

# FDM (Fused Deposition Modeling) Yöntemi ile Çalışan Hızlı Prototip Cihazlarında Kullanılan ABS Flament Telin Üretilmesi

Bülent Ekici  
Doç. Dr.

Hüseyin Yaltrıık  
Mak. Yük. Müh.

Marmara Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
Makine Mühendisliği Bölümü

*Tübitak'ın desteklediği bu çalışmada FDM yöntemi ile prototip üretebilen bir makine tasarlanıp üretilmiştir. Bu makine bilgisayar kontrollü olup, alışlagelmiş üç eksenli kartezyen sistemine teli süren dördüncü eksen ,C eksenini , ilave edilerek kullanılmıştır. Prototip makinede sistemin başarıyla çalışması, alt sistemlerin doğru olarak üretilmesine bağlıdır. Bu üretim içinde var olan mevcut yapılar incelenir ve uygun olanlar tercih edilir. Bu alt sistemleri kartezyen robot, ekstrüder kafa, telin imal edilmesi, taban köpüğü ve yazılım olarak sıralayabiliriz. Bunlardan bazıları bilinen yöntemlerdir. Örneğin kartezyen robot uygulamaları yaygındır. Bazıları ise prototip makineye özgün sistemlerdir. Örneğin ekstrüder kafa ve telin imal edilme yöntemleri sadece bu sisteme yöneliktir ve kritik unsurlar olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada ABS malzemeden üretilen telin değişik kombinasyonlarda gösterdiği değişik davranışlar incelenmiştir. Sürekli akışı sağlayabilecek bir kombinasyon elde edilmeye çalışılmıştır.*

*Anahtar kelime: Kartezyen robot ,ekstrüder kafa, ABS flament tel*

## GİRİŞ

Plastik ve metal kalıpcılığında kalıp öncesi ürün doğrulatma ihtiyacından dolayı model yapma günümüzde yaygın olarak kullanılan bilinen eski bir yöntemdir. Bu amaçla uzun yıllar model malzemesi olarak ahşap kullanılmış. Daha sonra ahşabın yerini araldid almıştır. Model yapımında el becerisinin egemen olduğu bu yıllarda aynı modelin yeniden inşası neredeyse imkânsızdı. [1] Modellerin el becerisi ile yapılması bu işlemin uzun sürmesini de beraberinde getirmekteydi [2]. Günümüzde ürün oluşturma süreçlerindeki kısılma ihtiyacı bu tip model yapma yöntemlerini geçersiz kılmıştır.

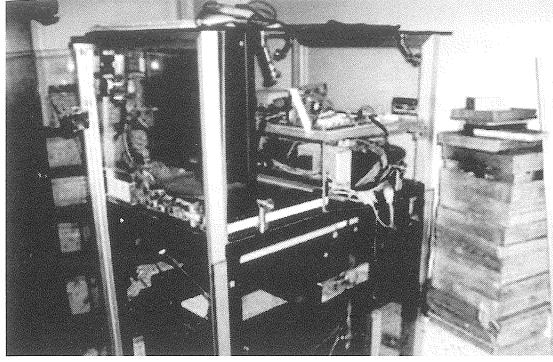
Ürün geliştirme süreçlerinin ilk adımını prototip (model) oluşturmaktadır. Silikon kalıplama yöntemi ile oluşturulan prototip daha sonra promosyon amacıyla üretilecek kalıplarda 100 adete kadar kullanılmaktadır. Kullanılan malzemeler çift bileşenli sıvı polimerlerdir. Üretilen prototipin yüzey kalitesi silikon kalıbın başarısını etkilemektedir. Bu nedenle değişik prototip üretme yöntemlerinin varlığını bilerek [3] silikon kalıplama aşamasının da dahil edileceği bir ürün geliştirme sürecinde [4], prototip üretme yöntemini doğru seçmek gerekir [5]. Mevcut prototip üretme yöntemleri, FDM,

Stereolitography, SLS (Selective Laser Sintering) ve OBJET teknolojileridir[6] . Bunlara ek başka yöntemler de vardır [7]. Ama bunların hepsi silikon kalıplama yöntemi ile tam uyumlu değildir.

