

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ERGİTMELİ YIĞMA YÖNTEMİYLE ÜRETİM YAPAN 3D YAZICILARDA
ÇİFT FİLAMENT SÜREN EKSTRUDER TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kemal OKTAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ERGİTMELİ YIĞMA YÖNTEMİYLE ÜRETİM YAPAN 3D YAZICILARDA
ÇİFT FİLAMENT SÜREN EKSTRUDER TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Kemal OKTAY
(503131207)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Vedat TEMİZ

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503131207 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Kemal OKTAY**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ERGİTMELİ YIĞMA YÖNTEMİYLE ÜRETİM YAPAN 3D YAZICILARDA ÇİFT FİLAMENT SÜREN EKSTRUDER TASARIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Vedat TEMİZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Cevat Erdem İMRAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Özgen ÇOLAK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **29 Mayıs 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım boyunca desteğini esirgemeyen tez danışmanım sayın Yrd. Doç. Dr. Vedat TEMİZ, Arçelik A.Ş. firmasından Cem KURAL, Mehmet DURMAZ, Celal VATANSEVER, Ömer Burak ÇOBAN, Ersin DÖNMEZ, Varol KAYIŞDAĞ, Yapısal Tasarım ve Prototip Ailesine, İTÜ Makine Fakültesi Konstrüksiyon Anabilim Dalı'nın değerli mensupları hocalarıma ve eğitim ve öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2015

Kemal OKTAY
Makina Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMA VE SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Patent Araştırması	3
1.3 Benchmark Çalışması.....	9
2. 3D YAZICILAR VE GENEL ÖZELLİKLERİ	15
2.1 Ergitmeli Model Yığılma Yöntemi	16
2.1.1 Ekstruder	18
2.1.1.1 Step motor.....	18
2.1.1.2 Ezici dişliler.....	19
2.1.1.3 Yay.....	19
2.1.1.4 Alt hazne.....	20
2.1.1.5 Termokupl.....	20
2.1.1.6 Sıcak son.....	20
2.1.2 Hava tankı	20
2.1.3 Üretim yüzeyi.....	21
2.1.4 X-Y-Z eksenleri hareketi	21
2.1.5 Ergitmeli yığılma modeline parça hazırlanması.....	21
2.2 Diğer Üretim Teknikleri.....	24
2.2.1 Vat fotopolimerizasyonu yöntemi.....	24
2.2.2 Malzeme püskürtme yöntemi.....	25
2.2.3 Bağlayıcı püskürtme yöntemi	26
2.2.4 İnce tabaka yöntemi	27
2.2.5 Toz yatak yöntemi.....	27
2.3 Kullanılan Malzemeler	28
2.3.1 Fotopolimer	28
2.3.2 Bağlayıcı	29
2.3.3 Toz	29
2.3.4 Filament	30
3. SİSTEM GEREKSİNİMLERİNİN BELİRLENMESİ	31
3.1 Amaç	31
3.2 Ekstruderlerin Genel Özellikleri	31
3.3 Çoklu Filament Süren Ekstruderlerin Genel Özellikleri	35

3.3.1 Step motor filament oranı 1/1 olan sistemler	35
3.3.2 Step motor filament oranı 1/2 olan sistemler	35
4. KONSTRÜKSİYON SİSTEMATİĞİNİN OLUŞTURULMASI VE ALTERNATİF TASARIMLAR	37
4.1 Amaç.....	37
4.2 Problemin Tarifi	38
4.3 İstekler Listesinin Hazırlanması	38
4.4 Temel Fonksiyonun Soyutlanması	40
4.5 Temel Fonksiyon için Alternatif Strüktürler	42
4.5.1 Alternatif tasarım 1.....	43
4.5.2 Alternatif tasarım 2.....	50
4.5.3 En iyi alternatifin belirlenmesi	52
5. NİCELİKSEL TASARIM	55
5.1 Step Motor	55
5.1.1 Tek yönlü bilyeli rulman ve step motor bağlantısı.....	58
5.1.2 Karşılık merdanesi ve gövdeye yerleşimi	61
5.1.3 Filament yatağı	61
5.1.4 Filament ezici dişli	62
5.1.5 Sıcak son	62
5.1.6 Fan.....	63
5.1.7 Gövde tasarımı	63
6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR.....	67
EKLER.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	71

KISALTMA VE SEMBOLLER

°C	: Santigrad Derece
°	: Derece
Kgf	: Kilogram Kuvvet
Kg.cm	: Kilogram Santimetre
mm	: Milimetre
dev	: Devir
dak	: Dakika
dev/dak	: Devir/Dakika
RPM	: Revolutions Per Minute
3D	: 3 Dimension
CAM	: Computer Aided Manufacturing
CAD	: Computer Aided Drawing
CNC	: Computer Numerical Control
LCD	: Liquid-Crystal Display
USB	: Universal Serial Bus
Wi-Fi	: Wireless Fidelity
PLA	: Polylactic Acid
ABS	: Acrylonitrile Butadiene Styrene
.Std	: Stereolithogrady
DIY	: Do It Yourself
Ar-Ge	: Araştırma Geliştirme

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : İstekler Listesi	39
Çizelge 4.2 : Kesin Tipi İstekler	40
Çizelge 4.3 : Fonksiyona Bağlı Kesin İstekler	41
Çizelge 4.4 : İstekler Listesi Alternatif 1 Karşılama Çizelgesi	48
Çizelge 4.5 : Fayda Değer Analizi.....	54
Çizelge 5.1 : Tek Yönlü Rulman Katalogu [14].....	60

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Firma Bazlı Patent Araştırması Dağılımı	4
Şekil 1.2 : CPC ve Anahtar Kelimeli Paten Araştırması Dağılımı	4
Şekil 1.3 : Cited Citing Patent Araştırması.....	5
Şekil 1.4 : Sağa ve Sola Hareket Ederek Üretim Hattını Değiştiren Ekstruder.....	5
Şekil 1.5 : Yukarı ve Aşağı Doğru Hareket ile Pozisyon Değiştiren Ekstruder	6
Şekil 1.6 : Filamenti Sıkıştırma/Bırakma Mekanizması.....	6
Şekil 1.7 : Sağa ve Sola Hareket Ederek Üretim Hattını Değiştiren Ekstruder.....	7
Şekil 1.8 : Yukarı ve Aşağı Doğru Hareket ile Pozisyon Değiştiren Ekstruder	8
Şekil 1.9 : 3D Systems Cubify 2. Nesil	9
Şekil 1.10 : Ekstruder	10
Şekil 1.11 : Elektronik Kart	11
Şekil 1.12 : Eksen Hareket Sistemi.....	11
Şekil 1.13 : Yapışma Yüzeyi/Örme Lifleri.....	12
Şekil 1.14 : Parçalarda Saçak Oluşumu	13
Şekil 1.15 : Katmanlar Arası Yapışmama Problemi.....	13
Şekil 1.16 : 3D Model ve Üretilen Parça	14
Şekil 2.1 : STL ve CAD Data Örneği	16
Şekil 2.2 : Modelling Apparatus for Three-Dimensional Objects	17
Şekil 2.3 : Ergitmeli Model Yığma Yazıcısı	17
Şekil 2.4 : Step Motor.....	18
Şekil 2.5 : Ezilmiş Filament.....	19
Şekil 2.6 : Termokupl	20
Şekil 2.7 : Açık Kaynak Kodu Kullanıcı Ara Yüzü	23
Şekil 2.8 : G Code Örneği	24
Şekil 2.9 : Vat Fotopolimerizasyon [5]	25
Şekil 2.10 : Malzeme Püskürtme Metodu [5].....	26
Şekil 2.11 : Bağlayıcı Püskürtme Yöntemi [5].....	26
Şekil 2.12 : İnce Tabaka Yöntemi [5].....	27
Şekil 2.13 : Toz Yatak Yöntemi [5].....	28
Şekil 2.14 : Fotopolimer İç Yapı [6].....	29

Şekil 2.15 : Polyamide Toz	30
Şekil 2.16 : Filament Rulosu	30
Şekil 3.1 : Ekstruder Gövde Sacı	32
Şekil 3.2 : Sıcak Son	32
Şekil 3.3 : Filament Yatağı	33
Şekil 3.4 : Step Motor	34
Şekil 3.5 : Soğutucu Fan	34
Şekil 4.1 : Kara Kutu	42
Şekil 4.2 : Tek Yönlü Kavrama Sistemleri	43
Şekil 4.3 : Filament Ezici Diş Çeşitleri [11]	44
Şekil 4.4 : A Filament Ezici Dişli 3,6 Kgf Kaydırma Testi [11]	45
Şekil 4.5 : A Filament Ezici Dişli 4 Kgf Kaydırma Testi [11]	45
Şekil 4.6 : B Filament Ezici Dişli 1,85 Kgf Kaydırma Testi [11]	46
Şekil 4.7 : B Filament Ezici Dişli 2 Kgf Üstü Kaydırma Testi [11]	46
Şekil 4.8 : C Filament Ezici Dişli 4,2 Kgf Kaydırma Testi [11]	46
Şekil 4.9 : C Filament Ezici Dişli 4,7 Kgf Kaydırma Testi [11]	46
Şekil 4.10 : C Filament Ezici Dişli 4,6 Kgf Kaydırma Testi [11]	46
Şekil 4.11 : D Filament Ezici Dişli 2,8 Kgf Kaydırma Testi [11]	47
Şekil 4.12 : C Filament Ezici Dişli 3 Kgf Kaydırma Testi [11]	47
Şekil 4.13 : Alternatif 1 Prensip Tasarımı	48
Şekil 4.14 : Alternatif 1 Saat Yönünde Dönüş Fonksiyon Strüktürü	50
Şekil 4.15 : Alternatif 1 Saat Yönünün Ters Yönde Dönüş Fonksiyon Strüktürü ...	50
Şekil 4.16 : Alternatif 2 Saat Yönünde Dönüş Fonksiyonu	51
Şekil 4.17 : Alternatif 2 Saat Yönünün Ters Yönde Dönüş Fonksiyonu	51
Şekil 4.18 : Fayda Değer Kriterleri	53
Şekil 5.1 : Tek Kutuplu Step Motor Sargıları	56
Şekil 5.2 : Çift Kutuplu Step Motor Sargıları	57
Şekil 5.3 : Prototip Model İçin Alınan Step Motor	58
Şekil 5.4 : Tek Yönlü Bilyeli Rulman [13]	58
Şekil 5.5 : Tek Yönlü Rulmanın Serbest Yönde Çalışması [13]	59
Şekil 5.6 : Tek Yönlü Rulmanın Ters Yönde Dönerek Kilitlemesi	59
Şekil 5.7 : Deliklerde ve Millerde Geçme Toleransları [15]	60
Şekil 5.8 : VXB Marka 623ZZ Rulman	61
Şekil 5.9 : Step Motor Rulman Montajı	64

Şekil 5.10 : Alternatif 1 Prototip Modeli	64
--	-----------

ERGİTMELİ YIĞMA YÖNTEMİYLE ÜRETİM YAPAN 3D YAZICILARDA ÇİFT FİLAMENT SÜREN EKSTRUDER TASARIMI

ÖZET

Gelişen teknoloji, eskiden insanların yapılmasını ve kullanılmasını hayal ettiği ürünleri hayatımıza sokmaktadır. İnsanlar ilk çağlardan beri kimi zaman hayatlarını kolaylaştırmak için, kimi zamanda soyut dünyada yarattığı düşünceyi somut hale getirmek için aletler, eşyalar ve sanat eserleri meydana getirmektedir. İhtiyaçları, düşünceleri ve duyguları somut hale getirme çabası, ilk çağlarda mevcut taşları yontmak ve onları belli bir düzen içinde bir araya getirmekle başlamıştır. Gelişen teknoloji ve insanlığın bilgi birikiminin artması, kullanılan malzemeleri ve üretim tekniklerinin gelişmesini sağlamıştır. Günümüzde 3D yazıcılar sayesinde hayalini kurduğumuz veya ihtiyacımız olan parçanın 3D tasarımını yaparak kısa sürede parçayı elde edebilmekteyiz.

3D yazıcılara ilk olarak ihtiyaç duyulma sebebi gelişen tasarım ve analiz teknikleriyle tasarlanan yapıların gerçek modeller ile ne derecede örtüştüğünü görebilmek, ürünün gerçek modelini görerek insanda yarattığı algıyı anlayabilmek ve ürünü üç boyutlu olarak inceleyerek tasarım esnasında fark edilemeyen sorunları görebilme ihtiyacıdır. Geleneksel üretim metotlarıyla parçaların üretilmesi, parçanın boyutuna uygun ham maddenin temini, üretimin yapılacağı aletlerin ayarlanması ve işçiliğe ihtiyaç duymaktadır. Karmaşık geometrilere ise bunlara ek işlemler de dahil olarak parçanın üretim süresi ve maliyeti katlanarak artmaktadır. Geliştirilen 3D yazıcı teknolojisi tasarlanan parçaları hızlı, final ürüne yakın ve kaliteli olarak üretmektedir. Parçanın üretiminin yapıldığı malzemeler toz, filament vb. halde bulunduğu için geleneksel yöntemlerde olduğu gibi parçanın çapına veya kalınlığına göre ayrı malzeme temini gerekmemektedir.

3D yazıcılarının tarihçesine baktığımızda ilk 3D yazıcı Charles Hull'un fotopolimeri malzemeyi lazer ışınıyla kürleyerek katman katman katı cisim oluşturabileceğini fark etmesiyle başlamıştır. 1984 senesinde CAM kullanarak ilk 3 boyutlu parça üretimini gerçekleştirmiştir. Daha sonra Scott Crump polimer malzemeyi birbiri üzerine ergiterek üç boyutlu parçalar üretebileceğini fark etmiştir. Scott Crump'ın bulduğu bu yöntem "Ergitmeli Model Yığılma" (FDM) adını vermiştir.

Scott Crump bulduğu sistemin tanımını ilk aldığı patent olan Modelling Apparatus for Three-Dimensional Objects'te şu şekilde yapmıştır: "Katı halde bulunan malzemenin önceden karar verilen bir sıcaklıkta ergitilerek kontrollü bir şekilde ekstruderin uç kısmından üretim bölgesine akıtılmaktadır. Aparatın uygulaması esnasında tercihen CAD ve CAM yazılımlarından faydalanılabilir. Uygulama kendi kendine sertleşebilen mumlar, termoplastik reçineler, ergimiş metaller, köpüren plastikler, iki parçalı epoksiler ve camlar gibi katılaşma esnasında önceki katman ile bağ kurabilen tüm malzemelere uygulanabilmektedir." .

Ekstruder, 3D yazıcıdaki filamentin katı – sıvı ve sıvı – katı fazları arasında geçiş yapmasını sağlamaktadır. Birden fazla filament sürme yeteneğine sahip ekstruderlere çoklu filament süren ekstruderler denmektedir. Tek filament süren ekstruder ile yapılan üretimde ekstruder tek filament sürebildiği için ana yapı ve destek yapı aynı filament malzemesinden üretilmek zorundadır. Ana yapının ve destek yapının aynı malzemeden yapılması, parçanın temizlenmesi esnasında ayrılacak destek kısmının anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Bu olayın bir diğer dezavantajı ise iki yapının da dayanımının aynı olmasından dolayı destek yapının temizlenmesi esnasında ana yapının da zarar görmesidir. Çoklu filament sürebilen ekstruderlerde destek yapı genelde suda çözünen filament ile yapılmaktadır. Parçanın üretimi gerçekleştirildikten sonra suya atılır ve destek yapısı suda çözünerek kaybolmaktadır. Çoklu filament süren ekstruderlerin bir diğer avantajı ise renkli ve kompozit 3D parçaların üretilmesine imkan sağlamaktadır. Ancak çoklu filament süren 3D yazıcıların fiyatları standart ana kart kullanmadığı, iki adet step motor kullandığı için fiyatları normal 3D yazıcılarının iki katıdır. Ayrıca kartlarının yeni olması ve sistemde yaşanan problemler nedeniyle çoklu filament süren ekstruderlerin bir ekstruderini bozulmakta ve tek filament süren yazıcılar gibi çalışmaktadır.

Tek step motor ile iki filament sürebilen bir ekstruder, hem çoklu filament süren ekstruderlerin destek filamentini sürebilme, renkli ve kompozit parçalar basabilme özelliklerini hem de tek filament süren ekstruderin fiyat ve stabil çalışma avantajlarını sağlayacağı düşünülmektedir. Ekstruderin tek step motor ile iki filamentini sürebilmesi için filamentlerden hangisini süreceğini ayarlayan bir mekanik sisteme ihtiyaç duymaktadır. Bu doğrultuda yapılan düşünceler etrafında iki alternatif konsept tasarlanmıştır.

Alternatif 1'de yön ayrımının kavrama kullanılarak yapılmasına karar verilmiştir. Kavramalar, döner haldeki bir parçanın aynı eksen üzerinde bulunan bir parçaya enerjinin istendiği zaman aktarılmasını sağlayan mekanizmalardır. Bizim mekanizmamızda da enerjinin istendiği zaman istenen yere aktarılması gerektiği için kavrama kullanmak son derece uygundur. Tasarımını yapacağımız ekstruderde step motor dışında dışarıdan sistemi tahrik edecek hiçbir parça kullanılmayacağı için kendiliğinden devreye giren ve devreden çıkabilen bir kavrama kullanmamız gerekmektedir. Kullanacağımız kavramada ayırt edici etken yön olduğu için dönme yönüne göre enerji aktarımı yapan kavrama sistemlerini incelememiz gerekmektedir. Kuvvet ayrımı için tek yönlü bilyeli rulman seçilmesi kesin isteklerde ki aktif pasif geçiş süresini de sıfıra düşürmektedir. Filament ezici dişliler filamentin kaydırmadan sürme konusunda karşılaştırıldığında A ve C tipi filament ezici dişliler ön plana çıkmaktadır. C tipi filament ezici dişli A tipine göre filamentin üzerine daha küçük izler bırakmakta ve bu nedenle sıcak sonda daha homojen bir ergime sağlamaktadır. Fakat sıcak sonda yapılacak ayarlamalarla bu problemin etkisi azaltılabilmektedir. Dişliler fiyat olarak incelendiğinde A filament ezici dişlisi daha avantajlı görülmektedir. Kesin istekler göz önüne alındığında A tipi filament ezici dişli ile yapılacak tasarım daha uygun durmaktadır.

Alternatif tasarım 2'nin oluşturulması ilk tasarımda da olduğu gibi "İki filament arası geçiş süresi uzun olmayan ve filamentleri kaydırmayan standart boyutlarda bir ekstruder." düşüncesiyle yola çıkılmıştır. Bu tasarım yapılırken sürülecek filamentin belirlenmesi ilk alternatifte de olduğu gibi step motorun dönüş yönü ile tayin edilmektedir. Dönüş yönüyle birlikte sistemin üzerine yerleştirilen mekanizma

sürülecek olan filamenti sıkıştırarak kuvvet tahriği almasını sağlamaktadır. Alternatif 2'de filament ezici dişli için alternatif 1'de yapılan çalışmanın aynısı geçerlidir. Bu nedenle alternatif 2'de de alternatif 1'de olduğu gibi A tipi filament ezici dişli kullanılmıştır. Alternatif 2'nin çalışma şekli, hareket fonksiyonlarının içeriği ve detayları Arçelik A.Ş.'nin gizlilik kapsamı dolayısı ile verilememektedir.

Alternatifin değerlendirme kriterleri belirlendikten sonra bu kriterlerin sistem için arz ettiği önem miktarına göre ağırlıklar belirlenmiştir. Dağıtılan bu ağırlıklar, fayda değer analizinin yapılması esnasında üst kriter kat sayısı ile çarpılarak alt değer ağırlık kriterinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Sistemde yer alan tüm alt kriterlerin değer katsayısı toplamı 1'e eşit olmalıdır. Sistemi değerlendirme işleminde sisteme 1 ile 10 arasında değer puanı verilmektedir. Verilen değerlendirme puanları sistemin alt değer kat sayısı ile çarpılarak alt değer kriterinin ağırlıklı değerlendirilmesinin hesaplanmasını sağlar. Yapılan fayda - değer analizine göre alternatif 1 6,78 puan ve alternatif 2 4,64 puan almıştır. Yapılan fayda-değer analizi alternatif 1'in alternatif 2'den daha iyi bir tasarım olduğunu göstermektedir.

Niceliksel tasarım sürecinde, benchmark ürünler, mevcut sistemler ve literatür değerleri baz alınarak malzeme ve komponent seçimleri yapılmıştır. Üretilen prototip ile yapılan denemelerde sistem sorunsuz olarak çalıştığı görülmektedir. Fakat sistemin uzun süre çalışması esnasında göstereceği davranışlar ve alınan komponentlerin değerlerinin yeterliliği yapılacak olan uzun süreli testler ile sınır şartların zorlandığı denemeler sonucunda ortaya çıkacaktır.

Yapılacak olan testler ve denemeler sonucunda gerekli değişiklikler yapılarak tasarımı yapılan ekstruder üretime hazır bir ürün haline gelmesi beklenmektedir. Ürünün standart tek filament süren 3D yazıcılara takılması durumunda yazıcıları iki filament süren 3D yazıcıya çevirmektedir. Ürünün tüm 3D yazıcılara entegre edilebilmesi, üründen elde edilecek karın yanında markanın sektörde tanınmasını da sağlayacaktır.

