĞİ İLE OLUŞTURULAN KOMPOZİT PLAKANIN
BALİSTİK SONUÇLARININ İNCELENMESİ

CEM GÜDÜR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi İlker EREN (Tez Danışmanı)**
Doç. Dr. İjlal ŞİMŞEK
Dr. Öğr. Üyesi Türker TÜRKOĞLU

BALIKESİR, NİSAN - 2024

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**3D Yazıcı Desteği ile Oluşturulan Kompozit Plakanın Balistik Sonuçlarının İncelenmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Cem GÜDÜR

ÖZET

**3D YAZICI DESTEĞİ İLE OLUŞTURULAN KOMPOZİT PLAKANIN BALİSTİK
SONUÇLARININ İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
CEM GÜDÜR
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ İLKER EREN)

BALIKESİR, NİSAN - 2024

Günümüzde eklemeli imalat teknolojileri olarak bilinen 3D yazıcılar ile ilgili çalışmalar son dönemlerde hız kazanmıştır. Özellikle klasik üretim yöntemleri ile üretmesi güç olan parçaları 3D yazıcılarla katmanlı bir şekilde üretmek mümkündür. 3D Yazıcılar havacılık, otomotiv, mimarlık gibi birçok farklı alanda da kullanılabilir. Bu çalışmada da 3D yazıcılardan baskı alınan farklı özelliklerdeki plakalar, SMC ve Fiber Kumaşların balistik sonuçları incelenmiştir. Malzemelerin tek başına kurşunu durdurmada yeterli olmadığı ancak uygun kombinasyonlar yapıldığında kurşunu durdurduğu gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: 3D yazıcı, fiber kumaş, balistik.

Bilim Kod / Kodları : 91417, 91421, 91437

Sayfa Sayısı : 61

ABSTRACT

INVESTIGATION OF BALLISTIC RESULTS OF COMPOSITE PLATE CREATED WITH 3D PRINTER

MSC THESIS

CEM GÜDÜR

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. ILKER EREN)

BALIKESİR, APRIL - 2024

Studies on 3D printers, which are known as additive manufacturing technologies today, have gained momentum recently. It is possible to produce parts that are difficult to produce, especially with classical production methods, in a layered manner with 3D printers. 3D Printers can also be used in many different fields such as aviation, automotive, architecture. In this study, the ballistic results of plates, SMC and Fiber Fabrics with different properties printed from 3D printers were examined. It has been observed that materials alone are not sufficient to stop lead, but they stop lead when appropriate combinations are made.

KEYWORDS: 3D printer, fiber fabric, ballistics.

Science Code / Codes : 91417, 91421, 91437

Page Number : 61

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
2. EKLEMELİ İMALAT (3D YAZICI) TEKNOLOJİSİ	3
2.1 Eklemeli İmalat Yöntemlerinin İşlem Adımları.....	4
2.1.1 CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım).....	5
2.1.2 STL Formatına Dönüştürme	5
2.1.3 Stl - G Code Dönüştürme İşlemi.....	5
2.1.4 Üretim Aşaması.....	6
2.1.5 Temizleme ve Üretim Sonrası İşlemler	6
2.2 Eklemeli İmalat Teknolojilerinin Sınıflandırılması	6
2.2.1 Sıvı Bazlı Eklemeli İmalat Teknolojileri	7
2.2.1.1 SLA Teknolojisi(Tarayarak Işıklı Kütleme Tekniği).....	7
2.2.1.2 Polyjet Teknolojisi	8
2.2.2 Katı Bazlı Eklemeli İmalat Teknolojileri.....	10
2.2.2.1 Ergiyik Biriktirme Modelleme (FDM Fused Deposition Modeling)Teknolojisi.....	10
2.2.2.2 Tabakalı Yapıştırılmalı Parça İmalatı (LOM, Laminated object Manufacturing)	11
2.2.3 Toz Bazlı Eklemeli İmalat Teknolojileri	13
2.2.3.1 3DP Teknolojisi	13
2.2.3.2 Seçici Lazer Sinterleme (SLS, Selective Laser Sintering) Teknolojisi	14
2.2.3.3 Elektron Işınlı Ergitme(EBM, Electron Beam Melting)Teknolojisi.....	16
3. KOMPOZİT MALZEMELER	17
3.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	17
3.2 SMC (Sheet Moulding Compound, Hazır Kalıplama Pestili)	18
4. BALİSTİK BİLİMİ	20
4.1 İç Balistik	20
4.2 Dış Balistik.....	20
4.3 Terminal Balistik	20
4.4 Balistik Deney Standartları	20
4.4.1 NIJ 0101.06 ve NIJ 0101.04 Standartları.....	21
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	23
6. MATERYAL VE METOD	27
6.1 Çekme Testi Parametreleri.....	37
6.2 Sertlik Testi Parametreleri	39
6.3 SMC Plaka Üretimi.....	40
6.4 Kumaş Plakaların Üretimi.....	40
6.5 Balistik Test Koşulları	41

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	43
8. SONUÇ.....	57
9. KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	61



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: 3D Yazıcı örneği	3
Şekil 2.2: Universal tezgahta işlenen bir parçanın şematik gösterimi	4
Şekil 2.3: Eklemeli İmalat ile üretilen bir parçanın şematik gösterimi.....	4
Şekil 2.4: Eklemeli İmalat Teknolojisi üretim adımları.....	5
Şekil 2.5: SLA Teknolojisinin çalışma prensibi	7
Şekil 2.6: SLA Teknolojisi ile üretilmiş parçalar.....	8
Şekil 2.7: Polyjet Teknolojisinin çalışma prensibi.....	9
Şekil 2.8: Polyjet Teknolojisi ile üretilmiş parçalar.....	9
Şekil 2.9: FDM Teknolojisinin çalışma prensibi	10
Şekil 2.10: FDM Teknolojisi ile üretilmiş parçalar	11
Şekil 2.11: LOM Teknolojisinin çalışma prensibi	12
Şekil 2.12: LOM Teknolojisi ile üretilmiş parçalar	12
Şekil 2.13: 3DP Teknolojisinin çalışma prensibi.....	13
Şekil 2.14: 3DP Teknolojisi ile üretilmiş parçalar	14
Şekil 2.15: SLS Teknolojisinin çalışma prensibi	15
Şekil 2.16: SLS Teknolojisi ile üretilmiş parçalar	15
Şekil 2.17: EBM Teknolojisinin çalışma prensibi	16
Şekil 2.18: EBM Teknolojisinde üretilmiş parçalar.....	16
Şekil 3.1: Kompozitlerde kullanılan matris ve takviye malzemesi tipleri	18
Şekil 3.2: SMC üretim yöntemi	19
Şekil 4.1: Bazı uluslararası ve ulusal balistik standartlar.....	21
Şekil 4.2: NIJ standartları ve test kriterleri	22
Şekil 6.1: ASTM D638 IV standart ölçüleri	27
Şekil 6.2: Baskı tablasına yatay konumlandırılan çekme numunesi	28
Şekil 6.3: Baskı tablasına dikey konumlandırılan çekme numunesi.....	29
Şekil 6.4: 1Y numunesi.....	31
Şekil 6.5: 2Y numunesi.....	31
Şekil 6.6: 3Y numunesi.....	32
Şekil 6.7: 4Y numunesi.....	32
Şekil 6.8: 5Y numunesi.....	33
Şekil 6.9: 6Y numunesi.....	33
Şekil 6.10: 1D numunesi.....	34
Şekil 6.11: 2D numunesi	34
Şekil 6.12: 3D numunesi.....	35
Şekil 6.13: 4D numunesi	35
Şekil 6.14: 5D numunesi	36
Şekil 6.15: 6D numunesi	36
Şekil 6.16: Üretimi tamamlanan çekme numuneleri.....	37
Şekil 6.17: Çekme Testi Cihazı.....	37
Şekil 6.18: Çekme testi uygulanan ABS numune.	38
Şekil 6.19: Çekme testi uygulanan TPU numune.	38
Şekil 6.20: Shore A ve Shore D modelleri.....	39
Şekil 6.21: Üretimi gerçekleştirilen SMC plaka.	40
Şekil 6.22: Kürleştirilen fiber kumaşlar. a) Cam fiber kumaş b) Karbon fiber kumaş c) Aramid fiber kumaş.....	41
Şekil 6.23: Lazermetre ile mesafe ayarlanması.....	41
Şekil 6.24: Deney mermisi ve CANİK TP9 SFX.	42

Şekil 7.1: ABS Numune grafikleri.....	43
Şekil 7.2: TPU numune grafikleri.....	44
Şekil 7.3: Üretimi Gerçekleştirilen ABS ve TPU plakalar..	46
Şekil 7.4: Plakaların üretimi için kullanılan 3D yazıcı.....	46
Şekil 7.5: TPU sertlik ölçüm sonuçları.....	47
Şekil 7.6: ABS sertlik ölçüm sonuçları.....	48
Şekil 7.7: ABS plaka.....	49
Şekil 7.8: TPU plaka.....	49
Şekil 7.9: 10 Kat cam fiber kumaş plaka.....	50
Şekil 7.10: 10 Kat karbon fiber kumaş plaka.....	50
Şekil 7.11: 10 Kat aramid fiber kumaş plaka.....	51
Şekil 7.12: SMC plaka.....	51
Şekil 7.13: ABS+TPU plaka.....	52
Şekil 7.14: 10 kat Aramid kumaş+SMC plaka.....	52
Şekil 7.15: 9 numaralı deney numunesi.....	53
Şekil 7.16: 10 numaralı deney numunesi.....	54
Şekil 7.17: 11 numaralı deney numunesi.....	54
Şekil 7.18: 12 numaralı deney numunesi.....	55
Şekil 7.19: 13 numaralı deney numunesi.....	56
Şekil 7.20: 14 numaralı deney numunesi.....	56

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 6.1: ABS çekme numunesi üretim parametreleri.	27
Tablo 6.2: TPU çekme numunesi üretim parametreleri.....	28
Tablo 6.3: Üretilen numunelerin numune kodu, bu kodlara karşılık gelen iç yapı doldurma açıları ve konumları.....	30
Tablo 6.4: CANİK TP9 SFX teknik özellikleri.....	42
Tablo 7.1: ABS malzemesi çekme dayanımları.	45
Tablo 7.2: TPU malzemesi çekme dayanımları.....	45
Tablo 7.3: TPU Shore sertlik sonuçları.	47
Tablo 7.4: ABS Shore sertlik sonuçları.	48



SEMBOL LİSTESİ

SLA	: Stereolithographic
FDM	: Fused Deposition Modeling
LOM	: Laminated object Manufacturing
SLS	: Selective Laser Sintering
EBM	: Electron Beam Melting
SMC	: Sheet Moulding Compound
NIJ	: The US National Institute of Justice
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
TPU	: Termoplastik Poliüretan



ÖNSÖZ

Tez çalışmam ve yüksek lisans eğitimim süresince tecrübelerini ve bilgilerini benden esirgemeyen, her zaman desteğiyle yanımda olan, değerli tez danışmanım hocam Dr. Öğr. Üyesi İlker EREN' e samimi teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sırasında kıymetli fikir ve tecrübeleriyle bana her konuda yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Türker TÜRKOĞLU hocama ve Prof. Dr. Sare ÇELİK hocama çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatım süresince manevi ve maddi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, yanımda her zaman olup beni bu günlere kadar getiren sevgili Aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Balıkesir, 2024

Cem GÜDÜR



1. GİRİŞ

Eklemeli İmalat malzemelerin üst üste bir tabla üzerinde birikerek birbirine eklenmesi ve istenen parçanın üretilmesi işlemidir. Eklemeli İmalat süreci aynı zamanda 3d yazıcı olarak da bilinmektedir [1, 2]. Son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılan 3D yazıcılar ilk olarak 1980'li yıllarda Charles Hull tarafından tasarlanan ve patenti alınan bir cihaz olarak hayatımıza girmiştir. 3d yazıcılar sayesinde plastik, metal vb. birçok malzemedeki klasik imalat yöntemleriyle üretimi zor olan karmaşık yapıları parçalar üretmek mümkündür.

3D yazıcılar temel anlamda üç ana grupta incelenebilir. Bunlar sıvı bazlı, katı bazlı ve toz bazlı şekildedir. Günümüzde katı bazlı eklemeli imalat teknolojisi olan FDM (Fused Deposition Modelling) Teknolojisi yaygın olarak kullanılmaktadır. FDM teknolojisinde kullanılan malzemelerin düşük maliyetli olması, kullanılacak malzemenin çeşitli olması, malzeme temininin kolay olması gibi durumlar bu teknolojinin diğer eklemeli imalat teknolojilerine göre daha yaygın olmasını sağlamıştır. FDM Teknolojisi ile çalışan 3d yazıcılarda üretim malzemesi olarak Filament adını verdiğimiz malzemeler kullanılmaktadır. ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) Filament, PLA (Polilaktik Asit) Filament, TPU (Termoplastik Poliüretan) Filament günümüzde sıkça kullanılan filamentler arasındadır. 3d yazıcılar havacılık, otomotiv, sağlık, mimari gibi birçok farklı alanda kullanılabilir. Günümüzde 3d yazıcılarda üretimi gerçekleştirilen parçaların mekanik özelliklerini arttırmak için üretim esnasında kullanılan filamentlerin kompozit olarak üretilmesine yönelik bir ilgi mevcuttur [7, 19].

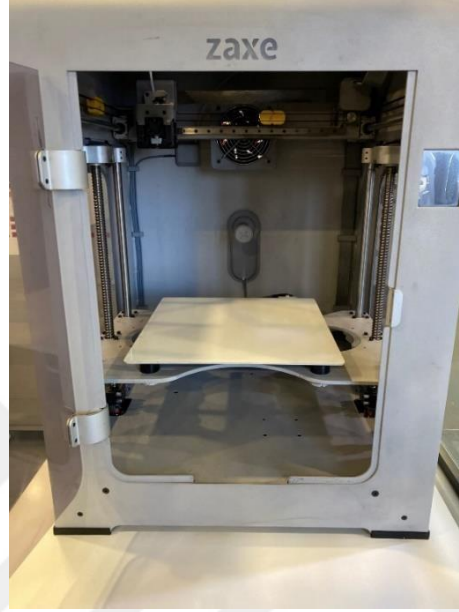
Kompozit malzemeler, kimyasal yapıları birbirinden farklı iki veya daha fazla malzemenin makro düzeyde bir araya gelerek üstün özellikli bir malzeme oluşturmasıdır. Kompozit malzemelerde matris bileşeni ve takviye fazı bileşeni bulunmaktadır. Takviye fazı olarak adlandırılan bileşen taşıyıcı olarak görev alırken matris bileşeni takviyeleri bir arada tutma ve destekleme görevi görmektedir. Kompozit malzemeler son zamanlarda yeni nesil malzeme şeklinde ön plana çıkmakta ve kullanımı her geçen gün artmaktadır [20]. Kompozit malzemeler havacılık, otomotiv, savunma sanayi gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Son yıllarda 3d yazıcılar ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar artış göstermiş olup bu çalışmada da 3d Yazıcı desteğiyle oluşturulan farklı kombinasyonlardaki kompozit plakaların balistik sonuçları incelenmiştir. Bu sebeple 3d Yazıcıdan baskı alınan plakaların, Katılaştırılan kumaşların ve SMC adını verdiğimiz plakanın tek başına balistik deneylerde etkili olmadığı ancak uygun sıralama ve kombinasyonlama ile balistik deneylerde başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak gerçekleştirilen deneyler sonucunda bir değerlendirme yapılarak bu konuda çalışma gerçekleştireceklere önerilerde bulunulmuştur.



2. EKLEMELİ İMALAT (3D YAZICI) TEKNOLOJİSİ

Günümüzde 3D Printer olarak adlandırılan ve bilgisayar destekli bir tasarım programı sayesinde elde ettiğimiz modeli plastik, metal vb. malzemeleri ergitip ince tabakalar halinde üst üste koyarak 3 boyutlu nesne haline getiren makinelere 3 boyutlu yazıcı ismi verilmektedir [9].

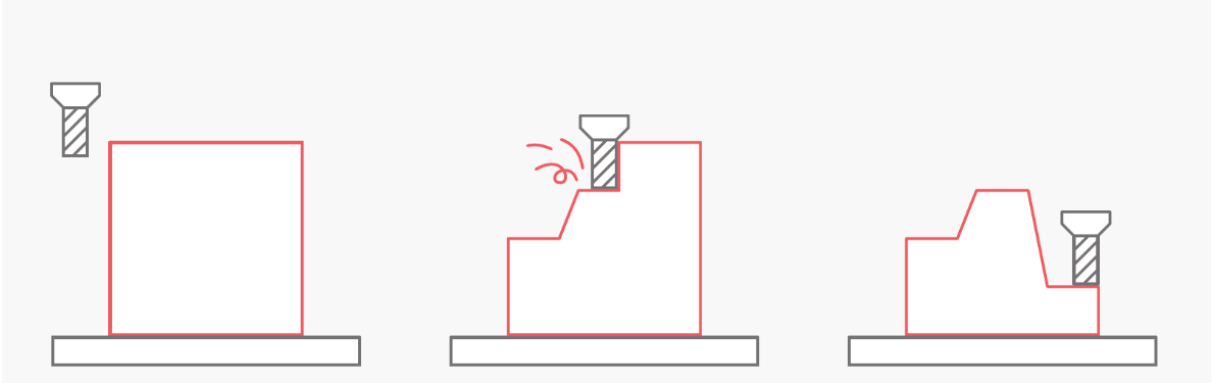


Şekil 2.1: 3D Yazıcı örneği.

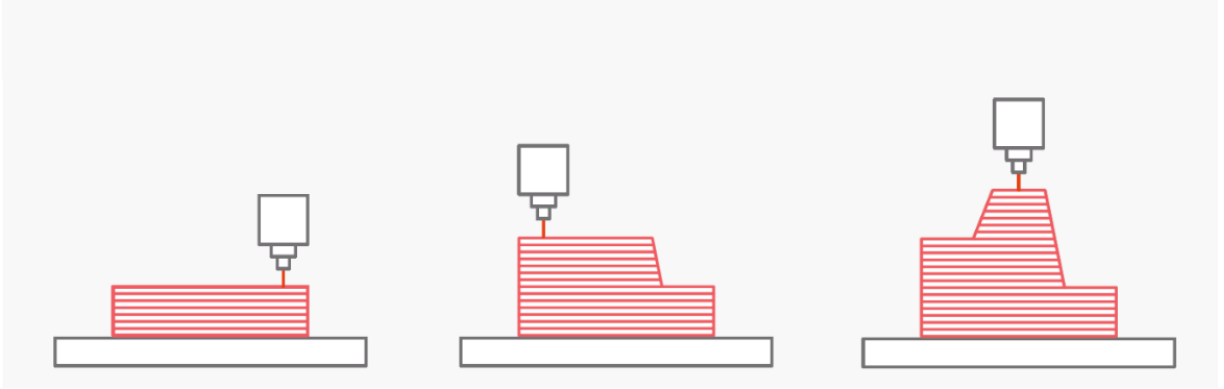
3D yazıcılar aynı zamanda Hızlı prototipleme teknolojilerinden biridir. Son zamanlarda prototipleme için kullanıldığından dolayı Hızlı prototipleme olarak isimlendirilmektedir [1, 3].

3D Yazıcılar bilgisayar ortamında tasarlanmış olan verileri somut nesnelere dönüştürebilen cihazlardır. 3D yazıcılar geleneksel imalat yöntemleri ile üretimi mümkün olmayan, karmaşık geometriye sahip olan parçaları üretebilme imkanı sunmaktadır. Geleneksel İmalat istediğimiz geometriyi elde edebilmek için fazlalık olan malzemeyi ana malzemedan çıkartma işlemidir. Geleneksek imalata örnek olarak delme, tornalama vb. yöntemler bulunmaktadır. Geleneksel İmalat hurda malzeme, çevresel sorunlar gibi dezavantajlara sahiptir. Eklemeli İmalat ise geleneksel imalatta olduğu gibi fazlalık malzeme çıkartmadan parçayı katman katman oluşturmaz. Parçanın imalatını gerçekleştirecek olan 3D yazıcıyı önceden programladığımız için çalışma esnasında müdahale etmemize gerek

kalmamaktadır. Bu yüzden 3d yazıcılar Modern Üretim Teknolojileri arasında yer almaktadır [2, 8].



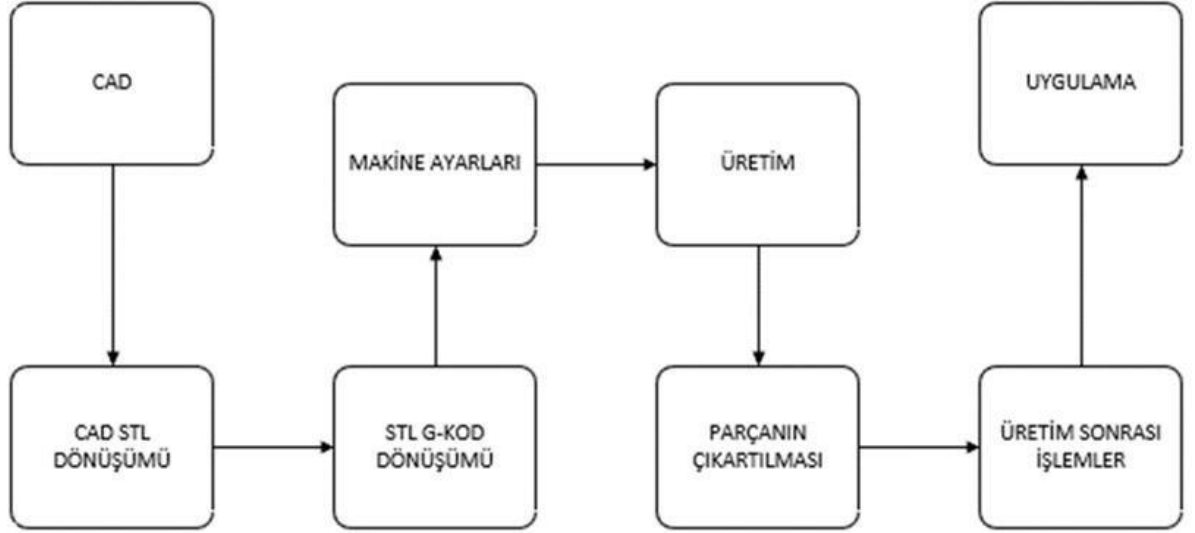
Şekil 2.2: Universal tezgahta işlenen bir parçanın şematik gösterimi [4].