Bu çalışmada ürün geliştirme sürecine uygun bir yöntem olan FDM yöntemiyle çalışan , bilgisayar kontrollü bir makine üzerinde kullanılacak ABS flament telin üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla mevcut olan ticari teller üzerinde gerekli test ve analizler yapılmış, bu analizlerden elde edilen sonuçlar vasıtasıyla çok sayıda tel üretim denemesi gerçekleştirilmiştir. Üretilen teller TÜBİTAK tarafından desteklenen makinede denenmiş ve sonuçları tatmin edici bulunmuştur.

## GEREÇ VE YÖNTEMLER

Bu çalışmada üretilen tellerin çapları 1.8mm olup ekstrüzyon yöntemiyle üretilmiştir. Gerek malzeme bileşenleri gerekse üretim parametreleri teli etkilemektedir. Özellikle çevre şartları (nem) telin akışının başarısını belirlemektedir. Çok sayıda etkenin mevcut olması üretilen tellerin denemelere tabi tutulmasını gerekli kılmıştır. Bu amaçla Şekil 1'de verilen prototip makinesi kullanılmıştır



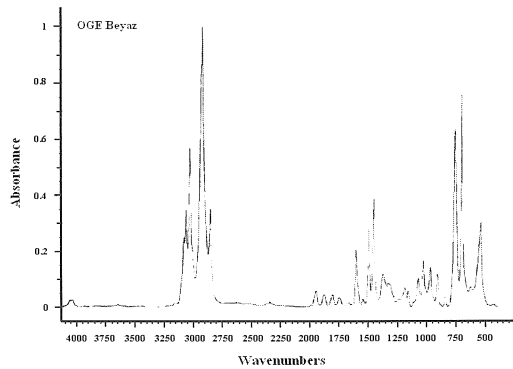
Şekil 1. Deneylerin yapıldığı prototip makinesi

### ABS TEL ÜRETİMİ İÇİN YAPILAN TEST VE ANALİZLER

Testler malzemeler için Arçelik polimer grubunda kimyasal, Sabancı Üniveristesinde SEM ile mikro yapı ve Marmara Üniversitesi Malzeme Müh. Bölümünde çekme deneyleri ile gerçekleştirilmiştir.

İthal edilen orijinal malzemenin evsafının belirlenmesi için polimer grubunda çeşitli test ve analizler yapılmıştır. Testlerde model ve destek malzemelerinin içerikleri belirlenmiştir. FT-IR testi sonucunda elde edilen wavenumber grafiğinin şekli kütüphanesinde bulunan her malzemenin grafik şekliyle program tarafından karşılaştırma yapılır. Bu yöntemde kullanılan malzemelerin standart ekstrüzyon ABS malzeme olduğu anlaşılmıştır.

Destek malzemesi içinde nitril olduğu bunun da kırılgenliği sağladığı belirlenmiştir. Test yapılan model malzemesinin sonucu Şekil 2 ve Tablo 1'de destek malzemesinin sonucu Şekil 3 ve Tablo 2'de verilmiştir. Test sonuçları veri tabanındaki nitrilli ve nitrilsiz standart ABS'lerle uyum göstermiştir.



Şekil 2. Model Malzemesinin FT-IR Testi ile Malzeme Tayininin Yapılması

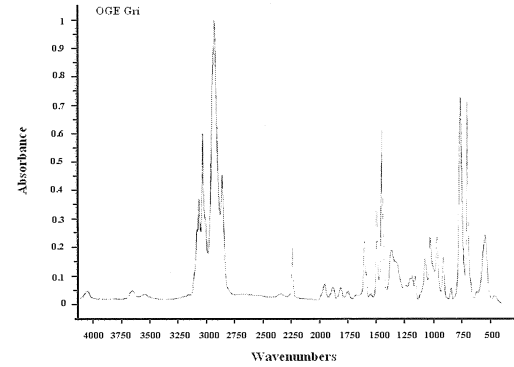
Polimer grubunun önerdiği ABS, grade 5 ekstrüzyon tipi ABS olmuştur. Daha detaylı analiz için malzeme karakterizasyon laboratuvarında çalışılmış ve yapılan çalışmanın sonuçlarında

**MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ**

malzemenin gerçek kompozisyonu elde edilmiştir. Çekilen SEM mikro yapı fotoğraflarında plastik malzemede önemli sayılacak boşluklar olduğu görülmektedir (Şekil 4). Bu boşlukların ekstrüzyon işlemi sırasında eklenen köpürtme katkısı ile sağlandığı ve yapılan analiz sonucunda ABS malzeme içindeki 55% Acrylic, 35% Butadiene ve 10% Styrene kompozisyonu belirlenmiştir.

Tablo 1 Test Edilen Model Malzemesi Bilgileri

İsim	Değer
Başlık	Stereon 880a
Teknik	Film (cast from chloroform)
Açıklama	Kimyasal tanım = butadiene-styrene, Copolymer
Sertlik	(Shore d) 75
Örnek Kaynağı	Frestonesyntretic rubber and latex Company

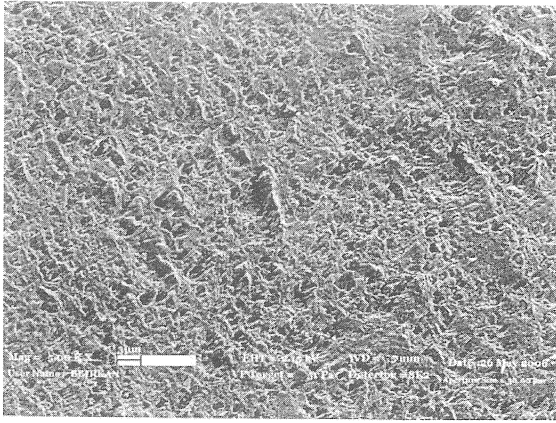


Şekil 3. Destek Malzemesinin FT-IR Testi ile Malzeme Tayininin Yapılması

Tablo 2. Test Edilen Destek Malzemesi Bilgileri

İsim	Değer
Başlık	Abson89110acrylonitline/butadiene/styrene, Bileşik
Teknik	Film
Sınıflama	Polymers=acrylonitline-butadiene- styrene resins
Örnek Kaynağı	Goodrich, b.f. , Kimya Şirketi

Bu bilgiler ışığında benzer bir hammadde elde etmek için orijinal malzemenin tespit edilen kompozisyonuna yakın ürün satın alınmıştır. Temin edilen malzeme firma tarafından verilen bilgilere göre köpürme ajanı katkı malzemesi eklenerek ekstrüzyon edilmiş, ancak katkı malzemesi fazla konulduğundan köpürme oluşmuştur. Bunun üzerine katkı malzemesi belirtilenin ¼ oranında eklenip ikinci kez tel çekilmiştir. Çekimde elde edilen tel çapları başarılı olmuştur.



Şekil 4. Model Malzemenin Mikro Yapısı

Acrylonitrile-butadiene-styrene	200/5.0
	230/3.8
	220/10

### ABS TELİN ÜRETİMİ İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR

ABS telin üretilmesi için değişik zamanlarda değişik kurumlar ile çalışmalar yapılmıştır. Orijinal ürün üzerinde yapılan testler ve kompozisyon tayininden sonra sırasıyla Resinex, Dow ve Bayer kimya firmalarından gönderilen malzemeler kullanılarak tel üretimleri yapılmıştır (Tablo 3). Bu amaçla değişik ekstrüzyon kalıpları yapılmıştır. Bu malzemelerle yapılan pek çok ekstrüzyon çekme işleminde bazı sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sorunlardan en önemlileri çekilen telin kesitinin daireselliği ve tel çapının sürekliliğinin korunamamasıdır. İlk üç çekimde bunlar başarılabilmiştir. Fakat daha sonra yapılan çekimlerin bir bölümünde dairesellik elde edilmiş olmasına rağmen tel çapının istenen düzeyde olmadığı gözlemlenmiştir. Bu sorunların aşılması için denemelere devam edilmektedir.