DOUBLE FILAMENT EXTRUDER DESIGN FOR 3D FUSED DEPOSITION MODELLING PRINTER

SUMMARY

The developing technology actualizes the products which the people had once dreamed of making and using. Since the early ages, people have created tools, properties and art objects in order to make their lives easier and to embody the idea created in the abstract world. The effort to embody the requirements, the ideas and the emotions has started in the early ages by knapping the existing stones and collecting them in a certain order. The developing technology and the increasing knowledge of people have provided the improvement of current materials and production techniques. Today, we can obtain the item that we imagine and need in a short time by making its 3D design thanks to 3D printers.

The reason why we need 3D printers in the first instance is to be able to see to what extent actual models and the structures designed with developing analysis and design techniques overlap with each other, to understand the perception created on people by seeing the actual model of the product and to overcome the problems that have not been noticed in the design phase by viewing the product in three dimensional way. Producing the items with traditional production techniques requires the raw material suitable for the size of item, the labour and the arrangement of the tools which the production will be made with. On the other hand, in complex geometry, the production time and cost of the item including overhead operations is increasing exponentially. Developed 3D printer technology produces designed items with high quality, quickly and closely to the final product. There is no need for different materials in compliance with the diameter or thickness of the item as so in traditional methods because the materials which the production of the item is made of are in the state of powder, filament etc.

When examining the history of 3D printers, the first 3D printer started when Charles Hull noticed that he could create a solid body by curing photopolymer material with laser light layer by layer. The first 3D item production was carried out in 1984 by using CAM. Later, Scott Crump noticed that he could produce 3D items by fusing polymer material on each other. This method found by Scott Crump was called Fused Deposition Modelling.

In Modelling Apparatus for Three-Dimensional Objects, his first patent, Scott Crump defined the system which he found as that “The material in solid state is discharged from the tip of the extruder to the production section in a controlled manner by being fused at a certain heat. During the practice of apparatus, preferably CAD and CAM can be utilised. It can be practised on all materials which can correlate with the previous layer during solidification like self-hardening waxes, thermoplastic resins, molten metals, two-part epoxies, foaming plastics, and glass.”

Extruder provides the transition of the filament in 3D printer between solid-liquid and liquid-solid phases. The extruders which can apply more than one filament are called multiple filament extruders. In the production which is made with filament extruder, the primary structure and the backbone structure need to be manufactured from the same filament material since the extruder can apply one filament. The primary and the backbone structure's made of the same material complicates the finding out of the back-up part which is separated during the phase of cleaning of the item. Another disadvantage of this case is that the primary structure is damaged during the cleaning of the backbone structure due to the sameness of toughness of two structures. The backbone structure is generally made with water soluble filament in multiple filament extruders. The item is thrown to the water after production and the backbone structure perishes by dissolving in water. However, the price of the 3D printers that can apply multiple filaments is twofold of the normal 3D printers because the former uses two stepper motors instead of the motherboard. Besides, one extruder of the multiple filament extruder breaks down due to the newness of their motherboard and the problems encountered in the system and it works like filament extruders.

It is thought that one extruder which can apply two filaments with only one stepper motor provides both the features of multiple filament extruders like ability to apply the backup filament and to print colourful and composite items and the advantages of the filament extruder like the price and stable working. Extruder needs a mechanical system that arranges which filament will be applied in order to apply two filaments with only one stepper motor. Two alternative concepts have been designed around the ideas made in this in this direction.

In Alternative 1, it is decided that separation of direction should be made by using clutch. Clutches are the mechanisms that provide the transmission of the energy from an item in the rotary state to another item in the same axis on request. In our mechanism, using clutch is profoundly proper because the energy must be transferred to the preferred place on request.

We must use a clutch which can activate and deactivate itself automatically in the extruder that we will design since we cannot use any tool that will disturb the system from the outside excluding the stepper motor. We must analyze the clutch systems that transfer the energy according to the direction of rotation because the distinctive factor in the clutch that we will use is direction. Selection of one way clutch bearing for the segregation of power reduces asset-liability period of transition in certain requests to zero. Type A and type C filament drive gears come to the forefront when they are compared in terms of applying the filament without sliding. C type filament drive gear makes smaller marks on the filament in comparison with A type. Thus, it provides a more homogeneous fusion in the hot end. But the effect of this problem can be reduced with the arrangements made in the hot end. A type filament drive gear is more advantageous when the gears are compared in terms of the price. In view of certain requests, the design which will be made with A type filament drive gear seems more feasible.

Alternative 2 is designed on the basis of the idea, that is, "a standard-size extruder which has a short transition time between two filaments and does not slide the filaments" as in the first design. During designing, which filament will be applied is determined in compliance with the direction of the rotation of the stepper motor as in

the first alternative. Together with the direction of rotation, the mechanism positioned on the system provides propulsion of force by compressing the filament which will be applied. The same process in the Alternative 1 is valid for the filament drive gear in Alternative 1. For this reason, A type filament drive gear is used also in Alternative 2 as in Alternative 1. Alternative 2's way of work cannot be given due to the scope of confidentiality of Arçelik A.Ş and the content of the functions of movement.

After evaluation criteria of the alternative are determined, coefficients are designated in accordance with the importance of these criteria for the system. During the utility-value analysis, these dispensed coefficients provide the calculation of the lower value's coefficient criteria by being multiplied with the coefficient of the upper criteria. The sum of all the lower criteria's coefficient of value in the system must be equal to 1. In the process of evaluating the system, a value score between 1 and 10 is given to the system. The given value scores provide the calculation of the weighted evaluation of the lower value criteria by being multiplied with the lower value's coefficient of the system. According to the utility-value analysis, Alternative 1 has taken 6.78 points while Alternative 2 has taken 4.64 points. The utility-value analysis shows that Alternative 1 is a better design than Alternative 2.

In quantitative design process, selections of material and component are made based on the benchmark products, the current systems and the values of literature. In the tries made with the produced prototype, it is seen that the system functions properly. However, the behaviours which the system will show during the long-term working and the sufficiency of the received components' values will show up as a result of the long standing tests and the tries which force the limiting conditions.

As a result of the tries and tests, it is expected that the designed extruder becomes ready for the production with the required modifications. When the product is attached to standard 3D printers applying one filament, it transforms them into 3D printers applying two filaments. The integration of the product to the all 3D printers will ensure the recognition of the brand in the sector along with the profit that will be obtained from the product.

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji, eskiden insanların yapılmasını ve kullanılmasını hayal ettiği ürünleri hayatımıza sokmaktadır. İnsanlar ilk çağlardan beri kimi zaman hayatlarını kolaylaştırmak için, kimi zamanda soyut dünyada yarattığı düşünceyi somut hale getirmek için aletler, eşyalar ve sanat eserleri meydana getirmektedir. İhtiyaçları, düşünceleri ve duyguları somut hale getirme çabası, ilk çağlarda mevcut taşları yontmak ve onları belli bir düzen içinde bir araya getirmekle başlamıştır. Gelişen teknoloji ve insanlığın bilgi birikiminin artması, kullanılan malzemeleri ve üretim tekniklerinin gelişmesini sağlamıştır. Günümüzde 3D yazıcılar sayesinde hayalini kurduğumuz veya ihtiyacımız olan parçanın 3D tasarımını yaparak kısa sürede parçayı elde edebilmekteyiz.

3D yazıcılara ilk olarak ihtiyaç duyulma sebebi gelişen tasarım ve analiz teknikleriyle tasarlanan yapıların gerçek modeller ile ne derecede örtüştüğünü görebilmek, ürünün gerçek modelini görerek insanda yarattığı algıyı anlayabilmek ve ürünü üç boyutlu olarak inceleyerek tasarım esnasında fark edilemeyen sorunları görebilme ihtiyacıdır. Geleneksel üretim metotlarıyla parçaların üretilebilmesi, parçanın boyutuna uygun ham maddenin temini, üretimin yapılacağı aletlerin ayarlanması ve işçiliğe ihtiyaç duymaktadır. Karmaşık geometrilerde ise bunlara ek işlemler de dahil olarak parçanın üretim süresi ve maliyeti katlanarak artmaktadır. Geliştirilen 3D yazıcı teknolojisi tasarlanan parçaları hızlı, final ürüne yakın ve kaliteli olarak üretmektedir. Parçanın üretiminin yapıldığı malzemeler toz, filament vb. halde bulunduğu için geleneksel yöntemlerde olduğu gibi parçanın çapına veya kalınlığına göre ayrı malzeme temini gerekmemektedir.

3D yazıcılarının tarihçesine baktığımızda ilk 3D yazıcı Charles Hull'un fotopolimeri malzemeyi lazer ışınıyla kürleyerek katman katman katı cisim oluşturabileceğini fark etmesiyle başlamıştır. 1984 senesinde CAM kullanarak ilk 3 boyutlu parça üretimini gerçekleştirmiştir. Daha sonra Scott Crump polimer malzemeyi birbiri üzerine ergiterek üç boyutlu parçalar üretebileceğini fark etmiştir. Scott Crump'ın bulduğu bu

yönteme Ergitmeli Model Yığılma” adını vermiştir. Bu yöntemlerden sonra malzeme püskürtme yöntemi, bağlayıcı püskürtme yöntemi, ince tabaka yöntemi ve toz yatak yöntemleri geliştirilmiştir. 3D yazıcı teknolojisinde kullanılan yöntemler içerisinde günümüzde en yaygın olarak kullanılan ve en ucuz olan yöntem EMY yöntemidir.

EMY yönteminin ucuz olmasının birinci nedeni sistemde kullanılan ham madde olan filamentin ABS veya PLA gibi yaygın olarak kullanılan polimer malzemeler olmasıdır. Diğer yöntemlerde kullanılan ham maddeler kimyasal bileşimler ve karışımlardan oluşmakta ve içerikleri tam olarak bilinmemektedir. EMY yönteminin ucuz olmasının bir diğer sebebi ise sistemin, yazılım ve elektronik devreler, koordinat hareket sistemi ve ekstruder adı verilen üç alt sistemden oluşmasıdır. Yazılım ve elektronik devrelere baktığımızda, hareket sistemleri kartları günümüzde standart devre elemanı olarak bulabilmek mümkündür. Yazılım olarak da ilk çıktığı zaman kapalı kaynak kodlu olan yazılımlar, günümüzde açık kaynak kodu olarak bulunabilmekte ve telif hakkı ödemediği kullanılabilmektedir. Sistemin koordinat hareket sistemleri günümüzde CNC tezgahlar, yazıcılar, tarayıcılar gibi geniş bir sektör yelpazesinde kullanılmaktadır. Bu teknolojilerin yeni olmaması ve uzun süredir kullanılıyor olması sayesinde parçalar ucuzlamış ve standart hale gelmiştir.

Ekstruder, 3D yazıcıdaki filamentin katı – sıvı ve sıvı – katı fazları arasında geçiş yapmasını sağlamaktadır. Ekstruderler, sürebildiği filament sayısına göre tekli filament süren ekstruderler ve çoklu filament süren ekstruderler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Çoklu filament süren ekstruderler destek filamentini sürebilme, renkli ve kompozit parçalar basabilme özelliklerine sahiptir fakat çalışma esnasında tek filament süren sistemlere göre fiyatları çok yüksek olmakla beraber sistem güvenilir olarak çalışmamaktadır. Bu sorunu çözmek için iki sisteminde iyi olan özelliklerini birleştiren bir ekstruder tasarımı geliştirilecektir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, EMY yöntemiyle üretim yapan 3 boyutlu yazıcılarda, filament süren sistemin tek motor ile çoklu filament sürebilme yeteneği kazanmasına yöneliktir.

Çalışmaların tümü Arçelik A.Ş. Merkez Ar-Ge Yapısal Tasarım ve Prototip bölümünün imkânları kullanılarak tasarlanmıştır. Prototipler Arçelik şirketinin kendi ekipmanları kullanılarak üretilmiştir.

Ekstruderin tasarımında minimum parça, hacim ve maliyet hedefleri, tasarım ve prototip üretimini zorlaştıran faktörlerdir.

1.2 Patent Araştırması

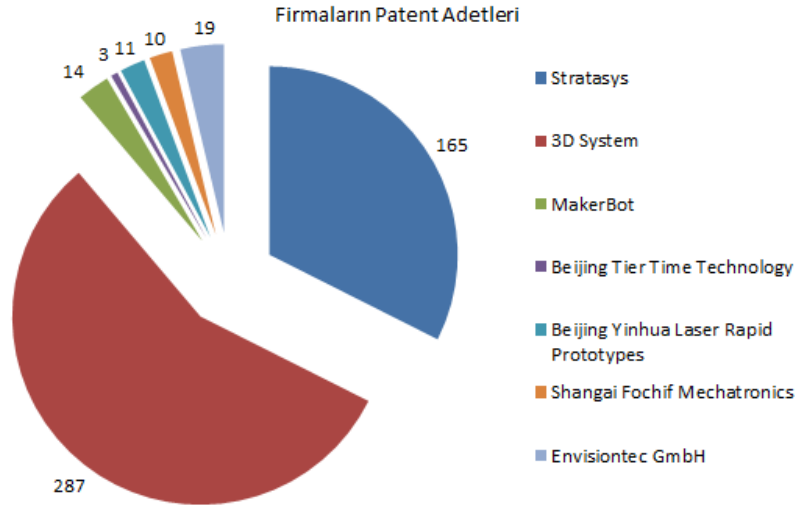
EMY yöntemiyle üretim yapan 3D yazıcı ekstruderlerin patent ve pazar araştırması yapılmıştır. Fakat yapılan patent ve pazar araştırması sonucunda hiçbir EMY ekstruderinin tek step motor aracılığı ile iki filament süremediği görülmüştür. Bu nedenle yapılacak ürün dünyada bir ilk olacaktır.

Tek step motor kullanarak iki filament sürebilen bir EMY ekstruderine rastlanmamasına rağmen bir step motor ve bir motor veya benzeri tahrik verebilen yardımcı sistem kullanılarak tek step motor ile çoklu filament sürebilen ekstruder patentlerine ve örneklerine rastlanmıştır.

3D yazıcı sektörünün gelişmesi ve EMY yönteminin yazıcılarda kullanılmasını kısıtlayan patentin süresinin dolması ile EMY sistemini kullanan 3D yazıcılardaki gelişmeler büyük ivme kazanmıştır. EMY yöntemiyle yazıcı üreten firma sayısının artmasıyla birlikte yazıcı fiyatları da düşmüştür. Bu nedenle ekonomik ve kompakt ekstruder üretimi yapılabilmesi 3D yazıcı üreten firmalar için hayati önem taşımaktadır. Bu konu üzerine çalışan firmaların Ar-Ge çalışmaları ve patent yatırımları sürmektedir.

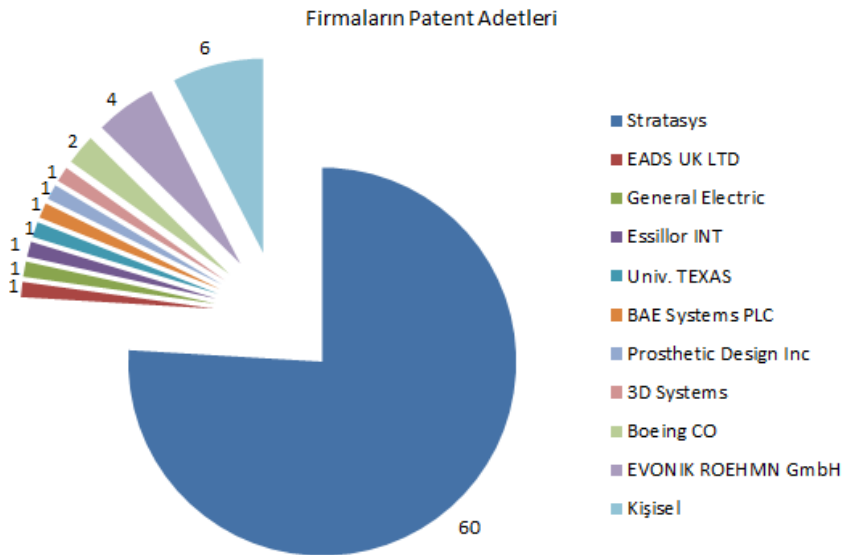
Projemizin temelini oluşturan fikir üzerine internet üzerinden patent araştırması yapılmıştır. Yapılan araştırmada izlenen sistematik şu şekildedir;

1. Stratasys, 3D Systems, MakerBot gibi 3D yazıcının önde gelen firmalarının yanında Beijing Tier Time Technology, Beijing Yinhua Laser Rapid Prototypes, Shangai Fochif Mechatronics ve Envisiontec GmbH gibi Asya pazarında ucuza üretim yapan firmaların aldıkları patentler incelenmiştir. Yapılan ilk araştırmanın sonucu şekil 1.1’de görülmektedir.



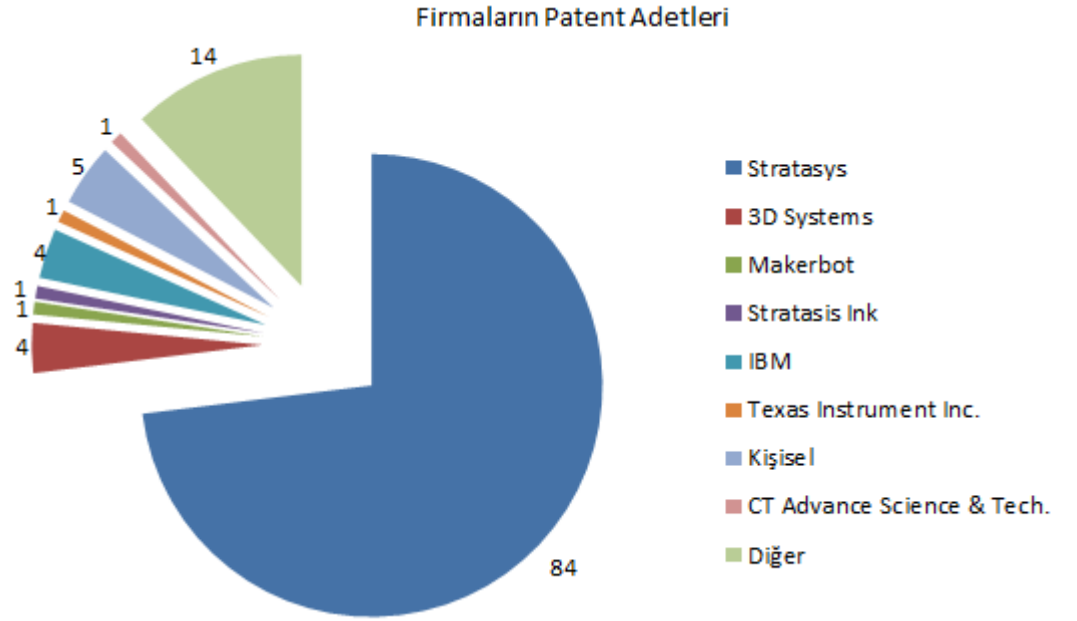
Şekil 1.1 : Firma Bazlı Patent Araştırması Dağılımı

2. Araştırma sonucu EMY ile ilgili patentlerin IPC ve CPC kodları incelenmiş ve CPC kodları içinde yer alan B29C67/0055 kodunun ortak olduğu farkedilmiştir.
3. Print Head, Fused deposition, Consumable Materials, Additive Manufacturing, Extrusion Head ve Digital Manufacturing anahtar kelimeleri iki numaralı adımda bahsedilen CPC kodu ile desteklenerek bir araştırma daha yapılmıştır. Bu araştırmada ilk iki adımdaki araştırma verilerinin kullanılmasıyla şekil 1.2’de görülen daha spesifik bir araştırma yapılmıştır;



Şekil 1.2 : CPC ve Anahtar Kelimeli Paten Araştırması Dağılımı

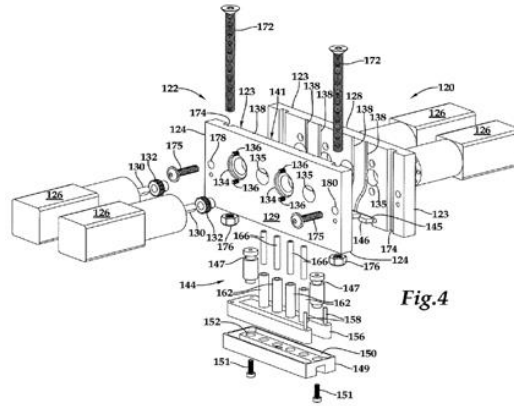
4. Yapılan araştırmalarda bulunan ilgili patentlerin Cited ve Citing patentleri incelenmiştir. Cited ve Citing kullanılarak yapılan araştırmanın verileri şekil 1.3'te görülmektedir.



şekil 1.3 : Cited Citing Patent Araştırması

Yapılan patent araştırması sonucu konumuzla ilgili ve ilgilisi olan patentler aşağıda gösterilmektedir;

US8827684 (B1) Numaralı Patent:



şekil 1.4 : Sağa ve Sola Hareket Ederek  retim Hattını Değiştiren Ekstruder

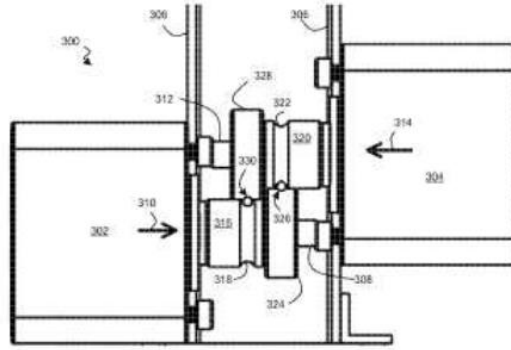
Yayın Tarihi: 2014.09.09

Başvuru Sahibi: SCHUMACHER NATHAN D [US]; PATTERSON NATHAN J [US]; HARRIS

KEVIN L [US]; BAKKEN TODD J [US]; RADIANT FABRICATION [US]

Kısa Özet: Çoklu filament sürmekte kullanılan genel ekstruder çözümdür. Şekil 1.4'te görüldüğü gibi her step motor bir filamenti sürebilmektedir. Patent bu sistemin minimum miktarda hacim kaplayabilmesi için ortak fikstürler kullanılması üzerine alınmıştır.

