

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HIZLI PROTOTİPLEME YÖNTEMİNDE PROSES
PARAMETRELERİNİN ÜRÜN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Yener AKDOĞAN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet FIRAT

Haziran 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HIZLI PROTOTİPLEME YÖNTEMİNDE PROSES
PARAMETRELERİNİN ÜRÜN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Yener AKDOĞAN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 14.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr.
Mehmet FIRAT
Jüri Başkanı**



**Dr. Öğr Üyesi
Sunal Ahmet PARASIZ
Üye**



**Dr. Öğr Üyesi
Emre ESENER
Üye**



BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mehmet Yener AKDOĞAN

14.06.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmam boyunca değerli bilgi ve birikimleriyle çalışmalarına ışık tutan saygıdeğer danışmanım sayın Prof. Dr. Mehmet Fırat'a sonsuz saygı, minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Uzun yıllardır eğitimimde yol gösterici olan, iyi bir mühendis olma konusunda desteğini ve bilgisini her an yanımda hissettiğim değerli hocam Dr. Öğretim Üyesi Emre Esener'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamda numune üretimi konusunda desteklerini esirgemeyen, üyesi olmaktan gurur duyduğum tmmob Makina Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi Yöneticileri ve çalışanlarına, numune üretiminde yardımcı olan Makina Mühendisi İlker Özcan'a teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmalarında yardımcı olan Yüksek Makina ve İmalat Mühendisi Emre Sönmez'e teşekkür ederim.

Bu çalışmamı varlık sebebim olan kıymetli aileme ve iz bırakanlara armağan ediyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
HIZLI PROTOTİPLEME YÖNTEMİ	8
BÖLÜM 3.	
MEKANİK TESTLER.....	11
3.1. Çekme Testi.....	11
3.2. Üç Nokta Eğme Testi	13
3.3. Bölüm Değerlendirmesi	14
BÖLÜM 4.	
UYGULAMA ÇALIŞMASI	15
4.1. Çekme Testleri.....	19
4.2. Üç Nokta Eğme Testleri	24
4.3. Numunelerin Mikroskop Altında İncelenmesi	28

BÖLÜM 5.	
DEĞERLENDİRME.....	30
KAYNAKLAR.....	32
ÖZGEÇMİŞ	35



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

mm	: milimetre
kN	: kilo Newton
MPa	: mega Pascal



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Stratasy tarafından geliştirilen ilk 3d yazıcının çalışma ortamındaki görüntüsü [1]	1
Şekil 1.2. Hızlı prototipleme yönteminin tasarımdan ürünün ortaya çıkana kadarki süreci [2]	2
Şekil 1.3. Hızlı prototipleme tekniklerinin sınıflandırılması [3].....	3
Şekil 1.4: Ekstrüzyon yoluyla hızlı prototipleme yönteminin şematik gösterimi [4]	3
Şekil 1.5. 3d baskı yöntemiyle üretilmiş bir robot el uygulaması [5]	4
Şekil 1.6. 3d baskı yöntemiyle üretilmiş Renault Truck DTI5 Euro 6 motor prototipi [8].....	5
Şekil 1.7. Toyota'nın 3d baskı teknolojisiyle ürettiği 22RE Model 4 silindirli motor protoipi [8]	5
Şekil 1.8. Bugatti firmasının 3d baskı teknolojisiyle ürettiği fren kaliperi [8]	6
Şekil 2.1. Hızlı prototipleme kullanımının üretim yapılan sektörlerle göre dağılımı [12]	8
Şekil 2.2. Hızlı prototipleme yöntemi kullanılan sektörlerde kullanım alanları [14]	9
Şekil 3.1. Çekme testi şematik gösterimi [18]	12
Şekil 3.2. Gerilme-gerinim grafiği örneği ve mekanik özelliklerin gösterimi [19]	12
Şekil 3.3. Üç nokta eğme testi şematik gösterimi [18]	13
Şekil 4.1. Stratasy Fortus 250MC 3d yazıcı [21]	15
Şekil 4.2. Numunelerin teknik resimleri (a): çekme numunesi, (b): eğme numunesi.....	17
Şekil 4.3. Boşluksuz ve boşluklu dilimleme modellerinin şematik gösterimi (a): boşluksuz, (b) boşluklu [23]	18
Şekil 4.4. Dokuma açısının katmanlara göre değişimi.....	18
Şekil 4.5. Hızlı protoipleme yöntemi ile üretilen çekme ve eğme numuneleri.....	18
Şekil 4.6. Testlerin yapıldığı Shimadzu Ag-Ic 100kN çekme cihazı [25]	19

Şekil 4.7. Hızlı prototipleme ile üretilen numuneye ait çekme testi	19
Şekil 4.8. Çekme testi sonucu kopan numuneler a) 0^0 b) 30^0 c) 45^0 d) 90^0	20
Şekil 4.9. Yapılan çekme testleri sonucunda elde edilen örnek bir gerilme-gerinim grafiği.....	20
Şekil 4.10. Eğri oturtulmuş örnek bir gerilme gerinim grafiği	21
Şekil 4.11. Dilimleme modellerine göre gerilme gerinim grafikleri a) Boşluksuz b) Düşük Yoğunluklu c) Yüksek	22
Şekil 4.12. Dokuma açılarına göre gerilme-gerinim grafikleri a) 0^0 b) 30^0 c) 45^0 d) 75^0	22
Şekil 4.13. Akma ve çekme gerilmelerinin dilimleme modellerine göre karşılaştırılması.....	23
Şekil 4.14. Akma ve çekme dayanımlarının dokuma açısına göre karşılaştırılması	24
Şekil 4.15. Hızlı prototipleme ile üretilen numuneye ait üç nokta eğme testi	24
Şekil 4.16. Üç nokta eğme deneyine ait örnek bir kuvvet-sehim grafiği.....	25
Şekil 4.17. Üç nokta eğme testine ait eğri oturtulmuş örnek bir grafik	25
Şekil 4.18. Dilimleme modellerine göre üç nokta eğme testlerine ait kuvvet-uzama grafiği.....	26
Şekil 4.19. Dokuma açılarına göre üç nokta eğme testi kuvvet-uzama grafikleri a) 0^0 b) 30^0 c) 45^0 d) 75^0	27
Şekil 4.20. Deney numunelerinin incelendiği Nikon Eclipse LV150 mikroskopunun görüntüsü	28
Şekil 4.21. Deney numunelerinin şematik gösterimi ve yan duvarına ait optik mikroskop görüntüsü	29
Şekil 4.22. Boşluksuz dilimleme modeliyle üretilmiş numune kesitlerinin optik mikroskop görüntüsü a) 0^0 b) 30^0 c) 45^0 d) 75^0	29

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Hızlı prototipleme yöntemlerinin kullanılan hammadde ve üretim teknolojilerine göre sınıflandırılması [15].....	10
Tablo 4.1. ABSplus-P430 mekanik özellikleri [22].....	16
Tablo 4.2. Çekme deneyine göre tespit edilen mekanik özellikler	23
Tablo 4.3. Üç nokta eğme deneyi sonucu tespit edilen maksimum kuvvet-uzama değerleri	27

ÖZET

Anahtar kelimeler: Hızlı prototipleme, eklemeli imalat yöntemleri, 3d yazıcı, mekanik özellikler

Bu çalışmada, hızlı prototipleme yöntemlerinden biri olan katmanlı üretim yöntemi ile üretilen parçalarda proses parametrelerinin, cisim mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda sıklıkla kullanılan mekanik testlerden çekme testi ve üç nokta eğme testi kullanılarak proses parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Malzeme olarak termoplastik malzemelerden olan ABS-P430 malzemesi kullanılmıştır. Proses parametresi olarak ise dokuma yoğunluğu ve dokuma açısı parametreleri değişkenleri tercih edilmiştir. Sonrasında, üretilen numunelere çekme ve eğme numuneleri için mekanik testler yapılmış, farklı üretim parametrelerinin mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Üretim parametreleri, 3d baskı cihazının dilimleme arayüzüyle tayin edilmiş olup, boşluksuz, yüksek yoğunluklu ve düşük yoğunluklu olmak üzere üç farklı dilimleme modeli için 0° , 30° , 45° ve 75° dokuma açılarında üretim yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, hammadde aynı olmasına karşın, dilimleme modelinin parçanın mekanik özellikleri üzerinde etkisi olduğu, düşük yoğunluklu dilimleme modeli ile üretilen parçalarda çekme mukavemetinin daha düşük olduğu, ancak eğme durumunda ise düşük yoğunluklu parçaların daha esnek olduğu tespit edilmiştir. Dilimleme açısındaki değişimin, parçanın mekanik özellikleri üzerindeki etkisi tespit edilmiştir. Aynı dilimleme modelinde farklı dokuma açılarıyla üretilen parçalardan 0° ve 45° dokuma açılarıyla üretilen parçaların, hammadde mekanik özelliklerine daha yakın sonuç verdiği, diğer dokuma açılarında üretilen parçaların daha düşük mekanik özellikler gösterdiği tespit edilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda hızlı prototipleme yöntemiyle üretilecek parçalarda dilimleme modelinin seçiminin, parçanın kullanım alanına göre tespit edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

DETERMINATION OF THE EFFECTS OF PROCESS PARAMETERS ON MECHANICAL PROPERTIES IN RAPID PROTOTYPING METHOD

SUMMARY

Keywords: Rapid prototyping, additive manufacturing methods, 3d printer, mechanical properties.

In this study, mechanical tests for tensile and bending specimens manufactured with 3d printer, one of the methods of rapid prototyping, the effects of different production parameters on mechanical properties were investigated. Production parameters are determined by the slicing interface of the 3D printing machine's device, for three different slicing models with Solid, Sparse High Density, Sparse Low Density, the production was carried out at 0° , 30° , 45° and 75° weaving angles.

According to the results, although the raw material is the same, the slicing model has an effect on the mechanical properties of the part, the tensile strength of the parts produced by the low density slicing model is lower, however, the bending strength of the low density parts was found to be more flexible. The effect of the slicing angle on the mechanical properties of the part was determined. In the same slicing model, the pieces produced with different weaving angles and the pieces produced with 0° and 45° product angles give closer results to the raw material's mechanical properties, it was determined that the parts produced in other product angles exhibit lower characteristics.