Şekil 2.3: Eklemeli İmalat ile üretilen bir parçanın şematik gösterimi [4].

2.1 Eklemeli İmalat Yöntemlerinin İşlem Adımları

Eklemeli imalatta neredeyse tüm eklemeli imalat yöntemlerinde parça üretimi için gerekli genel işlemler Şekil 2.4'te gösterilmiştir [1]. FDM teknolojisi ile çalışan bir parçanın işlem basamakları aşağıda anlatılmıştır.



Şekil 2.4: Eklemeli İmalat Teknolojisi üretim adımları.

2.1.1 CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım)

Eklemeli imalatta baskı alınacak olan parçanın modelini oluşturmak için genellikle CAD programları kullanılmaktadır. Bu programlara örnek olarak Solidworks, AutoCAD, TinkerCAD.com vb. söylenebilir. Aynı zamanda Parçanın modelini çıkartabilmek için 3 boyutlu tarama cihazları da kullanılabilir.

2.1.2. STL Formatına Dönüştürme

Tasarımını tamamlanan model STL formatına çevrilmelidir. STL dosyaları oluşturulan modelin renk vb. niteliklerini ifade etmeksizin parçanın yüzey geometrisi çokgenleri kullanarak yüzeyi tanımlar [5].

2.1.3. Stl - G Code Dönüştürme İşlemi

Stl formatına dönüştürülen dosyanın 3 boyutlu yazıcıya aktarılması için g.code formatına dönüştürmek gerekmektedir. Gcode formatına getirebilmek için stl dosyasını bir dilimleyici programa almak gerekmektedir. Dilimleyici programa örnek olarak ultimaker cura verilebilir. Ultimaker Cura Dilimleme programı aynı zamanda oluşturulacak parçanın katman kalınlığını, dolgu yoğunluğunu, yazdırma sıcaklığını, yazdırma hızını, parçanın

yazdırılacağı tablanın sıcaklığını ve birçok parametreyi kontrol etmemizi sağlayan programdır.

Dilimleyici program parçayı üretmeden önce ne kadar hammadde kullanmak gerektiğini hem metre cinsinden hem de gr cinsinden göstermektedir. Baskı alınacak parçayı program üzerinde dilimleyip 3 boyutlu yazıcıya aktarmadan önce parçanın kaç dakika içerisinde üretileceğini dilimleyici program üzerinden görüntülenmektedir.

2.1.4. Üretim Aşaması

Makineye bir SD kart vb. bir aparat yardımıyla yükleme yapılır ve ardından makine çalıştırılır. Çalışma esnasında makineye müdahale etmek gerekmez. Sadece bazı durumlarda makine yazdırma işlemini gerçekleştirmez. Yazdırma işleminin gerçekleşmemesi veya yarım kalması genellikle hammaddenin bitmesi veya yazılım hatalarından kaynaklanır.

2.1.5. Temizleme ve Üretim Sonrası İşlemler

Parçanın üretimi tamamlandıktan sonra üzerinde bulunduğu tabla platformundan çıkartmak gerekir. Çıkarttığımız parçada eğer varsa destek katmanlarından ayrılır. Son olarak yüzey temizleme, boyama işlemleri gerçekleştirilir. Bazı parçalar desteğe, boyamaya vb. durumlara ihtiyaç duymadığı için tabladan ayrıldıktan sonra kullanıma hazır hale gelmektedir.

2.2. Eklemeli İmalat Teknolojilerinin Sınıflandırılması

Eklemeli İmalat teknolojilerine birçok kategoride inceleme yapılabilir ancak en uygun sınıflandırma kullanılacak olan hammaddenin ilk durumdaki haline bakılarak yapılan sınıflandırmadır. Bu sınıflandırmaya göre sıvı bazlı, katı bazlı, toz bazlı olmak üzere 3 başlıkta incelenebilir [5].

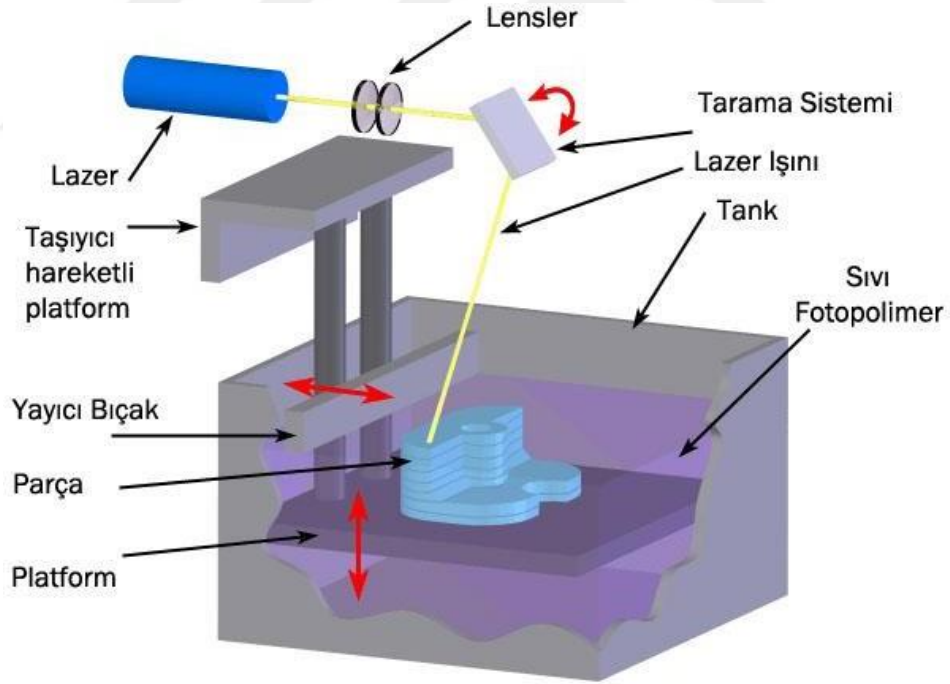
2.2.1 Sıvı Bazlı Eklemeli İmalat Teknolojileri

Sıvı bazlı eklemeli imalat teknolojilerinde Modelin Malzemesi başlangıçta sıvı konumdadır. Işık lazer vb. yardımıyla sertleşen sıvı, katı hale dönüşür. Sıvı bazlı bazı teknolojiler şunlardır;

2.2.1.1 SLA Teknolojisi(Tarayarak Işıkla Kürleme Tekniği)

SLA sıvı bazlı bir teknolojidir. SLA teknolojisinin yaratıcısı Charles Hull'dur. Charles Hull 1980'li yıllarda fotopolimer malzemeleri lazer ışınları yardımıyla katılaşması sağlayan çalışmalar gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalar sayesinde Charles Hull üç boyutlu ürünler üretmiştir. Charles Hull'un çalışmaları sayesinde stereolitografi teknolojisi ortaya çıkmıştır. SLA teknolojisi 1980'li yıllarda tanıtılmış olan ilk Eklemeli İmalat teknolojisidir [1, 5].

SLA Teknolojisi sayesinde doğruluğu yüksek ve yüzey kalitesi iyi olan parçalar üretmek mümkündür [5].



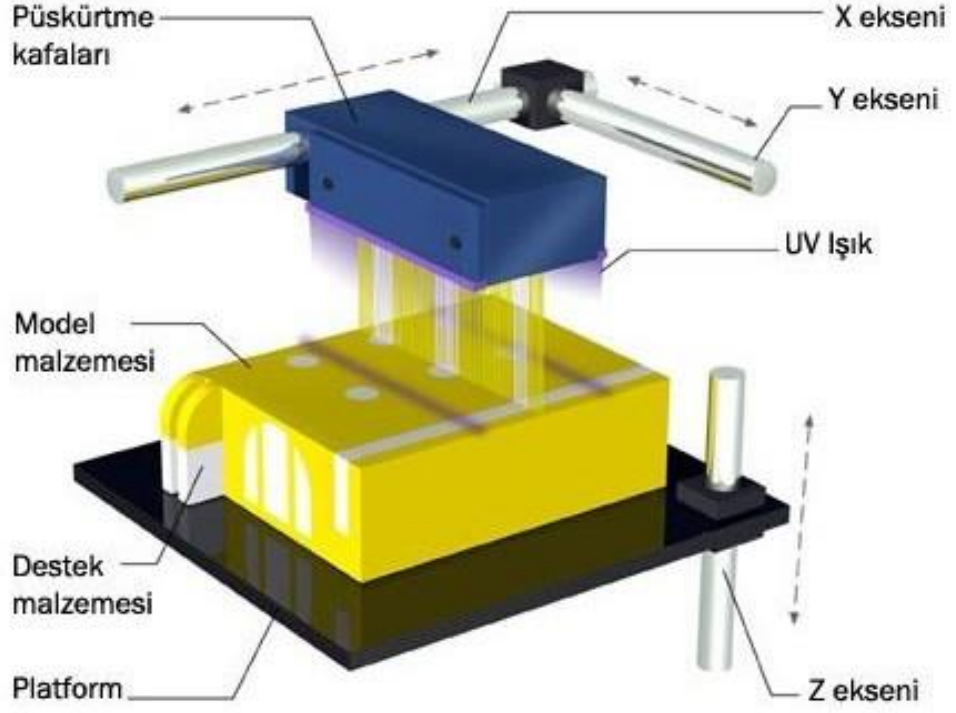
Şekil 2.5: SLA Teknolojisinin çalışma prensibi [5].



Şekil 2.6: SLA Teknolojisi ile üretilmiş parçalar [5].

2.2.1.2 Polyjet Teknolojisi

Polyjet Teknolojisi hem mürekkep püskürtmeyi hem de stereolitografi teknolojisini beraber kullanan bir teknolojidir. Polyjet teknolojisinde diğer eklemeli imalat teknolojilerinde olduğu gibi baskıyı almak istediğimiz modelin önce verisi hazırlanır. Veri hazırlandıktan sonra makine ayarları tamamlanır ve tasarladığımız model üretime hazır hale getirilir. Polyjet Teknolojisinde katman oluşturabilmek için enjeksiyon kafalarından(püskürtme kafası) reçine malzeme püskürtülerek UV Işık ile katılaştırılır. Modelin Malzemesi de Destek Malzemesi de bu kafalardan püskürtülmektedir. Katman tamamlandıktan sonra imalat tablası(platform) katman kalınlığı kadar aşağıya iner ve diğer katman için püskürtme başlar. Prototip parçamız bittikten sonra destek malzemeler parçadan ayrılmaktadır. Bu teknoloji sayesinde, birçok malzeme çeşidi ile pürüzsüz yüzeylere sahip ve hassas parçalar üretilmektedir [1, 5, 6].



Şekil 2.7: Polyjet Teknolojisinin çalışma prensibi [5].



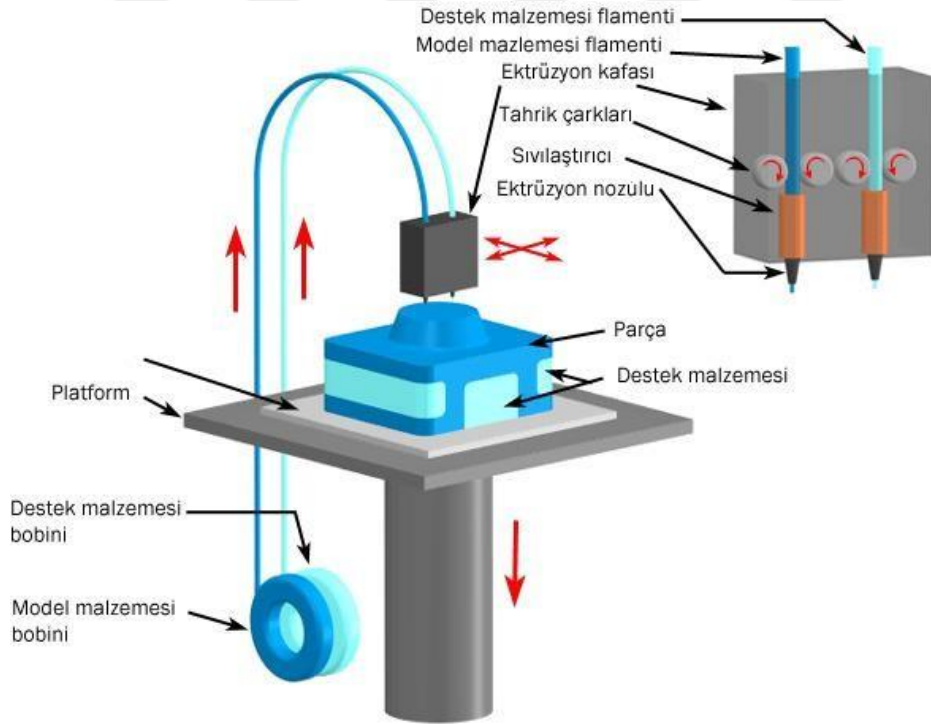
Şekil 2.8: Polyjet Teknolojisi ile üretilmiş parçalar [5].

2.2.2 Katı Bazlı Eklemeli İmalat Teknolojileri

Katı bazlı eklemeli imalat teknolojilerinde Üreteceğimiz Modelin Malzemesi başlangıçta katı bir konumdadır. Toz şeklindeki hammadde bu kategoriye dahil edilmez. Malzeme Rulo şeklinde veya ince tel şeklinde (Filament) olabilir. Katı bazlı bazı teknolojiler şunlardır;

2.2.2.1 Ergiyik Biriktirme Modelleme (FDM Fused Deposition Modeling) Teknolojisi

Eklemeli imalat teknolojilerinden bir tanesi olan Ergiyik Biriktirme Modelleme Tekniği (FDM Teknolojisi) günümüzde kullanılan en yaygın eklemeli imalat teknolojisidir. Bu teknoloji ile üretim yapılabilmesi için bir cad programında dosyası hazırlanan modeli stl formatına çevirmek gerekmektedir. Stl formatına getirilen model kullanacağımız cihaza uygun olacak şekilde bir dilimleyici program yardımıyla g.code adı verilen üretim koduna dönüştürülür. Üretim için gerekli olan veri hazırlandıktan sonra kullanılacak cihaz da üretime hazır hale getirilir [1, 7].



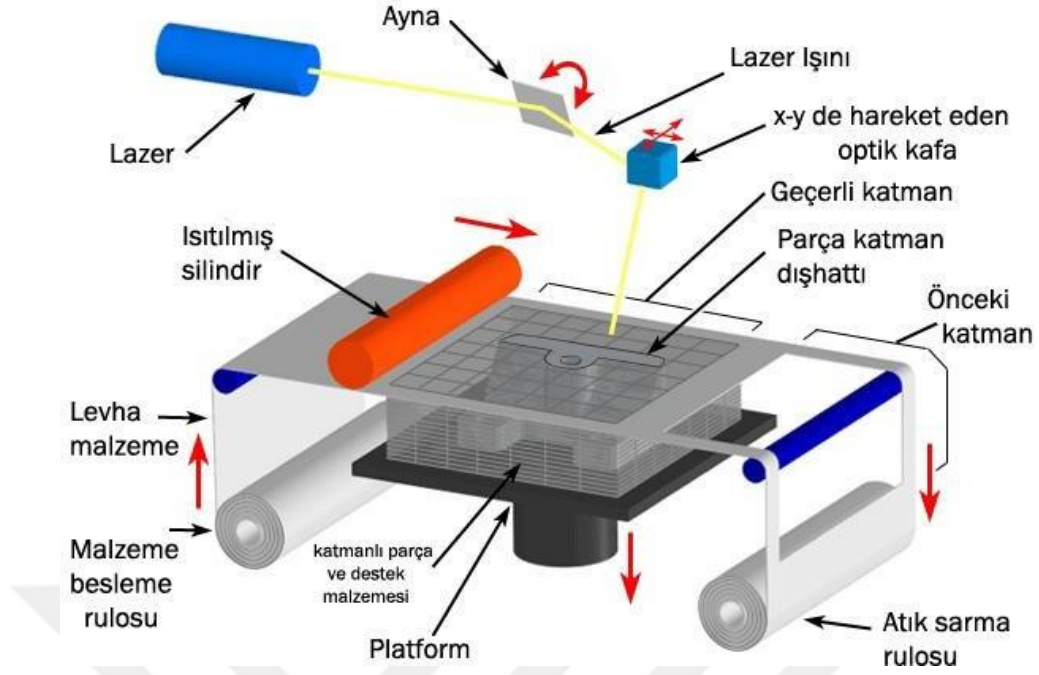
Şekil 2.9: FDM Teknolojisinin çalışma prensibi [5].



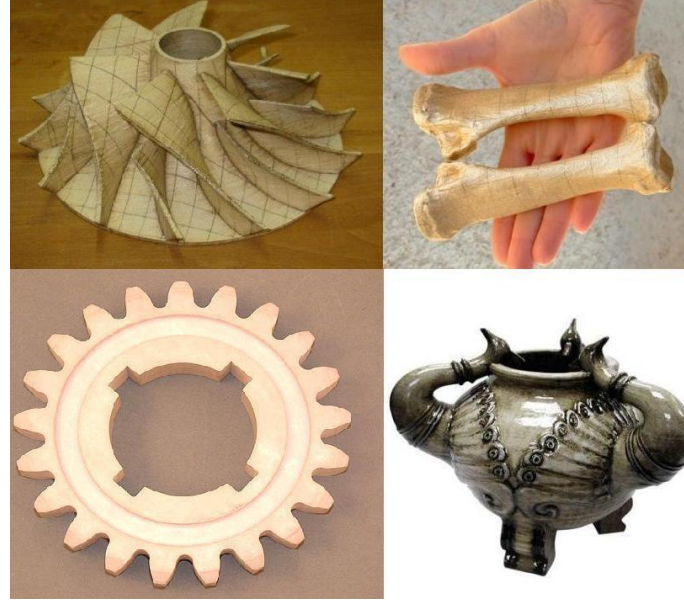
Şekil 2.10: FDM Teknolojisi ile üretilmiş parçalar [5].

2.2.2.2 Tabakalı Yapıştırırmalı Parça İmalatı (LOM, Laminated object Manufacturing)

Eklemeli İmalat Teknolojilerimden bir tanesi Lom Teknolojisinde üretim yapabilmek için diğer teknolojilerde olduğu gibi Cad programları ile parça tasarlanır. Tasarlanan bu parçanın cad dosyası stl formatına dönüştürülür. Stl formatı, kullanılan cihaza uygun olacak şekilde üretim formatına getirilir. İlk katmanın üretimi için platformun yüzey kısmına malzeme serilir ve belirli bir sıcaklıkta olan silindir serilen malzemenin üzerinden geçerek basınç uygular. Bu basınç ile katman platforma yapışmış olur. Cihazda bulunan lazer ile oluşturulmak istenen parçanın dış hatları kesilir. Lazer ile kesim işlemi tamamlandıktan sonra platform katman kalınlığı kadar aşağı iner. Platform aşağı indikten sonra diğer katman besleme mekanizmasının desteğiyle serilir. Isıtılmış ve belirli bir sıcaklıkta olan silindir yeni katmanın bir önceki katmana yapışması için katmanın üzerinden geçer ve lazer parçanın dış hattını tekrardan keser. Parçanın üretimi gerçekleştirilene kadar bu işlem devam eder. Parçanın destek malzemeleri üretim tamamlanana kadar platformda kalmaktadır. Üretim tamamlandıktan sonra destek malzemeleri temizlenir. Bu teknoloji sayesinde birçok alanda kullanılabilen karmaşık yapıdaki parçalar; kolay ve ucuz bir şekilde üretilmektedir [1, 5].



Şekil 2.11: LOM Teknolojisinin çalışma prensibi [5].



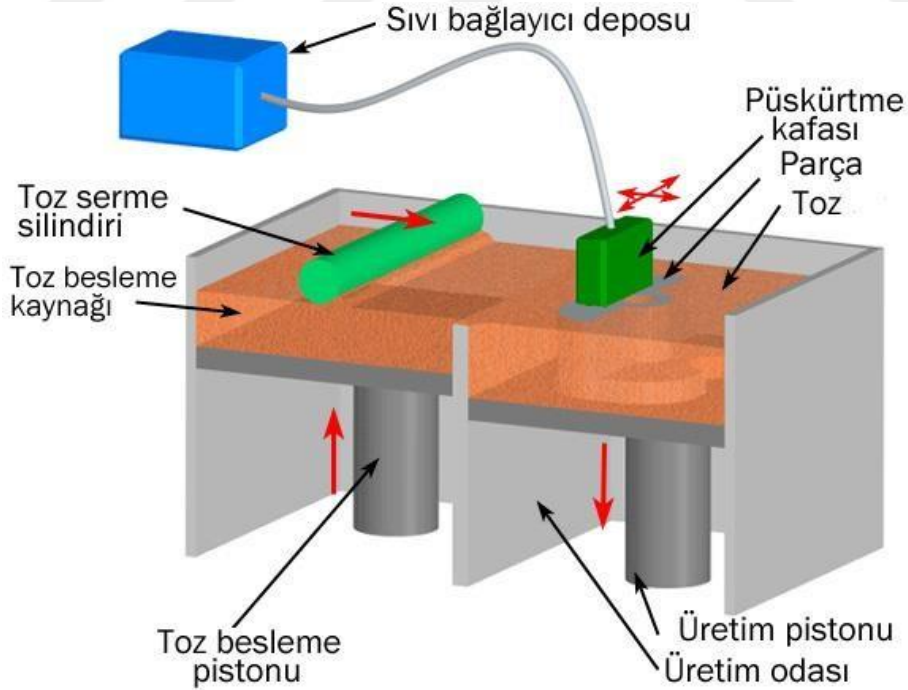
Şekil 2.12: LOM Teknolojisi ile üretilmiş parçalar [5].