US2012189729 (A1) Numaralı Patent:



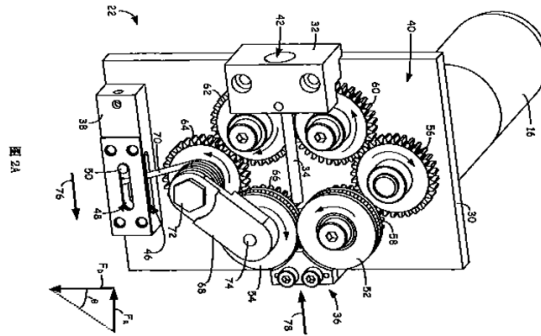
Şekil 1.5 : Yukarı ve Aşağı Doğru Hareket ile Pozisyon Değiştiren Ekstruder

Yayın Tarihi: 2012.07.26

Başvuru Sahibi: Pax Charles E.

Kısa Özet: Şekil 1.5'te görüldüğü gibi karşılıklı olarak iki step motor konulmuştur. Motorların mili üzerine filament ezici dişli ve rulman yerleştirilmiştir. Step motorların karşılıklı olarak bir motorun filament ezici dişlisi diğer motorun rulmanını kullanacak şekilde dizilmesi sayesinde küçük bir alanda iki step motor ile iki ayrı filament sürülebilmektedir.

US2208213419 (A1) Numaralı Patent:



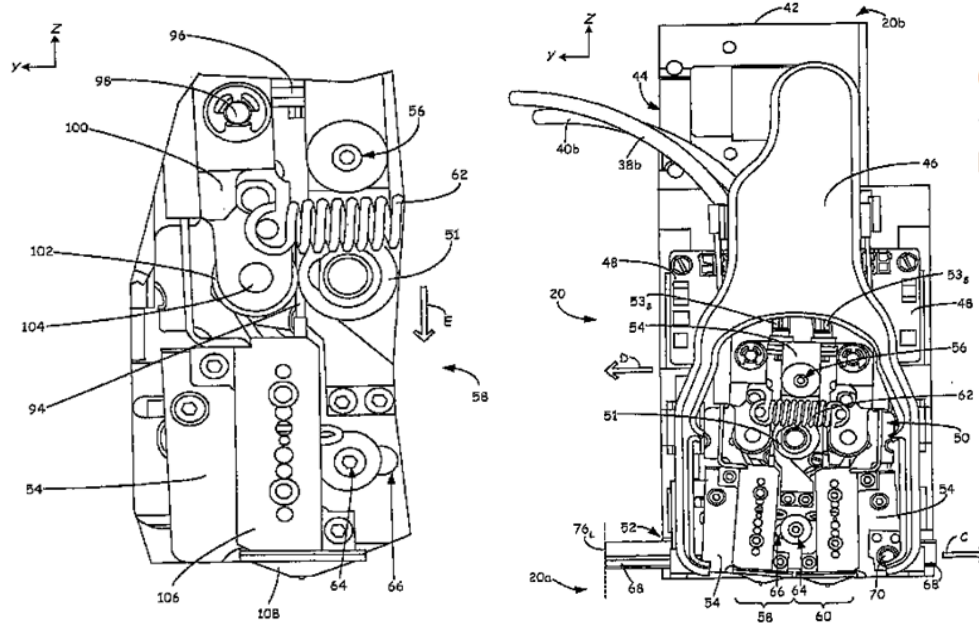
Şekil 1.6 : Filamenti Sıkıştırma/Bırakma Mekanizması

Yayın Tarihi: 2008.09.04

Başvuru Sahibi: Stratasys INC.

Kısa Özet: Sistem step motorun dönüş yönüne göre filamenti sıkıştırma ve bırakmak ile ilgilidir. Şekil 1.6’da görülen sistemin ilk kısmında katı malzemeyi süren motorun dönüş yönüne kurulan mekanizma itirme yönünde dönmesi halinde malzemeyi sıkıştırırken ters yönde döndüğü durumda malzemeyi serbest bırakmaktadır.

US2007228590 (A1) Numaralı Patent:



Şekil 1.7 : Sağa ve Sola Hareket Ederek Üretim Hattını Değiştiren Ekstruder

Yayın Tarihi: 2007.10.04

Başvuru Sahibi: Stratasys INC.

Kısa Özet: Şekil 1.7’de görülen ekstruder mekanizması birinci ve ikinci pozisyonlar arasında hareket ederek iki üretim hattı oluşturmaktadır. Ekstruder pozisyonlar arası geçiş yaptıktan sonra step motorun hareketiyle filament sürmektedir.

Yayın Tarihi: 2010.04.07

Kısa Özet: Şekil 1.8’de görülen mekanizma, üst tarafında bulunan motorun miline bağlı olan vida aracılığı ile sağda ki üretim hattını aşağı ve yukarı yönde hareket ettirmektedir böylelikle yüzeye yakın olan üretim hattı vidanın hareketiyle birlikte değişmektedir. Ayrıca yukarı aşağı yönlü hareket sıvılaştırıcı pompaların devreye girip devreden çıkmasını da sağlamaktadır.

8

tasarımda tek bir step motor kullanılacağı için mevcut patentler bir engel teşkil etmemektedir.

1.3 Benchmark Çalışması

Şekil 1.9’da görülen 3D Systems Cubify 2. nesil 3 boyutlu yazıcısı incelenmiş ve 3 boyutlu yazıcıdan alınan çıktıların kalitesinin üç kritik teknolojiye bağlı olduğu görülmüştür;

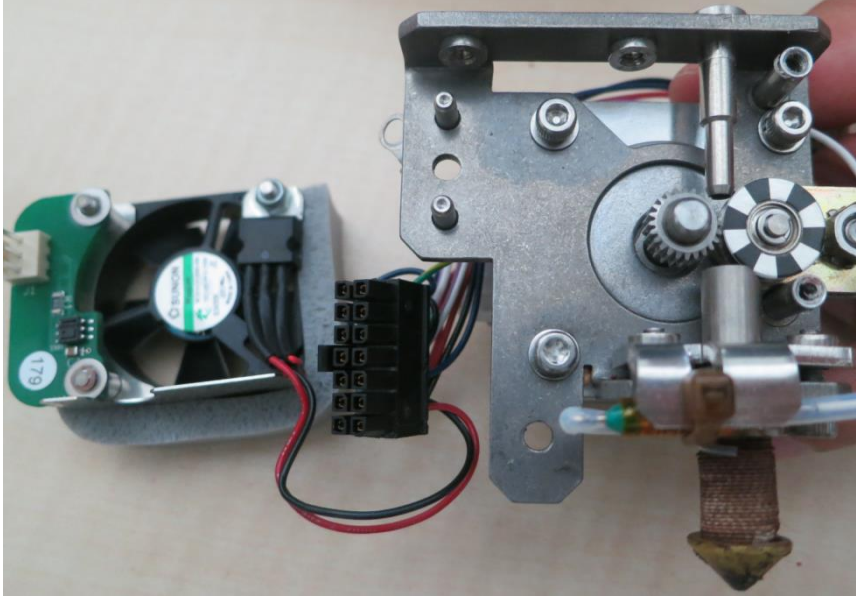
- Ekstruder,
- Elektronik-yazılım,
- Eksen hareket sistemi.



Şekil 1.9 : 3D Systems Cubify 2. Nesil

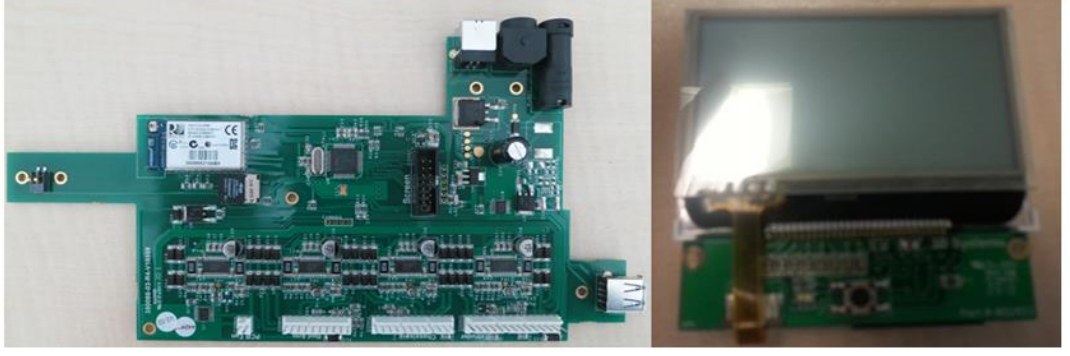
Ekstruder; geleneksel tek step motor ve sıcak sondan oluşmaktadır. Şekil 1.10’da görüldüğü gibi filamentin, sıcak son sıcaklığı ile gerekenden önce ergimesini önlemek için fan kullanılmıştır. 3D Systems, kullanılan filament miktarının

algılanması için filament ile temas halinde olan rulmanın üzerine siyah beyaz kodlama yerleştirmiştir. Kodların karşısına yerleştirdiği sensor aracılığı ile sũrũlen filament miktarının ۆlçũmũnũ yapmaktadır.



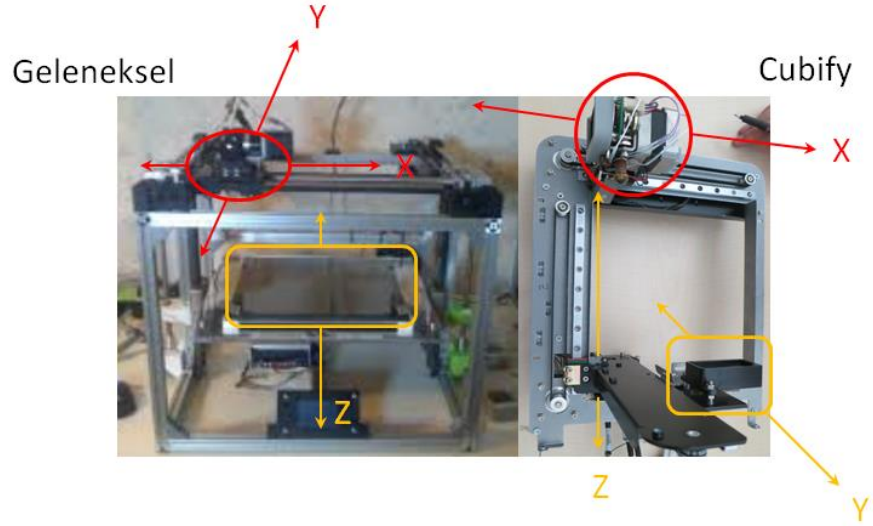
şekil 1.10 : Ekstruder

Elektronik; şekil 1.11’de gۆrũldũđũ gibi ana kart, dokunmatik LCD panel, eksen sıfırlama switchleri, sensorler ve sigortadan oluşmaktadır. Ana kart ۆzerinde USB, taşınabilir flash disk ve adaptۆr girişleri bulunmaktadır. Ayrıca ana kart ۆzerinde bulunan Wi-Fi ipi sayesinde kablosuz erişim imkanı da mevcuttur. 3D bastırılacak olan parçanın .stl uzantılı modeli, ۆrũn ile birlikte gelen yazılım aracılığı ile ana kartın okuyacağı G kodlarına dۆnũřtũrũlmektedir. Yazılımdan elde edilen data USB, taşıyıcı bellek ve Wi-Fi seçeneklerinden istenen veri transfer aracı seçilerek ana kartın ۆzerinde bulunan Kingstone marka belleğe kaydedilmekte ve ۆretime hazır hale gelmektedir. Yazıcının ۆn panelinde bulunan dokunmatik LCD panel, yazıcı ile kullanıcı arasında iletişimi sağlamakta ve bu sayede parçanın bastırılması esnasında bilgisayar vb. ek bir ara cihazın gereksinimini ortadan kaldırmaktadır.



Şekil 1.11 : Elektronik Kart

Eksen hareket sistemi; Ürün ev tipi olduğundan dolayı görsellik ve kapladığı hacim ön plana çıkmaktadır. Görselliğin geleneksel bir kapalı küp formundan uzaklaşması ve yazıcının kapladığı hacmin azaltılması için eksen sisteminde değişikliğe gidilmiştir. Geleneksel 3D yazıcılarda ekstruder X ve Y eksenlerinde hareket etmekte, platform ise sadece Z ekseninde hareket etmektedir. Cubify 2. nesil yazıcısında ise ekstruder X ekseninde hareket etmekte, platform ise Y ve Z eksenlerinde hareket etmektedir. Eksen hareket sistemleri şekil 1.12’de görülmektedir.



Şekil 1.12 : Eksen Hareket Sistemi

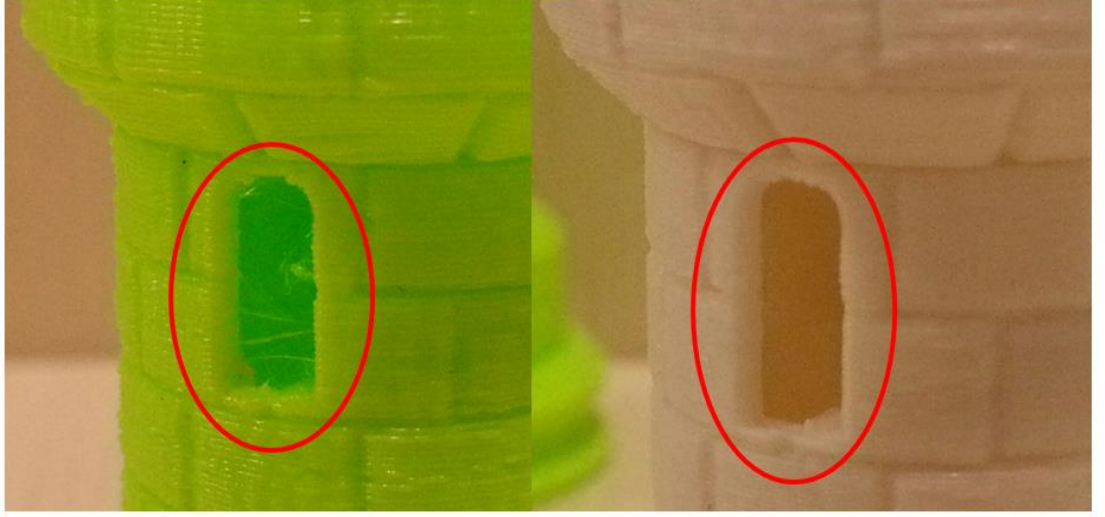
3D yazıcının ürettiği parçalar, destek yapısı ve malzemeler arası üretim farklılıkları açısından incelenmiştir. Cubify 2. nesil 3D yazıcının sıcak son sıcaklığının 260°C’ye kadar çıkabilmesi sayesinde ergime sıcaklığı 180°C olan PLA ve 240°C olan ABS

malzemeleri kullanıla bilinmektedir. Parçaların üretilmesinde 3D Systems marka ABS ve PLA filamentler kullanılmıştır. Yazıcıda parça üretiminden önce malzemenin üretim alanına iyi tutunabilmesi için yapıştırıcı sürülmektedir. Yapıştırıcı sürülmediği taktirde her iki malzemede yüzeye tutunamamakta ve katman katman örme işlemi başarısız olmaktadır. Yüzeye yapıştırıcı sürüldükten sonra üretime başlandığında iki parçanın da taban yüzeyine aynı miktarda yayıldığı ve tutunduğu, parçanın tabanındaki izlerden gözlemlenmiştir. ABS, PLA'ya göre daha yüksek sıcaklıkta üretildiği için soğuma esnasında şekil 1.13'te görüldüğü gibi daha fazla çarpılmaya uğramaktadır. Filamentler, kale parçasının altında iplik şeklinde destek atıldığı için bu çarpılma bu bölümde daha net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 1.13 : Yapışma Yüzeyi/Örme Lifleri

Ergiyen malzemenin geçiş sıcaklığında kalma süresi ve üretim hızına bağlı olarak parça üzerinde şekil 1.14'te görülen malzeme saçakları meydana gelmektedir. PLA'nın ergime sıcaklığının daha düşük olması bu sıcaklığın daha uzun sürmesine ve saçak oluşma ihtimalinin artmasına neden olmaktadır. Diğer yandan ABS'in daha hızlı soğuması saçak oluşmasını zorlaştırırken şekil 1.15'te görüldüğü gibi parçada katmanların birbirine yapışamamasına neden olmaktadır.

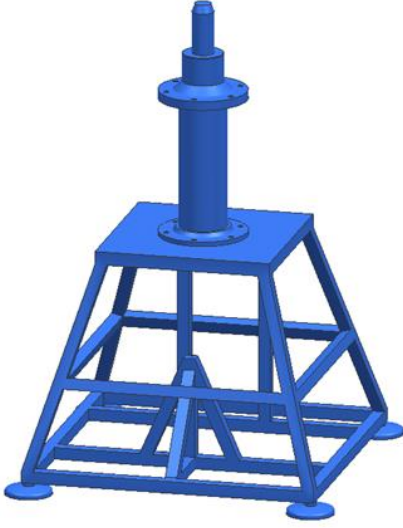


Şekil 1.14 : Parçalarda Saçak Oluşumu



Şekil 1.15 : Katmanlar Arası Yapışmama Problemi

Yazıcı tek filament sürebildiği için parçayı ve destek yapısını şekil 1.16’da görüldüğü gibi aynı malzemedan örmektedir. Destek ve parçanın aynı malzemedan üretilmesi parça ile desteğin ayrımını zorlaştırmaktadır. Yazıcının yazılımı parça üretimi esnasında hata olmaması için çok sık destek atmakta buda destek yapısının ayrılması esnasında parçaya zarar verilmesine neden olmaktadır.



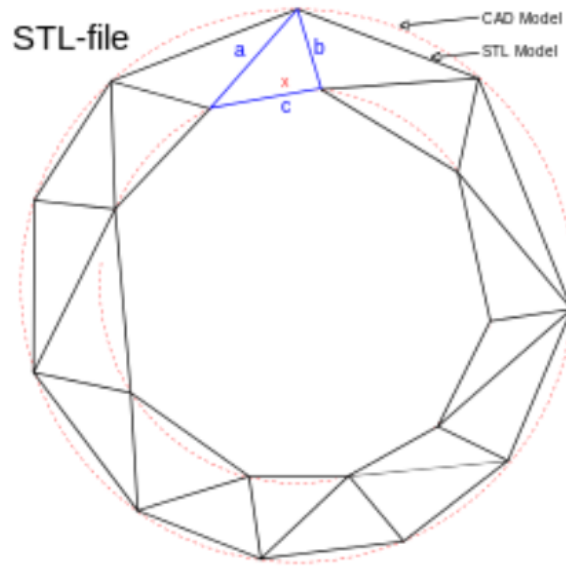
Şekil 1.16 : 3D Model ve Üretilen Parça

2. 3D YAZICILAR VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Yeni her ürün ve inovasyon fikriyle birlikte yeni parça ve ürün ihtiyacı doğmaktadır. 3D modelleme teknolojisi, fikirlerin uygulanması ve denenmesi için gerekli olan parça ve ürün ihtiyaçlarını hızlı, ucuz ve kaliteli bir şekilde çözüm getirmektedir. 3D'lu modelleme teknolojisi ile üretilen ürünler gelişmiş ölçüsel doğruluğa ve yüksek kalitede final yüzeyine sahiptir. 3D modellenen parçaların üretilerek montaj edilmesi veya kullanılması, olası modelleme ve montaj hatalarımızı daha rahat görmemizin yanında parça hakkında daha gerçekçi fikir sahibi olmamızı sağlamaktadır.

Üç boyutlu parça üretimi ilk olarak Charles Hull'un fotopolimeri lazer ışını yardımıyla kürleyerek katman katman katı cisim oluşturabileceğini fark etmesiyle başladı. 1984 senesinde bilgisayar destekli üretim kullanarak ilk 3 boyutlu obje üretimini gerçekleştirildi. 1986 senesinde Stereolithografi adını verdiği yöntemini geliştirerek patentini aldı.^[1] Daha sonra Scott Crump polimerleri birbiri üzerine ergiterek 3D parçalar üretebileceğini farkederek 1988 senesinde "Ergitmeli Model Yığma" yöntemini buldu.^[2] Bugün Charles Hull'un kurduğu 3D Systems ve Scott Crump'un kurucusu olduğu Stratasys, 3D yazıcı sektörünün en büyük iki firmasıdır.