Tablo 3. Dene Numune kompozisyonları ve Üreticileri

Numune	Kompozisyon	Üretici
1	40% acrylic, 35% butadiene ve 25% styrene	Resinex
2	50% acrylic, 40% butadiene ve 10% styrene	Dow
3	55% acrylic, 35% butadiene ve 10% styrene	Orijinal Model
4	55% acrylic, 30% butadiene ve 15% styrene	Bayer Kimya
5	50% acrylic, 35% butadiene ve 15% styrene	Bayer Kimya

### TEST VE DENEYLER

ABS filament teller üzerindeki çalışmalarda aşağıdaki test ve deneyler yapılmıştır. İlk deney akış

endeksidir (Mold Flow Index). Daha sonra çekme deneyi ve sertlik deneyleri yapılmıştır.

### AKIŞ ENDEKSİ DENEYİ

Hızlı prototip işleminde polimerin eritilmesi en önemli olaydır. Kalıp akış oranı; termoplastiğin bir enjektörden belirli bir sıcaklık ve yükte hangi oranda ekstrüzyon edileceğini belirlemektedir. Akış endeksi plastikleri sınıflandırma olanağını bu şekilde sağlamaktadır.

Akış endeksleri sütunundaki değerlerin ilki malzemenin tabii tutulduğu sıcaklığı, ikincisi de basma kuvveti için gerekli olan kütle değerini göstermektedir. Birimler de sıcaklık için santigrad derece, kütle için de kg'dır

ABS malzeme için değişik akış endeksleri test yöntemleri vardır. Bunlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. ABS için Standart Akış Endeksleri

Bu akış endeksi testleri ASTM D1238 standardına uygun şekilde 5 kg ve 200 °C de yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

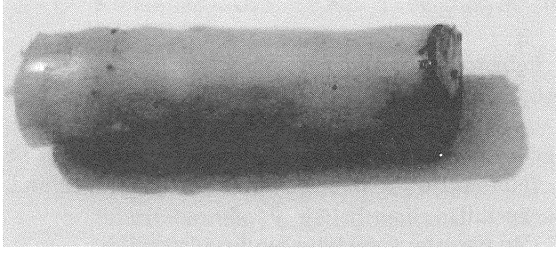
Deneyler aşağıda açıklandığı üzere yapılmıştır,

1. Her bir numuneden 11 adet 3 mm boyunda ve 2 mm çapında örnekler kesilmiştir,
2. Bu numunelere daha sonra test cihazına konulmuş ve 10 dakika beklenmiştir
3. Cihaza konulan 5 kg ağırlık yardımı ile eriyen plastik alt taraftaki bölümden akmaya başlamıştır,
4. Her 10 dakikada eriyen plastik alınmıştır,
5. Alınan erimiş plastikler hassas tartılarda tartılmıştır.

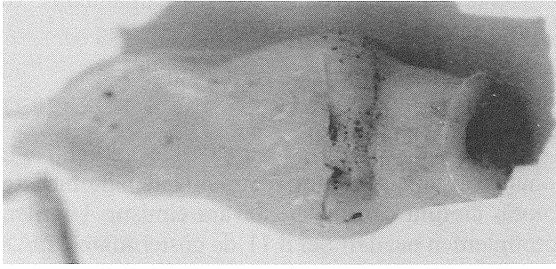
Tablo 5. Akış Endeksi Sonuçları

Gr/10 dak	Numuneler				
	1	2	3	4	5
Ortalama Akış Endeksi	0.769 g	1.431 g	1.610 g	3.120 g	1.222 g
	0.942 g	1.433 g	1.630 g	3.320 g	1.248 g
	0.861 g	1.417 g	1.578 g	3.355 g	1.253 g
	0.811 g	1.380 g	1.530 g	3.365 g	1.273 g
	0.784 g	1.370 g	1.516 g	3.475 g	1.245 g
	0.750 g	1.375 g	1.525 g	3.600 g	1.259 g
	0.720 g	1.379 g	1.560 g	3.505 g	1.243 g
	0.700 g	1.335 g	1.510 g	3.452 g	1.257 g
	0.689 g	1.350 g	1.530 g	3.336 g	1.272 g
	0.710 g	1.332 g	1.520 g	3.290 g	1.243 g
0.730 g	1.325 g	1.526 g	3.315 g	1.248 g	