As a result of the study, it was concluded that the selection of the slicing model in the parts to be produced by rapid prototyping method should be determined according to the usage area of the piece.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

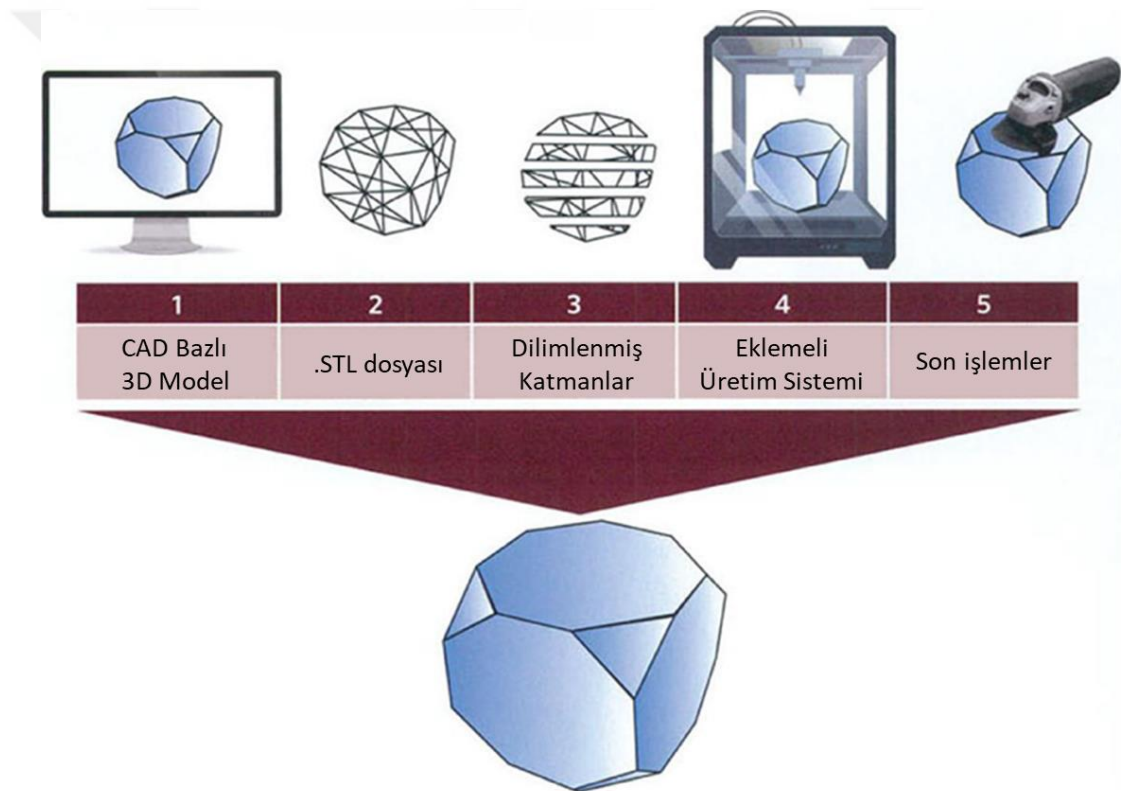
Gelişen dünyada ihtiyaçların çeşitlenmesi, rekabeti de beraberinde getirmektedir. Bu sebeple ürünün geliştirilmesi, üretilmesi, maliyeti ve işlevselliği gibi alanlarda rekabet artmaktadır. Bir ürünün tasarlanmasından nihai halini alıncaya kadar geçen süreçte en önemli roller maliyet ve hız olarak ortaya çıkmaktadır. Günümüzde bu parametrelerin geliştirilmesi için birçok yöntem kullanılmakta ve geliştirilmektedir. Hızlı prototipleme yöntemi de bu bağlamda önem kazanmıştır.

Hızlı prototipleme yöntemleri esasında eklemeli üretim yöntemleri arasında sayılan bir imalat yöntemidir. Günümüzde otomotivden uzay ve havacılığa, medikal çözümlere kadar birçok alanda 3d baskı teknikleriyle üretilen ürünler bulunmaktadır. Hızlı prototipleme yöntemlerinin en yaygın kullanılan şekli ise ekstrüzyon yoluyla üretimdir. Atık madde ortaya çıkarmadan, ofis ortamında çalışabilen ve ekstrüzyon yoluyla üretim yapan ilk 3d yazıcı için Scott Crump 1988 yılında patent almıştır [1]. O tarihte geliştirilen bu sistem, tasarımcıların yaptığı tasarımı kolayca ve hızlı bir şekilde ortaya çıkarmasını sağlayan bir sistemdi. Şekil 1.1.'de Stratasys tarafından geliştirilen ilk 3d printer görülmektedir [1].



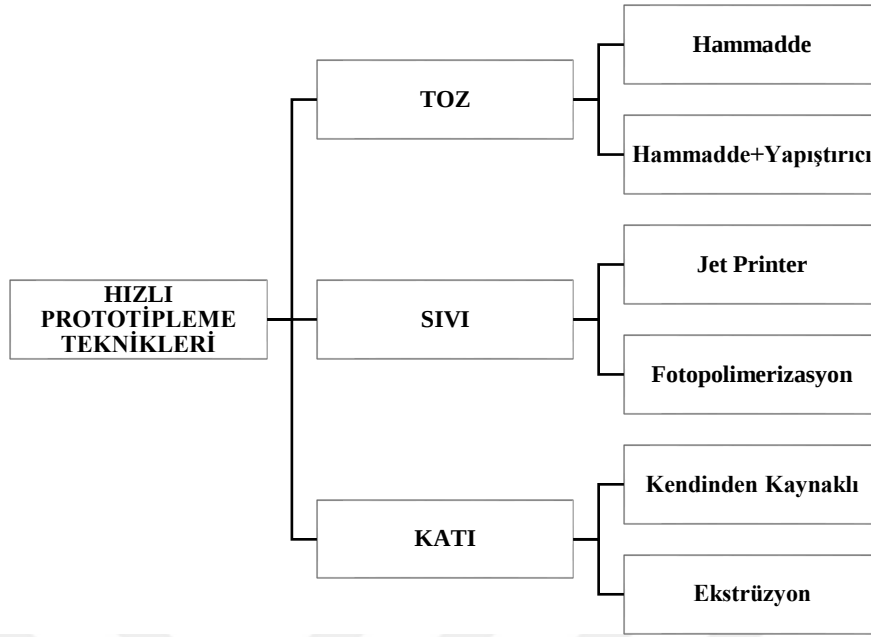
Şekil 1.1. Stratasys tarafından geliştirilen ilk 3d yazıcının çalışma ortamındaki görüntüsü [1]

Daha önceleri tasarımcının tasarladığı ürünün prototipini elde etmek için konvansiyonel yöntemlerle üretim gerçekleştirilip, hazırlanan prototip üzerinde inceleme yapıldıktan sonra gerekiyorsa revizyona gidilip nihai ürün ortaya çıkarılırken, geliştirilen yeni yöntemle prototipin hızlı, kolay ve başkaca bir üretim yöntemi veya iş gücüne gerek kalmaksızın elde edilmesi sağlanmıştır. Son yıllarda 3d baskı teknolojileri ile evsel kullanıma kadar indirgenen hızlı prototipleme yöntemi, kişilerin katı tasarım programları ile tasarladıkları ürünlerin prototipini ve/veya son halini üretmeye imkan sağlamaktadır. Hızlı prototipleme yönteminin tasarımdan ürünün ortaya çıkana kadarki süreci Şekil 1.2.'de görülmektedir [2].



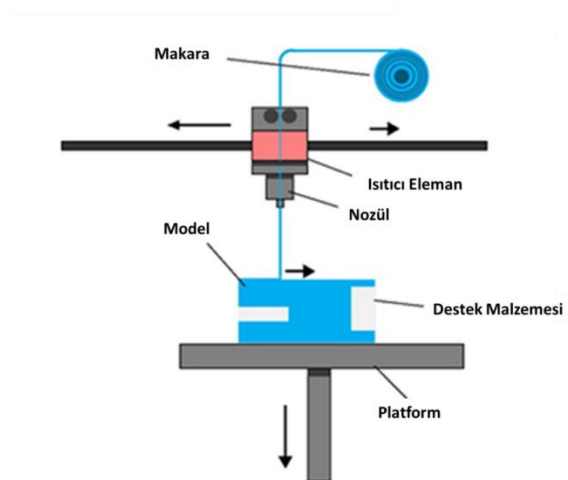
Şekil 1.2. Hızlı prototipleme yönteminin tasarımdan ürünün ortaya çıkana kadarki süreci [2]

Hızlı prototipleme yöntemi farklı tekniklerle uygulanabilen bir üretim yöntemidir. Kullanılan hammadde, üretim teknikleri ve kullanım alanlarına göre hızlı prototipleme teknikleri çeşitlilik arz etmektedir. Bu yöntemin kullanılan hammaddeye göre sınıflandırılması Şekil 1.3.'te görülmektedir.



Şekil 1.3. Hızlı prototipleme tekniklerinin sınıflandırılması [3]

Günümüzde yaygın olarak kullanılan yöntem ekstrüzyon yöntemidir. Bu yöntemin sıklıkla kullanılmasının sebepleri arasında, evsel kullanıma kadar indirgenebilmesi, üretim tezgahını amatör kullanıcının dahi üretebilmesi, kullanılan hammaddenin diğer yöntemlerdekine göre daha ucuz ve erişilebilir olması gibi sebepler yer almaktadır. Ekstrüzyonla üretim yönteminde bir ısıtıcı kafadan ekstrüzyon yoluyla geçirilen plastik malzeme, katmanlar halinde üst üste dökülerek ürün ortaya çıkarılır. Ekstrüzyon yönteminin şematik gösterimi Şekil 1.4.'de görülmektedir.



Şekil 1.4: Ekstrüzyon yoluyla hızlı prototipleme yönteminin şematik gösterimi [4]

Hızlı prototipleme yöntemi her ne kadar prototip üretimi için kullanılıyor olsa da günümüzde nihai ürün üretimi için de kullanılmaya başlanmıştır. Az sayıda üretim gerektiren yerler, hızlı çözüm uygulanması gereken alanlar gibi parçalarda hızlı prototipleme yöntemiyle üretilen parçalar kullanılabilmektedir. Kişiyeye özel üretimler, medikal parçalar gibi ürünler de hızlı prototipleme yöntemleriyle üretim süreçlerinin kullanım alanlarındandır. Bunun dışında geleneksel yöntemlerle üretimi zor olan karmaşık geometrideki parçalar, tasarımı gerçekleştirildikten sonra hızlı prototipleme yöntemiyle kolayca üretilerler. Yöntemin bir diğere avantajı ise montaj halindeki parçaların tek seferde, montajlı halde üretilmesine imkan sağlamasıdır. Hızlı prototipleme yöntemi ile üretilmiş ve robotik uygulamasında kullanılabilen mekanik el tasarımı Şekil 1.5.'de görülmektedir.



Şekil 1.5. 3d baskı yöntemiyle üretilmiş bir robot el uygulaması [5]

Hızlı prototipleme yönteminin klasik imalat yöntemlerine göre daha yeni bir metot olmasına karşın bu konuda yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Model ve dekor amaçlı parçaların yanısıra havacılık sektörü gibi önemli alanlarda da hızlı prototipleme veya bir diğere adıyla katmanlı üretim yöntemiyle imalat çalışmalarının yapıldığı görülmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalardan biri de Bell helikopter firmasına aittir [6]. Bell 429, 525 ve 412 modellerinde havalandırma ve buğuş önleyici sistemlerdeki bazı parçalar hızlı prototipleme yöntemiyle üretilmiştir.

Hızlı prototipleme yönteminin sağladığı avantajlar, üretimin kolaylaştırılması açısından büyük önem arz etmektedir. Karmaşık geometrideki parçaların kolayca üretilmesi, üretime yardımcı başka alet ve ekipman (ölçü, master aleti gibi) gerektirmemesi, kalıp veya başkaca bir aparata ihtiyaç duymadan üretime imkan sağlaması gibi avantajlar, hızlı prototipleme yönteminin kullanım alanlarını artırmaktadır [7].