2.2.3 Toz Bazlı Eklemeli İmalat Teknolojileri

Toz bazlı eklemeli imalat teknolojilerinde Modelin Malzemesi başlangıçta toz halinde bulunmaktadır. Bazı toz bazlı eklemeli imalat teknolojileri şunlardır;

2.2.3.1 3DP Teknolojisi

Eklemeli İmalat Yöntemlerinden bir tanesi olan 3DP Teknolojisi, üretim yapılacak yatağın üzerinde birikmiş olan toz katmanını, bir sıvı birleştirici yardımıyla katılaştırarak prototip model üretmektedir. 3DP Teknolojisinde serbest ve yığılmış şekilde bulunan tozun üzerine püskürtme kafasından birleştirici püskürtülür. Yığılmış halde bulunan toz bu püskürtme ile birbirine bağlanır ve katmanı oluşturur. Katman tamamlandıktan sonra üretimi gerçekleştirdiğimiz yatak aşağıya inmekte ve serbest şekilde olan toz katmanını üretim tablasının üzerine gelmektedir. Bu işlem parçamızın üretimi tamamlanana kadar her katmanda uygulanmaktadır. Parçamızın üretimi tamamlandığında destek görevi gören artık tozlar vakum ile parçadan uzaklaştırılır [5].



Şekil 2.13: 3DP Teknolojisinin çalışma prensibi [5].



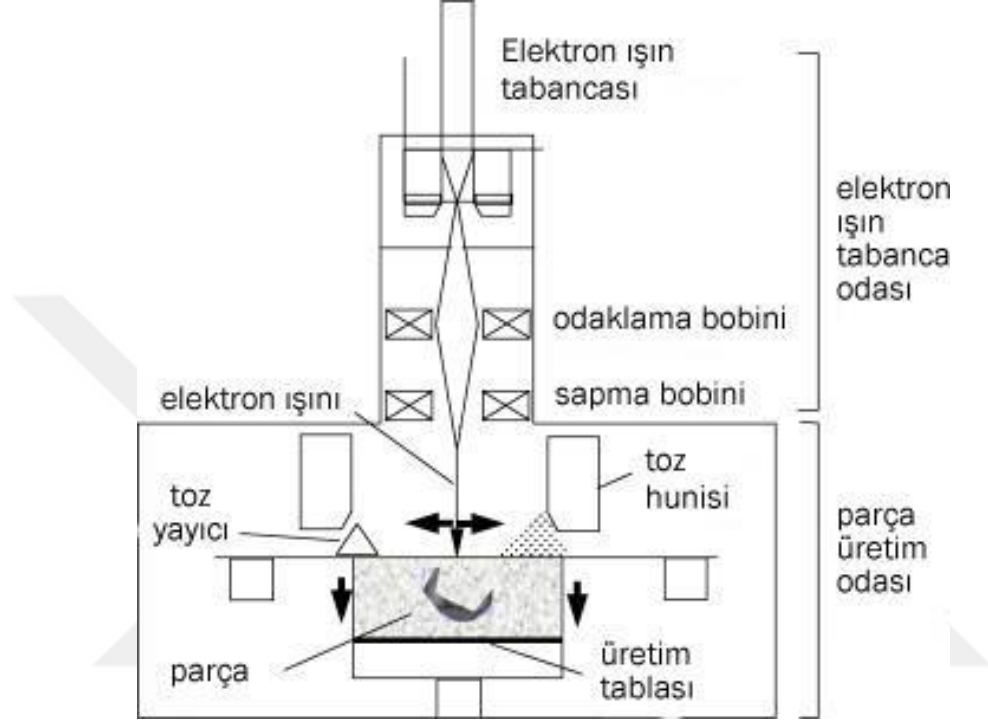
Şekil 2.14: 3DP Teknolojisi ile üretilmiş parçalar [5].

2.2.3.2 Seçici Lazer Sinterleme (SLS, Selective Laser Sintering) Teknolojisi

Eklemeli imalat teknolojilerinden olan SLS Teknolojisinde malzeme toz şeklinde kullanılarak, ısı oluşumu gerçekleştiren lazer ile katmanlı bir cad verisinden 3 boyutlu parçalar oluşturur. Toz halde bulunan malzeme ısıtıldığı zaman birbiri ile birleşerek katman kalınlığı kadar üretim tablasında yayılma gerçekleştirir. Lazer yardımıyla ilgili bölgeler taranarak ilk katmanın inşası tamamlanır. İlk katman tamamlandıktan sonra tabla yatağı katman kalınlığı kadar aşağı iner, yeni katman kalınlığı kadar toz serilir ve lazer ile taranır. Gerçekleştirilen bu işlem istenilen parça oluşturuluncaya kadar devam eder. Parça oluşturulduktan sonra soğuması için bir süre beklenir. Soğuma işleminin ardından parça, üretim tablası üzerinden alınarak gerekli temizleme işlemleri gerçekleştirilir. SLS Teknolojisinde özel olarak oluşturulmuş destek yapılarına ihtiyaç yoktur. Çünkü üretim esnasında lazer ile taranan bölümlerin dışında kalan fazla tozlar destek görevi görmektedir [5].

2.2.3.3 Elektron Işınli Ergitme (EBM, Electron Beam Melting) Teknolojisi

Eklemeli İmalat Teknolojilerinden olan EBM Teknolojisinde yüksek güçlü bir elektron ışını bulunmaktadır. Bu güçlü elektron ışını ile metal tozlarının eritilerek katmanlı bir yapı oluşturulmaktadır. EBM Teknolojisi havacılık, otomotiv, tıp gibi birçok endüstride kullanılabilir [5].



Şekil 2.17: EBM Teknolojisinin çalışma prensibi [5].



Şekil 2.18: EBM Teknolojisinde üretilmiş parçalar [5].

3. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler genel anlamda en az iki veya daha fazla sayıda malzemenin makro seviyede bir araya getirilerek yeni bir malzeme ortaya çıkartması şeklinde tanımlanır [10, 11]. Kompozit malzemeler temel olarak birden çok malzemeden meydana gelmesine rağmen birbiri içerisinde çözünme gerçekleştirmez. Malzemeler çözünme gerçekleştirir ve atom alışverişinde bulunursa alaşım meydana gelir [11, 12].

Kompozit malzemenin temelini matris ve takviye fazı bileşenleri oluşturmaktadır [10, 11]. Takviye bileşenin temel işlevi taşıyıcı bir rol üstlenirken, matris bileşeni takviyeleri bir arada tutmak ve desteklemek amacıyla kullanılır. Bu nedenle, kompozit malzemelere ve üretim yöntemlerine olan rağbet sürekli olarak artmaktadır. Özellikle otomotiv, havacılık gibi düşük ağırlık ve maksimum dayanım gerektiren endüstrilerde kompozit malzemelerin kullanımı gün geçtikçe yoğunlaşmaktadır. Genellikle, kompozit malzemeler yüksek spesifik mukavemet, yüksek çekme dayanımı, yüksek basma dayanımı, hafiflik, yüksek korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır [20].

3.1 Kompozitlerin Malzemelerin Sınıflandırılması

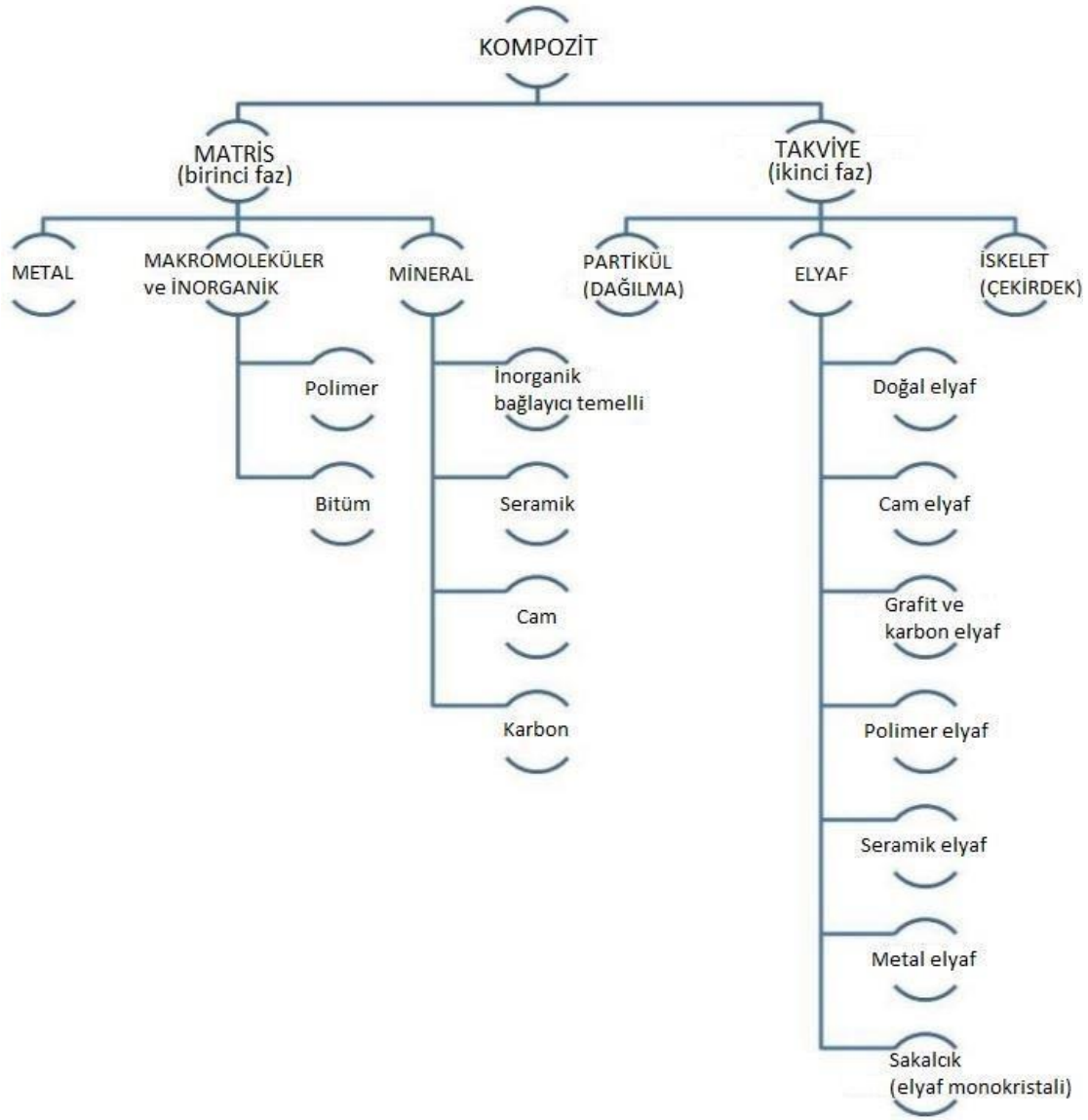
Kompozit malzemeler matris türüne göre genel anlamda üç ana grupta incelenebilmektedir. Bunlar;

- 1) Polimer Matrisli Kompozitler
- 2) Metal Matrisli Kompozit Malzemeler
- 3) Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler

Taksiye türüne göre kompozit malzemeler üç ana grupta incelenebilmektedir. Bunlar;

- 1) Pul takviyeli kompozitler
- 2) Partikül takviyeli kompozitler
- 3) Fiber takviyeli kompozitler [20].

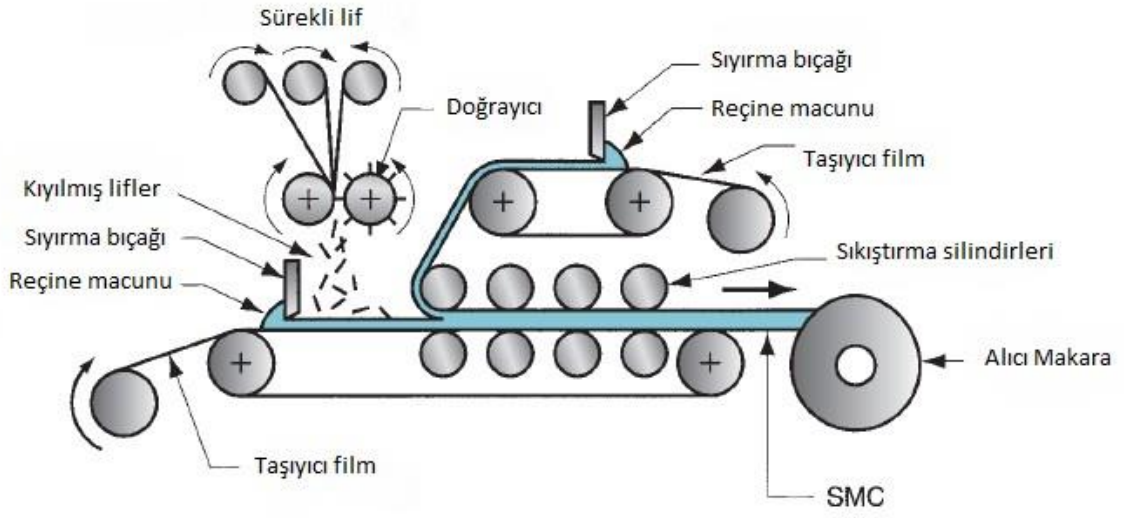
Şekil 3.1’ de Kompozitlerde kullanılan matris ve takviye malzemelerinin tiplerinin sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Kompozitlerde kullanılan matris ve takviye malzemesi tipleri [10].

3.2 SMC (Sheet Moulding Compound, Hazır Kalıplama Pestili)

SMC olarak bilinen hazır kalıplama yöntemi, iki aşamada üretilir. İlk aşamada, belirli oranlarda cam elyafı, doymamış polyester, dolgu maddeleri ve katkı maddeleri özel olarak hazırlanır ve karıştırılarak pestil (pregreg) formunda malzemeler hazırlanır. İkinci aşamada, olgunlaşması için bir süre bekletilen pestiller, yüksek basınçlı ve ısıtmalı kalıplarda istenen şekle getirilir [21].



Şekil 3.2: SMC üretim yöntemi [21].

4. BALİSTİK BİLİMİ

Balistik bilimi genel anlamda merminin hareketlerini inceleyen bilim dalıdır [13]. Mermi namludan çıkıp hedefe varıncaya kadar birçok durum gerçekleşmektedir. Bu durumlar da balistik olarak adlandırılır. Balistik, merminin namlu içerisindeki hareketlerini, namlu dışındaki hareketlerini ve hedefe ulaştığı zamandaki hareketlerinin incelemektir. Bu yüzden balistik balistik bilimi;

- 1) İç Balistik
- 2) Dış Balistik
- 3) Terminal Balistik

Olmak üzere üç bölümde incelenir [10, 13, 14].

4.1 İç Balistik

İç balistik namlu içerisinde gerçekleşen durumları incelemektedir. İç balistik merminin namlu içerisindeki hareketini, mermi çekirdeğinin namludan çıkana kadarki hızını, barutun ateşlenmesinden kaynaklı basıncı vb. incelemektedir [10, 16].

4.2 Dış Balistik

Dış balistik merminin namluyu terkettiği zamandan hedefe ulaştığı zamana kadar geçen sürede havadaki hareketini incelemektedir [13, 14].

4.3 Terminal Balistik

Terminal balistik merminin hedefe ulaştığı andan itibaren hedef üzerindeki davranışlarını incelemektedir [10].

4.4 Balistik Deney Standartları

Balistik koruyucuların koruyuculuğunu test etmek için birçok standart geliştirilmiştir. Yaygın bir şekilde kabul gören standartlar NIJ (The US National Institute of Justice-Ulusal Adalet Enstitüsü) tarafından kabul gören standartlardır. Ayrıca NATO ve Türk Standartları Enstitüsü tarafından da birçok askeri standartlar oluşturulmuştur. Bu standartların içeriğini

belirli parametreler oluşturmaktadır. Şekil 4.1’de bazı uluslararası ve ulusal balistik standartları sunulmuştur [14, 17].

STANDART NO	STANDART ADI
MIL-STD-662 F	V50 Ballistic Test ForArmor (Zırhlar İçin V50 Balistik Testi)
NIJ-STD-0101.06	BallisticResistance of Personal Body Armor (Kişisel Vücut Zırhlarının Balistik Dayanımları)
STANAG 2920	Ballistic Test MethodForPersonalArmor (Kişisel Zırhlar İçin Balistik Test Metotları)
TS 11164	Balistik Koruyucu Yelek
PPAA STD-1989-05	PersonalProtectiveArmorAssociation, TestingStandardsForBallisticResistance of Personal Body Armors (Kişisel Koruyucu Zırh Birliği, Kişisel Vücut Zırhlarının Balistik Dayanım Test Standartları)
MIL-P-46199	Plate: AluminiumOxideCeramic (ForUseInArmorComposite) (Alüminyum Oksit Seramik Plakalarının Zırhlarda Kullanımı)
DIN EN ISO 14876-2	ProtectiveClothing - Body Armor - Part 2: BulletResistance; Requirementsand Test Methods (Koruyucu Giysi - Vücut Zırhı - Bölüm 2: Mermi Dayanımı Gereksinimleri ve Test Metotları)

Şekil 4.1: Bazı uluslararası ve ulusal balistik standartlar [14].

4.4.1 NIJ 0101.06 ve NIJ 0101.04 Standartları

Günümüzde yaygın olarak kullanılan standartlar arasında NIJ 0101.06 ve NIJ 0101.04 standartları bulunmaktadır. NIJ 0101.06 standardı 2008 tarihinde oluşturulmuş olup, NIJ 0101.04 standardının revize edilmiş halidir. NIJ 0101.06 Standardı koruma seviyesine göre beş gruba ayrılmış olup IIA, II, IIIA, III, IV şeklindedir [14, 17]. Şekil 4.2 de NIJ standartları ve test kriterleri gösterilmiştir.

Threats	Bullet Mass (grams)	NIJ 0101.04		NIJ 0101.06		NIJ 0101.07		NIJ 0106.00		NIJ 0108.01	
		Protection Level	Bullet Velocity (m/sn)	Protection Level	Bullet Velocity (m/sn)	Protection Level	Bullet Velocity (m/sn)	Protection Level	Bullet Velocity (m/sn)	Protection Level	Bullet Velocity (m/sn)
.22 LRHV	2,6	I	320±9	-	-	-	-	-	-	-	-
.380 ACP	6,2		312±9	-	-	-	-	-	-	-	-
.22 LRHV	2,6	-	-	-	-	-	-	I	320±12	I	320±12
38 Special	10,2	-	-	-	-	-	-		259±15		259±15
9×19mm	8	II A	332±9	IIA	373±9	-	-	-	-	-	-
.40S&W	11,7		312±9		352±9	-	-	-	-	-	-
9×19mm	8	II	358±9	II	398±9	HG1	398±9	IIA	332±15	IIA	332±15
.357 Mag	10,2		427±9		352±9		436±9		381±15		381±15
9×19mm	8	-	-	-	-	-	-	II	358±15	II	358±15
.357 Mag	10,2	-	-	-	-	-	-		425±15		425±15
.357 Sig	8,1	-	-	III A	448±9	-	-	-	-	-	-
44 Mag	15,6	-	-		436±9	-	-	-	-	-	-
9×19mm	8	II I A	427±9	-	-	HG2	448±9	-	-	III A	426±15
44 Mag	15,6		427±9	-	-		436±9	-	-		426±15
7,62×51mm	9,6	II I	838±9	III	847±9	RF1	847±9	-	-	III	838±15
7,62×39mm	7,8						-				-
5,56×45mm (M193)	3,6	-	-	-	-	RF1	990±9	-	-	-	-
7,62×51mm	9,6	-	-	-	-	RF2	847±9	-	-	-	-
7,62×39mm	7,8						725±9				
5,56×45mm (M193)	3,6						990±9				
5,56×45mm (M855)	4						950±9				
30-06AP	10,8	I V	869±9	IV	878±9	RF3	878±9	-	-	IV	869±15
Backface Signature						44mm					
Test Distance						5 meters For Level I, IIA, II, and IIIA					
						15 meters For Level III and IV					

Şekil 4.2: NIJ standartları ve test kriterleri [18].

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Biyolojik kompozitler, sedef ve kemik gibi, sertlik, dayanıklılık, esneklik ve darbe direnci gibi bir dizi özelliği bir araya getirme yetenekleri nedeniyle bilimsel topluluğun ilgisini çekmektedir. Sedef, %95 mineral içeriği ve %5 yumuşak biyopolimerik matris içeren bir yapıya sahiptir ve mineral fazına kıyasla çok daha büyük bir dayanıklılığa sahiptirler ve sertlikte çok az bir düşme yapar. Sonuç olarak, araştırmacılar, takviyenin yapısını taklit ederek üstün özelliklere sahip dayanıklı ve güçlü kompozit malzemeler tasarlamayı amaçlamaktadır. Ancak, nacre benzeri kompozitlerin çoğu deney ve simülasyonu basit gerilme veya basınç yüklemeleriyle sınırlıdır. Sedef benzeri kompozitlerin monolitik sert fazlarına kıyasla üstün darbe performansına sahip olabileceği hipotez edilmektedir. Bu çalışmada, özellikleri oldukça farklı olan iki baz malzemesi kullanılarak nacre benzeri tasarımlar geliştirilmekte ve bunları benzer bir mimariye sahip bir döşeme ile birleştirilmektedir. Bu döşemeler daha sonra 0 ve 90 derecelik yönelim açılarıyla istiflenerek bir laminat yapı oluşturulmaktadır. Üç boyutlu olarak basılmış tasarımların darbe testi bir düşüş kulesi test düzeneğinde gerçekleştirilmektedir. Darbe sırasında meydana gelen temel mekanizmaları anlamamızı artırmak için bir sonlu eleman modeli oluşturulmakta ve deneysel verilerle doğrulanmaktadır. Deney ve simülasyon sonuçları, benzeri tasarımların darbe direncinde bileşen malzemeleri aştığını göstermektedir. Bu çalışma, gelişmekte olan 3D-baskı teknolojisinin, askerler ve araçlar için sonraki nesil koruyucu malzeme sistemleri için uygun olan optimal darbe direncine sahip kompozit tasarımlara hızlı prototipleme imkânı sağlayabileceğini göstermektedir [23].