Bu testlerden elde edilen sonuçlarla malzemelerin akma değerleri elde edilmiştir. Bu malzemelerden üretilen tellerle FDM cihazı ile uygulamalar yapılmıştır. Ancak 5,6 ve 7 numaralı şekillerde görüldüğü üzere uygulamalardan elde edilen sonuçlar akış endeksi sonucundan farklı çıkmıştır.

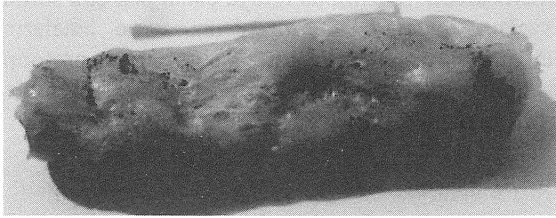


Şekil 5. Numune 1



Şekil 6. Numune 3

Diğer taraftan numunelerin erimesi çıplak gözle de takip edilmiştir. 1 ve 3 numaralı numunelerin erimesi çok iyi ve homojendir. Halbuki 5 numaralı numune çok zor erimiştir. Numunede bazı oyuklar oluşmuştur, bunlar Şekil 7 'de görülmektedir.



Şekil 7. 5 Numaralı Numunenin Erime Şekli

#### ÇEKME DENEYİ

Çekme deneyleri Tablo 3'te belirtilen malzemeler üzerinde yapılmıştır.

Bir malzemenin çekme kuvveti altında kopmaya gösterdiği direnç kabiliyeti yapısal elemanların en çok ölçülen ve en önemli özelliğidir. Bir malzemeyi koparmak için gereken kuvvet/alan (MPa veya PSI) bir şekilde maksimum çekme mukavemeti olarak tanımlanır. Çekme deneyinin uygulama hız oranı 5.08 den 508 mm/dakika aralığında değişmektedir. Bu hız oranları çekme

deneyinin sonuçlarını etkiler. Çekme deneyinin yapılması için oluşturulan test metotları ISO 527 ve ASTM D638 de belirtilmiştir. Bu standartlarda yapılan deney sonuçları birbirlerine yakındır ve iyi sonuçlar vermektedir. Polimerler için özel test standartları uygulanmaktadır. Bunlar polimerler için ASTM D882 ve elastomerler için ASTM D412 dir

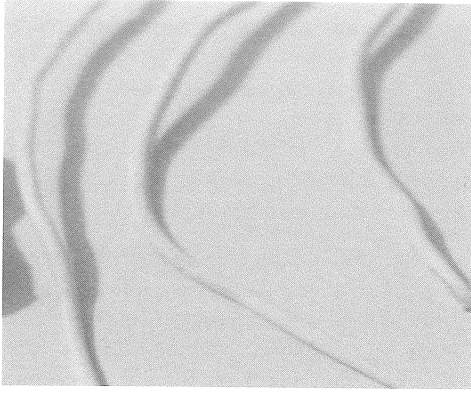
Maksimum uzama; bir numunenin çekme deneyinde kopma anındaki boyunun, ilk boyuna olan yüzdesi olarak tanımlanır. Elastomerlerde, film/paketleme poliolefinlerde bu oran birkaç katıdır (200%). Katı plastikler özellikle fiber takviyeli olanlar bu oranın 5% den daha azdır. Yüksek maksimum Çekme Mukavemeti ve Maksimum Çekme uzamasının birlikte aynı malzemede olması tokluğun yüksek olması anlamındadır.