Hızlı protoipleme yönteminin sağladığı bu avantajlar, yöntemin otomotiv sektöründe de kullanımının önünü açmaktadır. Bir çok otomotiv firması hızlı prototipleme yöntemiyle ürettiği parçaları direkt kullanım yerinde kullanırken, bazı firmalar, katmanlı imalat yöntemiyle motor bloğu fren kaliperi gibi parçalar da üretmektedir [8]. Şekil 1.6. ve Şekil 1.7.'de hızlı prototipleme yöntemleriyle üretilmiş bazı otomotiv parçalarının prototipleri görülmektedir.



Şekil 1.6. 3d baskı yöntemiyle üretilmiş Renault Truck DT15 Euro 6 motor prototipi [8]



Şekil 1.7. Toyota'nın 3d baskı teknolojisiyle ürettiği 22RE Model 4 silindirli motor protoipi [8]

Otomotiv sektöründe prototiplerin yanısıra gerçek parçaların da 3d baskı teknolojisiyle üretilmesi mümkün kılınmıştır. Bu sayede bilgisayar ortamında tasarımı yapılan parça başka hiçbir işleme gerek duymaksızın 3d baskı makinasından çıktısı alınarak kullanıma sunulabilmektedir. Şekil 1.8.'de Bugatti firmasının 3d baskı yöntemiyle ürettiği Fren kaliperi görülmektedir [8].



Şekil 1.8. Bugatti firmasının 3d baskı teknolojisiyle ürettiği fren kaliperi [8]

Hızlı prototipleme yöntemiyle üretilen parçaların fiziksel ve mekanik olarak hammaddenin özelliklerini ne kadar taşıdığı merak konusudur. Kullanım alanına göre hızlı prototipleme yöntemiyle üretilmiş parçanın gerekli şartları sağladığının test edilmesi gerekmektedir. Alberto Dal Maso ve ark. yaptıkları çalışmada [9], farklı hammadeler kullanılarak farklı yönlerde üretilen standart çekme testi numunelerine uygulanan testler değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada yığma hızlı prototipleme yöntemiyle üretilen parçalarda, hammadde etkisinin yanı sıra filament dağılımının ve homojenliğin dayanıma etkisi de incelenmiştir. Buna göre 3d baskısı yapılacak numunenin geometrik özellikleri aynı olmasına karşın tezgahdaki örülme yönünün çekme dayanımına, elastisite modülüne ve uzamaya direkt etkide bulunduğu gözlemlenmiştir.

Hızlı prototiplemede numunenin veya modelin baskı yönü ve/veya ürünün baskı tablası üzerindeki konumlanmasının, malzemenin mekanik özelliklerini etkileyen faktörlerden olduğu açıktır. Yee Ling Yap ve ark. yaptıkları çalışmada [10] üç farklı konumlama ve iki farklı dokuma açısı için test numuneleri tasarlamış, bu numuneler

için dört nokta eğme testi ve çentik darbe testinin yanı sıra ultrasonik testler ve nümerik analizler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda ultrasonik testler ile çekme testlerinin sonuçlarının benzerlik gösterdiği gözlemlenirken, yatay eksene paralel olacak şekilde üretim tablasına yerleştirilen numunelerin daha mukavim olduğu tespit edilmiştir.

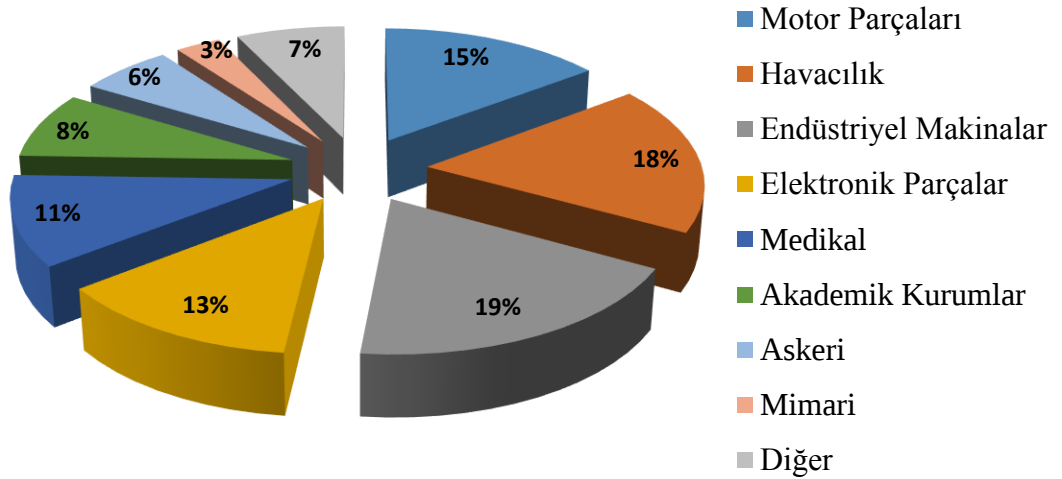
Hızlı prototipleme yöntemleriyle üretilen parçalar, kalıp veya numune olabileceği gibi, nihai ürün de olabilmektedir. Bu sebeple, üretilen ürünün mekanik özelliklerinin yanı sıra termofiziksel özelliklerinin de önem arz ettiği yerler bulunmaktadır. Süper iletken malzemeler, enerji alanı ve biyomedikal uygulamalar bunlardan bazılarıdır [11]. E. Bartolomé ve ark. yaptıkları çalışmada [11], 3d baskı teknolojisi ile ABS malzemeden üretilmiş parçaların düşük sıcaklıktaki mekanik ve manyetik davranışlarını incelemişlerdir. Yapılan çalışmada düşük sıcaklıkta numunenin kırılma geometrisinin 3d baskı sırasındaki dokuma açısına göre değiştiğini gözlemlemişlerdir. Kırılma dayanımının 3d baskı ile üretilen numunede çok daha düşük iken, katı numunede mukavemetin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Manyetik özelliklerin tayini için 3d baskı ile bir konsantratör imal edilmiş ve likit nitrojen banyosunda bekletildikten sonra, manyetik özelliklerini test etmişlerdir. Yapılan testler sonucu, 3d baskı ile üretilen parça ve katı ABS den talaş kaldırılarak üretilen parça arasında manyetik özellik olarak fark olmadığı tespit edilmiştir [11].

Bu tez çalışmasında, hızlı prototipleme yönteminde proses parametrelerinin ürün mekanik özelliklerine etkisinin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, hızlı prototipleme yöntemiyle termoplastik malzemelerden olan ABS p430 malzemesinden farklı proses parametreleriyle numuneler üretilmiştir. Proses parametresi olarak dokuma açısı ve dokuma yoğunluğu değişkenleri tercih edilmiştir. Üretilen numunelere çekme ve üç nokta eğme testleri uygulanmış, elde edilen veriler ışığında dokuma açısı ve dokuma yoğunluğunun mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

BÖLÜM 2. HIZLI PROTOTİPLEME YÖNTEMİ

Geleneksel imalat yöntemleri, bin yıllardır süregelen, uzmanlık gerektiren ve nispeten maliyetli yöntemlerdir. Herhangi bir kimsenin ev veya ofis ortamında döküm ve/veya talaşlı imalat yapması oldukça zor hatta imkansızdır. Ancak teknolojinin gelişmesi, hızlı prototipleme ile üretimi daha basite indirgemiş, kullanıcın CAD programlarında tasarladığı veya hazır olarak edindiği tasarımı elle tutulur nihai ürüne dönüştürmesi oldukça kolaylaşmıştır.

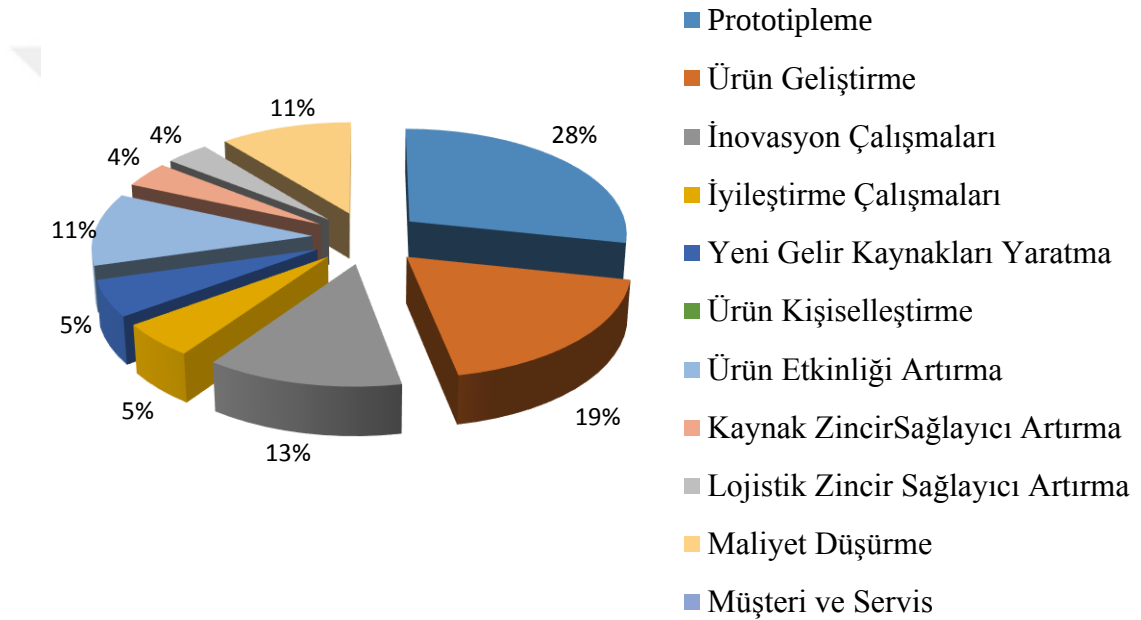
Hızlı prototipleme yönteminin endüstride edindiği pay azımsanamayacak seviyededir. Şekil 2.1.'de hızlı prototipleme yönteminin endüstride kullanım alanları görülmektedir [12].



Şekil 2.1. Hızlı prototipleme kullanımının üretim yapılan sektörlere göre dağılımı [12]

Yöntem yeni olmasına karşın, endüstride aldığı yer hayli fazladır. Hızlı prototipleme yönteminin pazar payının 2015 yılı itibariyle dünya çapında 4,8 milyar Euro olduğu ve gün geçtikçe arttığı, 2023 yılında ise bu değerin 9,64 milyar Euro değere ulaşacağı düşünülmektedir [13].

Hızlı prototipleme yönteminin sektörlere göre kullanım alanları da çeşitlilik göstermektedir. Şekil 2.2.'de hızlı prototipleme yönteminin kullanım alanları görülmektedir [14].



Şekil 2.2. Hızlı prototipleme yöntemi kullanılan sektörlerde kullanım alanları [14]

Hızlı prototipleme yöntemi çok genel bir imalat yöntemini kapsamaktadır. Kullanılan hammaddeden imalat tekniğine kadar bir çok parametre, yöntemin değişkenleri arasındadır.