3D parçanın üretilmesi, CAD ortamında parçanın tasarlanması ile başlamaktadır. Parça tasarımı yapıldıktan sonra CAD uzantısından .STL (STereoLithography) formatına dönüştürülür. STL formatı 3D parçanın malzeme olan kısımlarını katmanlara ve üçgenlere ayırarak malzemeli ve malzemesiz bölgeleri aşağıda şekil 2.1'de görüldüğü gibi ağ örmektedir.^[3]



Şekil 2.1 : STL ve CAD Data Örneği

2.1 Ergitmeli Model Yığma Yöntemi

S. Scott Crump evinin garajında çocuğuna plastiği ergiterek bir kurbağa yapmaya çalışırken plastiğin kontrollü bir şekilde ergitilip soğutulmasıyla istediği 3D parçaları üretebileceğini fark etti. Crump bulduğu sistemi ve tasarımını Modelling Apparatus for Three-Dimensional Objects adı altında 30.10.1989 tarihinde patent başvurusunu yaptı. ^[4]Scott Crump bulduğu sistemin tanımını ilk aldığı patent olan Modelling Apparatus for Three-Dimensional Objects'te şu şekilde yapmıştır: "Katı halde bulunan malzemenin önceden karar verilen bir sıcaklıkta ergitilerek kontrollü bir şekilde sistemin uç kısmından üretim bölgesine boşaltılmaktadır. Aparatın uygulaması esnasında tercihen CAD ve CAM yazılımlarından faydalanarak uç kısmından boşaltılan malzemenin istenen yerlere boşaltılması sağlanmaktadır. 3D parçalar malzemenin katmanlar şeklinde tekrarlı olarak katılaşması şeklinde üretilmesi prensibine dayanmaktadır. Kendi kendine sertleşebilen mumlar, termoplastik reçineler, ergimiş metaller, köpüren plastikler, iki parçalı epoksiler ve camlar gibi katılaşma esnasında önceki katman ile bağ kurabilen tüm malzemelere uygulanabilmektedir.". Crump'ın tasarımını yaptığı patentin ekstruder çizimi şekil 2.2'de görülmektedir. Ekstruder şekilde de gözüktüğü gibi taşıyıcı gövde, filament, yay, ezici dişli, pirinç kütle ve termokupl'dan oluşmaktadır.

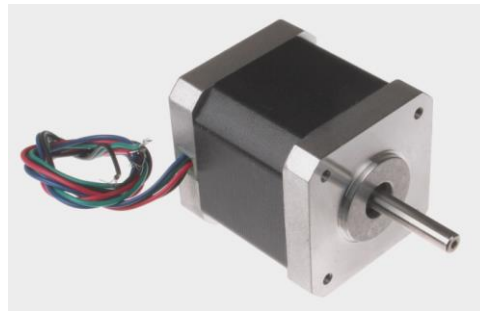
Sistemin şekilde de görüldüğü üzere üretimi bilgisayar desteği ile yapmaktadır. Sistemin çizimde görülen parçaları ekstruder, soğutucu hava sistemi, varyak, bilgisayar, eksen hareket sistemi ve üretim alanıdır. Crump'ın tasarladığı bu sistem üzerinde ufak değişiklikler olsa da günümüzde de geçerliliğini korumaktadır.

2.1.1 Ekstruder

Günümüzde ki EMY yöntemini kullanan yazıcıların çoğu hala Crump'ın tasarımını yaptığı ekstruder sistemini kullanmaktadır. Crump'ın tasarladığı tekli filament süren ekstruder basit ve güvenilir şekilde çalışmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle kullanılan parçalar gelişse de çalışma prensibinde bir değişiklik olmamıştır. EMY ekstruderlerinin hala temel parçaları şekil 2.2'de görüldüğü gibi yay, taşıyıcı gövde, alt hazne, termokupl, sıcak son, ezici dişli ve step motordur.

2.1.1.1 Step motor

Step motorlar adından da anlaşılacağı şekilde adım motorlarıdır ve bu motorlar elektronik devreler kullanılarak adım adım sürülebilmektedir. Step motor şekil 2.4'te görülmektedir. Step motorlar, normal motorlar gibi 2 kablo ile sürülememektedir. bunun nedeni step motorların içinde ki kutuplu bölgelerden geçen kontrollü akımlarla kutuplandırılması sonucunda belli derecelerde kontrollü olarak dönebilmektedir. Örnek olarak 400 adım/devir değerindeki step motor 360/400 şeklinde 0,9 ° hassasiyetle dönebilmektedir. EMY yönteminde iplik şeklinde akan malzemenin zamanında ve doğru miktarda akması üretim kalitesini direkt olarak etki etmektedir. Üretimde kontrolü sağlayabilmek ve yüksek hassasiyette parçalar üretebilmek için ekstruderler de yüksek kontrol ve hassasiyete sahip olan step motorlar kullanılmaktadır.



Şekil 2.4 : Step Motor

2.1.1.2 Ezici dişliler

EMY yöntemiyle çalışan yazıcılar silindirik olarak hazırlanmış ham maddeyi ergiterek çalışmaktadır. Silindirik malzemenin sarıldığı rulodan sıcak sona kontrollü bir şekilde gitmesi gerekmektedir. Filamentin sıcak sona giriş yapabilmesi için sıcak sondaki ergimiş olarak bulunan malzemenin dışarı atılmasını gerekmektedir. Sıcak sonra giriş yapan katı halde ki filament piston gibi sıcak sondaki ergimiş malzemeyi dışarı itmesi gerekmektedir. Sıcak sonun girişindeki bu itiş hareketi bir tepki kuvveti doğurmaktadır. Eğer filament ezici dişli yerine iki silindirik yüzey arasında sıkıştırılmış olsaydı filament silindirik yüzeyler arasında kayacak ve üretim hassasiyeti ortadan kalkacaktı. Kaydırma durumunun önüne geçmek için filamentler silindirik yüzeyler arasında itilmek yerine şekil 4.3'te görüldüğü gibi ezici dişliler ile şekil 2.5'te görülen filamenti ezerek itilmektedir. Böylelikle dişlilerin ezdiği bölümlerde basma yüzeyi oluşmaktadır. Filamentin kayması için gereken kuvvet sürtünme ve basma kuvvetinin olması gerektiği için filamentin kayması engellenmektedir.



Şekil 2.5 : Ezilmiş Filament

2.1.1.3 Yay

Filamentin takılması esnasında dişliler arasındaki mesafenin fazla olması filamentin takılmasını kolaylaştırmaktadır. Çalışma esnasında ise dişlilerin filamenti ezebilmesi için dişliler arasında ki mesafenin, filamentin çapından az olması gerekmektedir. İki pozisyon arasında kolayca geçiş yapılabilmesi için genelde 3D yazıcıların ekstruder kısmına yay yerleştirilmiştir. Yay çekildiği zaman dişliler arası mesafe artmakta ve filament kolayca takılabilmektedir. Yayın çekilmesi bırakıldığı anda F_{Yay} kuvveti, filamentin ezilmesini sağlamaktadır.

2.1.1.4 Alt hazne

Sıcak sonun oluşturduğu ısıнын düzgün bir şekilde dağılmasını sağlamak ve anlık sıcaklık değişikliklerinin önüne geçilmek için takılmaktadır. Alt hazneni malzeme seçimi yapılırken ısıнын düzgün bir şekilde dağılabilmesi için ısı iletkenliği yüksek malzemeler seçilmektedir. Sıcak sonun giriş kısmından çıkışa doğru gidildikçe iç tarafta yer alan filamentin de daha yüksek sıcaklığa sahip olması sayesinde bir sıcaklık farkı oluşmaktadır. Alt hazne oluşan bu sıcaklık farkının daha homojen olmasını sağlamaktadır. Alt haznenin bir diğer faydası ise sıcaklık dağılımını düzenlediği için sıcak sondaki en yüksek sıcaklığa sahip olan kısmın her daim çıkış bölgesinin olmasını sağlamaktadır.

2.1.1.5 Termokupl

Ergitme sıcaklığı kullanılan filamente göre değişmektedir. Ergitilecek malzemenin ergime sıcaklığında sabit tutulması ve sıcaklık değişimlerinin takip edilmesi işlemi, alt hazneye yerleştirilen termokupl ile yapılmaktadır. Yerleştirilen termokupl şekil 2.6'da görülmektedir.



Şekil 2.6 : Termokupl

2.1.1.6 Sıcak son

Katı halde sıcak sona giriş yapan filamentin ısıtılarak ergiyik halde çıkmasını sağlayan parçadır. Sıcak son denmesinin nedeni ekstruderin sonunda bulunması ve en yüksek sıcaklığında sonunda olmasından kaynaklanmaktadır.

2.1.2 Hava tankı

Crump'ın ürettiği ilk EMY yazıcısında şekil 2.3'te görüldüğü gibi hava tankı mevcuttur. Hava tankının kullanılma amacı filamentin istenen yerde kontrollü bir şekilde soğutulmasını sağlamaktır. Kullanılan bu hava tankı, yerini günümüzde küçük fanlara bırakmıştır.

2.1.3 Üretim yüzeyi

Parçanın üretiminde Z eksenin düzgün olması parçanın üretileceği yüzeyin düzgünlüğü ile ilişkilidir. Üretim yüzeyinin bir diğer özelliği ise üretilecek olan parçanın sağlam bir şekilde yapışması gerekliliğidir. Üretilecek olan parça yüzeye yapışmadığı takdirde üretim esnasında yüzeyde kayar ve katmanlar istendiği şekilde birbiri üzerine örülememektedir. Üretim yüzeyine filamentin iyice yapışabilmesine yardımcı olmak için yapıştırıcı kullanılabilir. Bazı filamentlerde ise maliyetin ucuz olması için yüzeye yapışma görevi yapıştırıcı yapmaktadır.

2.1.4 X-Y-Z eksenleri hareketi

İlk üretilen EMY yazıcısında eksenel hareket vidalı mil somun ilişkisi ile yapılmıştır. Kullanılan vida ile motorun hassasiyeti artırılmıştır. Günümüzde vida sadece Z ekseninde kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise X ve Y eksenlerinde hareket Z eksenindeki kadar hassas olmasına gerek olmaması ve süreyi uzatmasıdır. X ve Y eksenlerinde kullanılan kayış kasnak sistemleri maliyeti düşürmekte, montajı kolaylaştırmak, sürtünme dirençlerini azaltmakta ve sistemin daha hızlı hareket etmesini olanak sağlamasıdır.

2.1.5 Ergitmeli yığma modeline parça hazırlanması

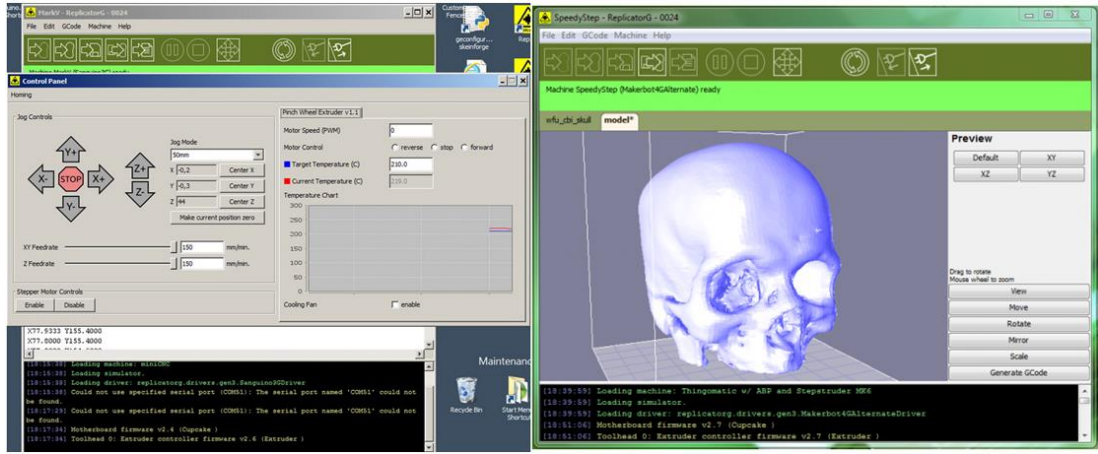
3D parçanın üretilmesi, CAD ortamında parçanın tasarlanması ile başlamaktadır. EMY'de yapılan üretim katmanların birbiri üzerine örülmesi nedeniyle tasarlanan CAD datanın doğru bir şekilde çıktısını alabilmek için .STL datası alınmadan önce ayarlanması gerekmektedir. EMY katman katman ördüğü için bir önceki katmanda dolu olmayan bölge bir sonra ki katmanda dolu olması için malzeme akıtıldığında alt katmanında malzeme olmadığı için yer çekiminde etkisiyle aşağı doğru sarkacak ve parça istenen yerde katılaşmadığı için üretim sonucunda parça istendiği gibi üretilmeyecektir. Parçanın üretim istenen şekilde üretilmesi için katmanlar arasındaki açının 45°'nin altına düşmemesi gerekmektedir. Düşmesi durumunda ise bu bölgelere ayrılması kolay olacak çentikli sütunlar veya benzeri yapılar atılması gerekmektedir. 45°'den daha düşük açılarda parça üretebilmek için ekstruderin dışına fan konulara filamentin erken soğuyarak havada donması sağlanabilmektedir. Fakat bu yöntem filamentin hızlı katılaşmasını sağladığı için katmanlar arası yapışma konusunda problem çıkarmaktadır.

Üretimde yaşanan bu sıkıntıyı aşmanın bir diğer yolu ise eğer mümkünse parçanın uygun yerden bölünerek iki parça halinde üretilerek yapıştırıcı yardımıyla birleştirilmesidir. Bölünen parçada yüzey alanı geniş olan bölge tabana gelecek şekilde yerleştirilmesi halinde üretim esnasında hiçbir destek yapısı atılmasına ihtiyaç kalmamaktadır.

İki ekstrudere sahip yazıcılarda ise bu problem destek yapıları için suda çözülen filament kullanılarak aşılabilmektedir. Parça üretiminde bir önceki katmanda malzeme olmaması gereken destek yerlerini destek filamenti kullanarak örmektedir. Destek filamentinin özelliği üretilen parçanın suya atılmasıyla suda çözünerek temizlenme işlemini kolaylaştırmasıdır. Temizleme işlemi esnasında parçanın yüzeyiyle herhangi bir etkileşime girilmediği için parçanın yüzeyinde hasar oluşmamaktadır.

Tasarım yukarıda yazılan kriterler dikkate alınarak yapıldıktan sonra CAD uzantısından .STL formatına dönüştürülür. STL formatı 3D parçanın malzeme olan kısımlarını katmanlara ve üçgenlere ayırarak malzemeli ve malzemesiz bölgeleri aşağıda şekil 2.1’de görüldüğü gibi ayrımını yapmaktadır. Elde edilen STL data G-Code’u çeviricileri kullanılarak şekil 2.2’de görülen yazıcıların üretim yapacağı kodlara dönüştürülmektedir.

G-Code elde edildikten sonra üretim için yazıcının ayarlarının yapılması gerekmektedir. Kendi yazılımına sahip 3D yazıcılar kendi ara yüzlerine ve kullanılan malzemelerin ayar kartlarına sahip iken DIY şeklinde olan yazıcılarda açık kaynak kodlu yazılımlar kullanılmaktadır. Parçanın üretimi yapılacak malzemeye göre sıcak sonun üretim sıcaklığının ayarlanması gerekmektedir. Kullanılan açık kaynak kodlarının kullanıcı ara yüzü şekil 2.7’de görülmektedir.

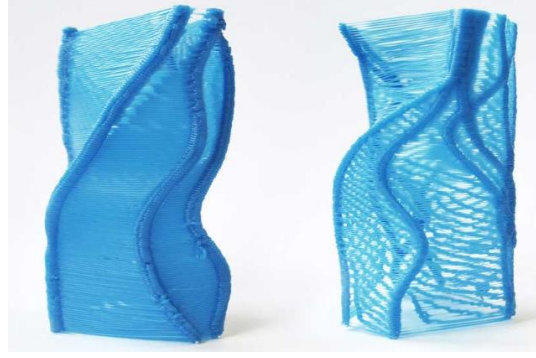


Şekil 2.7 : Açık Kaynak Kodu Kullanıcı Ara Yüzü

Üretim için diğer yapılacak ayar ise yüzey kalitesi ve üretim hızıdır. Yüzey kalitesi için ekstruderin malzemeyi akıtarak kontrollü bir şekilde yüzeyler elde etmesi gerekmektedir. Ekstruderin malzemeyi daha yavaş akıtması toplam akması gereken malzemenin ihtiyacı olan sürenin uzaması anlamına geldiği için üretim süresini uzatmaktadır. Parçanın üretim süresini kısaltmak için elde edilen G-Code'unda açık kaynak kodlu programlar kullanılarak, görsel yüzeyler yavaş iç kısımda kalan bölgeler hızlı üretilmesi şeklinde değiştirilerek tasarımın üretimi optimize edilebilmektedir. Böylelikle yüzey kalitesi yüksek parçayı hızlı bir şekilde almamız mümkün hale gelir.

Oluşturulan 3D parçanın kullanılacağı yere göre iç yapısının geometrisini değiştirebilmekte mümkündür. Eğer sadece görsel bir parça yapılıyorsa iç kısmı program aracılığı ile boşaltılarak parçanın sadece dış tarafı oluşturulması sağlanabilir. Parça fonksiyonel olacak fakat çok büyük yüklere maruz kalmayacaksa iç kısmı bal peteği, 45° açılı destekler ve çeşitli formlarla örülebilmektedir. İstendiği taktirde ise parçanın iç yüzeyinin tamamı dolu olarakta üretilmektedir.

Tüm ayarlamalar yapıldıktan sonra USB, flash disk ve wi-fi ve çeşitli veri aktarma yöntemleri kullanılarak veri 3D yazıcıya aktararak üretim yapılmaktadır.



Şekil 2.8 : G Code Örneği

2.2 Diğer Üretim Teknikleri

3D yazıcılar modelleri oluşturmada kullandıkları metot temel olarak katmanların oluşturulması ve oluşturulan bu katmanların bir araya getirilmesi prensibine dayanmaktadır. Yöntemler birbirinden katmanların oluşturulması ve katmanların bir araya getirilmesinde kullanılan yöntem farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Yöntemler kendi içlerinde de ayrılabilir ancak prensip olarak 6 temel gruptan oluşmaktadır.

2.2.1 Vat fotopolimerizasyonu yöntemi

3D yazıcılarda kullanılan ilk teknolojidir. Şekil 2.9’da görülen sistem sıvı içerisinde monomer ve oligomerleri ışıkla aktive ederek 3B parçaların üretilmesini sağlamaktadır. Üretim sıvısının içine daldırılmış olan üretim platformu üzerinde yapılmaktadır. Başlangıçta üretim platformu sıvı yüzeyinin bir kademe altına daldırılarak sıvı yüzeyi ve platform arasında kalan sıvının polimerize edilmesi ile oluşturulur. Daha sonra platform bir katman yüksekliği kadar aşağı iner ve ikinci katman ilk katmanın üzerine polimerize edilerek üretilir. Her katman üretimi sonunda yüzey düzeltici çubuk sıvı yüzeyi süpürerek düzeltir. Katmanlar önceki katmanın üzerinde birbirlerine bağlanarak üretilirler. Vat fotopolimerizasyon yönteminde kullanılan ışık kaynağına ve ışıkla tarama yöntemlerine göre kendi içinde gruplara ayrılır.

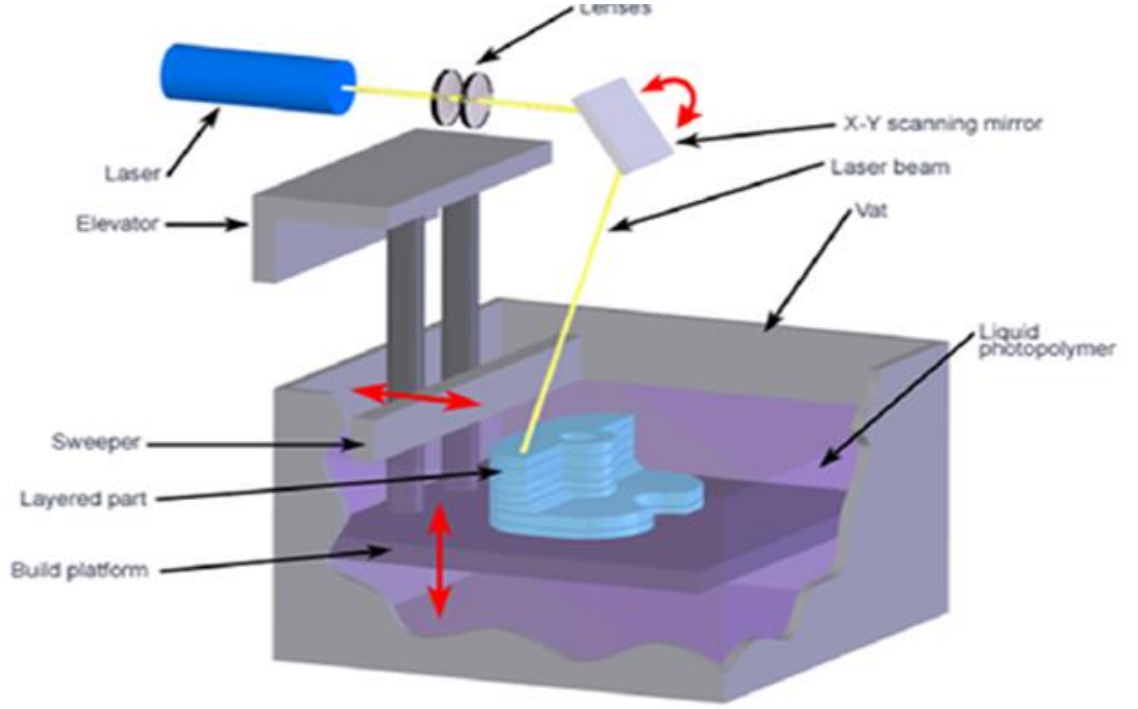
Kullanılan ışık kaynağına göre;

- Light Emissions Diodes
- UV Lamps
- Digital Light Process

- ...