Tablo 6. ABS Tel Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

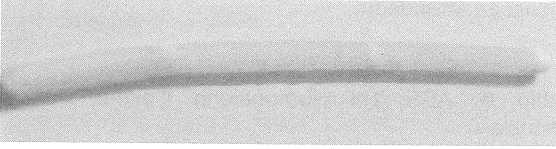
Numune	Maksimum Kuvvet (N)	Maksimum Mukavemet MPa	Uzama %
1	156,25	49,750	100
2	152,25	48,725	6
3	158.00	50,275	70,8
4	161,75	51.250	34
5	154 00	49 000	9

ABS telin çekme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu telin çapının 1.78 mm ve kesitinin dairesel olması başarılıdır. Tel haline getirilen numunelerde çekme testi yapılmıştır (Tablo 6).

Sonuç olarak 2 numaralı numunenin uygun olmadığı deney sonuçlarından da görülmektedir. Buna rağmen ekstrüder kafadan akıtılarak denemeleri yapılmıştır. Bu numunede çok sorun yaşanmıştır. Bunun nedeni de kafadaki motorları bir şekilde durdurup tekrar çalıştırdığımızda malzeme akışında kesintilerin oluşmasıdır. 3 numaralı malzemenin çekme testinde deformasyonun kusursuz olduğu görülmüştür. Şekil 8'de görüldüğü üzere deformasyon tüm numuneye yayılmıştır. Diğer numunelerde (Şekil 9) ise deformasyonun lokalde kaldığı ve yayılmadığı tespit edilmiştir. Lokal deformasyonun fazla olduğu bölgelerde kopma gerçekleşmektedir. Maksimum çekme mukavemeti neredeyse hepsinde aynıdır 1 ve 3 numaralı numunelerde oldukça iyi uzamalar elde edilmiştir. Fakat 2, 4 ve 5 numaralı numunelerin uzama yönünden bunlarla örtüşmediği gözlenmiştir. Mekanik açıdan uzamaların referans alınması gerekmektedir.



Şekil 8. 3 Numaralı Numunenin Çekme Deneyi



Şekil 9. 5 Numaralı Numune

### SERTLİK TESTİ

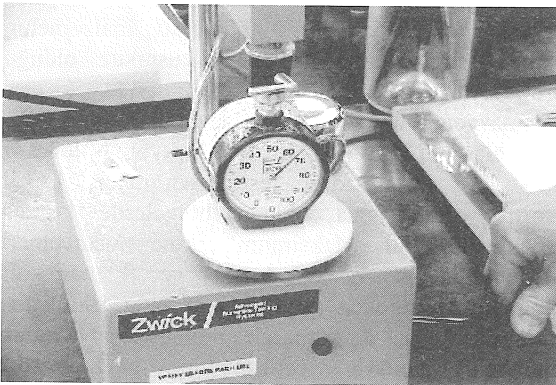
Bütün numune boyları 1 cm olarak hazırlanmıştır. Daha sonra laboratuardaki bir fırına yerleştirilmiş ve 285°C (erime sıcaklığı) kadar ısıtılmıştır. Erginen- plastikler kullanılarak test numuneleri hazırlanmıştır.

Sertlik ölçme metodu, konik bir ucun malzemeye girerken malzemenin gösterdiği direnç olarak adlandırılır.

Sertlik değeri 0 (tam giriş) dan 100 (giriş yok) kadar sınıflandırılır. Tam giriş derinliği kullanılan ekipmanlara bağlı olarak 2.46 ve 2.54 mm olarak belirlenmiştir.

Deneysel hazırlanma:

Zwick Shore test cihazını (Şekil 10) kullanarak ASTM D2240 standartına uygun şekilde sertlik deneyleri gerçekleştirildi.