Hızlı prototipleme yöntemleri ile üretim, eklemeli üretim yöntemleri olarak da adlandırılmaktadır. Yöntemin adı, herhangi bir ürünü üretmek için, katmanlar halinde imalat yapılması ve nihai ürünün ortaya çıkması esasına dayanır. Eklemeli üretim yöntemlerinin sınıflandırılması Tablo 2.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Hızlı prototipleme yöntemlerinin kullanılan hammadde ve üretim teknolojilerine göre sınıflandırılması [15]

TEKNOLOJİ	EKLEMELİ ÜRETİM PROSESİ	KULLANILAN MALZEMELER
Stereolitografi	Vat Polimeraizasyon	Likit fotopolimerler, Kompozitler
Dijital Işık İşleme	Vat Polimeraizasyon	Likit fotopolimerler
Multi-jet Modelleme	Malzeme Püskürtme	Fotopolimerler, Parafin
Birleştirmeli Yığma Modelleme	Malzeme Ekstrüzyon	Termoplastikler
Elektron Işın Ergitme	Toz Yatağı Birleştirme	Titanyum Tozu, Kobalt, Krom
Seçici Lazer Sinterleme	Toz Yatağı Birleştirme	Kağıt, plastik, Metal, Cam, Seramik, Kompozitler
Seçici Isıtma Sinterleme	Toz Yatağı Birleştirme	Termoplastik Tozları
Direkt Metal Lazer Sinterleme	Toz Yatağı Birleştirme	Paslanmaz Çelik, Kobalt, Krom, Nikel Alaşımları
Toz Yatağı ve Mürekkep Püskürtme Kafalı Yazıcı	Bağlayıcı Püskürtme	Seramik Tozları, Metal Parçaları, Akrilik, Kum, Kompozitler
Alçı Bazlı 3D Baskı	Bağlayıcı Püskürtme	Yapışkan Alçı, Alçı Kompozitleri
Katmanlı Ürün Üretimi	Yüzey Kaplama	Kağıt, Plastik, Metal Parçaları, Seramikler, Kompozitler
Ultrasonik Sertleştirme	Yüzey Kaplama	Metal ve Metal Alaşımları
Lazer Metal Biriktirme	Direkt Enerji Biriktirme	Metal ve Metal Alaşımları

Yöntemlerin birbirine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Yaygın olarak kullanılan yöntem birleştirmeli yığma modelleme yöntemidir. Bu yöntemde katı tasarım, tezgah arayüzünde katmanlara ayrılır. Her katman ayrı şekilde fakat üst üste üretilecek şekilde imalat programlanır. Ergiyerek üst üste yığılan katmanlar nihai ürünü ortaya çıkarır. Birleştirmeli yığma yönteminin hem hammadde hem de uygulanabilirlik açısından kolay erişilebiliyor olması, diğer yöntemlere nazaran üstünlük sağlamaktadır.

BÖLÜM 3. MEKANİK TESTLER

Malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için çeşitli testler uygulanmaktadır. Bu testler ürünün çeşitli etkiler altında göstereceği davranışların tayini açısından önem arz ettiği gibi, tasarım kriterlerinin belirlenmesinde de önemli rol oynar. Malzemelere uygulanan mekanik testler genel olarak şu şekilde sıralanabilir [16]:

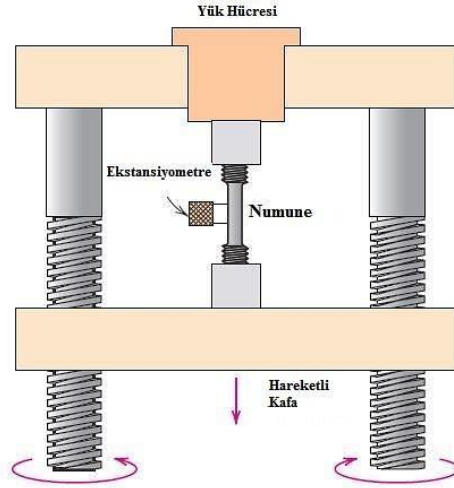
- Çekme Testi
- Eğme Testi
- Basma Testi
- Kayma Testi
- Sertlik Testi
- Sürtünme Testi
- Aşınma Testi
- Sürünme Testi
- Yorulma Testi
- Darbe Testi

Mekanik testlerin amacı, ürünün yük altındaki davranışını incelemektir. Çekme testi ve üç nokta eğme testi, bu yüklerin temsili açısından tasarımcıya bilgi veren testler arasındadır. Birçok farklı malzeme çeşidinde kullanılan bu testler, malzemelerin mekanik dayanımı ve tasarım kriterleri hakkında önemli ölçüde veri sağlarlar.

3.1. Çekme Testi

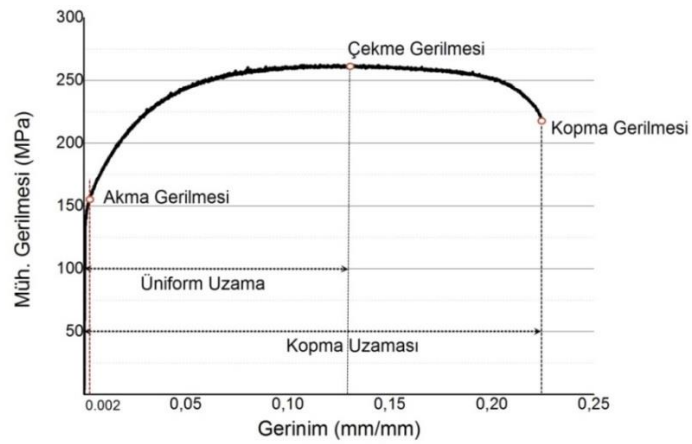
Çekme testi, malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan testlerden biridir. Standartlara uygun olarak hazırlanmış test numunesinin iki ucu boyunca kopana kadar sabit hızda çekilmesi esasına dayanır. Deney sonucu olarak kuvvet ve uzama verileri elde edilir. Bu verilere dayanarak malzemenin mekanik

özellikleri ve tasarım kriterleri belirlenir[17]. Çekme testinin şematik gösterimi Şekil 3.1.'de [18] görülmektedir.



Şekil 3.1. Çekme testi şematik gösterimi [18]

Çekme testinden elde edilen veriler sayesinde malzemenin akma dayanımı, kopma dayanımı, elastisite modülü gibi mekanik özellikleri belirlenebilir. Çekme testi sonucu elde edilen kuvvet ve uzama verilerinden gerilme-gerinim grafiği elde edilir. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için gerilme-gerinim verileri kullanılır. Şekil 3.2.'de [19] örnek bir gerilme-gerinim grafiği ve mekanik özelliklerin grafik üzerinde gösterimi yer almaktadır.



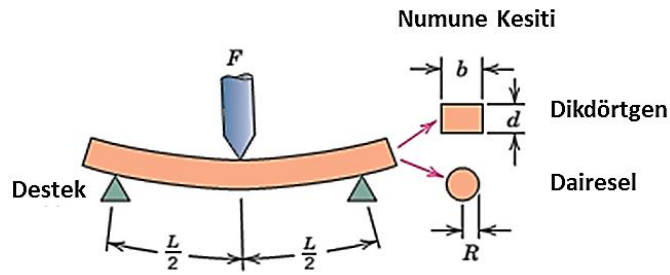
Şekil 3.2. Gerilme-gerinim grafiği örneği ve mekanik özelliklerin gösterimi [19]

3.2. Üç Nokta Eğme Testi

Eğme, bir cismin tarafsız ekseninin tek yönlü kuvvet ile doğrultu değiştirmesidir. Eğme testi de bu prensibe dayanır. Çekme testi, malzemenin mekanik özellikleri hakkında bilgi verse de kimi durumlarda yeterli gelmez. Çekme deneyinde tek yönlü uygulanan kuvvet malzeme kesitinde tek yönlü bir gerilmeye neden olur. Oysa kiriş benzeri yapılarda malzeme eğilmeye maruz kalırken kesitte iki yönlü bir gerilme meydana gelir. Kuvvetin uygulandığı yüzeyde çekme gerilmesi meydana gelirken, tam aksi yüzeyde basma gerilmesi meydana gelir. Bu durumda tasarım kriterleri belirlenirken malzemenin eğilme karşısındaki davranışı da bilinmelidir.

Eğme testi, standarda uygun hazırlanan deney numunesinin iki mesnet noktası üzerinde serbest olacak şekilde, ortasına kuvvet uygulayarak hasar oluşuncaya kadar yük uygulanması esasına dayanır [20].

Üç nokta eğme testinde dikdörtgen veya daire kesitli deney numunesinin serbest olarak, sabit iki mesnet noktası üzerine yerleştirilmesi ve orta naktasından tarafsız eksene dik olacak şekilde, sabit hızda parça hasar görene kadar kuvvet uygulanır. Üç nokta eğme testinin şematik gösterimi Şekil 3.3.'de görülmektedir [18].



Şekil 3.3. Üç nokta eğme testi şematik gösterimi [18]

Üç nokta eğme testi sonucunda kuvvet ve sehim verileri elde edilir. Bu veriler ışığında malzemeye ait elastisite modülü, kırılma dayanımı gibi mekanik özellikler tespit edilebilir.

3.3. Bölüm Değerlendirmesi

Hızlı prototipleme yöntemiyle üretilen parçaların mekanik olarak dayanım göstermesi gereken alanlar olabilmektedir. Bu sebeple üretilen ürünün mekanik özelliklerinin bağlı olduğu çeşitli kriterler bulunmaktadır. Hızlı prototipleme yöntemi ile üretilen parçaların mekanik özelliklerinin tespit edilebilmesi için çekme testi ve üç nokta eğme testi kullanılabilir. Yapılan testler sayesinde, ürünün hammadde özelliklerini ne denli taşıdığı ve kullanım amacına uygun olup olmadığı tayin edilebilir.

Bu çalışma kapsamında, hızlı prototipleme yöntemi ile üretilip çekme ve üç nokta eğme testi yapılan parçaların üretim ve test aşamaları Bölüm 4’de incelenmiştir.

BÖLÜM 4. UYGULAMA ÇALIŞMASI

Uygulama çalışmaları kapsamında, hızlı prototipleme yöntemiyle üretilen test numunelerine mekanik testlerden çekme testi ve üç nokta eğme testi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla test numuneleri katı tasarım programında tasarlandıktan sonra, hızlı prototipleme yöntemiyle imal edilmiş, ardından üretilen numunelere çekme ve üç nokta eğme testi yapılmış, testi tamamlanan numuneler optik mikroskop altında incelenmiştir.

Çalışma kapsamında hızlı prototipleme yöntemlerinden olan birleştirmeli yığma modelleme yöntemi ile üretilen test numunelerinin üretimi için, tmmob Makina Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi Prototip Atölyesinde bulunan Fortus 250MC cihazı kullanılmıştır. Cihaz Şekil 4.1.'de [21] görülmektedir.



Şekil 4.1. Stratasys Fortus 250MC 3d yazıcı [21]

Cihaz çalışma prensibi olarak yatay bir tabla üzerinde ürünün katmanlar halinde üretilmesi esasında çalışmaktadır. Sarf malzeme olarak ana malzeme ve destek

malzemesi olmak üzere iki farklı malzeme kullanılmaktadır. Destek malzemesi ürünün üretildiği tabla üzerinde düz bir zemin oluşturmak ve varsa ürün içinde ve etrafında boşluk, çıkıntı gibi geometrik şekillerin desteklenmesini sağlar. Boşluklu ve mukavim olmayan bir yapıdadır. Üretim bittikten sonra manuel olarak ana malzemeden ayrılmaktadır.