Malzeme seçimi ve tasarım yaklaşımları açısından benzersiz olan $10^2 - 10^3$ s⁻¹ aşırı gerilme hızları içeren uygulamalar, dinamik etki senaryolarında altyapı ve personelin korunması için özel bir öneme sahiptir. Darbe türü ve yapılandırma gereksinimlerine göre, malzeme ve tasarım özellikleri de dahil olmak üzere, bu tür uygulamalar üç geniş kategoride incelenebilir: (i) Projektile veya parçacıklara karşı balistik koruma; (ii) Diğer yüksek enerjili olaylara karşı koruma, örneğin çarpışma veya patlama; ve (iii) Mikrometeoroid ve yörünge enkazı (MMOD) azaltımı. Önceki çalışmalarda, dinamik yüklenme koşullarında bütünlüğü artırmak için yararlı tasarım özelliklerinin vurgulandığı görülmüştür, örneğin darbe enerjisinin hücresel yapısal tasarım aracılığıyla emilmesi yeteneği veya darbenin

yönlendirilmesi. Bu senaryolarda, koruma sisteminin üç boyutlu (3B) geometrisinin optimize edilme yeteneği, yüksek gerilme hızı koşullarında yapısal performansta önemli iyileştirmeler sağlayabilir ve bu, bu alandaki eklemeli imalat (AM) yöntemlerinin büyük potansiyelini işaret etmektedir. Ancak, şu ana kadar, dinamik etki uygulamaları için malzeme ve yapıların AM'i üzerine araştırmalar oldukça sınırlı kalmıştır. Bu makalede, yüksek gerilme hızı mühendislik tasarımının mevcut durumu gözden geçirilmekte ve AM yaklaşımı aracılığıyla gerçekleştirilebilecek potansiyel ve ortaya çıkan fırsatlar sistemli bir şekilde değerlendirilmektedir [24].

Eklemeli imalat, çevre dostu ve karmaşık kompozit malzemelerin üretimi için çok yönlü bir yöntem olarak önemli dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, polilaktik asit (PLA) ile pirinç kabuğu gibi bir takviye dolgu maddesinin kullanımıyla polimer kompozitlerin üretimine derinlemesine girilmektedir. Filamentler bir ekstrüzyon filament yapıcı tarafından üretilmiş ve ardından başka bir ekstrüzyon teknolojisi olan eritilmiş depozit modelleme (FDM) kullanılarak çekme ve darbe örnekleri yapmak için kullanılmıştır. Kompozit malzemelerin yapısal ve morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskop (SEM) kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, hem filamentlerin hem de örneklerin bu pirinç kabuğu katı atığı ile polimer parçalar üretmede çok güvenilir olduğunu göstermektedir. Bu araştırma, malzemelerin döngüselliklerini artırmaya ve bu atığın fazla kullanılmadığı pirinç üretimi etrafında yerel bir sosyal ekonomi oluşturmaya potansiyel olarak katkıda bulunmaktadır [25].

Kevlar kumaş ve polipropilen (PP) matris kullanılarak üretilen termoplastik esaslı kompozit zırhların balistik incelemesi, NIJ-STD 0106.01 Tip IIIA balistik test standardında incelenmiştir. Farklı tasarımlarda Kevlar kumaşları, 2D düz dokuma, 3D dikdörtgen ve 3D açılı kilitli kumaşlar, kompozit zırh panellerini üretmek için basınçlı kalıplama teknolojisi kullanılarak üretilmiştir. Kevlar termoplastik esaslı kompozitlerde termoset esaslı laminatlara göre azalan yoğunluk gözlemlenmiştir. Balistik testler, farklı kumaş tasarımı olan zırh panelleri üzerinde 9 mm tam metal yivsiz mermi (FMJ) ile yapılmıştır. Balistik test sonuçları, 2D zırhın, 3D zırhlardan %2.4-7 daha fazla hasara maruz kaldığını ortaya koymuştur. Balistik sınırlama hızının bir tahminini elde etmek ve hasar modellerini simüle etmek için ANSYS AUTODYN v. 14.0 kullanılarak simülasyonları yapılmıştır. Deneylemlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmak üzere simülasyonlardan elde edilen

çarpışma sonrası hasar modelleri, simülasyonların performansını değerlendirmek için karşılaştırılmıştır. 3D kompozit zırhlar, 9 mm FMJ mermisiyle karşılaşabilmiştir; ancak 2D düz dokuma zırhlar başarısız olmuştur. 2D düz dokuma zırhtan 3D dikdörtgen ve 3D açılı kilitli zırha balistik sınıra olan artış sırasıyla %16.44 ve %20'dir, bu da kumaş tasarımının balistik performans üzerindeki ciddi etkisini göstermektedir [26].

Kevlar, yüksek mukavemetli düşük ağırlık oranına sahip aramid liflerinin bir türüdür. Bu malzeme, belirli hedefleri korumak için mermilere karşı bir bariyer oluşturduğu kurşun geçirmez yelekler ve kasklar gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Kevlar/epoksi kompozit ve Kevlar kumaşının balistik davranışı incelenmiştir. Sonuçlar, Kevlar kumaşlarının mermilere karşı daha dirençli olduğunu göstermiştir. Çekme ve basma testleri, Kevlar/epoksi kompozitinin daha yüksek mukavemete sahip olmasına rağmen, Kevlar kumaşından daha az deformasyona uğradığını ortaya koymuştur. Sonuçlar ayrıca, Kevlar kumaşın hasar mekanizmasının oldukça elastik olduğunu göstermiştir. Son olarak, Kevlar kumaşın balistik davranışı, ABAQUS sonlu eleman yazılımı kullanılarak simüle edilmiş ve sonuçlar deney ile doğrulanmıştır [27].

Bu çalışmada Hybrid kompozitlerin balistik davranışı üzerine deneysel çalışmalar sunulmuştur. Çalışmalar için dört çeşit simetrik hibrit kompozit, düz dokuma E-cam kumaş ve 8H saten dokuma T300 karbon kumaş ile epoksi reçine kullanılarak üretilmiştir. E-cam katmanlarını dış kısma ve karbon katmanlarını iç kısma yerleştirmek, karbon katmanlarını dış kısma ve E-cam katmanlarını iç kısma yerleştirmekten daha yüksek balistik performans sağlamaktadır. Deneysel olarak balistik etki sırasında deformasyon hasarları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir [28].

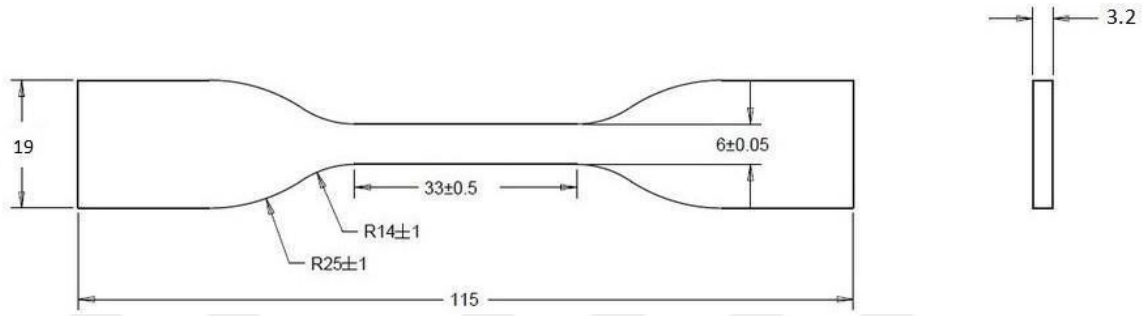
Fiber takviyeli kompozitlerin eklemeli imalatı, çeşitli endüstriyel uygulamalarda büyük bir ilgi görmektedir. Bu çalışmada, sürekli fiber takviyeli termoplastik (CFRT) kompozitler üretmek için, ergiyik biriktirme modelleme (FDM) 3B yazıcılar için yenilikçi bir ekstrüzyon tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu yöntemde fiber yüzey hazırlığı, baskı sıcaklığı ve besleme hızı gibi bazı zorluklar bulunmaktadır ve bunlar kaliteli bir kompozit parça üretmek için bu çalışmada ele alınmıştır. Ekstruderin başlıca avantajı, mevcut FDM 3B yazıcılara monte edilebilmesi ve dolayısıyla yeni bir şase tasarlama ihtiyacının ortadan kalkmasıdır. Ürünlerin kalitesini değerlendirmek için, saf polilaktik asit (PLA) ve karbon fiber takviyeli PLA'dan yapılmış standart çekme ve üç noktalı eğilme numuneleri basılmış

ve kısmi-statik yük altında test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, PLA'nın çekme ve bükülme özelliklerinde önemli iyileşmeler göstermektedir. Analizler neticesinde karbon fiber ile PLA arasındaki bağlantı detaylı olarak incelenmiştir [29].

Balistik tehditlere karşı hafif zırhın kullanımı, hareket kabiliyetini artırmak önemlidir. Bu çalışmada , bir E-cam/fenolik kompozitin lamine kalınlığı ve mermi darbe hızı fonksiyonu olarak balistik performansını açıklamaktadır. Sonuçlar, enerji sönümlenmesi ile lamine kalınlığı arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğunu göstermektedir. Laminatların enerji sönümlenmesi üzerinde kalınlık ve hızın etkisi, hedef ile mermi arasındaki etkileşim süresi açısından açıklanmıştır. Ayrıca, mermi deformasyonunun darbe hızından ziyade hedef kalınlığına daha fazla bağımlı olduğu gözlemlenmiştir. Hedef kalınlığında farklılıklarla birlikte deformasyon mekanizmalarındaki değişiklikler de açıklanmıştır [30].

6. MATERYAL VE METOD

Deneysel çalışmalarda 3d yazıcı ile oluşturulacak plakaların en uygun olanını tespit edebilmek için mekanik test olan çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi için 6 farklı iç dolguya sahip ASTM D638 IV standartına uygun numuneler üretilmiştir.



Şekil 6.1: ASTM D638 IV standart ölçüleri [22].

ABS ve TPU çekme numunelerin tamamı ASTM D638 IV standartına uygun şekilde üretilmiş. ABS Filament ile üretilen çekme numunelerin tamamı 0.6 mm nozzle çapında, 0.2 mm katman yüksekliğinde, %100 dolgu yoğunluğunda, 250 °C yazdırma sıcaklığında, 100 °C tabla sıcaklığında, 50 mm/s yazdırma hızında, yatay baskı alınan numuneler için destek kapalı, dikey baskı alınan numuneler için destek açık olacak şekilde baskı alınmıştır. ABS çekme numunesi üretim parametreleri tablo 6.1 de gösterilmiştir.

Tablo 6.1: ABS çekme numunesi üretim parametreleri.

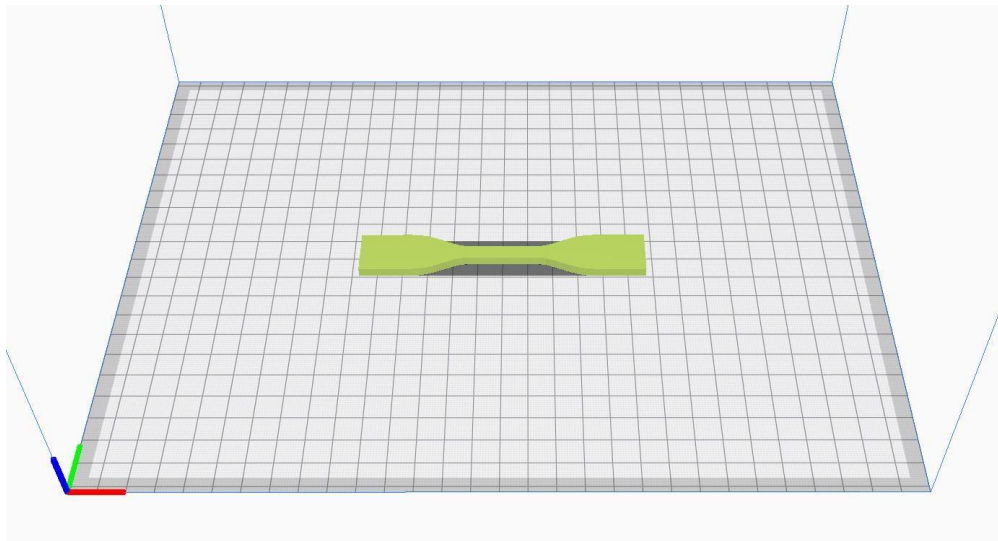
Üretim Parametresi	ABS Çekme Numunesi
Nozzle Çapı	0.6 mm
Katman Yüksekliği	0.2 mm
Dolgu Yoğunluğu	%100
Yazdırma Sıcaklığı	250 °C
Tabla Sıcaklığı	100 °C
Yazdırma Hızı	50 mm/s
Destek (Yatay)	Kapalı
Destek (Dikey)	Açık

TPU Filament ile üretilen çekme numunelerin tamamı 0.6 mm nozzle çapında, 0.2 mm katman yüksekliğinde, %100 dolgu yoğunluğunda, 230 °C yazdırma sıcaklığında, 50 °C tabla sıcaklığında, 20 mm/s yazdırma hızında, yatay baskı alınan numuneler için destek kapalı, dikey baskı alınan numuneler için destek açık olacak şekilde baskı alınmıştır. TPU çekme numunesi üretim parametreleri tablo 6.2 de gösterilmiştir.

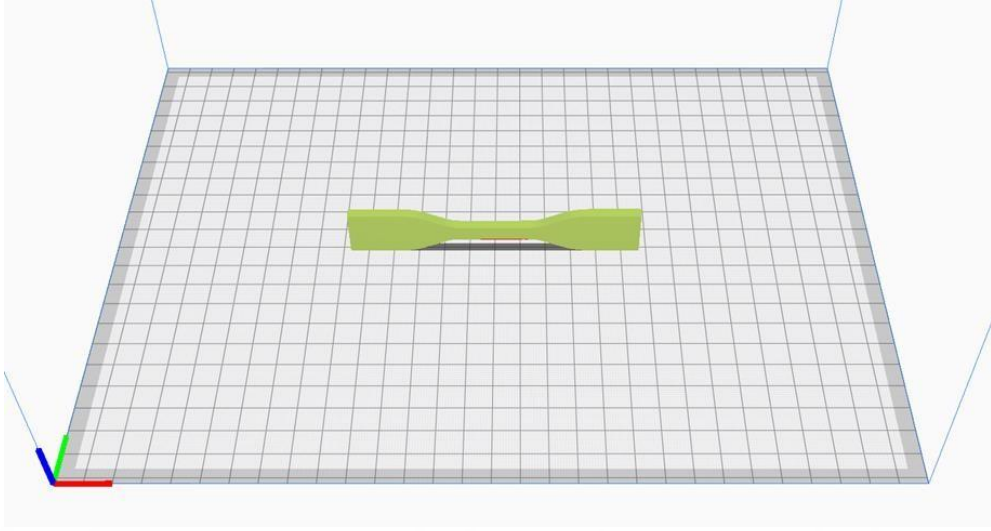
Tablo 6.2: TPU çekme numunesi üretim parametreleri.

Üretim Parametresi	TPU Çekme Numunesi
Nozzle Çapı	0.6 mm
Katman Yüksekliği	0.2 mm
Dolgu Yoğunluğu	%100
Yazdırma Sıcaklığı	230 °C
Tabla Sıcaklığı	50 °C
Yazdırma Hızı	20 mm/s
Destek (Yatay)	Kapalı
Destek (Dikey)	Açık

ABS ve TPU filament kullanılarak çekme numuneleri Ultimaker Cura Dilimleme programı üzerinde dilimlenmiştir. Çekme numuneleri, baskı tablasına yatay ve dikey konumlarda yerleştirilmiştir.



Şekil 6.2: Baskı tablasına yatay konumlandırılan çekme numunesi.



Şekil 6.3: Baskı tablasına dikey konumlandırılan çekme numunesi.

Ayrıca, içyapı doldurma açısı ve baskı tablasında konumlandırılacak tercih edilen değişken üretim parametreleri incelenmiştir. Bu bağlamda,

- 1) $[0^\circ]$
- 2) $[90^\circ]$
- 3) $[0^\circ, 90^\circ]$
- 4) $[45^\circ]$
- 5) $[45^\circ, -45^\circ]$
- 6) $[0^\circ, 45^\circ, -45^\circ, 90^\circ]$

gibi farklı iç yapı doldurma açıları ve bu açıların kombinasyonları kullanılarak toplamda altı farklı iç yapı doldurma açısı belirlenmiştir.

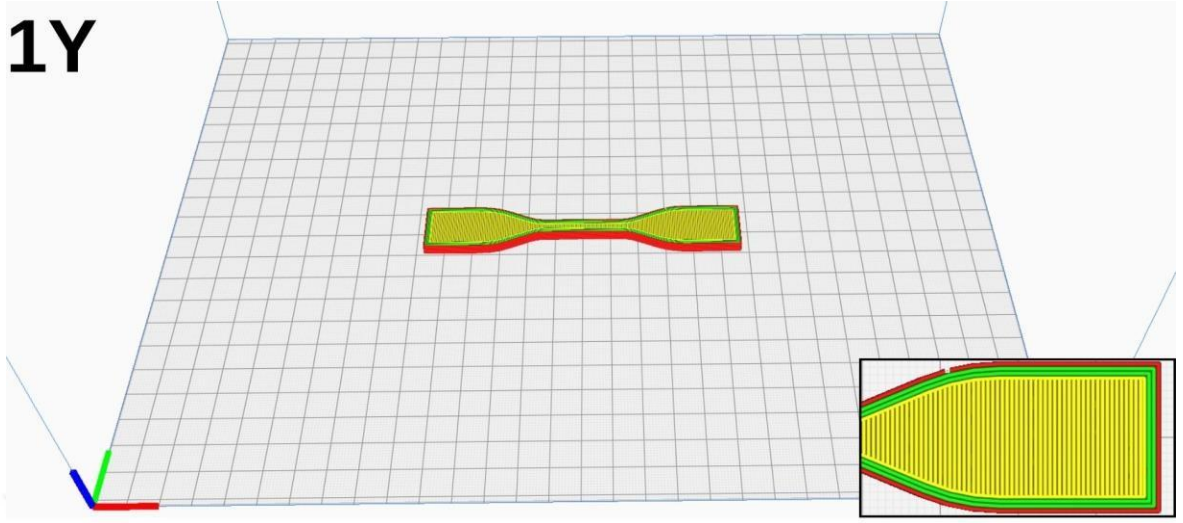
Tablo 6.3' de Üretilen numunelerin kodları, bu kodlara karşılık gelen iç yapı doldurma açıları ve baskı tablasındaki konumları açıklanmıştır.

Tablo 6.3: Üretilen numunelerin numune kodu, bu kodlara karşılık gelen iç yapı doldurma açıları ve konumları.

Numune Kodu	İç Yapı Doldurma Açısı ve Konumu
1Y	[0°], Yatay
2Y	[90°], Yatay
3Y	[0°,90°], Yatay
4Y	[45°], Yatay
5Y	[45°, -45°], Yatay
6Y	[0°, 45°, -45°, 90°], Yatay
1D	[0°], Dikey
2D	[90°], Dikey
3D	[0°,90°], Dikey
4D	[45°], Dikey
5D	[45°, -45°], Dikey
6D	[0°, 45°, -45°, 90°], Dikey

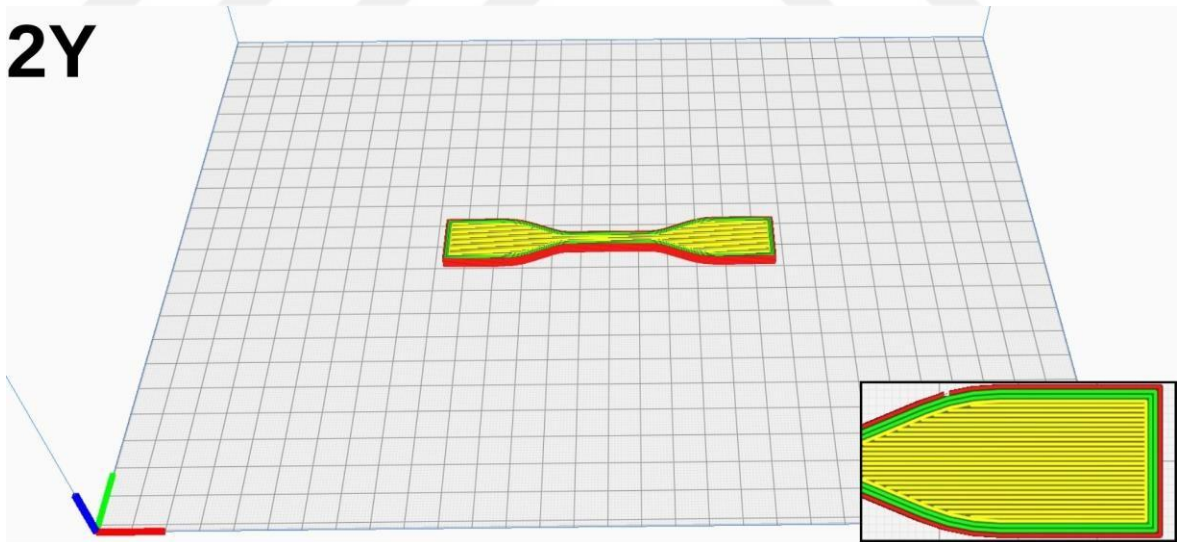
Tablo 6.3 incelendiğinde 1Y olarak adlandırılan numune [0°] iç yapı doldurma açısında, baskı tablasına yatay konumlandırılan numuneyi ifade etmektedir. 2Y olarak adlandırılan numune [90°] iç yapı doldurma açısında, baskı tablasına yatay konumlandırılan numuneyi ifade etmektedir. 3Y olarak adlandırılan numune [0°,90°] iç yapı doldurma açısında, baskı tablasına yatay konumlandırılan numuneyi ifade etmektedir. 4Y olarak adlandırılan numune [45°] iç yapı doldurma açısında, baskı tablasına yatay konumlandırılan numuneyi ifade etmektedir. 5Y olarak adlandırılan numune [45°, -45°] iç yapı doldurma açısında, baskı tablasına yatay konumlandırılan numuneyi ifade etmektedir. 6Y olarak adlandırılan numune [0°, 45°, -45°, 90°] iç yapı doldurma açısında, baskı tablasına yatay konumlandırılan numuneyi ifade etmektedir. 1D olarak adlandırılan numune [0°] iç yapı doldurma açısında, baskı tablasına dikey konumlandırılan numuneyi ifade etmektedir. 2D olarak adlandırılan numune [90°] iç yapı doldurma açısında, baskı tablasına dikey konumlandırılan numuneyi ifade etmektedir. 3D olarak adlandırılan numune [0°,90°] iç yapı doldurma açısında, baskı tablasına dikey konumlandırılan numuneyi ifade etmektedir. 4D olarak adlandırılan numune [45°] iç yapı doldurma açısında, baskı tablasına dikey konumlandırılan numuneyi ifade etmektedir. 5D olarak adlandırılan numune [45°, -45°] iç yapı doldurma açısında, baskı tablasına dikey konumlandırılan numuneyi ifade etmektedir. 6D olarak adlandırılan numune [0°, 45°, -45°, 90°] iç yapı doldurma açısında, baskı tablasına dikey konumlandırılan numuneyi ifade etmektedir.