Kullanılan tarama yöntemlerine göre;

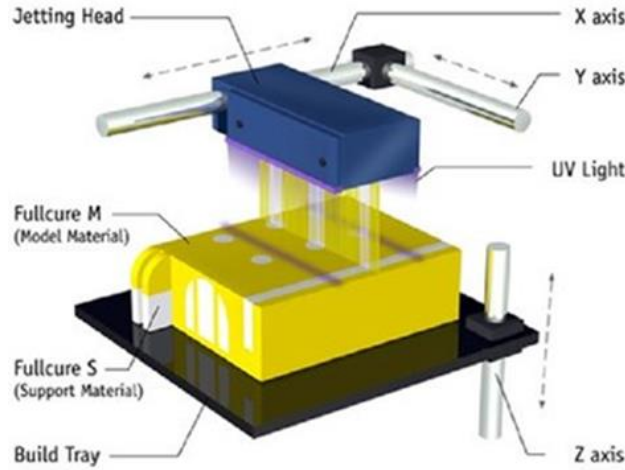
- Tek lazer ile yüzey tarama
- Çoklu lazer ile yüzey tarama
- Tek seferde tüm katmanı kürleme
- ...



Şekil 2.9 : Vat Fotopolimerizasyon [5]

2.2.2 Malzeme püskürtme yöntemi

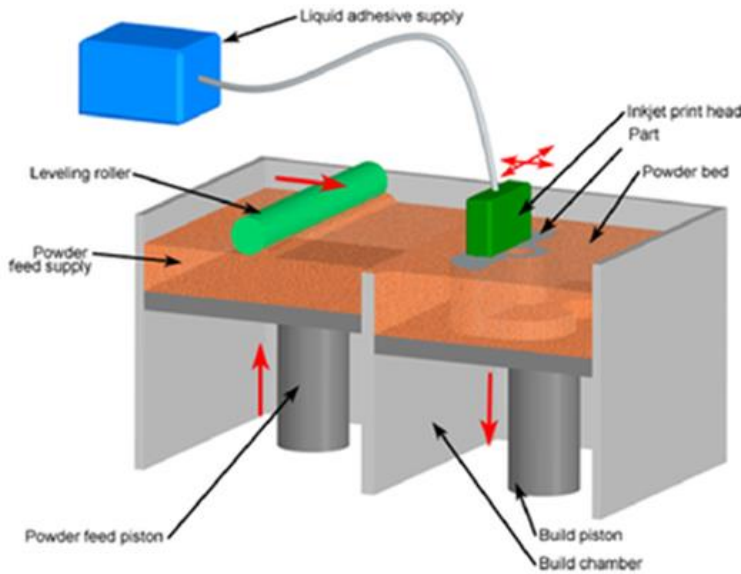
Fotopolimer malzemenin zerre halinde püskürtülürken bir yandan da püskürtülmüş malzemenin UV ışınlarla kürlenmesiyle 3D parça oluşturulmaktadır. Sistemin çalışma prensibi şekil 2.10'da görüldüğü gibi aslında püskürtme ile çalışan yazıcılara benzemektedir. Püskürtme ucunda bulunan deliklerden aynı farklı malzemelerde püskürtebilmektedir. Farklı malzemelerin püskürtülebilmesi sayesinde rahat bir şekilde kompozit parçalarında üretimi yapılabilir.



Şekil 2.10 : Malzeme Püskürtme Metodu [5]

2.2.3 Bağlayıcı püskürtme yöntemi

Sistemde depo ve üretim haznesi olmak üzere iki adet toz haznesi mevcuttur. Katmanlar tozların birbiri üzerine serilip merdane aracılığı ile ezilerek düzeltilmesiyle ayarlanır. Düz şekilde serilmiş olan toz printer kafasına benzeyen fakat yazıcıdan farklı olarak tozları birbirine bağlayan bir ajan sıkın kafa sayesinde, tozlar birbirine bağlanarak 3D parça oluşturulur. Parçanın üretiminde bağlayıcı ajan sıkın kafa şekil 2.11’de görüldüğü gibi X ve Y eksenlerinde hareket ederken toz haznelerin altında bulunan pistonlar Z yönünde ki hareketi sağlamaktadır.

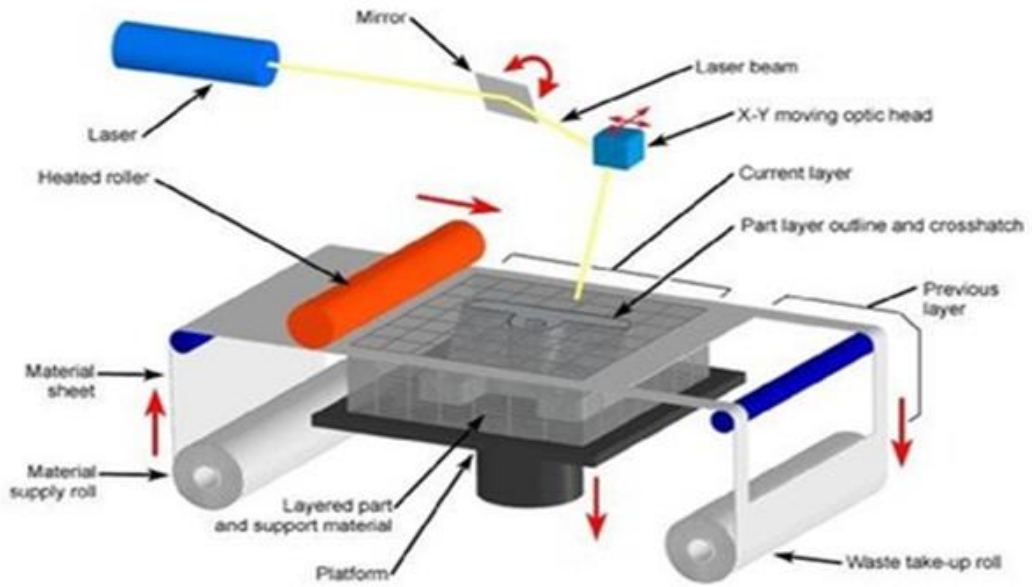


Şekil 2.11 : Bağlayıcı Püskürtme Yöntemi [5]

2.2.4 İnce tabaka yöntemi

Levha yada şerit şeklinde ki malzemenin kalınlığı aynı zamanda katman kalınlığını belirlemektedir. Her bir katmanda istenen 2B geometrik şekil levha üzerinden şekil 2.12’de görüldüğü gibi lazer veya freze vb. metod ile kesilerek çıkarılır ve alt katmandaki yüzeye yapıştırılarak, kaynatılarak veya farklı yöntemlerle bağlanarak 3D’lu model oluşturulur. Yöntemde kullanılan malzeme ve yapıştırma yöntemine göre;

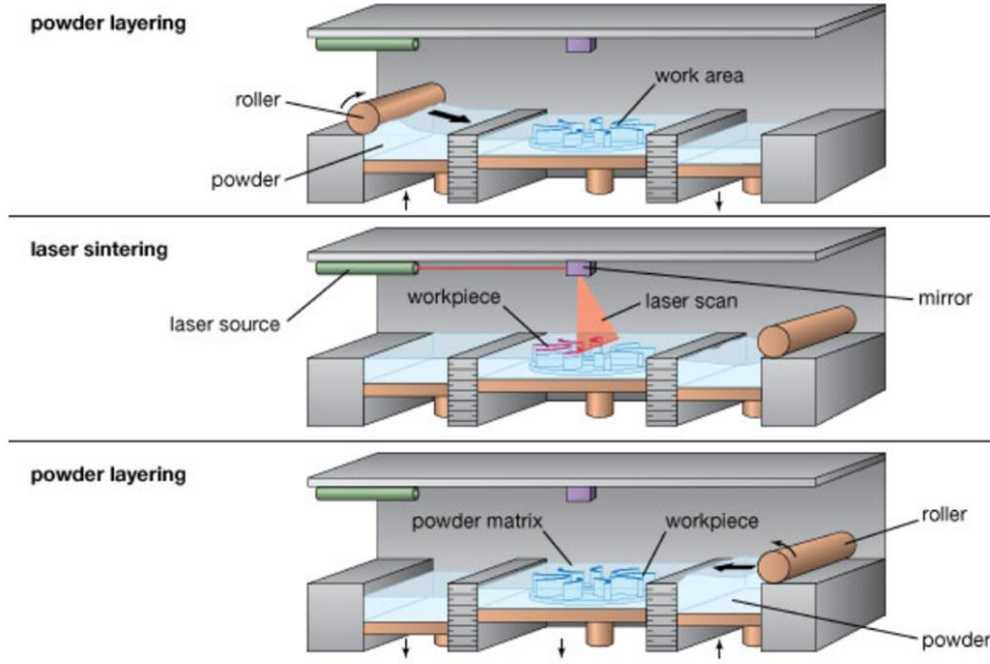
- Paper Lamination Technology
- Laminated Object Manufacturing
- Ultrasonic Additive Manufacturing



Şekil 2.12 : İnce Tabaka Yöntemi [5]

2.2.5 Toz yatak yöntemi

Toz ikisi depo biri üretim haznesi olmak üzere üç adet hazneye serilmektedir. Üretim haznesi her bir katman atıldıktan sonra Z ekseninde aşağı yönlü hareket ederek yandaki depo haznelerinden üretim haznesine yeni toz gelebilmesini sağlamaktadır. Depo haznelerinden üretim haznesinin üzerine merdane yardımıyla düzgün bir şekilde serilen toz tanecikleri, lazer sayesinde ergitilerek birbirine bağlanmakta ve bu sayede 3D parçaların üretimi gerçekleştirilmektedir. Sistemin çalışma prensibi şekil 2.13’te görülmektedir.



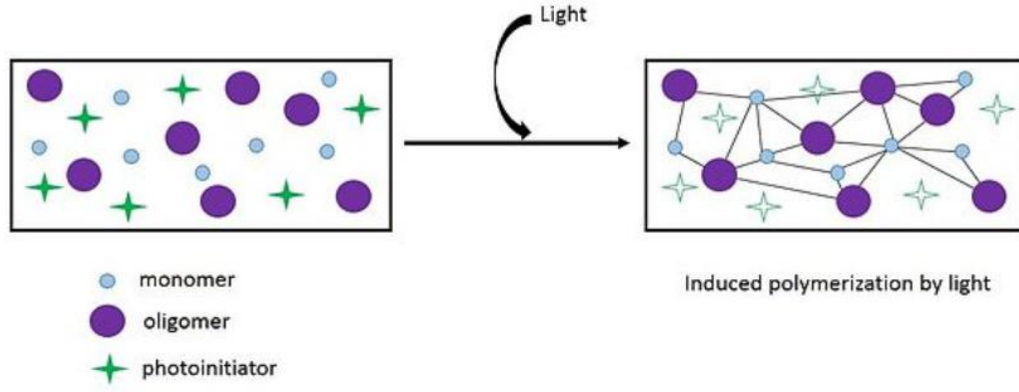
Şekil 2.13 : Toz Yatak Yöntemi [5]

2.3 Kullanılan Malzemeler

3D yazıcılarda her üretim metodu kendine has şekilde malzemeleri bir araya getirdiği için malzemenin yapısı ve formu değişmektedir. Üretim yöntemine bağlı olarak malzemelerin kimyasal yapısı, fiziksel durumu veya bulunduğu fazı değişebilmektedir.

2.3.1 Fotopolimer

Fotopolimerler ışığa maruz kaldığında özellikleri değişebilen bir polimer karışımıdır. Işık kaynağı olarak ultraviyole veya insan gözünün gördüğü elektromanyetik ışık kaynağı ile polimerize edilir. Fotopolimer sıvı şekil 2.14'te görüldüğü gibi bir iç yapıya sahiptir.[6]



Şekil 2.14 : Fotopolimer İç Yapı [6]

Yapıdaki photoinitiatorler ışık polimerizasyonu teşvik ederek monomerler aracılığıyla oligomerlerin birbirine bağlanmasını sağlamaktadır. Polimerizasyon işlemi proses olarak kürlenme diyede geçmektedir. Kürlenme işlemi sonucunda sıvı içinde bulunan polimer moleküller birleşerek katı termoset malzemeye dönüşürler. Üretimin tamamlanması sonucunda da katı 3D model elde edilmiş olur.

2.3.2 Bağlayıcı

Bağlayıcı püskürtme metodunda kullanılmaktadır. Sıkılan bağlayıcının cinsi bağlayacağı malzemeye göre değişmektedir. Metal, plastik, tahta vb. malzemelerin tozları, bağlayıcı kullanılarak birbiri üzerine katman katman yapıştırılmaktadır. Katman katman yapıştırılması sırasında renkli bağlayıcı kullanılarak aynı zamanda boyama üretimin boyanması sağlanmaktadır. Metal tozu gibi bazı malzemeler ise 3D modeli oluştuktan sonra fırına atılarak katmanlar arasında difüzyon bağı oluşturularak üretilen parçanın mekanik özelliklerinde iyileştirmeye gidilir.

2.3.3 Toz

Isıtıldığında diğer toz parçacıkları birbirleriyle eriyerek veya sinterlenerek kaynaşırlar. Tozların birbiriyle kürlenme işlemi lazer aracılığı ile yapılmaktadır. Tozların eriyerek veya sinterlenerek kaynaştığı sıcaklığa lazer etkisiyle kolayca gelmesi için üretim haznesi sıcak tutulmaktadır. Şekil 2.15'te görülen toz malzemenin çeşitleri plastik, metal ve seramiktir. Cam elyaf takviyeli plastik tozları veya plastik kaplamalı metal tozları gibi kompozit toz çeşitleride mevcuttur.



Şekil 2.15 : Polyamide Toz

2.3.4 Filament

EMY yönteminde kullanılabilecek ham maddedir. Genel olarak piyasada satılan filament türleri ABS, PLA ve bu filamentlerin türevleridir. Filamentler Şekil 2.16’da görüldüğü gibi ruloya sarılı halde satılmaktadır. Filamentlerin silindirik geometride bulunmasının sebebi filamentin dış yüzeyinden verilen ısı ile parçanın her açıdan simetrik olarak ısıtılmasıdır. Homojen ısınma malzemenin akıcılığını ve itme kuvvetini doğrudan etkilemektedir. Filament çapları üzerinde yapılan ampirik denemelerde hassas yüzeyler için 1.75 mm, kaba ve dolgu yüzeyleri içinse 3 mm’lik filamentlerin kullanılmasına karar verilmiştir. Filamentin çapı step motorun bir adım hareketi ile dışarı atılan filament miktarını belirlediği için hız ve yüzey kalitesini doğrudan etkilemektedir.



Şekil 2.16 : Filament Rulosu

3. SİSTEM GEREKSİNİMLERİNİN BELİRLENMESİ

3.1 Amaç

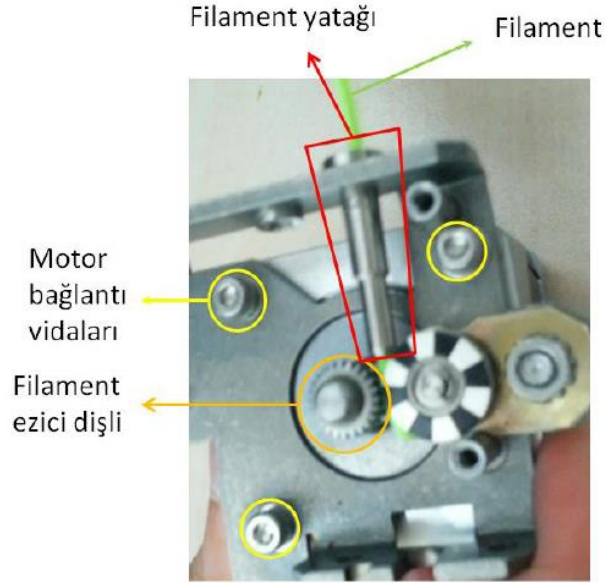
Tez çalışmasına konu olan 3D yazıcı ekstruder tasarımı ve imalat aşamalarının doğru bir biçimde belirlenebilmesi için tek filament süren ve çoklu filament sürebilen ekstruderlerin genel özelliklerinin iyi anlaşılması gerekmektedir. Bu amaçla tek filament süren ve çoklu filament sürebilen ekstruderlerin mekanizma parçaları hakkında bu bölümde bilgi verilmiştir.

3.2 Ekstruderlerin Genel Özellikleri

Ekstruder, 3D yazıcıdaki filament ham maddesini, katı – sıvı ve sıvı – katı fazları arasında geçiş yapmasını sağlayarak filament malzemesinin istenen formu almasını sağlayan kısımdır. Ekstruderlerin kısım ve işlevlerini incelersek;

Ekstruder gövde sacı: Ekstruder oluşturulan parçalara göre şekil verilmiş sac parçadır. Parçanın üretimindeki hassasiyet diğer parçaların ekstruder gövde sacı üzerine konumlandırılması nedeniyle önem teşkil etmektedir. Sacın üzerindeki motor yuvası motorun yataklamasını sağlarken, filament yatağı ve sıcak sonun eksenlerinin üst üste gelmesi sacın hassasiyetine bağlıdır. Filamentin kontrollü bir şekilde sürülebilmesi için sıkıştırılarak kayma yapması engellenmelidir. Bu sebeple kullanılan merdane sacıda yine ekstruder gövde sacına çakılmış rulman aracılığı ile sıkıştırılmaktadır. Benchmark incelemesi yapılan Cubify Seconde Generation Cube 2'nin şekil 3.1'de görülen ekstruder gövde sacını örnek olarak alabiliriz.

Filament Yatağı: Filamentin şekil 3.3'te görülen filament ezici dişli ve rulman arasına düzgün bir şekilde gelerek filamentin sıkışarak sürülmesi açısından önemlidir. Bu nedenle filamentin ezici dişli ve rulman arasına yataklanara her seferinde doğru bir şekilde gelmesi için filament yatağı kullanılmaktadır.



Şekil 3.3 : Filament Yatağı

Ekstruder step motoru: Üretimin sorunsuz bir şekilde ilerlemesi için sıcak sondan çıkan malzemenin kontrolünün iyi bir şekilde yapılması gerekmektedir. Sıcak sondan dışarıya çıkan malzeme miktarı sıcak sonun içine itilen malzeme miktarına bağlı olduğu için bu noktada kontrollü sürülebilen bir motora ihtiyacı vardır. Bu kontrolü sağlayabilmek için ekstruder kısmında şekil 3.4'te görülen step motor kullanılmaktadır. Step motorun diğer motorlardan farklı olarak içerisinde kutup bölgelerine sahiptir. Elektronik kart sayesinde motor kutuplanmalar ile adım adım sürülebilmektedir. 3D printerlarda kullanılan step motorlar genelde 200 adıma sahiptir.

200 adımın anlamı $\Rightarrow 360^\circ / 200 = 1,8^\circ$

Yani her bir adım sinyali gönderildiğinde motor $1,8^\circ$ dönebilmektedir. Filamentin sürülmesi istenen miktar motorun dışına bağlanan ve şekil 3.3'te görülen filament ezici dişli ve $1,8^\circ$ kullanılarak kaç adım ilerlemesi gerektiği hesaplanarak yapılmaktadır.



Şekil 3.4 : Step Motor

Filament ezici dişli: Sıcak sonun içinde ergimiş olarak bulunan filament malzemesinin dışarı doğru atılması için iç taraftaki malzemeye basınç uygulanması gerekmektedir. Gerekli olan bu basınç katı olan filamentin aşağı doğru hareketinin yarattığı piston etkisi ile sağlanmaktadır. Ezici dişli ve rulman arasında sıkıştırılarak itilen filament, sıkıştırma kuvvetinin yeterli olmaması durumunda kaydırma yapmakta ve sürülen filament miktarında sapmalar meydana gelmektedir. Filamentin kaydırma yapmaması için şekil 3.3'te görülen filament ezici dişli, filament yüzeyini deforme ederek dişlinin basabileceği yüzeyler oluşturmaktadır. Böylelikle filamentin kaydırma yapmasının önüne geçilmektedir.

Merdane: Filamenti, ezici dişli ile kendi arasında sıkışmasını sağlayan parçadır. Kullanılma amacı filamentin sıkıştırması ve filamentin dönmesi esnasında minimum direnç göstermesidir. Bu nedenle iç tarafına rulman çakılmıştır. Filamentin dış tarafa kaymaması için üzerine yapıştırılan saç parçalar ile yataklama sağlanmıştır.

Fan: Sıcak sondan dışarıya çıkan ergimiş malzemenin kontrollü olarak soğuyup katı faza geçmesini sağlamaktadır. Ergimiş malzemenin geç soğuması konumunun kaymasına erken soğuması da altında ki katmana düzgün yapışmamasına neden olmaktadır. Şekil 3.5'te görülen fan kullanımıyla kontrollü soğutma ile bu problemlerin önüne geçilmektedir.



Şekil 3.5 : Soğutucu Fan

3.3 Çoklu Filament Süren Ekstruderlerin Genel Özellikleri

Birden fazla filament sürme yeteneğine sahip ekstruderlere çoklu filament süren ekstruderler denmektedir. Çoklu filament süren ekstruderlerin problemsiz çalışması için genelde tekli filament süren sistemin sürülen filament sayısı kadar kendini tekrar etmesiyle kurulmaktadır. Sistemin bu şekilde kurulması sürülecek her filament için ekstruder hacmini ikiye katlamaktadır. Ekstruderin üretim alanında efektif olarak kullanabildiği bölge sıcak sonun çıkış bölgesinin tarayabildiği alandır. Çoklu filament süren ekstruderlerde efektif üretim bölgesinin tanımı tüm filamentlerin çıktığı sıcak sonun tarayabildiği alandır. Bu neden filament süren mekanizmanın hacmindeki artış sıcak sonlar arasında ki mesafenin açılmasına sebep olmakta ve efektif üretim alanını azaltmaktadır. Yapılan bazı çalışmalarda merdane parçaları ortak kullanılarak veya step motorlar ortak kullanılarak ekstruder hacmi küçültülmeye çalışılmıştır. Fakat bu çalışmalar sonucunda üretilen ekstruder tasarımları tekli filament süren veya tekli filamentin yan yana dizilmesiyle oluşturulan çoklu filament sürücüler kadar güvenilir çalışmamaktadır.