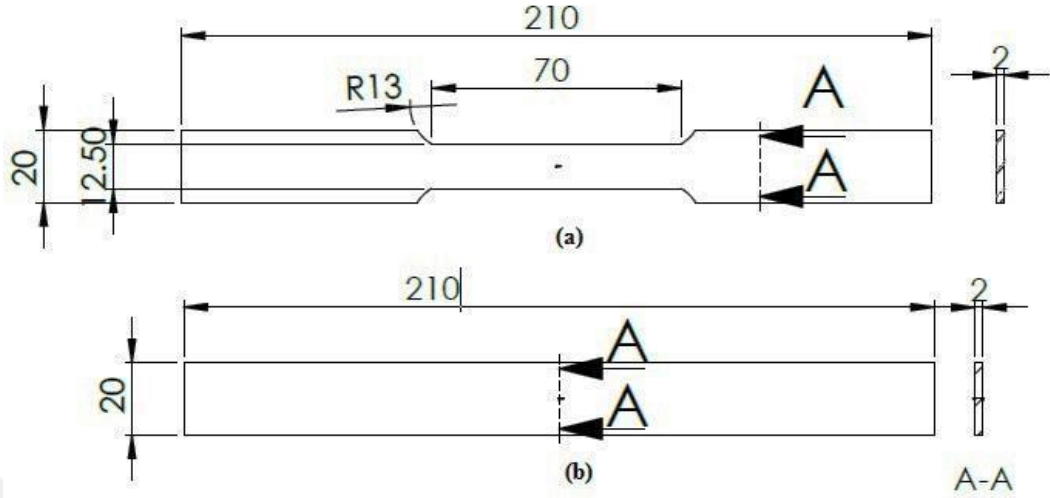
Ürün sarf malzemesi, Stratasys firmasının ticari isimli ürünü olan ABSPlus-P430 isimli termoplastik malzemedir. ABSPlus-P430 malzemesinin mekanik özellikleri Tablo 4.1.'de [22] görülmektedir.

Tablo 4.1. ABSplus-P430 mekanik özellikleri [22]

Çekme Mukavemeti	33 MPa
Akma Mukavemeti	31 MPa
Kopma Uzaması	%6
Akma Uzaması	%2

Hızlı prototipleme yöntemiyle numune üretimi için ürünün katı tasarım programı ile tasarlanması gerekmektedir. Çekme numunesi ASTM E8 [23] standardına göre tasarlanmıştır. Polimer malzemelerin çekme testleri için kullanılan standartlardan olan ASTM D638 [24] standardında numune geometrisi daha küçük ölçüdedir. Ancak hızlı protoipleme yöntemi ile üretilen ürünün boşluklar barındırmaktadır. Bu durum parça mekanik özelliklerini de olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Üretilen numunenin mekanik özelliklerinin, gerçek parça mekanik özelliklerine yakın sonuçlar sergilemesi ve mühendislik verilerini temsil etmesi için daha büyük ölçüde test numunesi standardında üretim yapılmıştır.

Bu çalışmada ürünün tasarlanması için Solidworks yazılımı kullanılmıştır. Solidworks yazılımında tasarlanan numune .STL formatında kaydedildikten sonra Fortus 250MC cihazının Insight 8.1 yazılımına aktarılmıştır. Hazırlanan çekme ve eğme numunelerinin teknik resmi Şekil 4.2.'de görülmektedir.

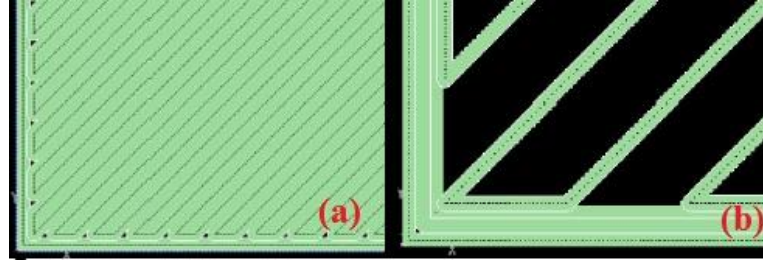


Şekil 4.2. Numunelerin teknik resimleri (a): çekme numunesi, (b): eğme numunesi

Insight 8.1 yazılımı, tasarlanan ürünün 3d baskı işleminden önceki işlemlerinin yapılmasına olanak sağlayan yazılımdır. Yazılım içinde baskı yoğunluğu, dokuma açısı, katman kalınlığı, ürünün tabla üzerindeki yerleşimi gibi ön işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada parçanın üretilmesi için üç farklı dilimleme modelinde üretim yapılmıştır.

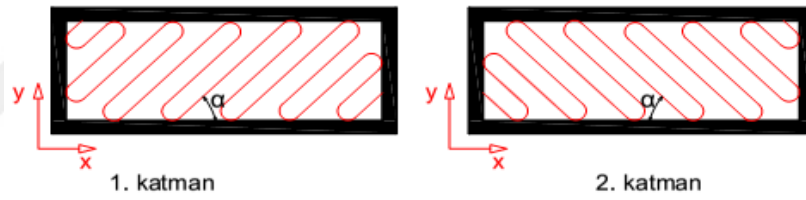
- Boşluksuz (Solid): parçanın tam dolu halde üretilmesini sağlayan dilimleme modelidir.
- Yüksek Yoğunluklu (Sparse High Density): parçadaki model malzeme kullanımını azaltan dilimleme modelidir. İç kısımda boşluklar meydana getirerek malzeme sarfiyatını azaltır. Bunun yanında alt ve üst katmanlarda boşluksuz dilimleme modeliyle baskı yaparak dış yüzeyin boşluksuz olmasını sağlar.
- Düşük Yoğunluklu (Sparse Low Density): yüksek yoğunluklu dilimleme modeliyle benzer özellikler taşır. Diğer yöntemden farklı olarak boşluk miktarını artırarak sarf malzeme miktarını azaltır.

Boşluksuz ve boşluklu dilimleme modellerinin gösterimi Şekil 4.3.'de [25] görülmektedir.



Şekil 4.3. Boşluksuz ve boşluklu dilimleme modellerinin şematik gösterimi (a): boşluksuz, (b) boşluklu [23]

Bir diğer proses parametresi olarak üç farklı dilimleme modeli için 0^0 , 30^0 , 45^0 , 75^0 olmak üzere dört farklı dokuma açısında üçer numune tekrarıyla çekme ve eğme numuneleri üretilmiştir. Dokuma açısı, hammaddenin döküldüğü yolun yatay eksenle yaptığı açığı göstermektedir. Birbirini takip eden katmanlarda bu açı pozitif ve negatif değerler almaktadır. Şekil 4.4.' de dokuma açısının katmanlara göre değişimi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 4.4. Dokuma açısının katmanlara göre değişimi

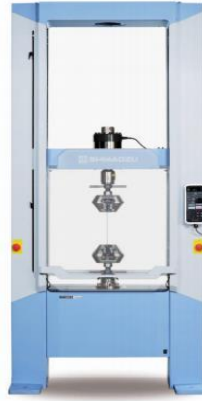
Üretilen numunelerin tabla üzerindeki gösterimi Şekil 4.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Hızlı protoipleme yöntemi ile üretilen çekme ve eğme numuneleri

4.1. Çekme Testleri

Üretilen çekme numuneleri için Shimadzu Ag-Ic 100 kN kapasiteli ve vida tahrikli çekme cihazında çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri hızı ASTM D638-14 test standardına göre 5 mm/dk olarak seçilmiştir. İlk boy değeri yine aynı standarda göre 50 mm seçilmiştir [24]. Çekme testi yapılan cihaz Şekil 4.6.'da [26] görülmektedir.



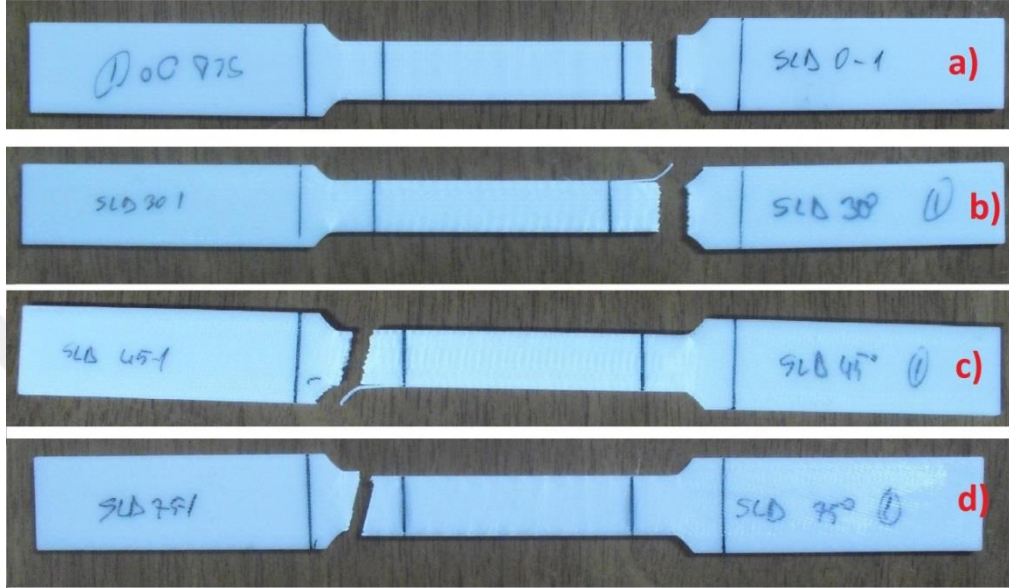
Şekil 4.6. Testlerin yapıldığı Shimadzu Ag-Ic 100kN çekme cihazı [25]

Çekme testi yapılırken uzama verileri ekstansiyometre ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.7.'de yapılan çekme testi örneği görülmektedir.



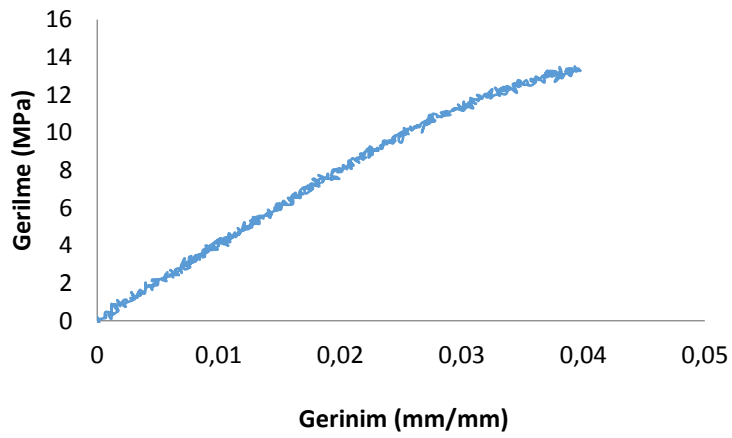
Şekil 4.7. Hızlı prototipleme ile üretilen numuneye ait çekme testi

Yapılan çekme testlerinde numunelerin homojen bölgenin dışında, tutma çenelerine yakın olarak koptuğu görülmüştür. Kopma geometrilerinin ise dokuma açısıyla değiştiği gözlenmiştir. Şekil 4.8.'de çekme testi sonucunda kopmuş numuneler görülmektedir.