Şekil 6.4'te $[0^\circ]$ iç yapı doldurma açısı bulunan ve baskı tablasına yatay konumlandırılan 1Y numunesi gösterilmiştir.



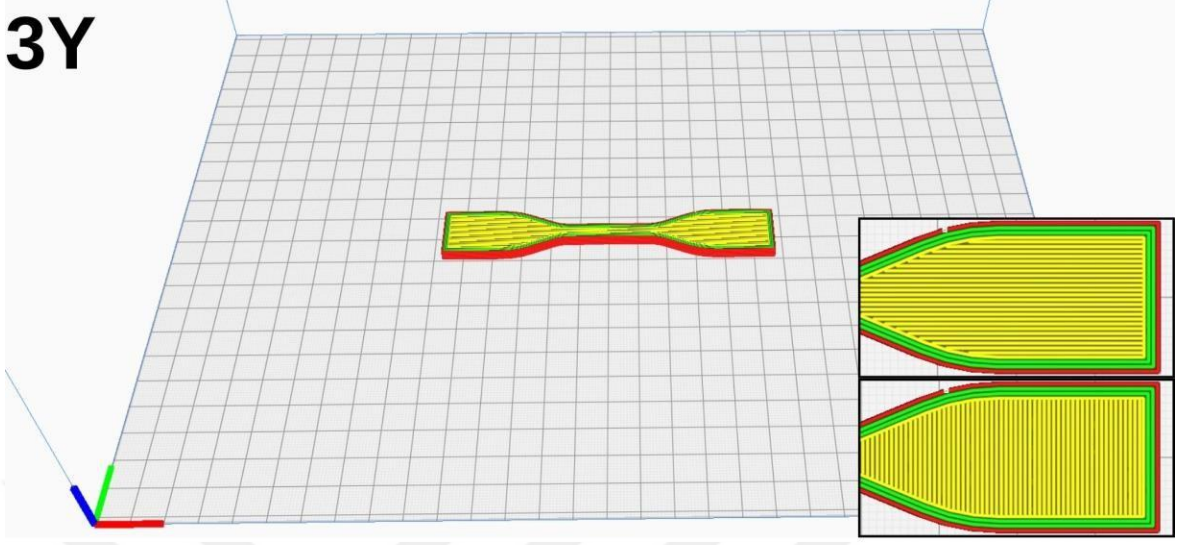
Şekil 6.4: 1Y numunesi.

Şekil 6.5'te $[90^\circ]$ iç yapı doldurma açısı bulunan ve baskı tablasına yatay konumlandırılan 2Y numunesi gösterilmiştir.



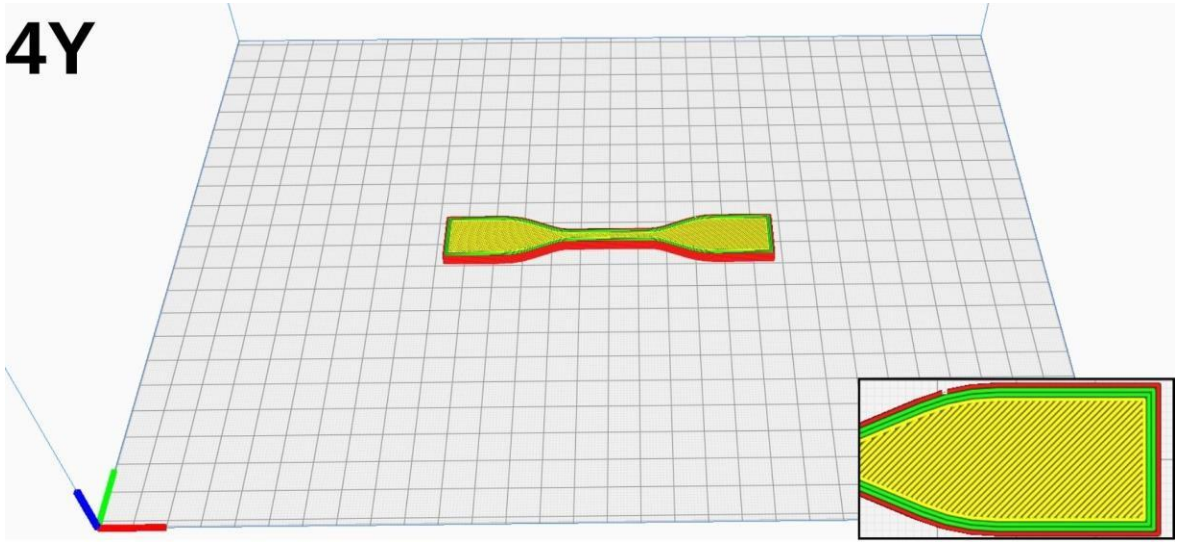
Şekil 6.5: 2Y numunesi.

Şekil 6.6' da $[0^\circ, 90^\circ]$ iç yapı doldurma açısı bulunan ve baskı tablasına yatay konumlandırılan 3Y numunesi gösterilmiştir.



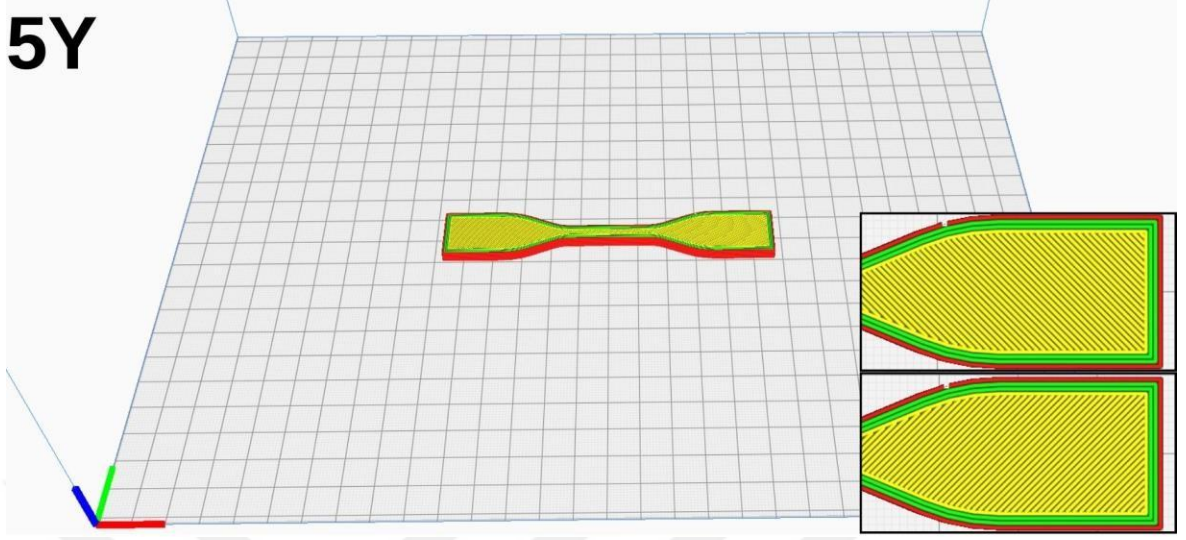
Şekil 6.6: 3Y numunesi.

Şekil 6.7' de $[45^\circ]$ iç yapı doldurma açısı bulunan ve baskı tablasına yatay konumlandırılan 4Y numunesi gösterilmiştir.



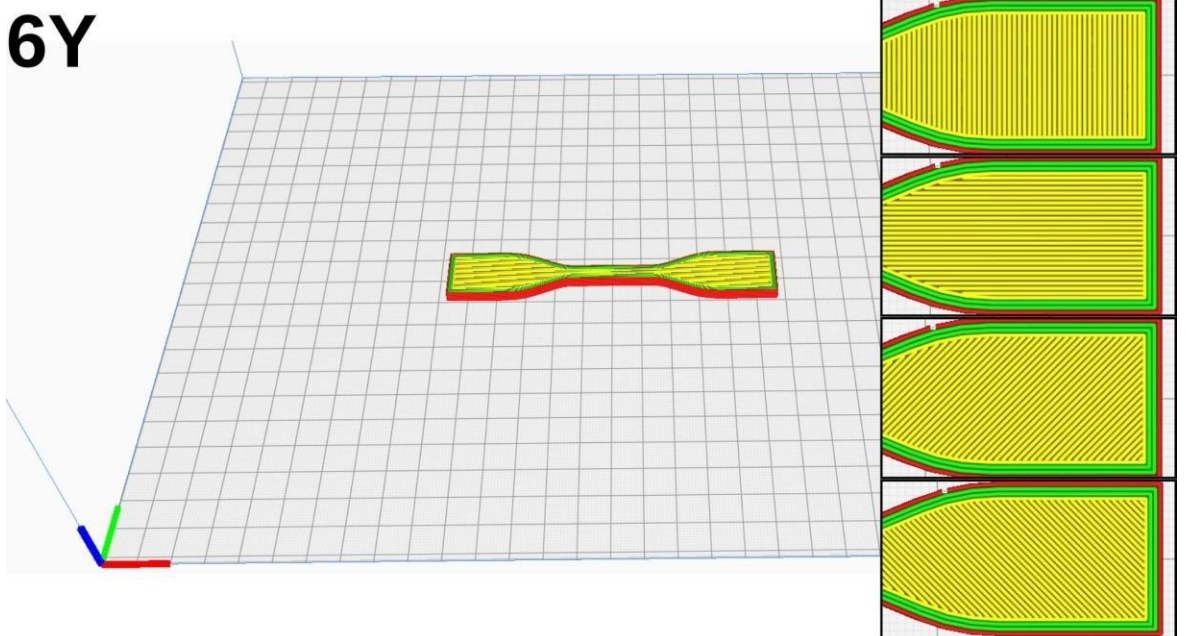
Şekil 6.7: 4Y numunesi.

Şekil 6.8' de $[45^\circ, -45^\circ]$ iç yapı doldurma açısı bulunan ve baskı tablasına yatay konumlandırılan 5Y numunesi gösterilmiştir.



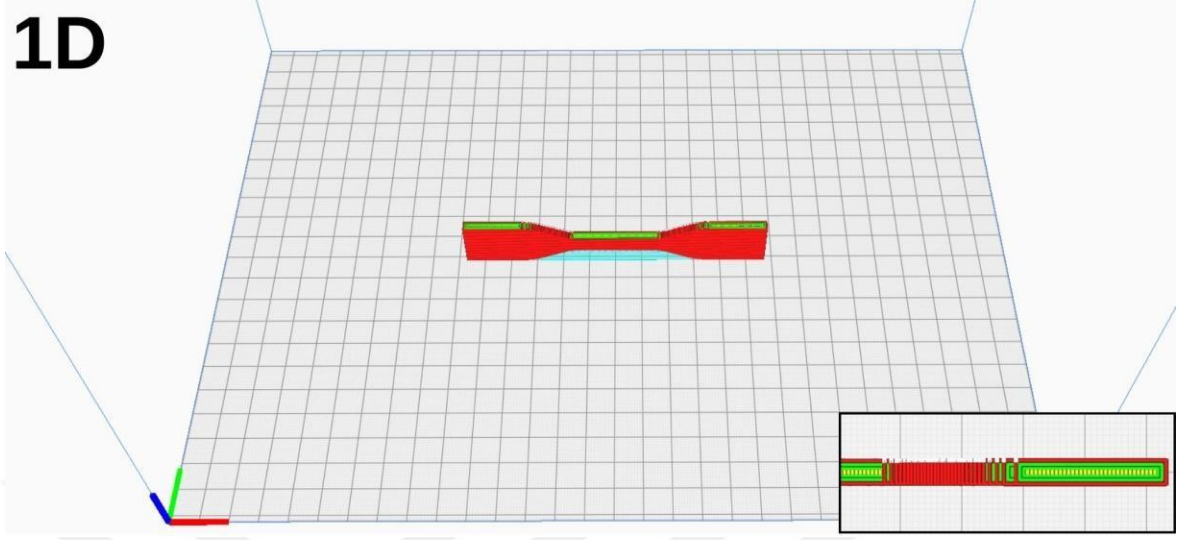
Şekil 6.8: 5Y numunesi.

Şekil 6.9' da $[0^\circ, 45^\circ, -45^\circ, 90^\circ]$ iç yapı doldurma açısı bulunan ve baskı tablasına yatay konumlandırılan 6Y numunesi gösterilmiştir.



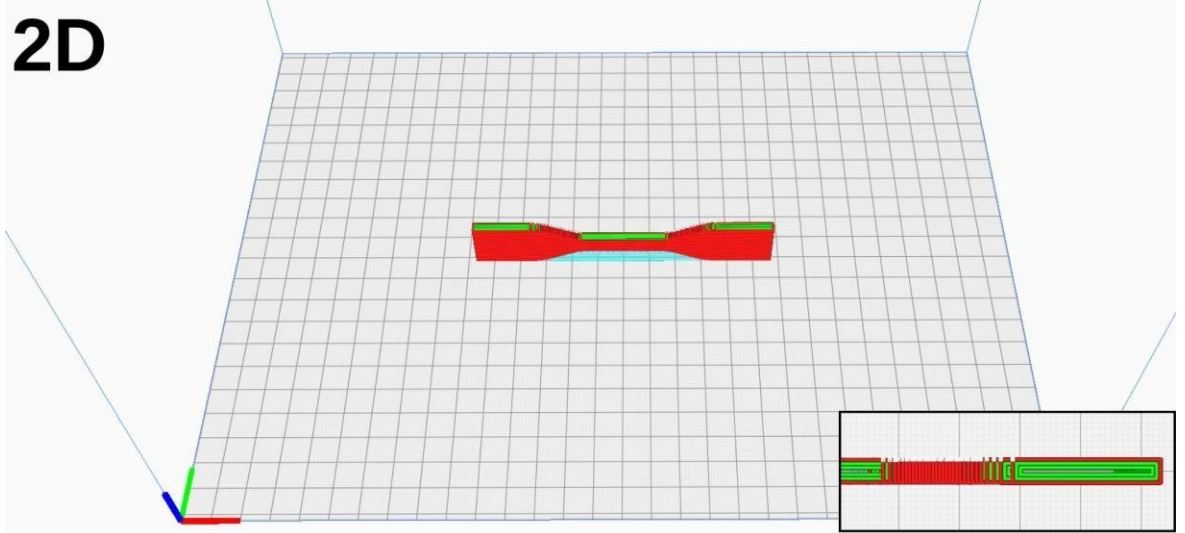
Şekil 6.9: 6Y numunesi.

Şekil 6.10' da $[0^\circ]$ iç yapı doldurma açısı bulunan ve baskı tablasına dikey konumlandırılan 1D numunesi gösterilmiştir.



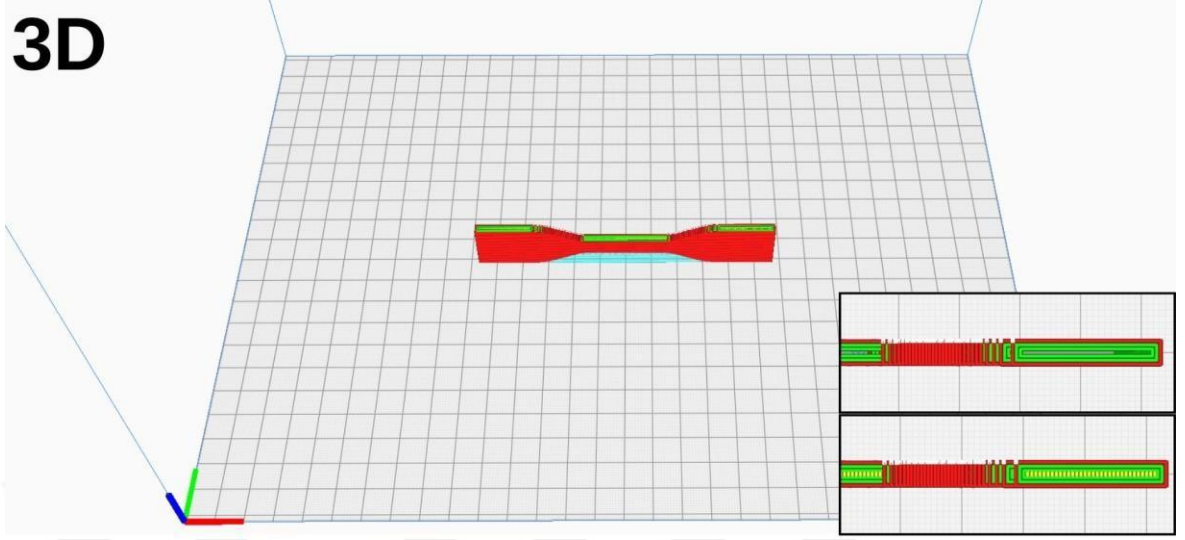
Şekil 6.10: 1D numunesi.

Şekil 6.11' de $[90^\circ]$ iç yapı doldurma açısı bulunan ve baskı tablasına dikey konumlandırılan 2D numunesi gösterilmiştir.



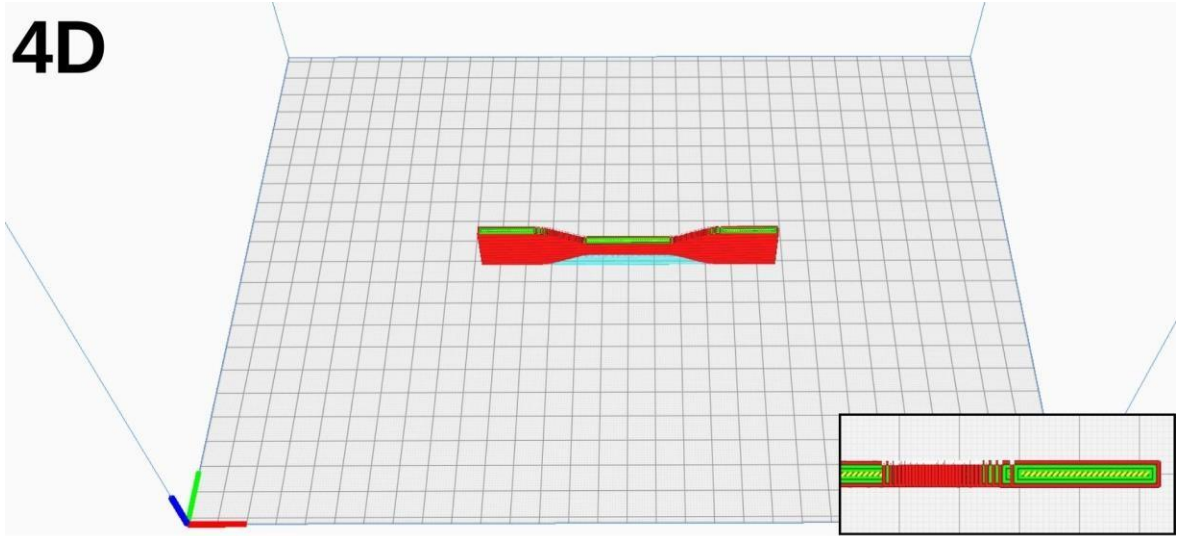
Şekil 6.11: 2D numunesi.

Şekil 6.12' de $[0^\circ, 90^\circ]$ iç yapı doldurma açısı bulunan ve baskı tablasına dikey konumlandırılan 3D numunesi gösterilmiştir.



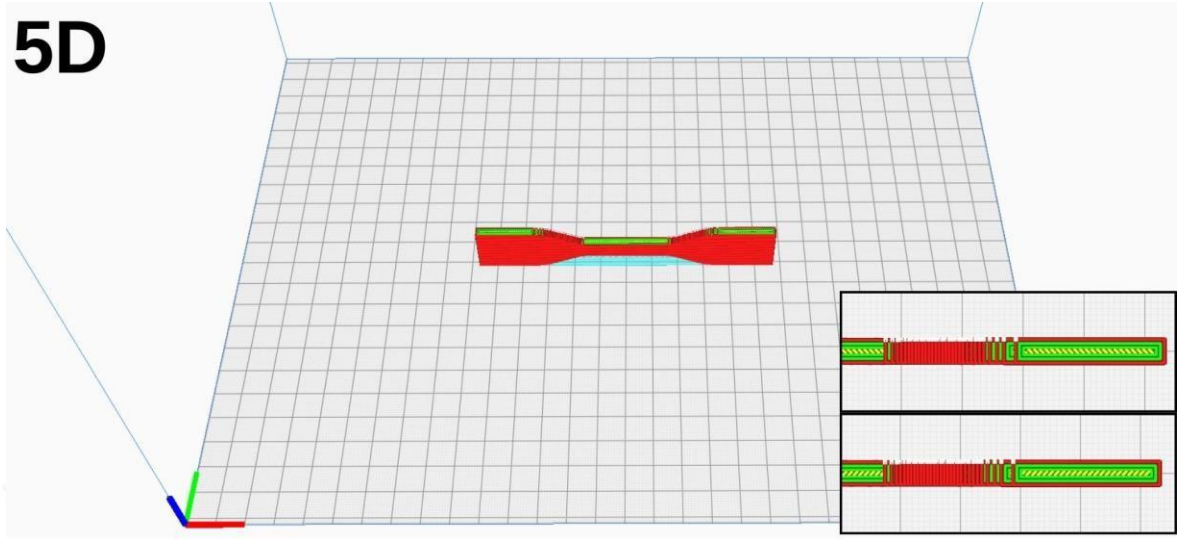
Şekil 6.12: 3D numunesi.

Şekil 6.13' de $[45^\circ]$ iç yapı doldurma açısı bulunan ve baskı tablasına dikey konumlandırılan 4D numunesi gösterilmiştir.