3.3.1 Step motor filament oranı 1/1 olan sistemler

Step motor filament oranı 1/1 olan sistemlerde her step motorun bir filament sürdüğü sistemlerdir. Bu şekilde çalışan sistemlerin çoğunluğu tek filament süren ekstruderlerin yan yana dizilmesi şeklinde üretilmektedir. Literatür kısmında yer alan US2012189729 (A1) numaralı patent gibi bazı tasarımlarda merdane, dişliler ve miller ortak kullanılmaya çalışarak ekstruderin kapladığı hacmi azaltmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Şekil 1.5'te görüldüğü gibi iki step motor karşılıklı konmuş ve step motorun milinin ezici dişli kısmında kalan bölgesine rulman yerleştirilmiştir. Böylelikle filament, bir step motorun dişlisi ile diğer motorun rulmanı arasında ezilmekte ve sürülmektedir. Çalışma oranı 1/1 olan sistemler, çalışma açısından en güvenilir sistemlerdir fakat sürülen filament başına düşen maliyetin de en yüksek olduğu sistemlerdir.

3.3.2 Step motor filament oranı 1/2 olan sistemler

Step motor filament oranı 1/2 olan sistemler her step motorun iki filament sürdüğü sistemlerdir. Her iki filament için bir step motor kullanıldığından sistemin yazıcı

üzerinde kapladığı hacim aynı sistemin 1/1 oranla yapılmasına oranla yaklaşık olarak yarısı kadardır. Ekstruderleri oluşturan parçalardan en yüksek maliyete ve hacme sahip olan parça step motordur. İki filamentte bir step motor kullanılması bu sistemlere ekonomik ve hacimsel olarak avantaj sağlamaktadır.

Step motor filament oranı 1/2 olan sistemlerde iki ayrı filamentin ekstrudere girdiği iki farklı kanal vardır. Üretim yapıldığı filamentin kanalı step motorun hareketi ile ileri itilebilirken pasif olan kanaldaki filamentin yeri sabit kalmaktadır. Pasif olan filament sürüleceği zaman aktif olan kanal pasif, pasif olan kanalda aktif hale geçerek üretime sürülen filament değişmektedir. Filamentin sürüldüğü kanalın aktif pasif olmasını sağlayan mekanizmalar bu sistemlerin can damarıdır.

Kanalların aktif ve pasif durum geçişleri kullanılan harici bir motor ile yapılabildiği gibi mekanik olarak da yapılabilmektedir. Şekil 1.7 - 1.8'de görülen ve US2007228590 ve EP2170571 patentli sistemlerinde kanallar aktif ve pasif hale kullanılan ek motor sistemleri ile geçmektedir.

US2007228590 patentinde iki kanalın pozisyonu birbirine bağlanmıştır. Dönme merkezinden yapılan hareket ile kanalların biri ezici dişliyle temas edebilecek duruma geçerken diğer kanal ezici dişliden uzaklaşmaktadır. Motorun tam tersi hareketinde ise aktif olan kanal uzaklaşarak pasif hale geçmekte, pasif olan kanal ise ezici dişliye yaklaşarak aktif hale geçmektedir.

EP2170571 numaralı patentte ise motorun hareketi ile kanallar yukarı aşağı doğru hareket etmektedir. İki filament kanalından sıcak ucu üretim zeminine yakın olan uç aktif haldedir. Bu yöntemin faydası pasif olan ucu yukarı çekerek parça ile temas etme ihtimalini engellemektir.

Son olarak bizim bitirme tezinde üzerinde çalıştığımız sistem olan step motorun dönüş yoluna göre aktif ve pasif durumlar arası geçiş yapan mekanik sistemlerdir. Filamentin tek yöne sürülmesi EMY yöntemiyle üretim yapılması için yeterlidir. Ekstudere eklenen mekanik sistem aracılığı ile step motorun döndüğü yöndeki kanal aktif hale gelmekte diğer kanal pasif hale gelmektedir. İleri ki başlıklarda yaptığımız tasarım ve mekanik geçişlerin nasıl olduğu hakkında bilgi verilmektedir.

4. KONSTRÜKSİYON SİSTEMATİĞİNİN OLUŞTURULMASI VE ALTERNATİF TASARIMLAR

Türk Dil Kurumu'na göre mühendis, insanların her türlü ihtiyacını karşılamaya dayalı yol, köprü, bina gibi bayındırlık; tarım, beslenme gibi gıda; fizik, kimya, biyoloji, elektrik, elektronik gibi fen; uçak, otomobil, motor, iş makineleri gibi teknik ve sosyal alanlarda uzmanlaşmış, belli bir eğitim görmüş kimse.^[7] Makina mühendisleri olarak bizim görevimizde bilim insanların bulmuş olduğu teorik bilgileri kullanarak insanların hayatını kolaylaştıracak teknik yapıların tasarımlarını yapmaktır.

İnsan doğası gereği bize verilen ödevi tam anlamadan direk çözmeye çalışırız. Fakat ödevi tam olarak anlamadan emen bir çözüm bulmaya çalışmak yanlış bir tutumdur.^[8] Verilen ödevi ve problemin çözümüyle elde edilecek çıktıların istenilen çıktıları ne ölçüde karşılayabildiğini tarafsız bir şekilde değerlendirmek daha doğru bir yöntemdir. Yapılacak konstrüksiyonda bu kaideleri göz önüne alarak yapılması için konstrüksiyon sistematığının oluşturulması gerekmektedir.^[9]

4.1 Amaç

İhtiyacın karşılayan bir sistem tasarımı yapılması sürecinde konstrüksiyon sistematığı alttaki maddeler esas alınarak yapılmıştır:

- Problemin tarifi
- İstekler listesinin hazırlanması
- Temel fonksiyonun soyutlanması aşamaları
- Temel fonksiyon için alternatif strüktürler

Bu aşamalar yapıldıktan sonra niceliksel tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

4.2 Problemin Tarifi

Problemin tarifini kullanıcıların yapmış olduğu geri bildirimler, şikayetler ve konu üzerine uzman kişilerin görüşleri doğrultusunda yapılmıştır.

Kullanıcılar bir kısmı satın aldıkları çoklu filament süren 3D yazıcıların destek yapısının temizlenmesi ve aldıkları renkli baskılardan memnuniyetlerini belirtmişlerdir. Diğer bir kısmı ise çoklu filament sürebilen yazıcılarının fiyatlarının çok yüksek olmasından ve çalışma esnasında sürekli problem çıkartmasından yakınmaktadır. Bazı kullanıcılar ise ürünün çoklu filament sürme sırasında problem çıkardığı için tek filament süren yazıcı gibi kullandığını ve parasını çöpe attığından bahsetmektedir.

Çoklu filament süren yazıcılarda bir diğer sıkıntı ise ekstruder kısmının büyük olmasından dolayı yazıcının boyutlarını büyümesi ve üretim hacmini daraltmasıdır.

Tüm bu yorumlar dikkate alındığında problemin tarifi şu şekildedir;

"Güvenilir ve ucuz çoklu filament süren bir ekstruder."

4.3 İstekler Listesinin Hazırlanması

İstekler listesinin hazırlanması işlemi sırasında yapılan kullanıcı yorumları, benchmark çalışmaları ve yapısal tasarım ve prototip yöneticiliğinden gelen 3D parça üretilmesi konusunda uzman kişilerin görüşleri alınarak yapılmıştır. Hazırlanmış olan tabloda;

K - Kesin istekleri

A - Arzu tipi istekleri

H - Hedef tipi istekleri

ifade etmektedir.

Çizelge 4.1 : İstekler Listesi

	İstek Tipi	İstekler
1	K	Maliyeti mevcut çoklu ekstruderlerin maliyetini geçmemeli
2	K	Standart tek filament sürebilen elektronik kartla sürülebilmeli
3	K	Aktif pasif geçiş süresi 1 dakikayı geçmemeli
4	K	Tek step motor ile iki filament sürebilmeli
5	A	Montajı zor olmamalı
6	K	Parçalar sıcak sonun oluşturduğu ortam sıcaklığında problemsiz olarak çalışabilmeli
7	A	Sistem 24V adaptör ile sürülebilmeli
8	A	Sökülüp takılabilmesi kolay olmalı
9	H	Bozulan parça olduğu zaman kolayca değiştirilebilsin
10	A	Merkezleme ve yataklamaları kendiliğinden yapabilsin
11	A	Aynı parçanın birden fazla işlevi olsun
12	K	Tasarım boyutu standart ekstruder boyutunda olmalı
13	K	Filamentin sıcak sonun girişinde ergimesini önlemsin
14	K	Motorun torku filamenti itme konusunda problem yaratmasın
15	K	Filamentin sürülmesi esnasında kaydırma olmamalı
16	K	Uzun süre bir problem çıkarmadan çalışabilmeli

4.4 Temel Fonksiyonun Soyutlanması

Temel fonksiyonun soyutlanması işlemin tasarlanacak olan strüktürün sadeleştirerek en temel hale dönüştürülmesi işlemidir. Bu çalışmanın yapılmasının sebebi yapılan soyutlama sayesinde probleme daha geniş perspektif bakarak daha farklı ve yaratıcı alternatifler bulunmasını sağlamaktır.

Temel fonksiyonun soyutlanması işleminde ilk olarak arzu ve hedef tipi istekler göz ardı edilir.^[9] Ödevin fonksiyonuyla direkt olarak ilgili olmayan kesin istekler ilk aşamalarda çözümlerin kısıtlanmaması açısından dikkate alınmazlar. Problemin tarifinde yer alan niceliksel bilgiler niteliksel bilgilere dönüştürülmeli yada dikkat alınmamalıdır. Ortaya çıkan soyutluluk derecesi yüksek olan bu tanımlamaya görmezden gelinen önemli istekler doğrultusunda genişletilir. Son olarak da temel fonksiyon herhangi bir çözüme bağlanmaksızın tari edilmelidir.

Temel fonksiyona ulaşılması işlemi aşama aşama bizim problemimize uygulamaya çalışırsak;

- İlk aşamada arzu ve istek tipi istekleri göz ardı ettiğimizde istekler listesi çizelge 4.2'de görülmektedir.

Çizelge 4.2 : Kesin Tipi İstekler

	İstek Tipi	İstekler
1	K	Maliyeti mevcut çoklu ekstruderlerin maliyetini geçmemeli
2	K	Standart tek filament sürebilen elektronik kartla sürülebilirmeli
3	K	Aktif pasif geçiş süresi 1 dakikayı geçmemeli
4	K	Tek step motor ile iki filament sürebilmeli
5	K	Parçalar sıcak sonun oluşturduğu ortam sıcaklığında problemsiz olarak çalışabilmeli
6	K	Tasarım boyutu standart ekstruder boyutunda olmalı

7	K	Filamentin sıcak sonun girişinde ergimesini önleysin
8	K	Motorun torku filamenti itme konusunda problem yaratmasın
9	K	Filamentin sürülmesi esnasında kaydırma olmasına
10	K	Uzun süre bir problem çıkarmadan çalışabilmeli

- Ödevin fonksiyonuyla direkt olarak ilgisi olmayan kesin istekler listeden çıkartılması durumunda liste çizelge 4.3 halini alır.

Çizelge 4.3 : Fonksiyona Bağlı Kesin İstekler

	İstek Tipi	İstekler
1	K	Standart tek filament sürebilen elektronik kartla sürüleabilmeli
2	K	Aktif pasif geçiş süresi 1 dakikayı geçmemeli
3	K	Tek step motor ile iki filament sürebilmeli
4	K	Parçalar sıcak sonun oluşturduğu ortam sıcaklığında problemsiz olarak çalışabilmeli
5	K	Motorun torku filamenti itme konusunda problem yaratmasın
6	K	Filamentin sürülmesi esnasında kaydırma olmamalı
7	K	Filamentin sıcak sonun girişinde ergimesini önleysin

Niceliksel bilgileri niteliksel hale dönüştürür ve temel fonksiyonda etkili olmayan kesin istekler göz ardı edilirse liste son olarak şu hali alır;

1. Tek step motor ile iki filament sürebilmeli
2. Filament geçişleri arası kısa olmalı

Soyutluluk derecesi yüksek olan bu tanımlamayı bir üst maddede yer alan ve görmezden gelinen isteklerle genişletilmesi gerekmektedir.

1. Tasarım boyutu standart ekstruder boyutlarında olmalı
2. Filamenti sürme esnasında kaydırmamalı

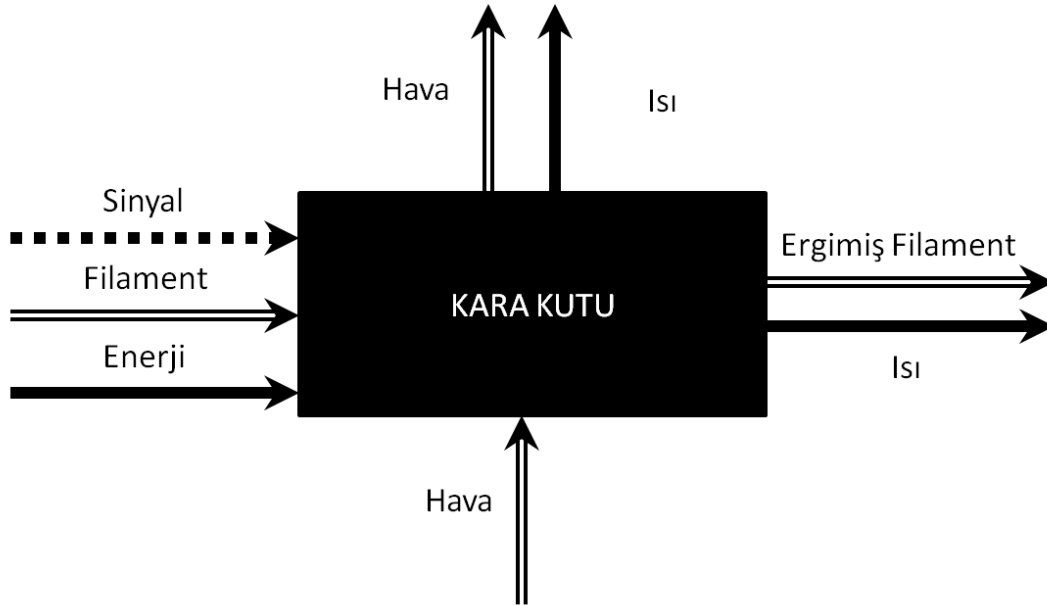
Tüm tanımlamaları dikkate aldığımızda üst soyutluluk taşıyan temel fonksiyonumuzu tanımlı şu şekilde olmaktadır:

"İki filament arası geçiş süresi uzun olmayan ve filamentleri kaydırmayan standart boyutlarda bir ekstruder."

4.5 Temel Fonksiyon için Alternatif Strüktürler

Fonksiyon strüktürleri hazırlanmasında ilk adım giriş ve çıkışların gösterildiği böylelikle makinanın gerçekleştirdiği dönüşümü rahatça anlamamızı sağlayan kara kutudur.^[10]

Kara kutunun çizilebilmesi için ilk olarak çalışma sınırlarının belirlenmesi gerekmektedir. Çalışma sınırları yapılacak olan makinanın giriş ve çıkış ürünleridir. Giriş ve çıkış ürünlerinin dışında makina sürekli olarak dış ortam ile etkileşim halindedir. Dış ortamla olan bu etkileşimde kara kutu üzerinde gösterilmektedir. Tasarımını yapacağımız ekstruderin kara kutusu şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1 : Kara Kutu

Kara kutuda görüldüğü gibi sistemimizin sinyal, filament ve enerjiyi kullanarak 3D parça çıktısını vermektedir. Bu işlem esnasında gerek parça gerekte soğutma

işlemleriyle çevreye sürekli olarak ısı atılmaktadır. Makinanın çalışması esnasında motorun çalışmasından kaynaklı gürültü oluşmaktadır.

4.5.1 Alternatif tasarım 1

Tek step motor ile iki filament sürebilmek için ne zaman hangi filamenti süreceğini ayıran bir mekanik sistem yapılması gerekmektedir. Motorun çift yönlü hareket etmesi en basit ve en güvenilir şekilde sürülecek filamentin ayrımını yapma yöntemidir. Bu doğrultuda yapılan düşünceler etrafında alternatif 1'de yön ayrımının kavramalar ile yapılmasına karar verilmiştir.

Kavramalar döner haldeki bir parçanın, aynı eksen üzerinde bulunan bir parçaya enerjinin istendiği zaman aktarılmasını sağlayan mekanizmalardır. Bizim mekanizmamızda da enerjinin istendiği zaman istenen yere aktarılması gerektiği için kavrama kullanmak son derece uygundur. Kavramaların bazıları dışarıdan uygulanan bir etkiyle devreye girip devreden çıkarken bazı kavramalar ise bu işlemi sistemin çalışması esnasında ki farklılıklardan faydalananarak yapmaktadır. Tasarımını yapacağımız ekstruderde step motor dışında dışarıdan sistemi tahrik edecek hiçbir parça kullanmayacağımız için tasarımımızda kendiliğinden devreye giren ve devreden çıkabilen bir kavrama kullanmamız gerekmektedir. Kullanacağımız kavramada ayırt edici etken yön olduğu için dönme yönüne göre enerji aktarımı yapan kavrama sistemlerini incelememiz gerekmektedir.

Yaptığımız incelemelerde tek yöne göre kavrama yapan sistemler içinden seçim yapılarak devam edildi;



Şekil 4.2 : Tek Yönlü Kavrama Sistemleri

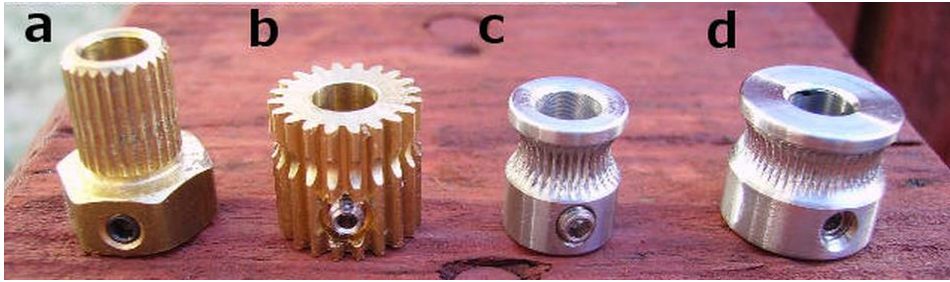
Şekil 4.2'de görülen kavrama sistemleri sırasıyla;

1. Cırcır kavrama

2. Tek yönlü kavrama diski
3. Tek yönlü iğneli rulman
4. Tek yönlü bilyeli rulman

Ekstruderin boyut kistaslarından dolayı 1 ve 2 numaralı opsiyonlar uygulama için uygun olmamaktadır. Tek yönlü iğneli rulman ve bilyeli rulmanın direk olarak step motor üzerine takılmasının sistemi küçülteceği fark edilmiştir. Tek yönlü iğneli rulman ve bilyeli rulmanın boyutları incelendiğinde iğneli rulmanın yan yana iki adetinin tek mile yerleştirilemediği ve bu nedenle ekstra çözümler üretilmesi gerektiği görülmüştür. Fiyat olarakta projede tek yönlü bilyeli rulman kullanmanın daha avantajlı olduğu da görülmüştür Kuvvet ayrımı için bilyeli rulman seçilmesi kesin isteklerde ki aktif pasif geçiş süresini de sıfıra düşürmektedir.

Step motor ve bilyeli rulman seçiminden sonra soyut düşüncede kaydırmadan sürebilme konusunda çalışmalara başlanmıştır. Çalışma, EMY yöntemiyle çalışan yazıcılarda şekil 4.3'te görüldüğü gibi yaygın olarak kullanılan dört filament ezici dişlinin kuvvet aktarma performanslarının testi üzerinedir.^[11]



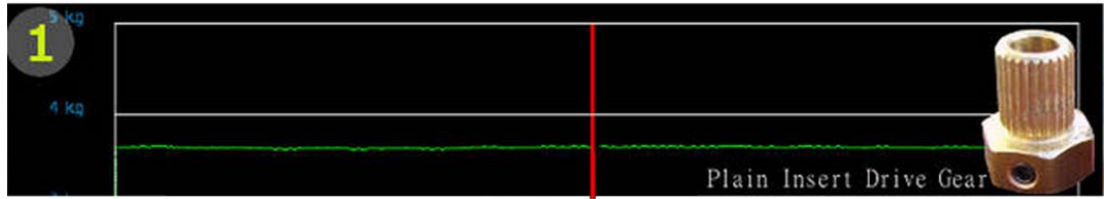
Şekil 4.3 : Filament Ezici Diş Çeşitleri [11]

Filament ezici dişli ekstruderden çıkan malzemenin miktarını ayarladığı için üretim kalitesini doğrudan etkilemektedir. Filament ezici dişlinin kaydırma yapması o bölgeye gelmesi gereken malzemenin eksik gelmesine ve parçanın kusurlu olmasına neden olmaktadır. Üretimin katman katman gerçekleştiği 3D yazıcılarda bir katmanda oluşan hata kendinden sonra gelen katmanları da etkilemesi, filament ezici dişlinin önemini de arttırmaktadır. Yapılan testlerde filament malzemesi olarak PLA kullanılmıştır.