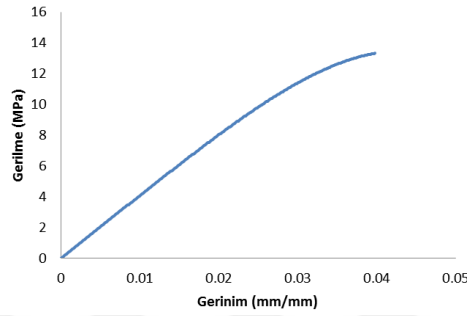
Şekil 4.8. Çekme testi sonucu kopan numuneler a) 0° b) 30° c) 45° d) 90°

Test sonucuna göre gerilme-gerinim grafikleri elde edilmiştir. Bulunan veriler her bir değişken için hazırlanan üç tekrarlı testlerin ortalamaları alınarak elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 4.9.'daki gibidir.



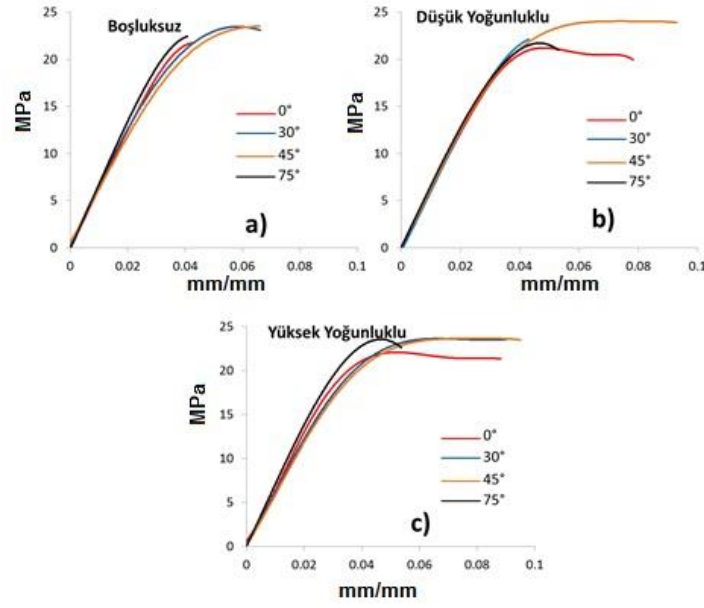
Şekil 4.9. Yapılan çekme testleri sonucunda elde edilen örnek bir gerilme-gerinim grafiği

Çekme testi yapılırken cihazın birim zamanda çok fazla veri ölçmesinden dolayı gerilme-gerinim grafiği dalgalı bir hal almaktadır. Deneyin daha sağlıklı değerlendirilebilmesi için elde edilen grafiği temsil eden bir eğri oluşturulmuş ve incelemeler oluşturulan eğri üzerinden yapılmıştır. Eğri, deneysel veriyi en yakın temsil ettiğinden 4. dereceden polinom olarak oturtulmuştur. Örnek bir çekme numunesine ait eğri oturtulmuş grafik Şekil 4.10.'da görülmektedir.



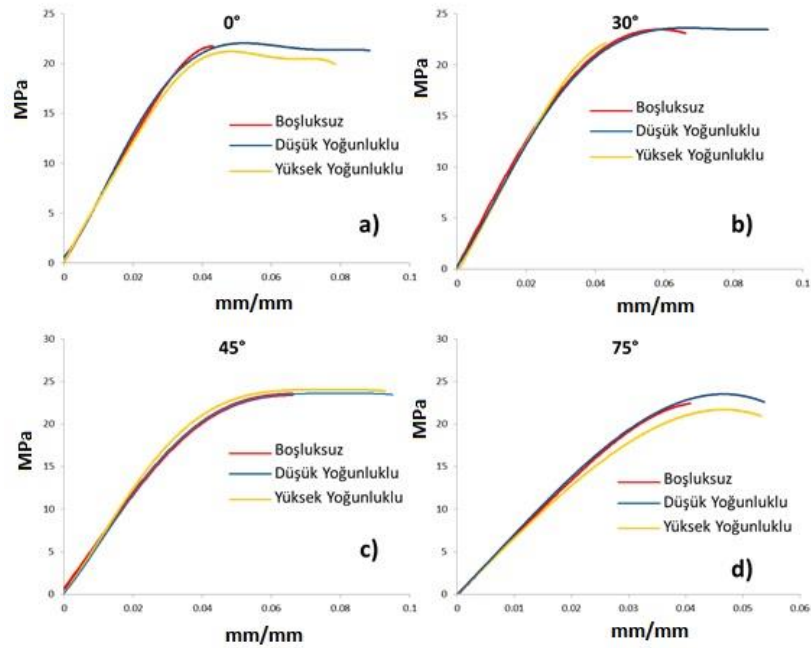
Şekil 4.10. Eğri oturtulmuş örnek bir gerilme gerinim grafiği

Gerilme-gerinim grafikleri her bir proses parametresi için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Karşılaştırmalar ise proses parametrelerinden biri sabit tutularak diğer proses parametresinin karşılaştırılması şeklinde yapılmıştır. Dilimleme modelleri sabit kabul edildiğinde dokuma açısı yönünden gerilme-gerinim değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.11.'deki gibidir.



Şekil 4.11. Dilimleme modellerine göre gerilme gerinim grafikleri a) Boşluksuz b) Düşük Yoğunluklu c) Yüksek Yoğunluklu

Çekme testi verileri, dokuma açıları sabit kabul edilip dilimleme modelleri yönünden karşılaştırıldığında aynı dokuma açısında farklı dilimleme modelleri için değişiklik göstermektedir. Dilimleme modelleri yönünden gerilme-gerinim grafikleri Şekil 4.12.'de incelenmiştir.



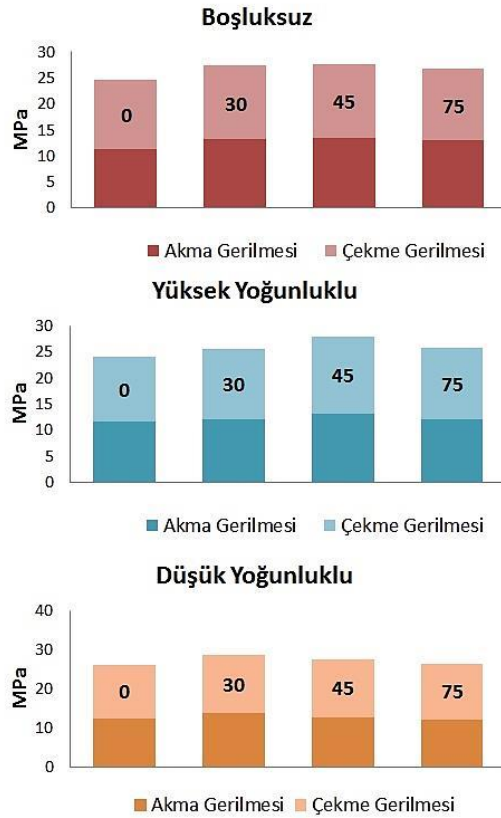
Şekil 4.12. Dokuma açılarına göre gerilme-gerinim grafikleri a) 0° b) 30° c) 45° d) 75°

Çekme testlerinden elde edilen grafikler sonucunda numunelere ait mekanik özellikler belirlenebilmektedir. İncelenen mekanik özellikler Tablo 4.2.'de görülmektedir.

Tablo 4.2. Çekme deneyine göre tespit edilen mekanik özellikler

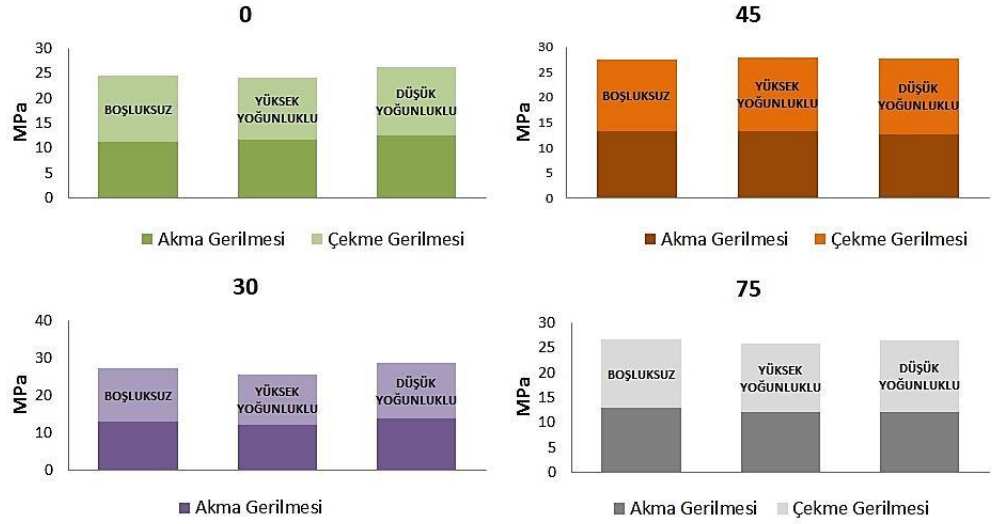
MEKANİK ÖZELLİKLER	BOŞLUKSUZ				YÜKSEK YOĞUNLUKLU				DÜŞÜK YOĞUNLUKLU			
	0°	30°	45°	75°	0°	30°	45°	75°	0°	30°	45°	75°
Elastisite Modülü (MPa)	33,56	7,12	21,07	34,89	18,95	32,3	20,42	28,17	24,34	19,94	20,41	33,76
Akma Gerilmesi (MPa)	11,25	13,12	13,32	12,92	11,67	12,07	13,16	12,1	12,5	13,75	12,73	12,18
Çekme Gerilmesi (MPa)	13,32	14,15	14,25	13,71	12,5	13,55	14,8	13,71	13,75	15,07	15,03	14,37
% uzama	0,04	3,9	0,13	0,07	0,13	0,05	0,15	0,09	0,11	0,15	0,14	0,08

Elde edilen akma ve çekme gerilmelerinin dilimleme modellerine göre karşılaştırılması Şekil 4.13.'de görülmektedir.



Şekil 4.13. Akma ve çekme gerilmelerinin dilimleme modellerine göre karşılaştırılması

Çekme testi sonuçlarına göre akma ve çekme gerilmelerinin dokuma açılarına göre karşılaştırılması Şekil 4.14.'de görülmektedir.