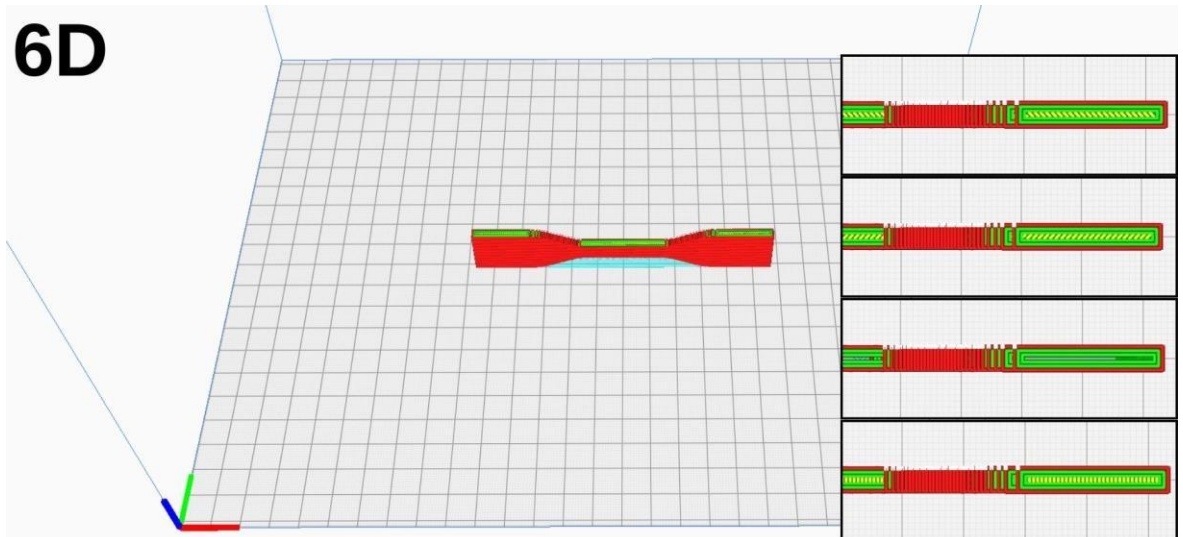
Şekil 6.13: 4D numunesi.

Şekil 6.14' de $[45^\circ, -45^\circ]$ iç yapı doldurma açısı bulunan ve baskı tablasına dikey konumlandırılan 5D numunesi gösterilmiştir.



Şekil 6.14: 5D numunesi.

Şekil 6.15' de $[0^\circ, 45^\circ, -45^\circ, 90^\circ]$ iç yapı doldurma açısı bulunan ve baskı tablasına dikey konumlandırılan 6D numunesi gösterilmiştir.



Şekil 6.15: 6D numunesi.

Üretilen çekme numuneleri Şekil 6.16' da gösterilmiştir. Beyaz renk numuneler ABS filament ile üretilmiş, siyah renk numuneler TPU filament ile üretilmiştir.



Şekil 6.16: Üretimi tamamlanan çekme numuneleri.

6.1 Çekme Testi Parametreleri

Çekme Testleri Şekil 6.17' de gösterilen 20 kN kapasiteli LABOMAK Marka test cihazında gerçekleştirilmiştir olup bu testler 5 mm/s hızında yapılmıştır. Tüm numunelere, aynı test cihazında çekme testi uygulanmıştır olup bu testlerin tamamı aynı standartlara ve koşullara göre gerçekleştirilmiştir. Çekme Testi uygulana ABS numune Şekil 6.18' de ve çekme testi uygulanan TPU numune Şekil 6.19'da gösterilmiştir.



Şekil 6.17: Çekme Testi Cihazı.



Şekil 6.18: Çekme testi uygulanan ABS numune.



Şekil 6.19: Çekme testi uygulanan TPU numune.

6.2 Sertlik Testi Parametreleri

Shore A sertlik ölçüm cihazı yumuşak malzemelerin sertliğini ölçmek için tasarlanmıştır. Bu cihaz, iki adet ibreye sahip olup, yapılan ölçümlerde ikinci ibrenin (kırmızı ibre) son ölçülen değerin üzerinde kalarak ölçülen değerin analog ekranda okunmasını kolaylaştırır. Shore A sertlik ölçüm cihazı, kauçuk, elastomerler, esnek poli akrilikler, silikon, PVC gibi malzemelerin sertliklerini ölçmek için kullanılır.

Shore D sertlik ölçüm cihazı sert malzemelerin sertliğini ölçmek için tasarlanmıştır. Bu cihaz tıpkı Shore A ölçüm cihazında olduğu gibi iki adet ibreye sahip olup, yapılan ölçümlerde ikinci ibrenin (kırmızı ibre) son ölçülen değerin üzerinde kalarak ölçülen değerin analog ekranda okunmasını kolaylaştırır. Shore D sertlik ölçüm cihazı, sert kauçuk, cam, sert reçine, akrilik, sert plastik, termoplastik gibi malzemelerin sertliklerini ölçmek için kullanılır.

ABS numunesi sert malzeme olduğundan dolayı sertlik ölçümü Shore D sertlik ölçüm cihazında, TPU numunesi ise yumuşak malzeme olduğundan dolayı sertlik ölçümü Shore A sertlik ölçüm cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.20: Shore A ve Shore D modelleri.

6.3 SMC Plaka Üretimi

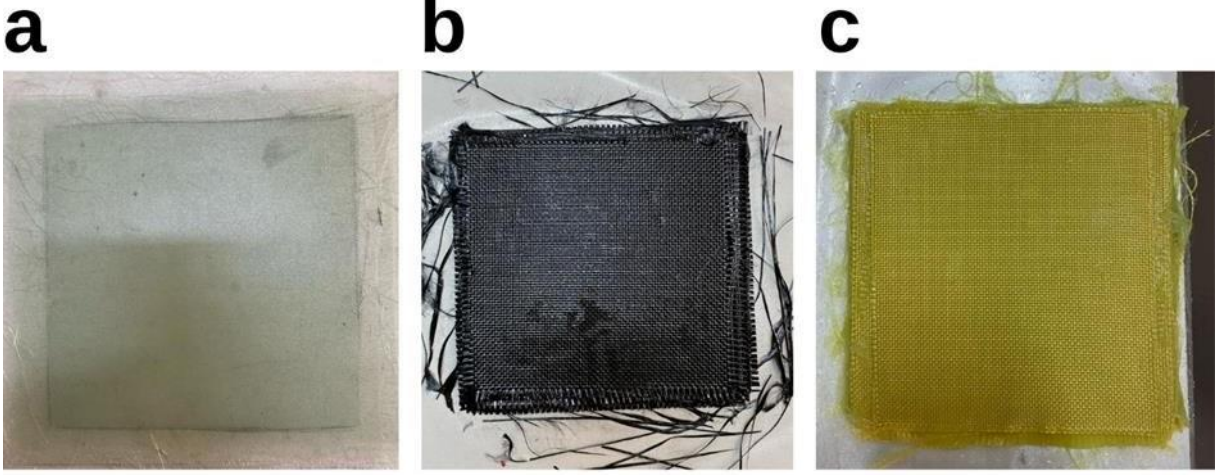
SMC (Sıcak Pres Kalıplama) plaka cam elyaf, reçine ve dolgu malzemelerinin birbiriyle iki film arasında karışmasıyla oluşturulmuştur. Oluşturulan bu pestil malzeme uygun sıcaklık ve basınçta katılaştırılmış ve deneyde kullanılacak plaka haline gelmiştir.



Şekil 6.21: Üretimi gerçekleştirilen SMC plaka.

6.4 Kumaş Plakaların Üretimi

Kumaş türü olarak Aramid Fiber Kumaş, Karbon Fiber Kumaş, Cam Fiber Kumaş tercih edilmiştir. Aramid Fiber kumaşın m² ağırlığı 410 gr, Karbon Fiber Kumaşın m² ağırlığı 225 gr, Cam Fiber Kumaşın m² ağırlığı 105 gr' dır. Kumaşların katılaştırılması için epoksi reçine ve sertleştirici kullanılmıştır. Kumaş plakalar oluşturulurken öncelikle düz bir zemine kullanılacak olan kumaşın ilk katmanı serilmiş olup üzerine epoksi ve sertleştirici karışımı bir rulo fırça yardımıyla sürülmüştür. Bu işlem 10 kat kumaş serilene kadar tekrar etmiştir. Tüm kumaş türlerine aynı işlem uygulanmış olup yaklaşık 15 °C sıcaklıkta 15 saat kürleştirilmiştir.



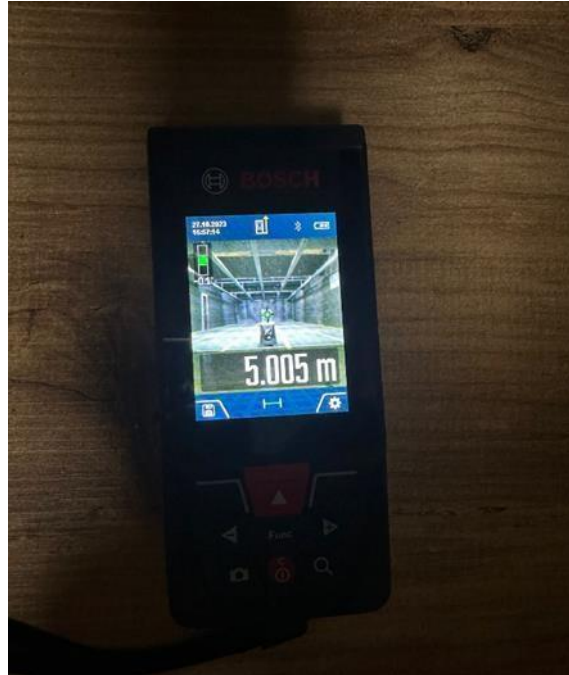
Şekil 6.22: Kürleştirilen fiber kumaşlar.

a) Cam fiber kumaş b) Karbon fiber kumaş c) Aramid fiber kumaş.

Kürleştirilen plakaları diğer plakalarla aynı boyuta getirmek için spiral yardımıyla kesilmiştir. Bu sayede tüm plakalar 150x150 mm ölçülerine getirilmiştir.

6.5 Balistik Test Koşulları

Oluşturulan plakalar çelik mekanizmaya sabitlenerek lazermetre ile mesafesi ayarlanmıştır.



Şekil 6.23: Lazermetre ile mesafe ayarlanması.

Uzman kişiler tarafından, numunelere poligonda atış yapılmıştır. Deney sırasında tamamlanan atışlar CANİK TP9 SFX ile gerçekleştirilmiştir.



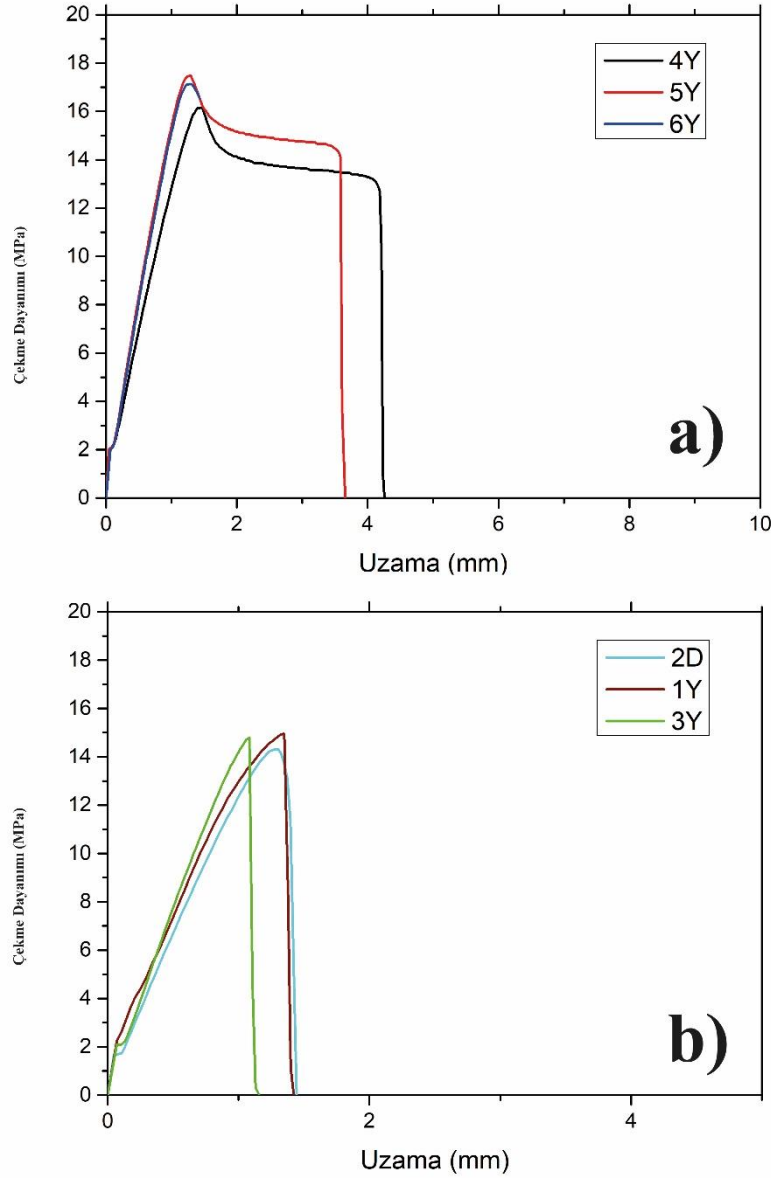
Şekil 6.24: Deney mermisi ve CANİK TP9 SFX.

Atışların gerçekleştirirken kullandığımız CANİK TP9 SFX teknik özellikleri Tablo 6.4 ' te verilmiştir.

Tablo 6.4: CANİK TP9 SFX teknik özellikleri.

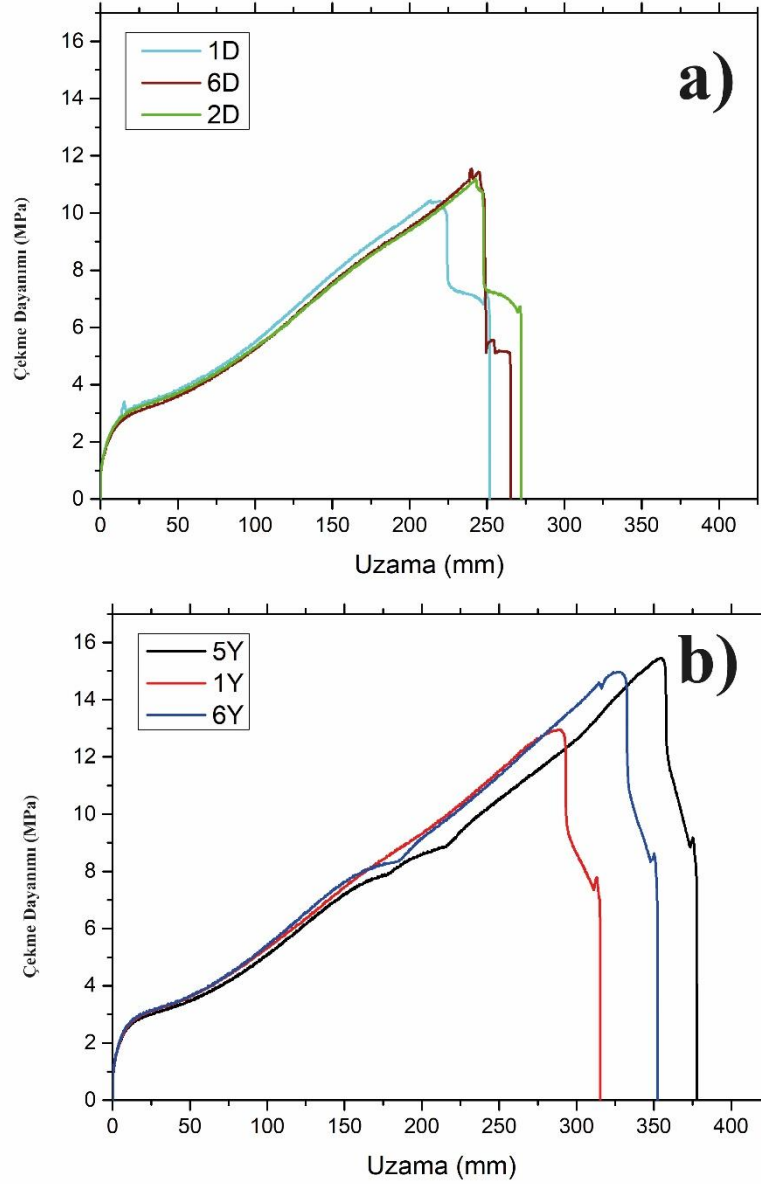
CANİK TP9 SFX	Teknik Özellikler
Kalibre (9 mm)	15-18-20 rounds
Kalibre (.40S&W)	NA
Uzunluk	210.5 mm
Yükseklik	145 mm
Genişlik	35 mm
Namlu Uzunluğu	132 mm
Ağırlık (Boş Şarjör ile)	845 g

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA



Şekil 7.1: ABS Numune grafikleri.

ABS malzemesinden eklemeli imalat yöntemiyle üretilen parçaların çekme grafikleri Şekil 7.1 'de sunulmuştur. Şekil 7.1a 'da incelenen çekme grafiklerinden en yüksek çekme dayanımı, "5Y" kodlu numunede 17,46 MPa değeriyle belirlenmiştir. Bu numuneyi, "6Y" ve "4Y" numuneleri takip etmektedir. En düşük çekme dayanımları ise (Şekil 7.1b ' de) "2D" kodlu numunedeki en düşük çekme dayanımı ile görülmektedir. Şekil 7.1' de, 3Y kodlu numune ikinci en düşük çekme dayanımını sergilerken, üçüncü en düşük çekme dayanımı gösteren numune "1Y" kodlu numunedir.



Şekil 7.2: TPU numune grafikleri.

Eklemeli imalat yöntemiyle TPU Malzemedan üretilen malzemelerin çekme grafikleri incelendiğinde; en düşük çekme dayanımları (Şekil 7.2a) : "1D" kodlu numuneden elde edilmiştir. Bu durum, üretilen diğer numuneler olan "2D" ve "6D" ye kıyasla daha düşük bir çekme dayanımına sahip olduğunu gösterir. Şekil 7.2a' da, 2D kodlu numune ikinci en düşük çekme dayanımını gösterirken, "Üçüncü düşük çekme dayanımı gösteren numune: "6D" numunesidir. Şekil 7.2b 'de ise TPU Malzemedan üretilen malzemelerin çekme grafikleri incelendiğinde ise en yüksek çekme dayanımı gösteren numune:, "5Y" kodlu numuneden 14,96 MPa değeriyle elde edilmiştir. Bu numuneyi ise "6Y" ve "1Y" numuneleri izlemiştir.

Ekllemeli imalat yöntemiyle ABS malzemesinden üretilen parçaların Çekme Dayanımları (MPa) Tablo 7.1’de gösterilmiştir.

Tablo 7.1: ABS malzemesi çekme dayanımları.

Numune Kodu	Çekme Dayanımı (MPa)
5Y	17,46
6Y	17,12
4Y	16,15
2D	14,31
3Y	14,79
1Y	14,94

Ekllemeli imalat yöntemiyle TPU malzemesinden üretilen parçaların Çekme Dayanımları (MPa) Tablo 7.2’de gösterilmiştir.

Tablo 7.2: TPU malzemesi çekme dayanımları.

Numune Kodu	Çekme Dayanımı (MPa)
5Y	14,96
6Y	14,26
1Y	12,84
1D	10,44
2D	11,17
6D	11,55

Ekllemeli İmalat Yöntemiyle üretilen ve çekme testi uygulanan numuneler incelediğinde "5Y" kodlu numunenin hem ABS malzemesinde hem de TPU malzemesinde en yüksek çekme dayanımına sahip numune olduğu belirlenmiştir.

3D Yazıcıdan 2 farklı filament kullanılarak 2 farklı plaka "5Y" kodlu numunenin üretim parametrelerine uygun bir şekilde üretilmiştir. Beyaz renkli numune Porima marka ABS Filament, siyah renkli numune Porima marka TPU filament ile Creality Cr5 ProH cihazında üretilmiştir.



Şekil 7.3: Üretimi Gerçekleştirilen ABS ve TPU plakalar.



Şekil 7.4: Plakaların üretimi için kullanılan 3D yazıcı.

3D Yazıcıdan üretilen tüm plakalar aynı cihazda üretilmiş olup bu plakalar (ABS VE TPU) 150 mm x150 mm ölçülerinde ve 5 mm kalınlığındadır.

Eklemeli İmalat Yöntemiyle TPU malzemeden "5Y" kodunun üretim parametrelerine uygun şekilde üretilen plakanın Shore A sertlik ölçüm cihazı ile sertliği ölçülmüştür. Toplamda 5 adet ölçüm yapılmış olup bu ölçüm sonuçları şekil 7.5' de gösterilmiş olup Tablo 7.1' de incelemesi gerçekleştirilmiştir.



1 **2** **3** **4** **5**

Şekil 7.5: TPU sertlik ölçüm sonuçları.

Tablo 7.3: TPU Shore sertlik sonuçları.

Deney Numarası	Shore Sertlik Değeri (Shore A)
1 Numara	93.5
2 Numara	94
3 Numara	94
4 Numara	94.5
5 Numara	94

TPU filamentten üretilen malzemelerin Shore sertlik değerleri üzerinde dikkate değer bir tutarlılık gözlemlenmiştir. Ortalama olarak, bu beş farklı deneyde elde edilen değerler, 93.5 ile 94.5 arasında değişmektedir. Bu sonuçlar, malzemenin homojen yapısının ve üretim sürecinin istikrarının yüksek olduğunu işaret etmektedir.

Ekllemeli İmalat Yöntemiyle ABS malzemededen "5Y" kodunun üretim parametrelerine uygun şekilde üretilen plakanın Shore D sertlik ölçüm cihazı ile sertliği ölçülmüştür. Toplamda 5 adet ölçüm yapılmış olup bu ölçüm sonuçları şekil 7.6' da gösterilmiş olup Tablo 7.2' de incelemesi gerçekleştirilmiştir.