Şekil 10. Sertlik Test Cihazı

### Deney prosedürü;

Tablo 7 Sertlik Değerleri

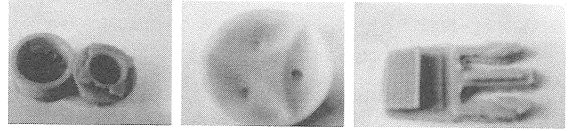
Numune	Sertlik Değeri (Shore)
1	26
2	27
3	24
4	24
5	27
6	28

1. Numuneler 3 mm boyunda ve 2 mm çapında kesildi,
2. Bu parçalar kaba koyulup fırında eritildi,
3. Eriyen plastik kullanılarak sertlik numuneleri hazırlandı,
4. Her bir numuneden 15 kg yük kullanılarak 10 ayrı sertlik ölçümü yapıldı ,

Deney sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

### PROTOTİP BULGULARI

Montajların tamamlanması ve reel testler ile birlikte prototip üretimi çalışmaları devam etmiştir. Üretilen prototiplerden bazıları Şekil 11'de gösterilmektedir.



Şekil 11. Üretilmeye Çalışılan Ürün Örnekleri

Prototip üretimini geliştirilen yazılımın başarısı etkilemektedir. Yazılımda ortaya çıkan pek çok sorun dosyaların teker teker düzenlenmesi ve hataların ayıklanması ile giderilmiştir. Yazılımın ve prototip cihazının profesyonelleştirilmesi için bundan sonra da çalışmalar yapılacaktır.

### SONUÇ

Özellikle kesit taramasında geliştirilen algoritmalar bu projeye özgündür. Bu konuda yapılan çalışmaların harcanan malzeme miktarını azaltma etkisi vardır. O nedenle büyük parçaların yapımında hemen zamandan hem de malzemedan kazanmak için kesit içi tarama algoritması önem kazanacaktır. Bu çalışmada üretilmesi önerilen prototip makine yapılmıştır. Bu üretimde var olan teknolojinin unsurlarının incelenmesi amacıyla çeşitli satın almalar yapılmış ve ekipmanların çalışma prensipleri incelendikten sonra alt sistemlerin geliştirilmesi yoluna gidilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Ekstrüzyon çekme deneylerinde çekilen telin kesitinin daireselliği elde edilmiş fakat tel

- çapının sürekliliğinin korunması istenilen düzeyde olmadığı belirlenmiştir. Bu daireselliği sağlamak için makineye hidrolik bir makine monte edilmelidir,
2. Çekilen SEM mikro yapı fotoğraflarında plastik malzemede gözenekler olduğu görülmüştür,
  3. Kullanılan ABS, grade 5 ekstrüzyon tipi ABS olmuştur,
  4. 6 adet numunenin her birine numuneden 15 kg yük kullanılarak 10 ayrı sertlik ölçümü yapılmıştır,
  5. ABS dışındaki plastik malzemelerin kullanılabilmesi için ekstrüder kafa tasarımlarında geliştirmelerin olması gerektiği tespit edilmiştir,
  6. Makinede kullanılacak ABS hammadde telin üretimi farklı kombinasyonlarda yapılmıştır. Değişik ABS malzemelerin akışlarının prototip üretimine uygun olduğu görülmüştür,

#### TEŞEKKÜR

Bu bilgileri elde etmemizi sağlayan TÜBİTAK'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz

#### KAYNAKÇA

1. Hopkinson N., Hague R., Dickens P., "Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age", Wiley; 2005, Pp:126,

2. Kolarevic B., "Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing". Taylor & Francis, 2005. Pp:56,
3. Jacobs P.F., "Stereolithography and Other RP and M Technologies: From Rapid Prototyping to Rapid Tooling", Society of Manufacturing Engineers, ASME Press, 1995. Pp:232,
4. Cooper K.G., "Rapid Prototyping Technology; Selection and Application", Taylor & Francis, 2007. Pp:144,
5. Venuvinod P.K., Ma W., "Rapid Prototyping - Laser-based and Other Technologies"; Kluwer Academic Publishers, 2003. Pp: 78,
6. Varadan V., Jiang X., "Microstereolithography and other Fabrication Techniques for 3D MEMS". Wiley, 2001. Pp:65 ,
7. Upcraft S., Ranky P.G., "Rapid Prototyping Solutions"; pub. by CIMware USA Inc., 2003. Pp:95,
8. Wood L., "Rapid Automated Prototyping: An Introduction", Industrial Press, 1993. Pp:71.