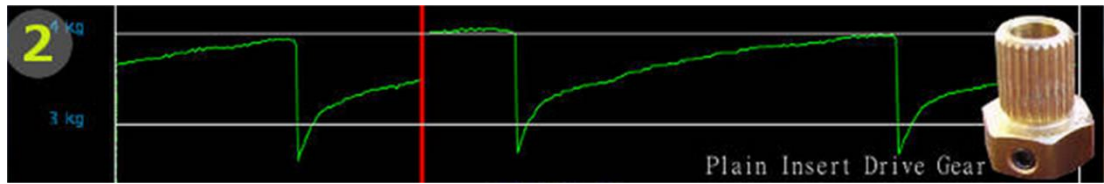
Filamentle in sürülmesi işlemi direkt sürüş olarak yani filament ezici dişlerin direkt olarak mile bağlanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Test düzeneği Arduino kart, SY42STH47-1684A motor, sıcak son ve Airtiper ekstruder filament kuvveti

sensoründen oluşmaktadır. Deney filamentin sürülmesi esnasında motoru bayıltmadan veya filament kaydırmadan filament itme kuvvetini tepe noktasına kadar çıkartma şeklinde gerçekleştirilmiştir. Her testte adım/mm oranı aynı olacak şekilde kalibre edilmiştir. Testlere başlamadan önce Marlin yazılımı kullanılarak her ekstruderden 100 mm kadar taze filament sürülerek sürme doğruluğu test edilmiştir.

İlk olarak pirinçten yapılmış olan iç çapı 5 mm, efektif çapı 7.66 mm ve uzunluğu 15 mm olan A filament ezici dişlisi denenmiştir.



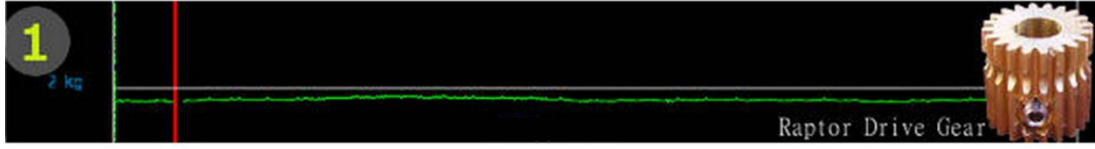
Şekil 4.4 : A Filament Ezici Dişli 3.6 Kgf Kaydırma Testi [11]



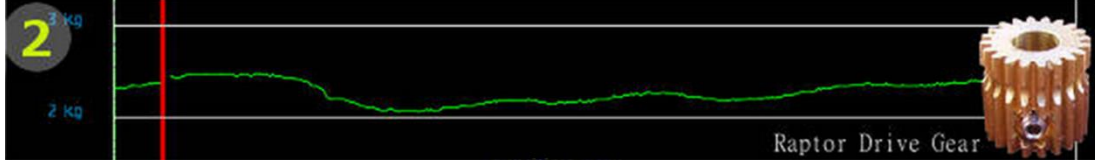
Şekil 4.5 : A Filament Ezici Dişli 4 Kgf Kaydırma Testi [11]

Yapılan testlerde şekil 4.4'te görüldüğü gibi filamentin 3.6 Kgf kuvvet uygulandığında kaydırma yapmadan sürebilmektedir. Yapılan 4 Kgf'luk deneyde ise şekil 4.5'te görüldüğü gibi 4 Kgf'ye yaklaşıldığında motor boğulduğu için kuvvette düşme gerçekleşmektedir. Sonuç olarak standart kullanımda A filament ezici dişlisinin kaydırma yapmadan çalıştığı görülmektedir.

Dişlerin üçgen formunda olması filamenti ezmekte ve üzerinde çentikler bırakmaktadır. Filamenti ezmesi anında uyguladığı baskı kuvveti arttırıldıkça dişlerin bırakacağı iz arttığı için filament tutma kuvvetide artacaktır. Fakat dişlerin filament üzerinde bıraktığı izler filamentin sıcak sonda ergimesinde süreksizlikler yaratmakta ve akışkanlığı düşürmektedir. Bu nedenle dişlerin yüzeye basma kuvveti yapılacak uygulamaya göre optimize edilmesinde fayda vardır. A filament ezici dişli fiyat aralığı 2,97 - 14,99 \$ aralığında değişmektedir. Fiyat ve performans oranı yüksek olan bir filament ezici dişlidir.

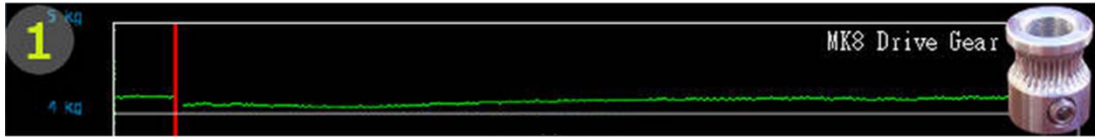


Şekil 4.6 : B Filament Ezici Dişli 1,85 Kgf Kaydırma Testi [11]

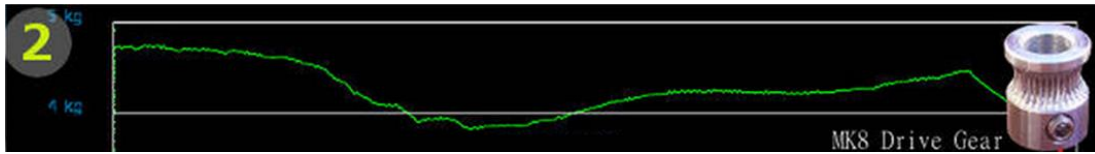


Şekil 4.7 : B Filament Ezici Dişli 2 Kgf Üstü Kaydırma Testi [11]

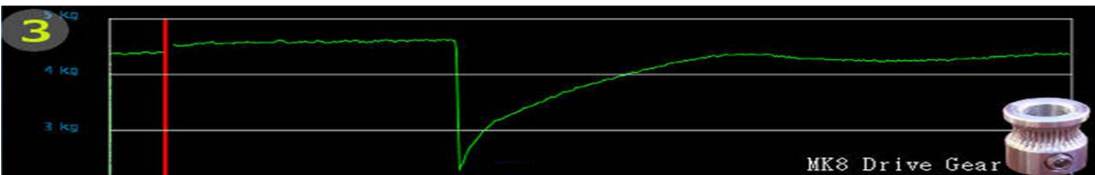
B tipi filament ezici dişli pirinç malzemesinden yapılmaktadır. İç çapı 5 mm, efektif çapı 9,67 mm ve uzunluğu 11,2 mm'dir. Yapılan testlerde B tipi filament ezici dişli şekil 4.6'da görüldüğü gibi 2 Kgf altında ki kuvvetlerde kaydırma yapmadan sürebilmektedir. Şekil 4.7'de ise filament ezici dişlinin 2 Kgf üzerindeki kuvvetlerde kaydırma yaptırdığı görülmektedir. Filamenti kaydırmasının sonucunda akışta düzensizlikler meydana gelmekte ve üretim kalitesi düşmektedir. 2 Kgf'un üstündeki kuvvetlerde kaydırma yapması B tipi filament ezici dişlinin direkt sürüş uygulamaları için uygun olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.8 : C Filament Ezici Dişli 4,2 Kgf Kaydırma Testi [11]

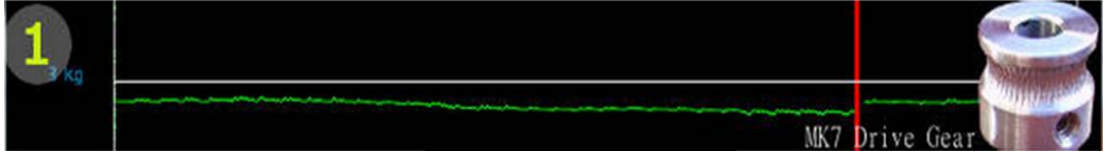


Şekil 4.9 : C Filament Ezici Dişli 4,7 Kgf Kaydırma Testi [11]

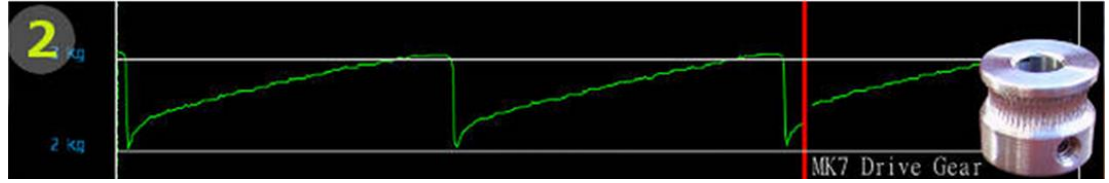


Şekil 4.10 : C Filament Ezici Dişli 4,6 Kgf Kaydırma Testi [11]

C tipi filament ezici dişli 304 kalite paslanmaz çelikten yapılmıştır. İç çapı 5 mm, efektif çapı 7 mm ve uzunluğu 10,1 mm'dir. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi 4 Kg'ya yakın kuvvetlerde kaydırma gerçekleşmemektedir. İtme kuvveti şekil 4.9'da görüldüğü gibi 4,7 Kg'ya çıktığında filament ezici dişli kaydırmaya başlamaktadır. Fakat şekil 4.10'da görüldüğü gibi ezici dişli 4.6 Kg'ya kadar kaydırma yapmadan sürebilmektedir.



Şekil 4.11 : D Filament Ezici Dişli 2,8 Kg Kaydırma Testi [11]

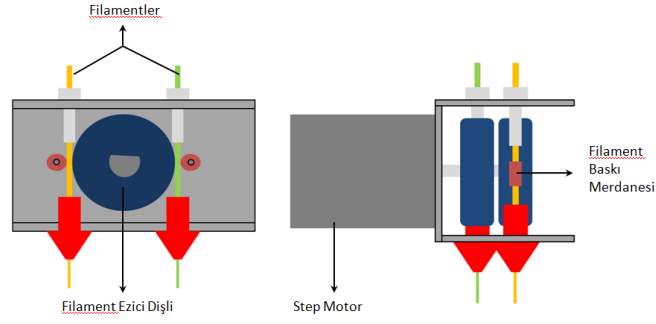


Şekil 4.12 : C Filament Ezici Dişli 3 Kg Kaydırma Testi [11]

D tipi filament ezici dişli 304 kalite paslanmaz çelikten yapılmıştır. İç çapı 5 mm, efektif çapı 10,56 ve uzunluğu 11,1 mm'dir. Dişler filament üzerinde iz bırakmadığı için tutuculuğu diğer filament ezici dişlilere göre şekil 4.11 ve 4.12'de görüldüğü gibi düşüktür. Fakat iz bırakmaması nedeniyle filamentin sıcak sonda ergimesi esnasında daha homojen bir şekilde ergimesini sağlamaktadır.

Filament ezici dişliler filament kaydırmadan sürme konusunda karşılaştırıldığında A ve C tipi filament ezici dişliler ön plana çıkmaktadır. C tipi filament ezici dişli A tipine göre filamentin üzerine daha küçük izler bırakmakta ve bu neden sıcak sonda daha homojen bir ergime sağlamaktadır. Fakat sıcak sonda yapılacak ayarlamalarla bu problemin etkisi azaltılabilmekte ve fiyat olarak da A tipi daha avantajlı durmaktadır. Kesin istekler göz önüne alındığında A tipi yapılacak tasarım için daha uygun durmaktadır.

Hareketli sistem için gerekli kısımlara karar verildikten sonra sistem için ilk kaba tasarımlar şekil 4.13'te görüldüğü gibi planlanmıştır. Soyutlanmış fonksiyonu yerine getiren bu modelin üzerine sırasıyla kesin istekler, arzu tipi istekler ve son olarak da hedef istekler uygulanmaya çalışılmıştır.



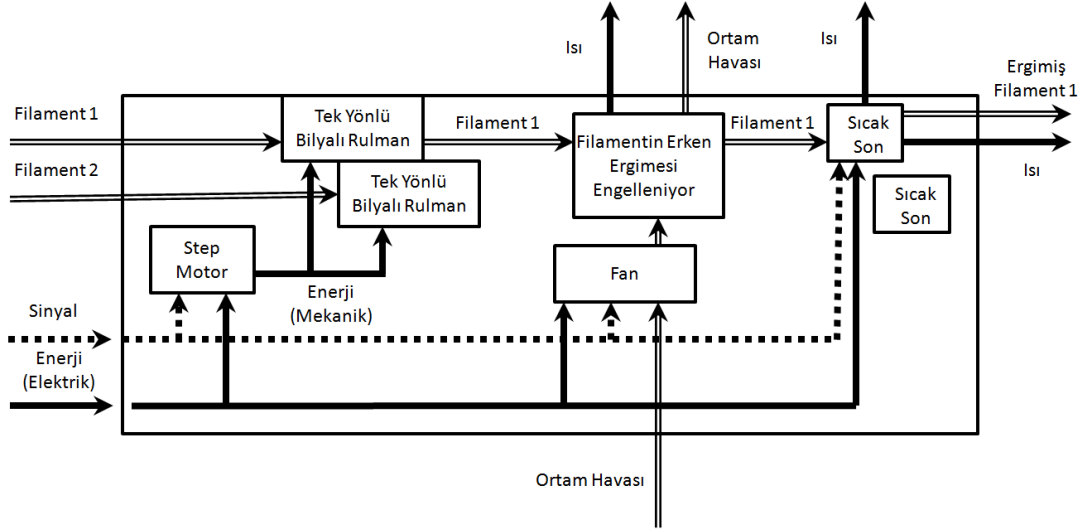
Şekil 4.13 : Alternatif 1 Prensip Tasarımı

Çizelge 4.4 : İstekler Listesi Alternatif 1 Karşılama Çizelgesi

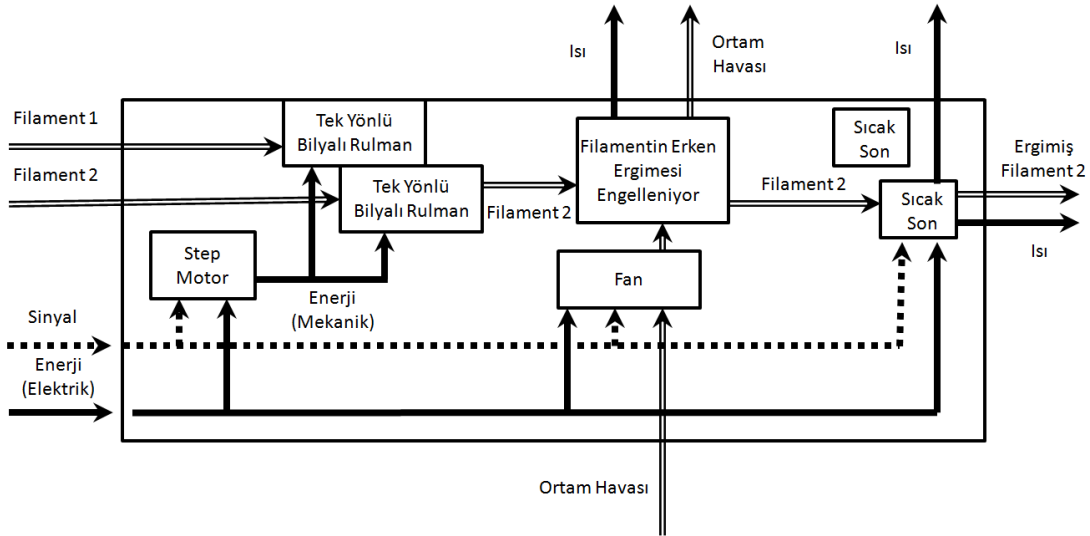
	İstek Tipi	İstekler	Alternatif 1'deki Durumu
1	K	Maliyeti mevcut çoklu ekstruderlerin maliyetini geçmemeli	Mevcut çizimlerde ve düşünülen parçalarla yapılması durumunda maliyeti mevcut çoklu filament süren ekstruderlerden ucuz olması bekleniyor
2	K	Standart tek filament sürebilen elektronik kartla sürülebilirmeli	Tek step motor ile iki filament sürebildiği için bu koşul sağlanıyor.
3	K	Aktif pasif geçiş süresi 1 dakikayı geçmemeli	Aktif pasif geçiş süresi yok.
4	K	Tek step motor ile iki filament sürebilmeli	Tek step motor ile iki filament sürebiliyor
5	A	Montajı zor olmamalı	Niceliksel tasarımda esnasında çalışılacak
6	K	Parçalar sıcak sonun oluşturduğu ortam sıcaklığında problemsiz olarak çalışabilmeli	Niceliksel tasarımda esnasında çalışılacak

7	A	Sistem 24V adaptör ile sürülebilmeli	Step motorlar ve kart sayesinde çalışması bekleniyor
8	A	Sökülüp takılabilmesi kolay olmalı	Niceliksel tasarımda esnasında çalışılacak
9	H	Bozulan parça olduğu zaman kolayca değiştirilebilsin	Niceliksel tasarımda esnasında çalışılacak
10	A	Merkezleme ve yataklamaları kendiliğinden yapabilsin	Niceliksel tasarımda esnasında çalışılacak
11	A	Aynı parçanın birden fazla işlevi olsun	Niceliksel tasarımda esnasında çalışılacak
12	K	Tasarım boyutu standart ekstruder boyutunda olmalı	Niceliksel tasarımda esnasında çalışılacak
13	K	Filamentin sıcak sonun girişinde ergimesini önlemin	Filamentin sıcak sonun girişinde ergimesini önleme için sıcak son girişine fan takılacaktır
14	K	Motorun torku filamentini itme konusunda problem yaratmasın	Step motor seçiminde dikkate alınacaktır
15	K	Filamentin sürülmesi esnasında kaydırma olmamalı	Filament ezici dişli seçimi yapılırken filamentin sürülmesi esnasında kaydırma yapmayacak tasarım araştırıldı ve seçildi
16	K	Uzun süre bir problem çıkarmadan çalışabilmeli	Niceliksel tasarımda esnasında çalışılacak

Listeyi incelediğimizde alternatif 1'in fonksiyonel istekleri karşıladığı görülmektedir. İstekler listesinde şuan için karşılayamadığımız istekleri alternatif tasarımdan ziyade niceliksel tasarımda yapılması daha doğru olacaktır. Alternatif tasarım dönüş yönüne göre iki adet fonksiyon gerçekleştirmektedir. Dönüş yönüne göre fonksiyon strüktürleri şekil 4.14 ve 4.15'te görülmektedir.



Şekil 4.14 : Alternatif 1 Saat Yönünde Dönüş Fonksiyon Strüktürü



Şekil 4.15 : Alternatif 1 Saat Yönünün Ters Yönde Dönüş Fonksiyon Strüktürü

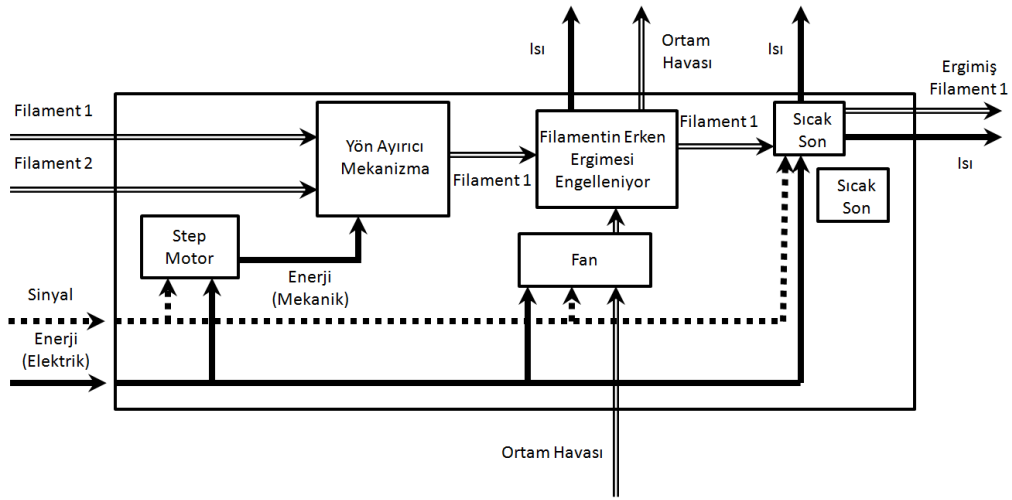
4.5.2 Alternatif tasarım 2

Alternatif tasarım 2'nin oluşturulması ilk tasarımda da olduğu gibi "İki filament arası geçiş süresi uzun olmayan ve filamentleri kaydırmayan standart boyutlarda bir

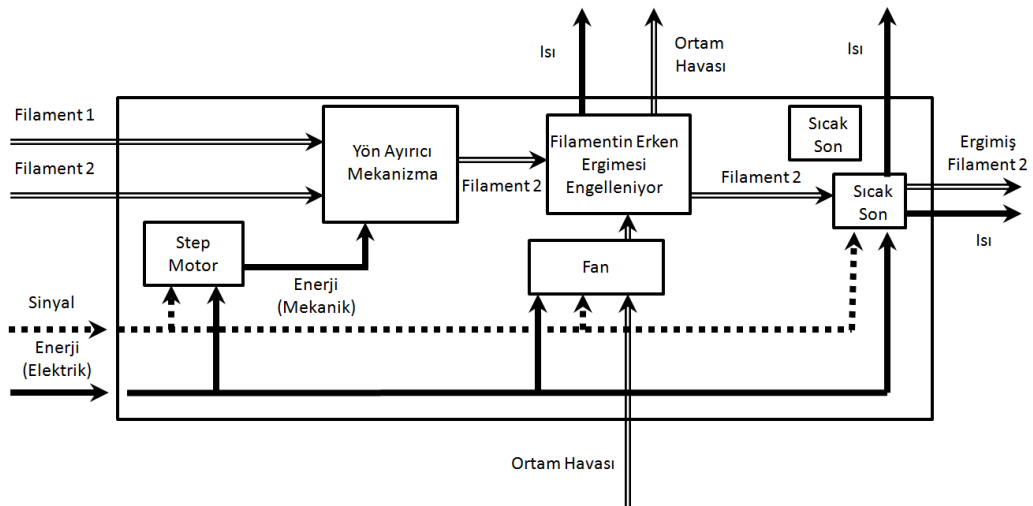
ekstruder." düşüncesiyle yola çıkılmıştır. Bu tasarım yapılırken sürülecek filamentin belirlenmesi ilk alternatifte de olduğu gibi step motorun dönüş yönü ile tayin edilmektedir. Dönüş yönüyle birlikte sistemin üzerine yerleştirilen mekanizma sürülecek olan filamentı sıkıştırarak kuvvet tahriki almasını sağlamaktadır.