1 **2** **3** **4** **5**

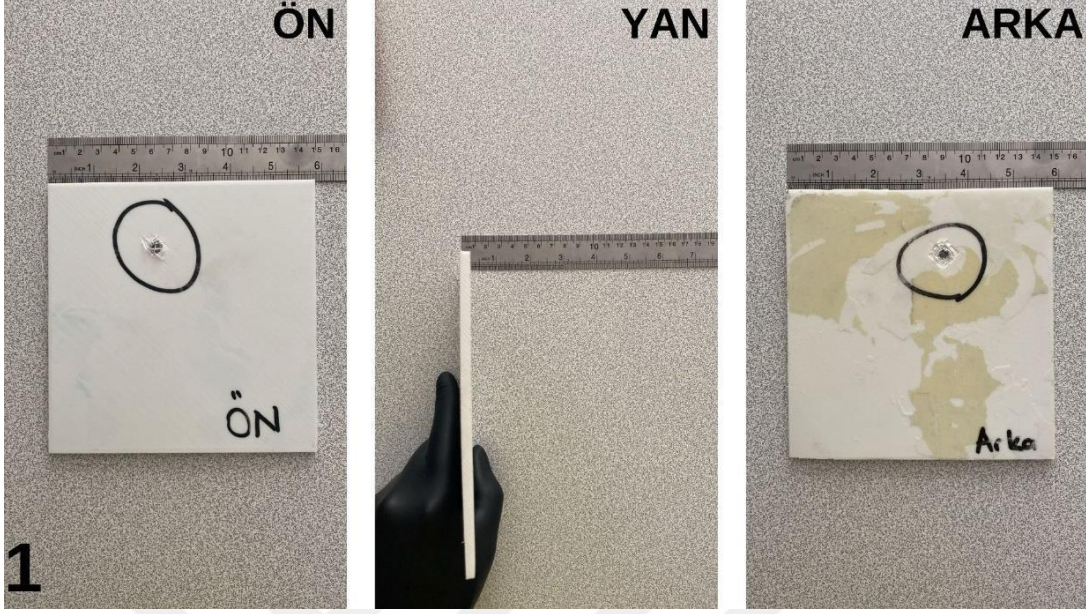
Şekil 7.6: ABS sertlik ölçüm sonuçları.

Tablo 7.4: ABS Shore sertlik sonuçları.

Deney Numarası	Shore Sertlik Değeri (Shore D)
1 Numara	87
2 Numara	87.5
3 Numara	86
4 Numara	88
5 Numara	88

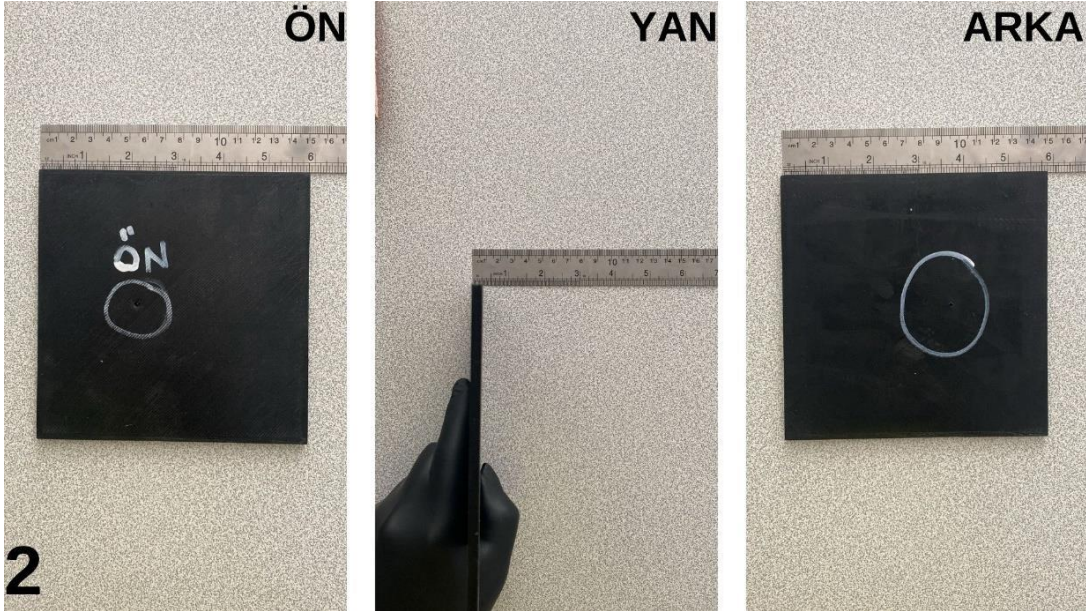
ABS filamentten üretilen malzemelerin de TPU filamentten üretilen malzemelerde olduğu gibi Shore sertlik değerleri üzerinde bir tutarlılık gözlemlenmiştir. Beş farklı deneyde elde edilen değerler, 86 ile 88 arasında değişmektedir. Bu sonuçlar da incelendiğinde, TPU filamentten üretilen malzemelerde olduğu gibi malzemenin homojen yapısının ve üretim sürecinin istikrarının yüksek olduğunu görülmektedir.

Gerçekleştirilen ilk atış 3D Yazıcıdan baskı alınan 5 mm kalınlığı bulunan 1 numaralı deney numunesi ABS plakaya yapılmış olup kurşun geçirdiği gözlemlenmiştir.



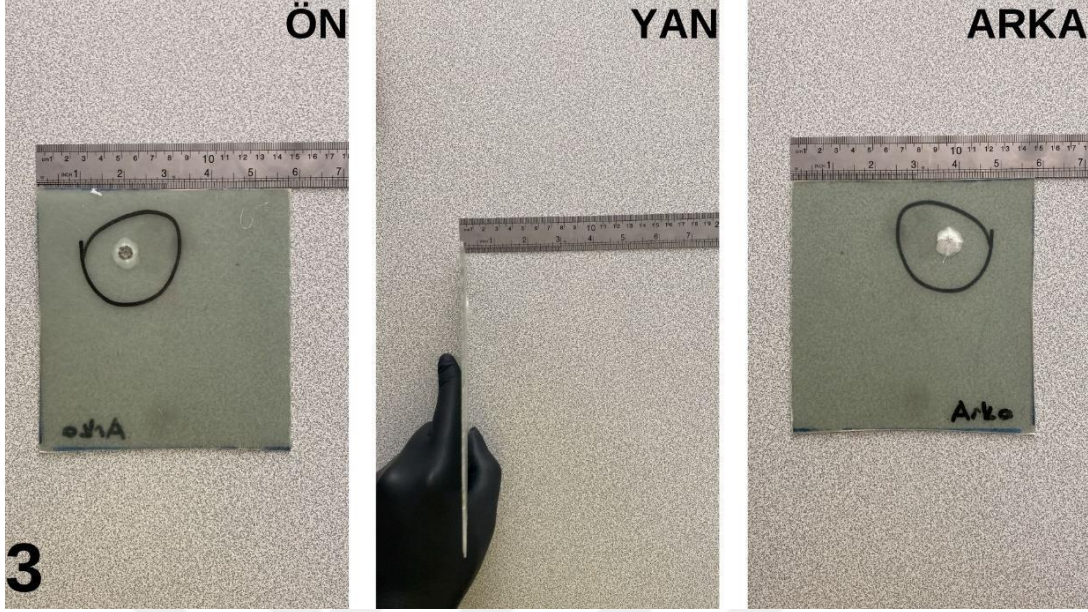
Şekil 7.7: ABS plaka.

İkinci atış 3D Yazıcıdan baskı alınan 5 mm kalınlığı bulunan 2 numaralı deney numunesi TPU plakaya yapılmış olup kurşun geçirdiği gözlemlenmiştir.



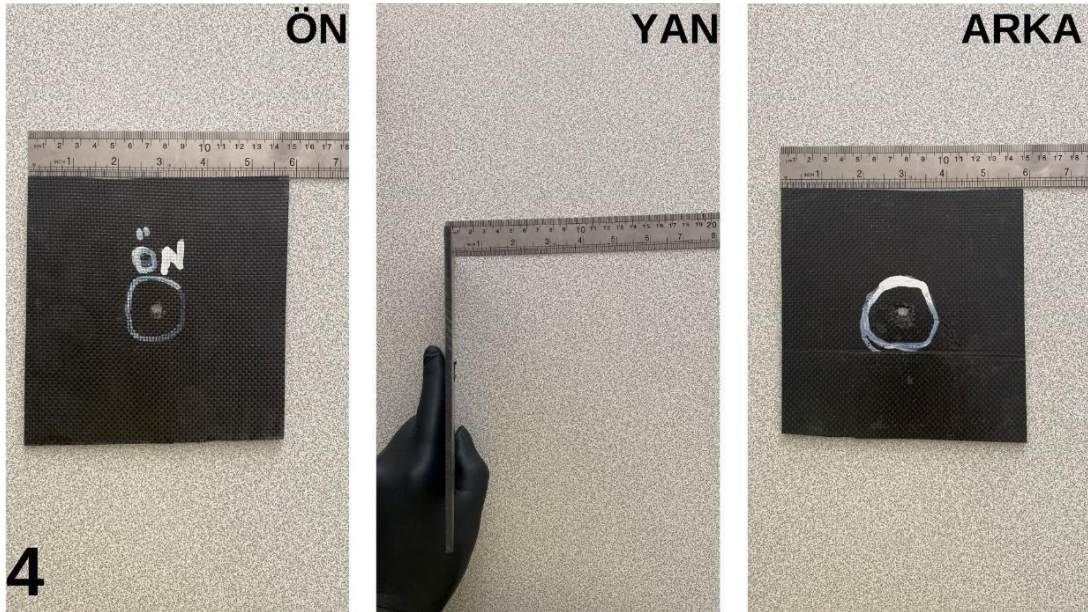
Şekil 7.8: TPU plaka.

Üçüncü atış Cam Fiber Kumaşın 10 kat olacak şekilde kurlleştirilmesiyle oluşan 3 numaralı deney numunesi Cam Fiber Plakaya yapılmış olup kurşun geçirdiği gözlemlenmiştir.



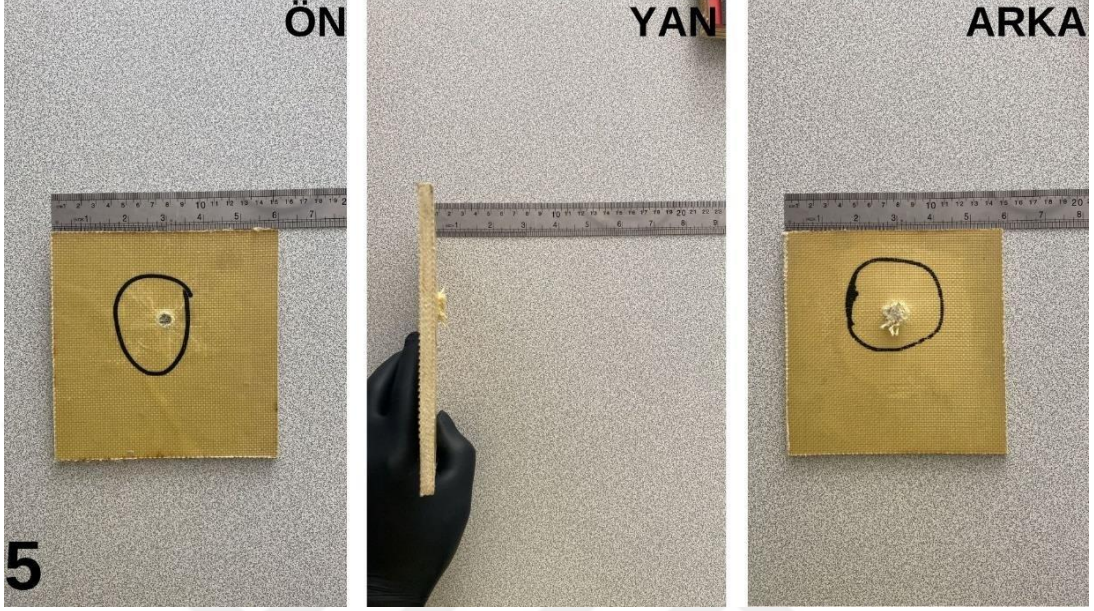
Şekil 7.9: 10 Kat cam fiber kumaş plaka.

Dördüncü atış Karbon Fiber Kumaşın 10 kat olacak şekilde kurlleştirilmesiyle oluşan 4 numaralı deney numunesi Karbon Fiber Plakaya yapılmış olup kurşun geçirdiği gözlemlenmiştir.



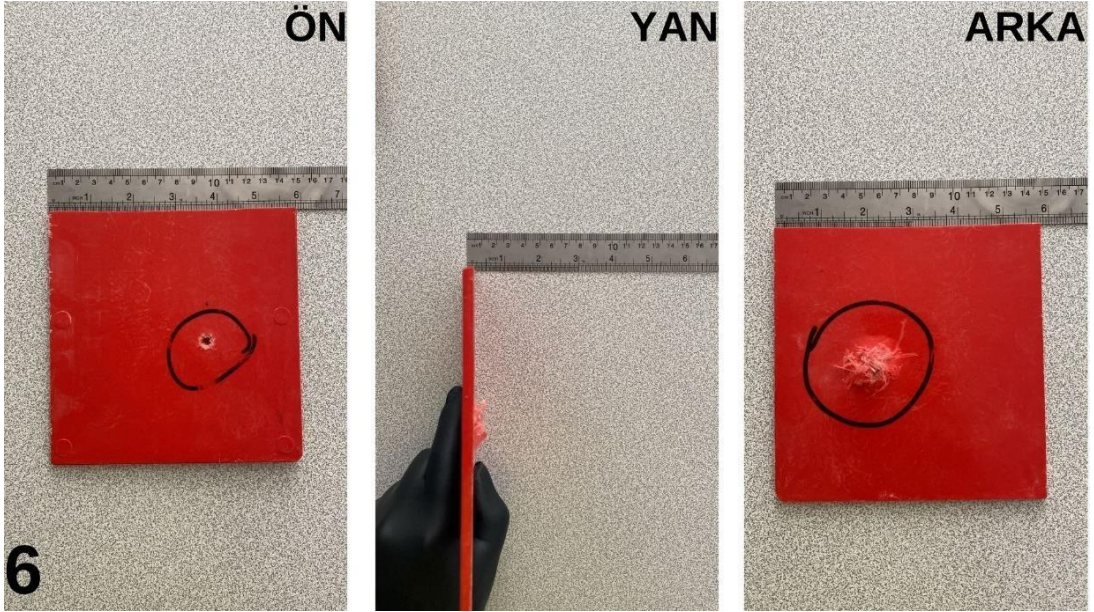
Şekil 7.10: 10 Kat karbon fiber kumaş plaka.

Beşinci atış Aramid Fiber Kumaşın 10 kat olacak şekilde k rleştirilmesiyle oluşan 5 numaralı deney numunesi Aramid Fiber Plakaya yapılmış olup kurşun geçirdiği gözlemlenmiştir.



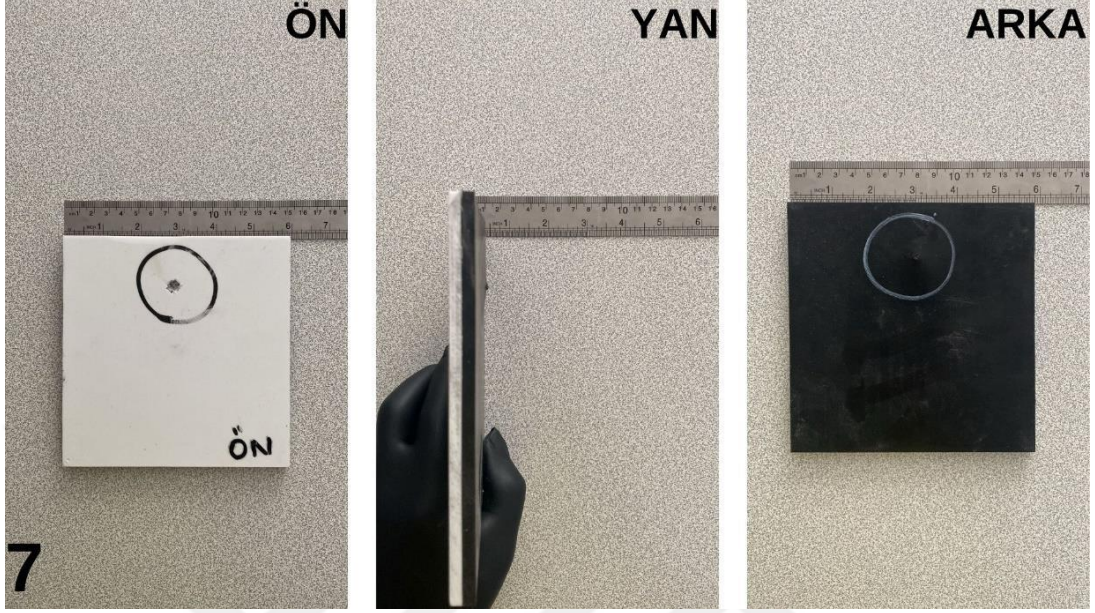
şekil 7.11: 10 Kat Aramid Fiber Kumaş plaka.

Altıncı atış SMC (Sıcak Pres Kalıplama Pestili) olan 6 numaralı deney numunesi plakaya yapılmış olup kurşun geçirdiği gözlemlenmiştir.



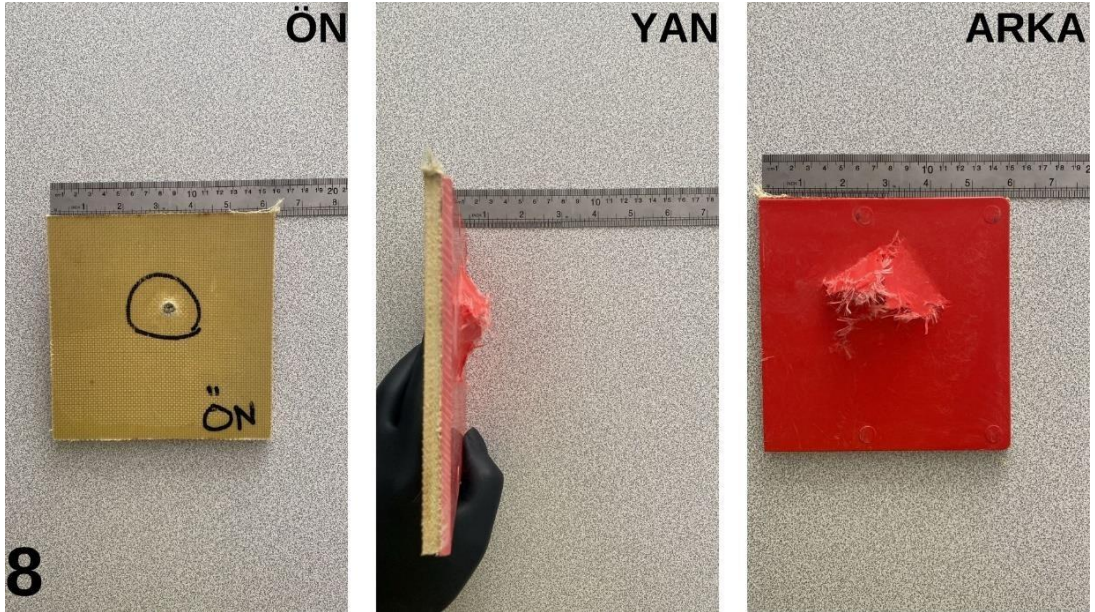
şekil 7.12: SMC plaka.

Yedinci atış 3D Yazıcıdan baskı alınan ABS ve TPU Plakaların birleştirilmesi ile oluşan 7 numaralı deney numunesi (ABS+TPU) Plakaya yapılmış olup kurşun geçirdiği gözlemlenmiştir.



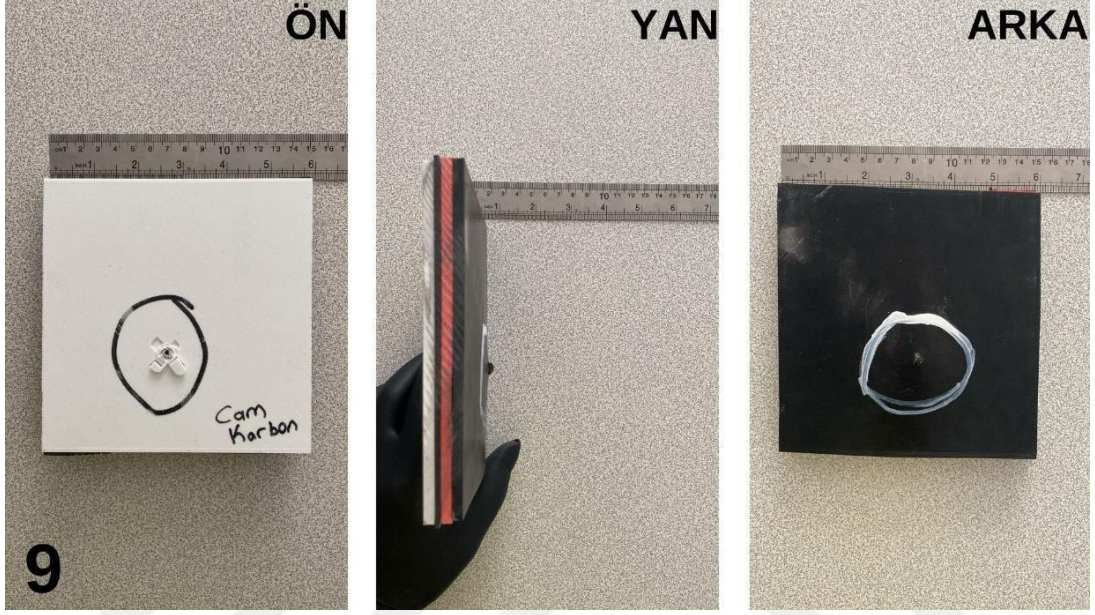
Şekil 7.13: ABS+TPU plaka.

Sekizinci atış Aramid Fiber Kumaşın 10 Kat olacak şekilde kurlleştirilmesiyle oluşan plakanın ve SMC (Sıcak Pres Kalıplama Pestili) Plakanın birleştirilmesi ile oluşan 8 numaralı deney numunesi (10 Kat Aramid Kumaş+SMC) Plakaya yapılmış olup kurşun geçirdiği gözlemlenmiştir.