Şekil 4.14. Akma ve çekme dayanımlarının dokuma açısına göre karşılaştırılması

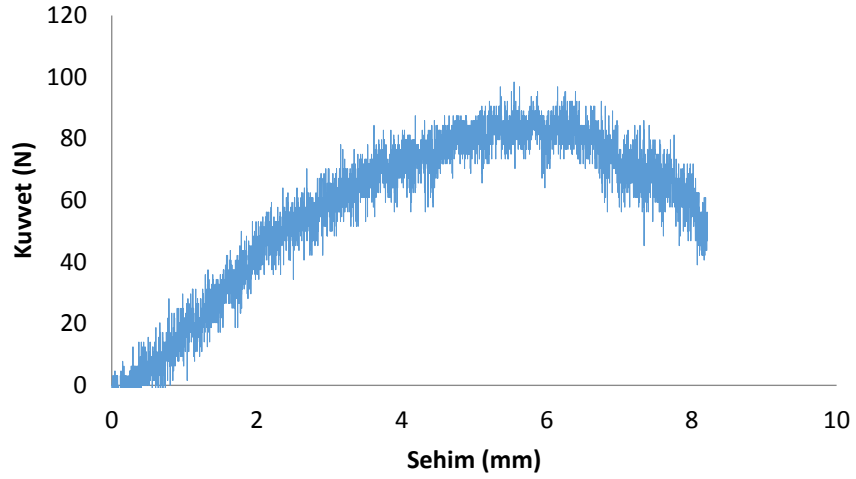
4.2. Üç Nokta Eğme Testleri

Hazırlanan deney numuneleri, çekme testlerinin de yapıldığı Shimadzu Ag-Ic 100kN çekme cihazında gerçekleştirilmiştir. Üç nokta eğme testleri ASTM D 790-03 standardına göre yapılmıştır. Buna göre mesnetler arası mesafe 40 mm, eğme hızı 2 mm/dk seçilmiştir [26]. Yapılan üç nokta eğme testi Şekil 4.15.'de görülmektedir.



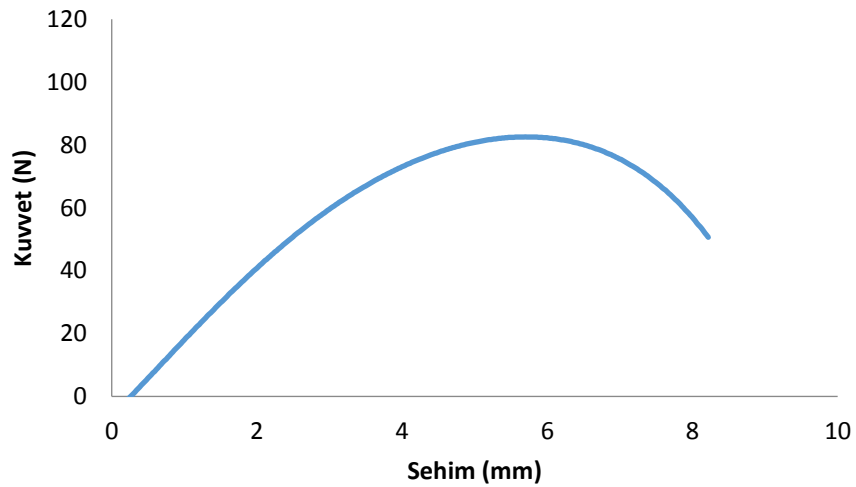
Şekil 4.15. Hızlı prototipleme ile üretilen numuneye ait üç nokta eğme testi

Eğme testleri sonucunda kuvvet –uzama verileri elde edilmiştir. Elde edilen verilere göre çizilen grafik Şekil 4.16.’da görülmektedir.



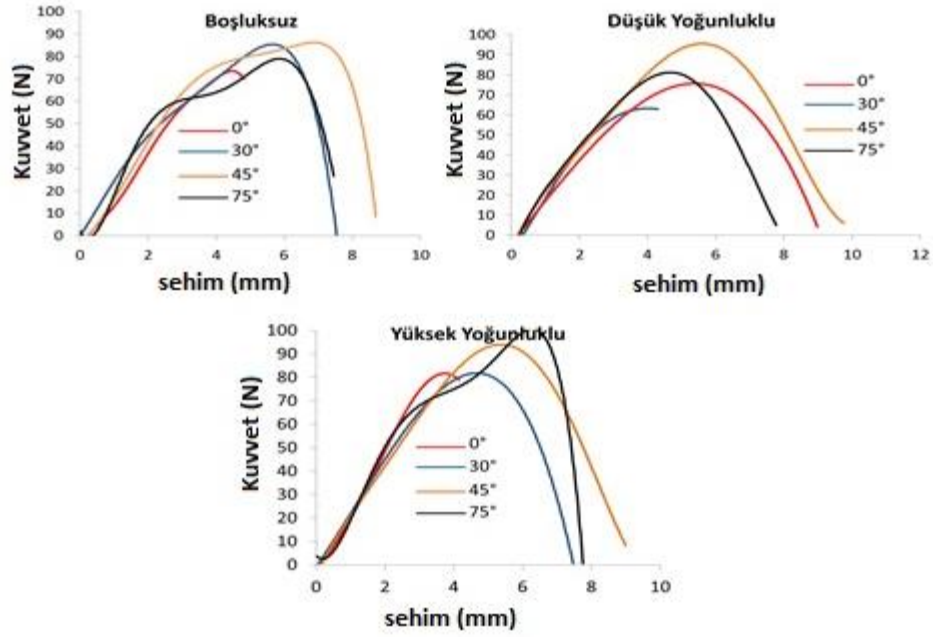
Şekil 4.16. Üç nokta eğme deneyine ait örnek bir kuvvet-sehim grafiği

Örnek grafik incelendiğinde, veri sayısının fazla olması sonuçların yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Bu sebeple çizilen grafiği temsil eden bir eğri, veriler üzerine oturtulmuştur. Oturtulan eğri, deney verilerini en iyi temsil edecek şekilde 5. dereceden polinom olarak belirlenmiştir. Şekil 4.17.’de eğri oturtulmuş grafik görülmektedir.



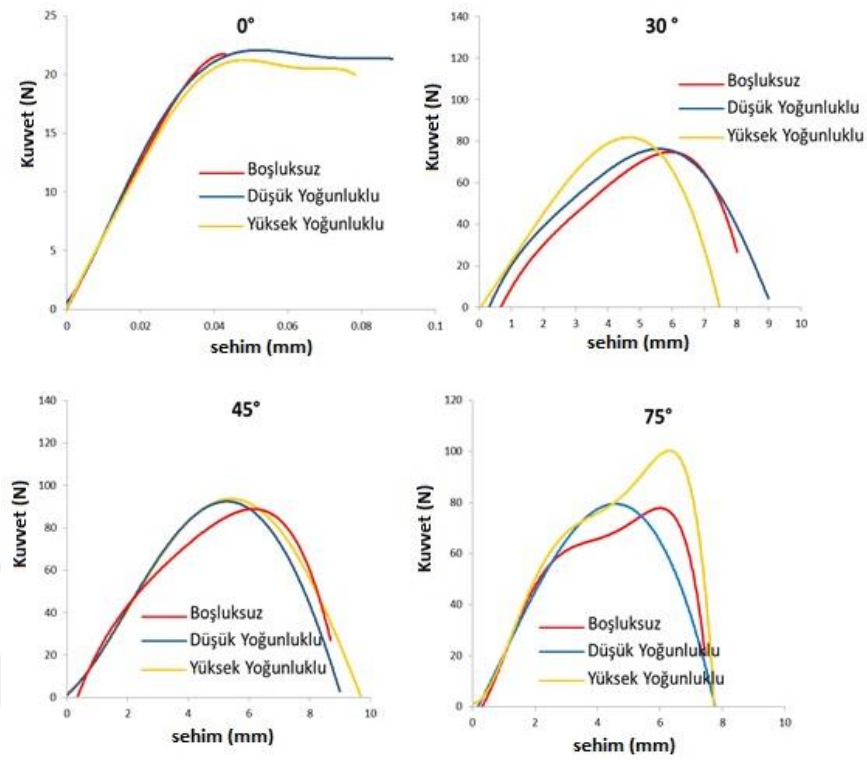
Şekil 4.17. Üç nokta eğme testine ait eğri oturtulmuş örnek bir grafik

Kuvvet-uzama grafikleri çekme testlerinde olduğu gibi her bir proses parametresi için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Karşılaştırmalar ise proses parametrelerinden biri sabit tutularak diğer proses parametresinin karşılaştırılması şeklinde yapılmıştır. Dilimleme modelleri sabit kabul edildiğinde dokuma açısı yönünden gerilme-gerinim değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.18.'deki gibidir.



Şekil 4.18. Dilimleme modellerine göre üç nokta eğme testlerine ait kuvvet-uzama grafiği

Üç nokta eğme testleri sonuçları, aynı dilimleme modelindeki farklı dokuma açılarına göre de değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu oluşturulan grafikler Şekil 4.19.'da görülmektedir.



Şekil 4.19. Dokuma açılarına göre üç nokta eğme testi kuvvet-uzama grafikleri a) 0° b) 30° c) 45° d) 75°

Üç nokta eğme testi sonucunda numunelere ait kuvvet uzama verilerinden maksimum kuvvet ve maksimum uzama değerleri tespit edilmiştir. Tespit edilen değerler Tablo 4.3.'de görülmektedir.

Tablo 4.3. Üç nokta eğme deneyi sonucu tespit edilen maksimum kuvvet-uzama değerleri

		MAKSİMUM KUVVET (N)	MAKSİMUM SEHİM (mm)
BOŞLUKSUZ	0	73.43	4.76
	30	81.25	6.62
	45	82.81	5.47
	75	85.93	6.37
YÜKSEK YOĞUNLU	0	81.25	3.78
	30	82.91	4.65
	45	93.75	6.57
	75	84.37	6.02
DÜŞÜK YOĞUNLU	0	56.25	3.1
	30	76.56	6.17
	45	84.37	6.05
	75	79.68	5.31

4.3. Numunelerin Mikroskop Altında İncelenmesi

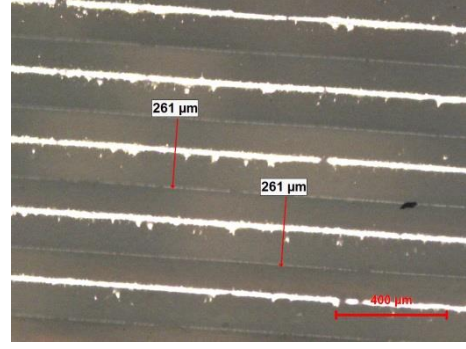
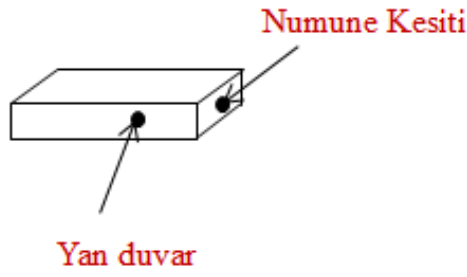
Üretilen numuneler görünüş itibariyle, dilimleme modeli farklı olsa da üretim yapılan cihazın özelliği olarak birbirine benzemektedir. Çünkü cihaz üretim yaparken, tablaya temas eden yüzey, üst yüzey ve yan yüzeyleri boşluksuz bir kabuk olarak üretmektedir. Dilimleme modelinin fonksiyonu ise parçanın iç kısmına etki etmektedir.

Dilimleme modeli ve dokuma açısının fiziksel görünüş olarak tespit edilebilmesi için, deney yapılan numuneler optik mikroskop altında incelenmiştir. Optik mikroskop olarak Nikon Eclipse LV150 cihazı kullanılmıştır. Kullanılan optik mikroskop Şekil 4.20.'de görülmektedir.