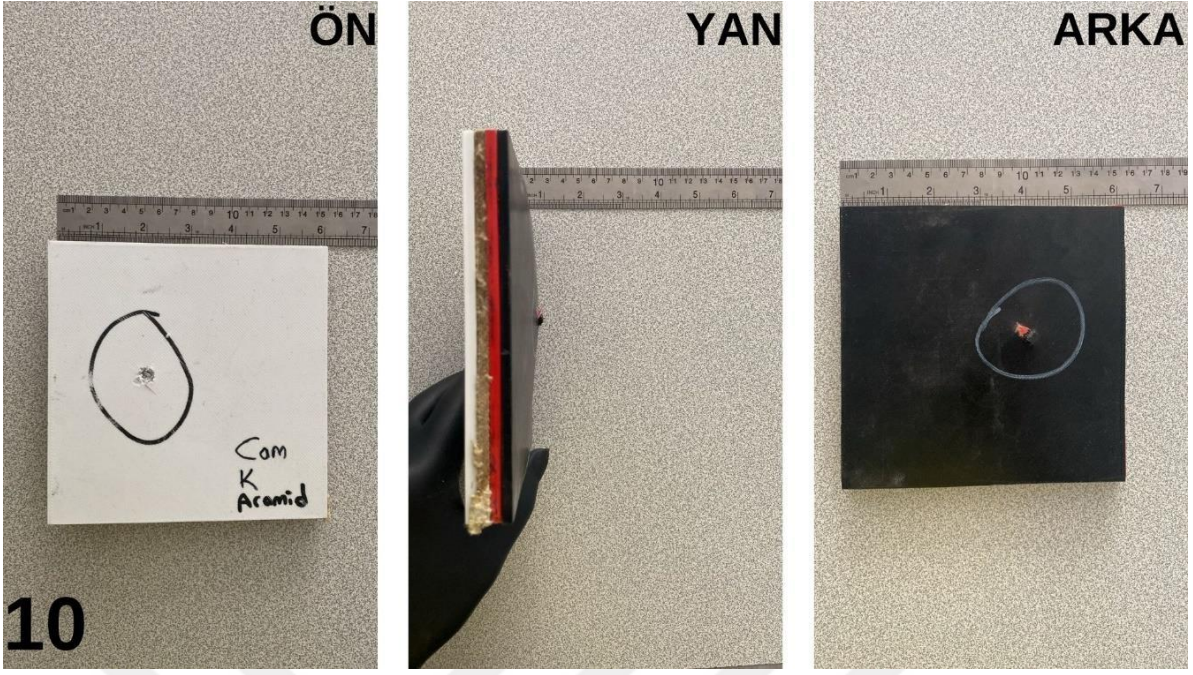
Şekil 7.14: 10 kat Aramid kumaş+SMC plaka.

Dokuzuncu atış 3D Yazıcıdan baskı alınan ABS plaka, 1 kat Cam Fiber Kumaş, 1 kat Karbon Fiber Kumaş 1 kat daha Cam Fiber Kumaş, 1 kat daha Karbon Fiber Kumaş şeklinde devam eden ve toplam 10 kat olacak şekilde Fiber Kumaşları Kürleştirerek oluşturulan plaka, SMC (Sıcak Pres Kalıplama Pestili) Plaka, 3D Yazıcıdan baskı alınan TPU plakanın birleştirilmesi ile oluşan 9 numaralı deney numunesi(ABS+10 Kat Fiber Kumaş(Cam+Karbon)+SMC+TPU) Plakaya yapılmış olup kurşun geçirdiği gözlemlenmiştir.



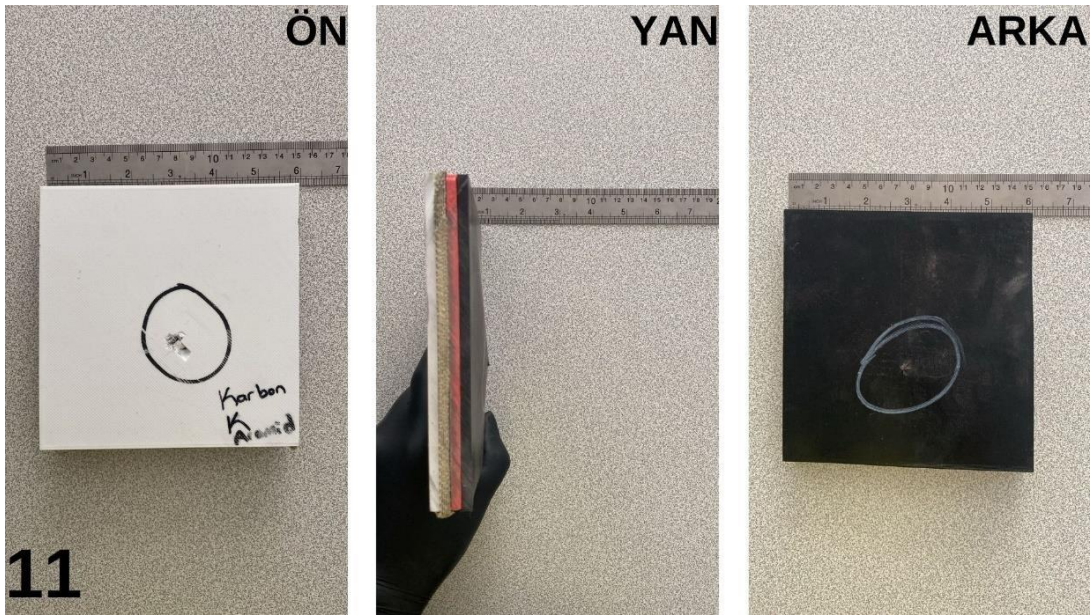
Şekil 7.15: 9 numaralı deney numunesi.

Onuncu atış 3D Yazıcıdan baskı alınan ABS plaka, 1 kat Cam Fiber Kumaş, 1 kat Aramid Fiber Kumaş 1 kat daha Cam Fiber Kumaş, 1 kat daha Aramid Fiber Kumaş şeklinde devam eden ve toplam 10 kat olacak şekilde Fiber Kumaşları Kürleştirerek oluşturulan plaka, SMC (Sıcak Pres Kalıplama Pestili) Plaka, 3D Yazıcıdan baskı alınan TPU plakanın birleştirilmesi ile oluşan 10 numaralı deney numunesi(ABS+10 Kat Fiber Kumaş(Cam+Aramid)+SMC+TPU) Plakaya yapılmış olup kurşun geçirdiği gözlemlenmiştir.



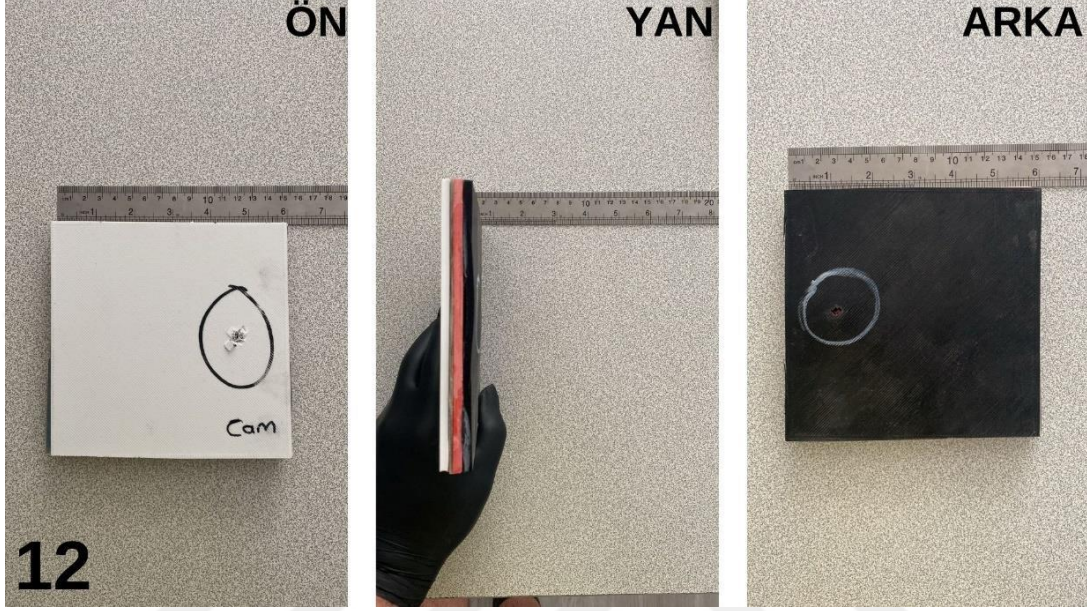
Şekil 7.16: 10 numaralı deney numunesi.

On birinci atış 3D Yazıcıdan baskı alınan ABS plaka, 1 kat Karbon Fiber Kumaş, 1 kat Aramid Fiber Kumaş 1 kat daha Karbon Fiber Kumaş, 1 kat daha Aramid Fiber Kumaş şeklinde devam eden ve toplam 10 kat olacak şekilde Fiber Kumaşları Kürleştirerek oluşturulan plaka, SMC (Sıcak Pres Kalıplama Pestili) Plaka, 3D Yazıcıdan baskı alınan TPU plakasının birleştirilmesi ile oluşan 11 numaralı deney numunesi(ABS+10 Kat Fiber Kumaş(Karbon+Aramid)+SMC+ TPU) Plakaya yapılmış olup kurşun geçirdiği gözlemlenmiştir.



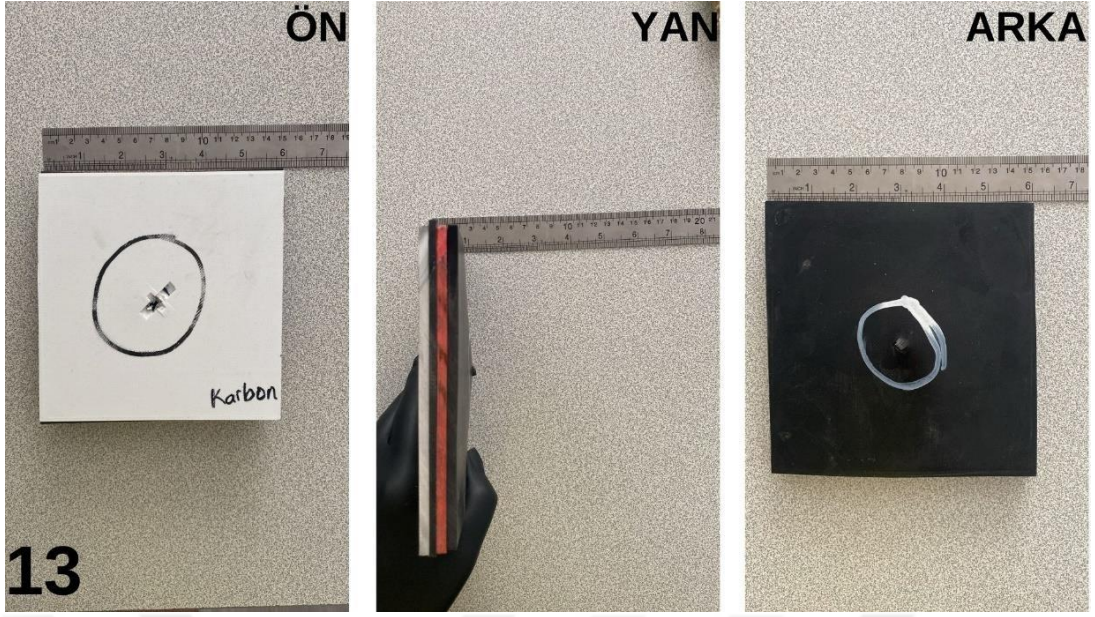
Şekil 7.17: 11 numaralı deney numunesi.

On ikinci atış 3D Yazıcıdan baskı alınan ABS plaka, Toplam 10 kat olacak şekilde Cam Fiber Kumaşı Kürleştirerek oluşturulan plaka, SMC (Sıcak Pres Kalıplama Pestili) Plaka, 3D Yazıcıdan baskı alınan TPU plakanın birleştirilmesi ile oluşan 12 numaralı deney numunesi(ABS+10 Kat Cam Fiber Kumaş+ SMC+ TPU) Plakaya yapılmış olup kurşun geçirdiği gözlemlenmiştir.



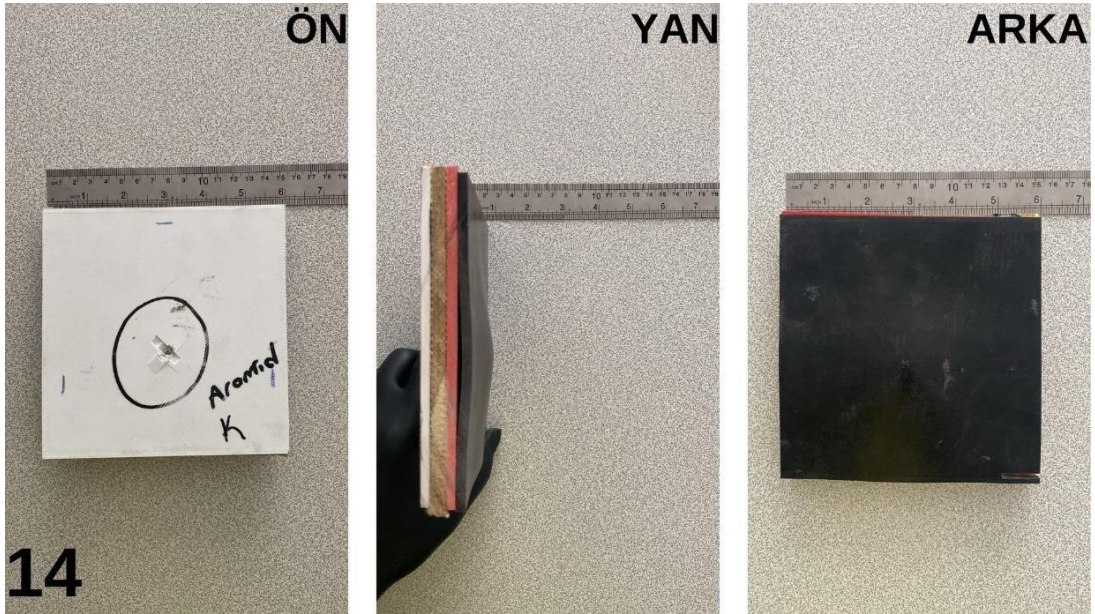
Şekil 7.18: 12 numaralı deney numunesi.

On üçüncü atış 3D Yazıcıdan baskı alınan ABS plaka, Toplam 10 kat olacak şekilde Karbon Fiber Kumaşı Kürleştirerek oluşturulan plaka, SMC (Sıcak Pres Kalıplama Pestili) Plaka, 3D Yazıcıdan baskı alınan TPU plakanın birleştirilmesi ile oluşan 13 numaralı deney numunesi (ABS+10 Kat Cam Fiber Kumaş+ SMC+ TPU) Plakaya yapılmış olup kurşun geçirdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 7.19: 13 numaralı deney numunesi.

On Dördüncü atış 3D Yazıcıdan baskı alınan ABS plaka, Toplam 10 kat olacak şekilde Aramid Fiber Kumaşı Kürleştirerek oluşturulan plaka, SMC (Sıcak Pres Kalıplama Pestili) Plaka, 3D Yazıcıdan baskı alınan TPU plakanın birleştirilmesi ile oluşan 14 numaralı deney numunesi (ABS+10 Kat Cam Fiber Kumaş+ SMC+ TPU) Plakaya yapılmış olup kurşun geçirmedeği gözlemlenmiştir.



Şekil 7.20: 14 numaralı deney numunesi.

8. SONUÇ

Sadece 3D yazıcıdan baskı alınan ABS ve TPU plakaları birleştirip atış yapıldığında kurşunu geçirdiği, 10 kat Aramid Fiber Kumaş plaka ve SMC plakayı birleştirip atış yapıldığında da kurşunu geçirdiği gözlemlenmiştir.

Gerçekleştirilen deneylerde 5 mm kalınlığında 3D yazıcıdan baskı alınan ABS ve TPU plakaların, 10 kat cam fiberin, 10 kat karbon fiberin, 10 kat kevlar fiberin ve SMC plakanın tek başına kurşunu durduramadığı açıkça görülmüş ancak plakaların birleştirilip; ABS+10 Kat Aramid Fiber Kumaş Plaka+ SMC Plaka+ TPU kombinasyonu oluşturulduğunda kurşun geçirmediği ve deneyin başarılı olduğu açıkça görülmüştür.

Farklı kombinasyonların denenmesiyle birlikte 3D Yazıcıdan baskı alınan plakaların kurşunu durdurmada etkili olduğu deneyler sonucunda ortaya çıkmıştır.

9. KAYNAKLAR

- [1] S. Diksu, “Eklemeli imalat teknolojisi eriyik biriktirme modelleme yöntemi için kompozit abs filament üretilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2021.
- [2] B. Öztürk, “3 boyutlu yazıcı ile üretilen sandviç yapıların statik ve dinamik yük altında davranışlarının incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, 2020.
- [3] H. Evlen, “Doluluk Oranının 3B Yazıcıda Üretilen TPU ve TPE Numunelerinin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21, 793-804, 2019.
- [4] S. Özdoğan, “Eklemeli imalat yöntemleriyle üretilen parçaların baskı parametrelerinin üç-nokta-eğilme davranışlarına etkisinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, 2021.
- [5] İ. Çelik, F. Karakoç, M. C. Çakır, A. Duysak, “Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama alanları”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 31, 53-70, 2013.
- [6] F. Bulat, “Üç boyutlu yazıcılarla elde edilen tekstil yüzeylerinin performans ve konfor özelliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2019.
- [7] S. Çelik, Y. Gür, “3 boyutlu yazıcı ile üretilen ABS ve karbon fiber takviyeli ABS kompozitlerde üretim parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi”, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23, 200-209, 2021.
- [8] D. Çelik, “Üç boyutlu yazıcı tasarımı, prototipi ve tersine mühendislik uygulamaları”, Yüksek lisans tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2015.
- [9] S. Sönmez, U. Kesen, C. Dalgıç, “3 boyutlu yazıcılar”, *6. Uluslararası Matbaa Teknolojileri Sempozyumu*, 2018.
- [10] B. Bitlisli, “Zırhlı araçlarda kullanılan kompozit zırh malzemelerinin balistik performanslarının incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2019.
- [11] D. Asi, “Polimer matrisli kompozit malzemelerde ilave olarak kullanılan parçacıkların geometrisinin kompozit malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine etkisinin araştırılması”, Doktora tezi, Uşak Üniversitesi, Uşak, 2018.

- [12] Z. Çatlı, “Farklı geometrik özelliklere sahip alüminyum balpeteği kompozit panallerin termal çevrim sonrası mekanik özelliklerindeki değişimin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, 2024.
- [13] T. Demir, “metal ve katmanlı zırh malzemelerin 7,62 mm’lik zırh delici mermiler karşısında balistik başarımlarının incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara, 2008.
- [14] S. E. Özgültekin, “Balistik zırhlarda kullanılan kompozit malzeme kombinasyonlarının incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2012.
- [15] E. Camcı, “Terminal balistikte 7,62mm çaplı mermilere karşı v-ara geometri ve tabakalı yapıların enerji absorpsiyon performansının incelenmesi”, Doktora tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, 2023.
- [16] M. Köçük Taş, “Tabakalı kompozit malzemelerin balistik zırh özelliklerinin geliştirilmesi”, Yüksek lisans tezi, İnönü Üniversitesi, 2019.
- [17] A. Verdi, M. O. Bulut, “NIJ standardı seviye-IV korumalı zırh bileşenlerinin incelenmesi ve balistik koruma standartları”, *Teknik Bilimler Dergisi*, 12(1), 69-81, 2022.
- [18] G. İ. Ögünç, “ The importance of national ballistic resistant equipment standards and national ballistic test centre”, *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, IDEF Özel Sayı, 95-120, 2019.
- [19] C. Güdür, T. Türkoğlu, İ. Eren, “Effect of lattice design and process parameters on the properties of pla, abs and petg polymers produced by fused deposition modelling”, *Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM)*, 4(2), 561-570, 2023.
- [20] T. Türkoğlu, “TiC karbon nanatüp ve grafen takviyeli 6061 alüminyum esaslı hibrit kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi, özelliklerinin incelenmesi ve analizi”, Doktora tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2022.

- [21] H. Gündoğdu, “Cam elyaf takviyeli smc kompozitlerin işlenebilirlik ve vidalı birleştirme yeteneklerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, 2018.
- [22] M. Sharma, V. Sharma, and P. Kala, “Optimization of process variables to improve the mechanical properties of FDM structures,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1240, no. 1, 2019.
- [23] G. X. Gu, M. Takaffoli, A. J. Hsieh, and M. J. Buehler, “Biomimetic additive manufactured polymer composites for improved impact resistance,” *Extrem. Mech. Lett.*, vol. 9, pp. 317–323, 2016.
- [24] A. E. Medvedev, T. Maconachie, M. Leary, M. Qian, and M. Brandt, “Perspectives on additive manufacturing for dynamic impact applications,” *Mater. Des.*, vol. 221, 2022.
- [25] G. Barreto, S. Restrepo, C. M. Vieira, S. N. Monteiro, and H. A. Colorado, “Rice Husk with PLA: 3D Filament Making and Additive Manufacturing of Samples for Potential Structural Applications,” *Polymers (Basel)*, vol. 16, no. 2, pp. 1–16, 2024.
- [26] A. K. Bandaru, V. V. Chavan, S. Ahmad, R. Alagirusamy, and N. Bhatnagar, “Ballistic impact response of Kevlar® reinforced thermoplastic composite armors,” *Int. J. Impact Eng.*, vol. 89, pp. 1–13, 2016.
- [27] G. H. Majzoobi and F. Mohammad zaheerib, “Numerical and experimental study of ballistic response of kevlar fabric and kevlar/epoxy composite,” *Int. J. Eng. Trans. B Appl.*, vol. 30, no. 5, pp. 791–799, 2017.
- [28] K. S. Pandya, J. R. Pothnis, G. Ravikumar, and N. K. Naik, “Ballistic impact behavior of hybrid composites,” *Mater. Des.*, vol. 44, pp. 128–135, 2013.
- [29] M. Heidari-Rarani, M. Rafiee-Afarani, and A. M. Zahedi, “Mechanical characterization of FDM 3D printing of continuous carbon fiber reinforced PLA composites,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 175, no. June, p. 107147, 2019.
- [30] P. R. S. Reddy, T. S. Reddy, V. Madhu, A. K. Gogia, and K. V. Rao, “Behavior of E-glass composite laminates under ballistic impact,” *Mater. Des.*, vol. 84, pp. 79–86, 2015.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Cem GÜDÜR

Doğum tarihi ve yeri :

e-posta :

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2024
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2020
Lise	Tire Kutsan Anadolu Lisesi	2016

Yayın Listesi

1-GÜDÜR, C., TÜRKÖĞLU, T., & EREN, İ. (2023). Effect of Lattice Design and Process Parameters on the Properties of PLA, ABS AND PETG Polymers Produced by Fused Deposition Modelling. Journal of Materials and Mechatronics: A, 4(2), 561-570. <https://doi.org/10.55546/jmm.1357217>