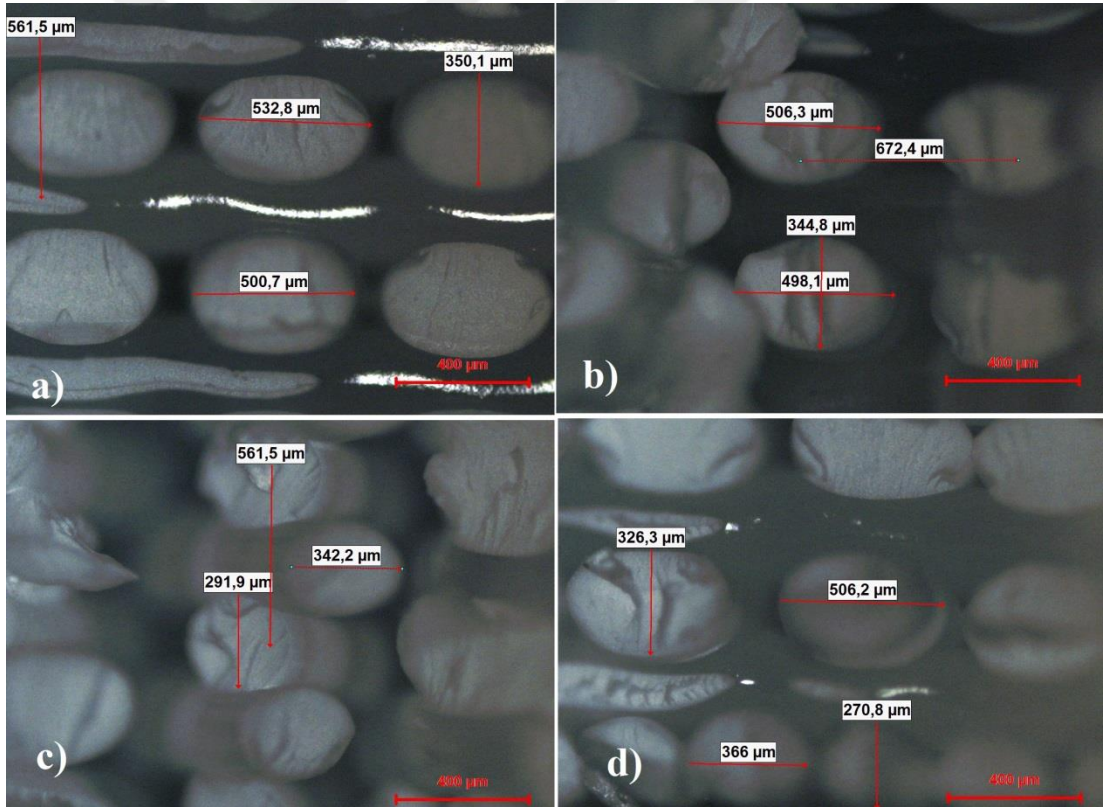
Şekil 4.20. Deney numunelerinin incelendiği Nikon Eclipse LV150 mikroskobunun görüntüsü

Yapılan incelemede dokuma açılarının ve dokuma sıklığının farkı mikroskop altında tespit edilmiştir. İnceleme, yan duvar, dokuma yüzeyi ve dokuma yüzey kesiti için yapılmıştır. Yan duvarların benzer olduğu, dokuma yüzeyi ve dokuma kesitinde ise katmanların sıklığı ve dokuma açıları açıkça görülebilmektedir. Yan duvara ait mikroskop görüntüsü Şekil 4.21.'de görülmektedir.



Şekil 4.21. Deney numunelerinin şematik gösterimi ve yan duvarına ait optik mikroskop görüntüsü

Numunelerin kesitleri incelendiğinde ise dokuma açılarındaki fark görülebilmektedir. Şekil 4.22.'de aynı dilimleme modeli ile farklı dokuma açılarında üretilmiş numune kesitlerinin optik mikroskop altındaki görüntüsü görülmektedir.



Şekil 4.22. Boşluksuz dilimleme modeliyle üretilmiş numune kesitlerinin optik mikroskop görüntüsü a) 0° b) 30° c) 45° d) 75°

BÖLÜM 5. DEĞERLENDİRME

Hızlı prototipleme yöntemi ile üretilen parçaların sanayide kendisine yer bulmasıyla birlikte, bu yöntemle üretilen ürünlerin mekanik özelliklerinin tespiti de önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışmada, hızlı prototipleme yöntemlerinden biri olan birleştirmeli yığma modelleme prosesinin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

Bu amaç doğrultusunda, birleştirmeli yığma modelleme yöntemiyle termoplastik malzemelerden olan ABS P430 malzemesinden farklı proses parametrelerinde standart çekme ve eğme numuneleri üretilmiştir. Numunelerin üretiminde dokuma açısı ve dokuma sıklığı parametreleri değişken olarak kabul edilmiştir. Üretilen numunelere çekme ve üç nokta eğme testleri gerçekleştirilmiştir.

Çekme testi sonuçları incelendiğinde akma ve çekme dayanım değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Elastisite modülü değerlerinde ise gözle görülür farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Dokuma açısı değeri arttıkça parça mukavemetinin arttığı, en iyi dayanımın 45^0 dokuma açısında elde edildiği, 45^0 lik dokuma açısı geçildiğinde ise dokuma açısı değeri arttıkça mukavemetin azaldığı görülmüştür. Bunun sebebi her katmanda dokuma yönlerinin pozitif ve negatif olarak değişmesidir. Dolayısıyla dokuma açısı değerleri 0^0 - 45^0 açı aralığında değerlendirilmelidir.

Üç nokta eğme testi sonuçlarına bakıldığında ise 0^0 - 45^0 dokuma açısı aralığında, açı değeri arttıkça maksimum kuvvet miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Ancak bu artışın miktarı düşük niteliktedir. Dokuma açısında 45^0 lik açı aşıldığında maksimum kuvvet miktarının azalması, yine çekme deneyinde olduğu gibi her katmanda dokuma yönünün pozitif ve negatif olarak değişmesidir. Maksimum uzama verilerinin ise birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Mekanik özellikler dokuma sıklığı yönünden incelendiğinde, değişimin dokuma sıklığıyla çok fazla değişmediği tespit edilmiştir. Bu sebeple basit geometrili parçalarda, parça ağırlığı ve sarf malzeme tasarrufu için düşük yoğunluklu dilimleme modelleri tercih edilebilir.

Yapılan bu çalışmada ürünün maliyeti ve baskı süresi nispeten kısadır. Ancak hızlı prototipleme yöntemleri karmaşık geometrideki parçaların üretimi için de kullanılabilmektedir. Daha sonra yapılacak çalışmalarda, hızlı prototipleme yöntemi ile üretilen parçaların mekanik özelliklerinin tayin edilebilmesi için sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak tasarım gerçekleştirilebilir. Bu sayede hem malzeme tasarrufu hem de imalat aşamasına geçmeden önceki süreç kısaltılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Stratasys, Inc., Fast, Precise, Safe Prototypes With FDM, Solid Freeform Fabrication Symposium, 1991.
- [2] M. Vitale, M. Cotteleer, J. Holdowsky, An Overview of Additive Manufacturing, Defense Acquisition University, Kasım – Aralık 2016.
- [3] Georgios Charalampides, Octavian Dontu, Daniel Besnea, Gh.I.Gheorghe, Gabriela C. Stanciulescu, Iulian Avarvarei, Integration Of Rapid Prototyping In Manufacturing Process For Mechatronic Systems, The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, 2009 (19), No. 35.
- [4] <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/materialextrusion/>, Erişim Tarihi: 15.04.2019.
- [5] Raymond R. Ma, Lael U. Odhner, Aaron M. Dollar, 3DA Modular, Open-Source 3D Printed Underactuated Hand, 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Mayıs 6-10, 2013.
- [6] Aerospace Manufacturing and Design syf.60-64 Nisan/Mayıs 2014.
- [7] B. Aktimur, E. S. Gökpınar, Katmanlı Üretimin Havacılıkdaki Uygulamaları Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım Ve Teknoloji GU J Sci Part:C 3(2):463-469 (2015).
- [8] E. Koç, C. Gökçöl, Additive Manufacturing (3d Printing) Applications In Automotive Sector, Electronic Journal of Vocational Colleges-November/Kasım 2018.
- [9] A. D. Maso, F. Cosmi, Mechanical Characterization Of 3D-Printed Objects, Materials Today: Proceedings 5 (2018) 26739–26746.
- [10] Y. L. Yapa, W. Toha, R. Konerua, K. Linb, K. M. Yeohb, C. M. Limb, J. S. Leeb, N. A. Plempingb, R. Linb, T. Y. Ngb, K. I. Chanc, H. Guangc, W. Y. B. Chanc, S. S. Teongc, G. Zhengc, A Non-Destructive Experimental-Cum-Numerical Methodology For The Characterization Of 3D-Printed Materials-Polycarbonate-Acrylonitrile Butadiene Styrene (PC-ABS), Mechanics of Materials 132 (2019) 121–133.

- [11] E. Bartolomé, B. Bozzo, P. Sevilla, O. Martínez-Pasarell, T. Puig b, X. Granados, ABS 3D Printed Solutions For Cryogenic Applications, Cryogenics 82 (2017) 30–37.
- [12] T. Wohlers, Wohlers Report 2017: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry, Wohlers Associates, Inc., 2017.
- [13] V. Bonneau, H. Yi, L. Probst, B. Pedersen, O. Lonkeu, Digital Transformation Monitor The disruptive nature of 3D printing, Internal Market Industry European Commission, Ocak 2017.
- [14] T. Wohlers, Wohlers Report 2017: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry, Wohlers Associates, Inc., 2015.
- [15] M. Vitale, M. Cotteleer, J. Holdowsky, An Overview of Additive Manufacturing, A Publication Of The Defense Acquisition University Defense AT&L, Kasım-Aralık 2016.
- [16] Mechanical Testing and Evaluation, ASM Handbook Vol:8, Ch:2-7, ASM International, 2000.
- [17] Shigley's Mechanical Engineering Design, 9th Edition, Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett, The McGraw-Hill Companies, Inc., 2011.
- [18] William D. Callister, Jr., Materials Science and Engineering an Introduction, 7th Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [19] E. Sönmez, Yüksek Lisans Tezi, Metal Şekillendirme İşleminde Geri Esneme Tahmininin Deneysel ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, 2015.
- [20] Deney Föyü, Üç Nokta Eğme Deneyi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi.
- [21] Fortus 250mc 3D Production System User Guide, Stratasys, 2013.
- [22] ABSplus-P430 Ürün Kataloğu, Stratasys Inc., 2017.
- [23] Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, E8/E8M – 13a, American Society for Testing and Materials, 2013.
- [24] Standard Test methods for Tensile Properties of Plastics, D638-14, American Society for Testing and Materials, 2014.
- [25] Insight 8.1 Help Menu, Stratasys Inc., 2012.

- [26] Shimadzu Autograph AGS-X Series Ürün Kataloğu, Shimadzu Corp., 2015.
- [27] Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, , American Society for Testing and Materials, 2003.



ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Yener Akdoğan 22.07.1990 tarihinde Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara’da tamamladı. 2008 yılında Çubuk Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesinden mezun olduktan sonra, aynı yıl Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina ve İmalat Mühendisliği bölümüne başladı. 2012 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü, Tasarım ve İmalat Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Halen özel sektörde Makina ve İmalat Mühendisi olarak görev yapmaktadır.