Alternatif 2'de filament ezici dişli için alternatif 1'de yapılan çalışmanın aynısı geçerlidir. Bu nedenle alternatif 2'de de alternatif 1'de olduğu gibi A tipi filament ezici dişli kullanılmıştır.

Alternatif 2'nin dönüş yönüne göre fonksiyon yapıları şekil 4.16 ve 4.17'de görülmektedir.



Şekil 4.16 : Alternatif 2 Saat Yönünde Dönüş Fonksiyonu



Şekil 4.17 : Alternatif 2 Saat Yönünün Ters Yönde Dönüş Fonksiyonu

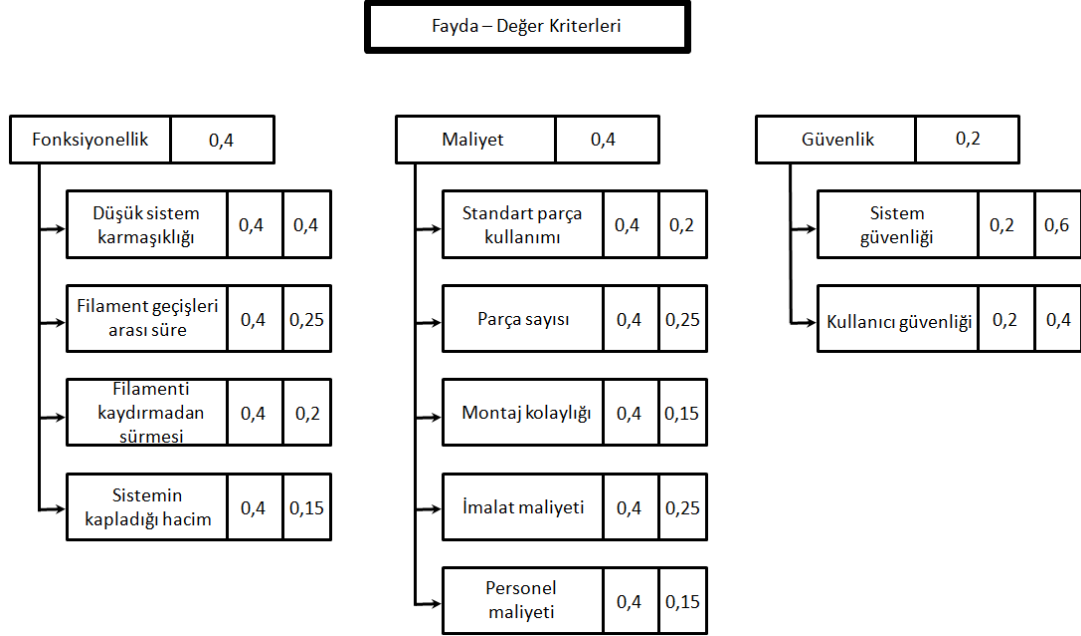
Alternatif 2'nin çalışma şekli, hareket fonksiyonları ve detayları Arçelik A.Ş.'nin gizlilik kapsamı dolayısı ile verilememektedir. Gizlilik ile ilgili verilemeyen kısım

4.5.3 En iyi alternatifi belirlenmesi

Yapılan alternatif tasarımlarının istekler listesini ne ölçüde karşıladığının belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan alternatiflerin insanlara direkt olarak sorulması durumunda insanların mesleki, yaşam tarzı ve kişiliğine göre alternatifleri değerlendirmektedir. Bu nedenle yapılan değerlendirmeler tasarımın istekleri karşılayıp karşılamaması konusunda objektif bir görüş alınamamaktadır. Bu problemin önüne geçmek için fayda-değer analizi yapılması gerekmektedir.^[9] Fayda - değer analizi sistemi istekler listesi ve karşılaması gerekene kriterlere göre puanlamasıyla yapılır. Sistemin tasarımı yapıldığı kriterler kendi içinde de alt kriterlere ayrılabilir. Kriterler, sistem içindeki önemine göre farklı ağırlık puanlarına sahiptir. Böylelikle sistem için çok önemli olmayan kriterler ile sistem için hayati öneme sahip kriterler puanlamayı aynı oranda etkilememiş olurlar. Tasarladığımız sistemde kullanacağımız fayda - değer analizi kriterleri aşağıdaki gibidir.

- Fonksiyonellik
 1. Düşük sistem karmaşıklığı
 2. Filament geçişleri arası süre
 3. Filamenti kaydırmadan sürmesi
 4. Sistemin kapladığı hacim
- Maliyet
 1. Standart parça kullanımı
 2. Parça sayısı
 3. Montaj kolaylığı
 4. İmalat maliyeti
 5. Personel maliyeti
- Güvenlik
 1. Sistem güvenliği
 2. Kullanıcı güvenliği

Alternatifin değerlendirme kriterleri belirlendikten sonra bu kriterlerin sistem için arz ettiği önem miktarına göre ağırlıklar belirlenmiştir. Ağırlıkların dağıtılmış hali şekil 4.18'de görülmektedir.



Şekil 4.18 : Fayda Değer Kriterleri

Dağıtılan bu ağırlıklar, fayda değer analizinin yapılması esnasında üst kriter kat sayısı ile çarpılarak alt değer ağırlık kriterinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Sistemde yer alan tüm alt kriterlerin değer katsayısı toplamı 1'e eşit olmalıdır. Sistemi değerlendirme işleminde sisteme 1 ile 10 arasında değer puanı verilmektedir. Verilen değerlendirme puanları sistemin alt değer kat sayısı ile çarpılarak alt değer kriterinin ağırlıklı değerlendirmesinin hesaplanmasını sağlar. Çizelge 4.5'te görüldüğü gibi bizim tasarımı yaptığımız sistemler 6,78 ve 4,64 puan almıştır.

Çizelge 4.5 : Fayda Değer Analizi

	Alt Değer Kriterleri	Üst Değer Katsayısı	Alt Değer Katsayısı	Alternatif 1		Alternatif 2	
				Değer	Ağırlıklı Değer	Değer	Ağırlıklı Değer
Fonksiyonellik	Düşük sistem karmaşıklığı	0.4	0.16	8	1.28	4	0.64
	Filament geçişleri arası süre	0.4	0.1	9	0.9	4	0.4
	Filamenti kaydırmadan sürmesi	0.4	0.08	5	0.4	7	0.56
	Sistemin kapladığı hacim	0.4	0.06	7	0.42	5	0.3
Maliyet	Standart parça kullanımı	0.4	0.08	7	0.56	3	0.24
	Parça sayısı	0.4	0.1	7	0.7	4	0.4
	Montaj kolaylığı	0.4	0.06	6	0.36	4	0.24
	İmalat maliyeti	0.4	0.1	4	0.4	7	0.7
	Personel maliyeti	0.4	0.06	6	0.36	6	0.36
Güvenlik	Sistem güvenliği	0.2	0.12	7	0.84	4	0.48
	Kullanıcı güvenliği	0.2	0.08	7	0.56	4	0.32
Toplam			1	6.78		4.64	

5. NİCELİKSEL TASARIM

Yapılan fayda değer analizinde diğer alternatife göre yüksek puan alan alternatif 1'in niceliksel tasarımı yapılması ve üretilmesine karar verilmiştir. Sistemin step motoru, fonksiyonu gerçekleştiren mekanizması ve filament ezici dişlisi alternatif tasarım esnasında karar verilmiştir. Bu bölümde tasarım diğer kısımları yerleşimler ve bu parçaları taşıyacak gövde tasarımı maliyet, montaj ve üretim kolaylığı göz önünde tutularak yapılacaktır.

Sistemin niceliksel tasarımı karar verilmiş ve kullanılması zorunlu olan parçalardan dışarıya doğru olacak şekilde tümevarım prensibi kullanılarak yapılmaktadır. Tasarım oluşturulduktan sonra parçalar montaj ve imalat açısından tekrar incelenmiş ve gerekli görülen kısımları revize edilerek son halini almıştır.

5.1 Step Motor

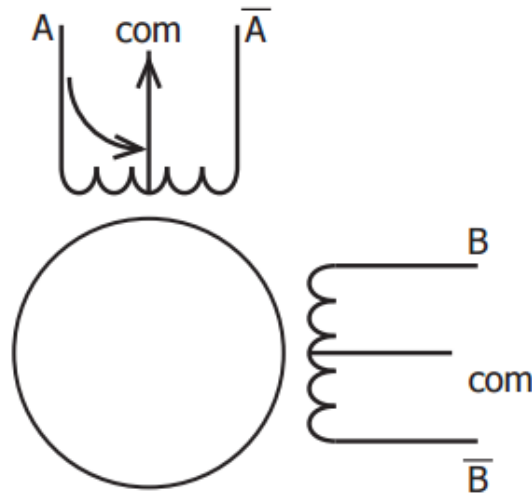
Tasarıma başlarken ilk olarak tüm ekstruder sisteminin üzerine kurulduğu step motor seçimi yapılması gerekmektedir. Step motor seçimi yapmadan önce step motoru tanımak yapacağımız seçimleri daha bilinçli yapabilmemiz açısından önem arz etmektedir.^[12]

Step motorlarda kullanılan terminoloji terimleri;

- Adım (Sinyal) : Bir sinyal ile step motorun gittiği mesafedir. Step motora bağlı olarak bir sinyal ile $1,8^\circ$ tam adım veya $0,9^\circ$ yarım adım ilerleyebilmektedir.
- Adım/Saniye (Hz) : Step veya sinyal türünden dönüş hızı.
- Mikro Adım : Tam bir adımın küçük adımlara bölünmesi işlemine mikro adım denmektedir. Eğer motor bir adımda $1,8^\circ$ dönüyorsa ve bu mikro adım 32 parçaya bölünmüş ise motorun mikro adımı $1,8^\circ / 32 = 0,05625^\circ$ olmaktadır.

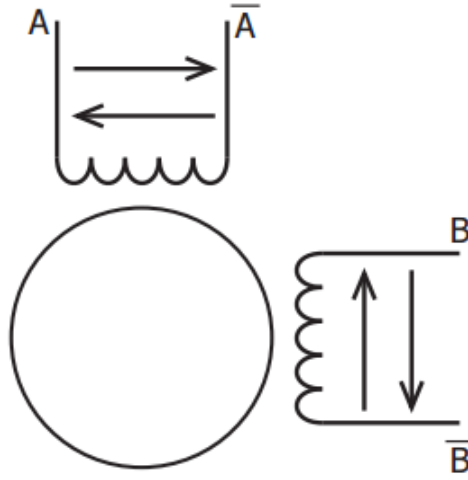
- Tork : Dönme kuvveti ölçü birimidir.
- İndüktans : Motor bobinleri üzerinden birim zamandaki elektrik akımı miktarıdır.
- Direnç : Elektrik akımının akışını düşüren dirençtir.

Tek kutuplu step motorlar altı kablo çıkışına sahip motorlardır. Motorlar altı kablo çıkışına ek olarak iki ek kablo çıkışına daha sahip olabilmektedir. Tek kutuplu step motorlar çalışması esnasında akım sürekli olarak kablolar içinde tek yönde akmaktadır. Akımın sürekli olarak tek yönde akması motorun çalışarak ürettiği ısıyı azaltırken motorun ürettiği torku düşürmektedir. Tek kutuplu step motorun sargıları şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1 : Tek Kutuplu Step Motor Sargıları

Çift kutuplu step motorlarda elektrik akışı tek kutuplu step motordan farklı olarak sürekli olarak çift taraflı akmaktadır. Sürekli olarak çift taraflı akmaları motorun etkinliğini % 40 oranında arttırmaktadır. Akımın sürekli olarak çift taraflı akması motorun çalışma sırasında ısınmasına neden olmaktadır. Çift kutuplu motorların sargısında tek kutuplu motorlarda görülen com sargı kısmı yoktur. Çift kutuplu step motorların sargı şekli 5.2'de görülmektedir.



Şekil 5.2 : Çift Kutuplu Step Motor Sargıları

Şekil 5.1 ve 5.2 dikkatli olarak incelenir tek kutuplu step motorun sargıları ile çift kutuplu step motorun sargıları arasında ki tek fark com çıkışlarıdır. Tek kutuplu motorun bağlantılarının yapılması sırasında com çıkışları iptal edilerek kabloların birbirine bağlanması durumunda tek kutuplu step motor çift kutuplu olarak da kullanılabilir. Alınacak motorun güç açısından çift kutuplu olmasına karar verilmiştir fakat tek kutuplu motorun çift kutuplu olarak davranabilmesi ve prototip modelde tek kutuplunun çalışması da görülmek istendiği için prototip model tek kutuplu motor alınarak yapılması kararına varılmıştır.

Yapılan literatür ve benchmark çalışmalarında step motor torku 3 Kg.cm'in üzerinde olması kararına varılmıştır. İlk prototip üretimi için 200 adımlık bir step motorun yeterli geleceği düşünülmüştür. İlk denemelerin 200 step motor ile yapılması en kötü çözünürlüğü görebilmek açısından faydalı olacağına inanılmaktadır. Bu kriterlere göre step motor aradığımızda ihtiyacımızı gören SY42STH47-1206a step motorunun alınmasına karar verilmiştir. Step motorun önüne sabit bir şekilde rulman geçirilmesi düşünüldüğü için D formlu step motor tercihi montaj işlemini kolaylaştırmasının yanı sıra rulmanın milin üzerinde kayma yapması durumunun da önüne geçecektir. Prototip üretimi için alınan step motor şekil 5.3'te görülmektedir.



Şekil 5.3 : Prototip Model İçin Alınan Step Motor

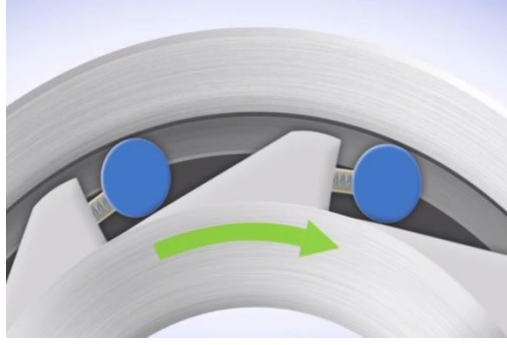
5.1.1 Tek yönlü bilyeli rulman ve step motor bağlantısı

Tek yönlü bilyeli rulmanlar iki yöne dönme esnasında farklı karakter gösteren rulman çeşididir. Rulman, bir yöne standart rulmanlar gibi yataklayarak dönme direncini düşürürken diğer yönde ise kavrama şeklinde çalışarak dönmeye izin vermemektedir. Rulmanın şekil 5.4'teki iç yapısını incelersek ön ve arka kısmına iki adet bilyeli rulmanlar yerleştirildiğini görmekteyiz. Rulmanımız bu rulmanlar sayesinde klasik rulman gibi çalışabilmektedir. Rulmanın kilitleme işini ise orta kısmına yerleştirilen yaylı mekanizma yapmaktadır.

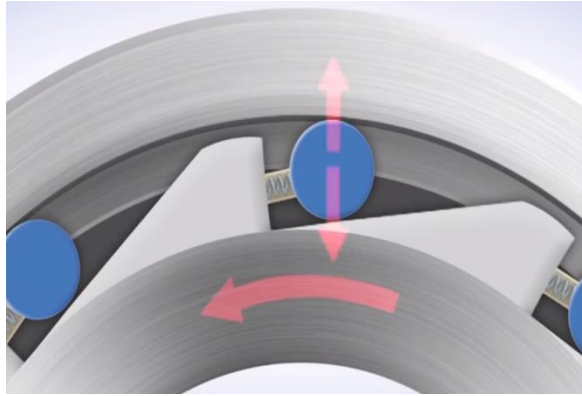


Şekil 5.4 : Tek Yönlü Bilyeli Rulman [13]

Orta kısmına yerleştirilen ve yay kuvveti ile geri doğru çekilen silindirler normal dönme esnasında geride durarak şekil 5.5'te görüldüğü gibi dönme işlemini engellememektedir. Fakat rulmanın ters yöne doğru dönmesi esnasında dönme hareketinin etkisiyle normal konumlarından uzaklaşarak rampayı çıkmakta ve şekil 5.6'da görüldüğü gibi iç yüzey ile dış yüzeyler arasına sıkışarak dönme hareketini kilitlemektedir.



Şekil 5.5 : Tek Yönlü Rulmanın Serbest Yönde Çalışması [13]



Şekil 5.6 : Tek Yönlü Rulmanın Ters Yönde Dönerek Kilitlenmesi

Tek yönlü rulmanın seçiminde mümkün olan en küçük rulmanı kullanmamız üretim hassasiyet ve motorun gerektirdiği güç miktarının düşük olması açısından önem arz etmektedir. Tek yönlü bilyalı rulman kataloguna baktığımızda çizelge 5.1'de de görüldüğü gibi en küçük kullanabileceğimiz rulman CSK 8'dir. CSK8 rulmanın özelliklerini incelediğimizde maksimum çalışma hızını 15000 dev/dak olarak göstermektedir. En hızlı çalışan step motorlarda bile 1200 dev/dak dönebildiği için maksimum çalışma hızı bizim için uygundur. Motorun rulman yüklerini incelersek bizim motorumuzun tork kuvveti 3,2 Kg.cm'dir. Yaptığımız ön tasarımlarda motorumuzun üzerine geçireceğimiz filament ezici dişlinin dış çapı 30 mm olarak ön görülmektedir.

$3,2 \text{ Kg.cm} / 3 = 1,067 \text{ kg}$ yüke tekabül etmektedir.

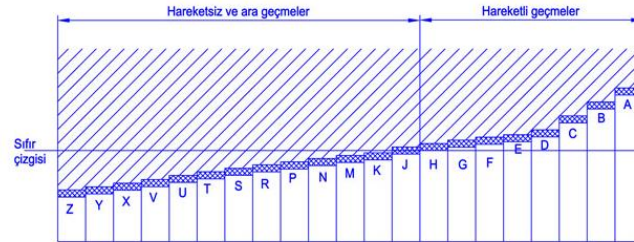
Sistemimizin dinamik yükü 1,067 Kg'dır, CSK 8'in dinamik olarak taşıyabildiği yük ise 738 lb = 334,75 Kg'dır. Yani bizim çalışma koşullarımız kullandığımız rulmanın sınır koşullarının çok altında kalmaktadır.

CSK 8'in özelliklerine baktığımızda iç çapının 8 mm olması rulman ve step motor arasına bir burç koymamız gerektiğini göstermektedir. Araya koyacağımız burcun iç tarafının D formuna sahip olması ve çapının 5 mm ve H7/k6 toleransına ara geçmesi gerekmektedir.^[15] Ara geçmesinin sebebi yükün dönüş yönünde taşınacağı için dönme momenti D formundaki şekil bağı ile taşınacaktır. Ayrıca burcun fazla sıkı takılması esnasında step motora zarar verilmesi ihtimali vardır. Burcun dış tarafı ise CSK 8 rulmanına sıkı şekilde takılması gerekmektedir. Şekil 5.7'yi kullandığımızda R6/h5 pres geçmesine karar verilmiştir.^[15]

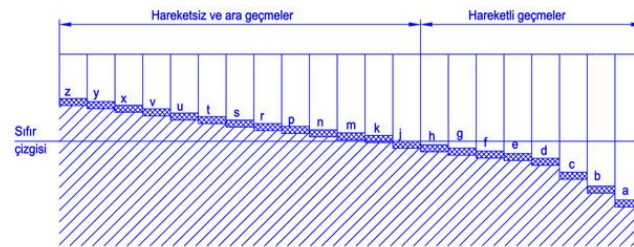
Model	İç Çap DH7 in./mm	Tork lb. ft.	Maksimum Çalışma Hızı RPM	Genişlik in./mm	Dış Çap Dh5 in./mm	Rulman Yükleri	
						Dinamik lb.	Statik lb.
CSK 8	.31 / 8	2.6	15,000	.35/9	.87/22	738	193.5
CSK 12	.47 / 12	8.8	10,000	.39/10	1.26/32	1372.5	623.25
CSK 15	.59 / 15	14.7	8,400	.43/11	1.38/35	1665	769.5
CSK 17	.67 / 17	30	7,350	.47/12	1.57/40	1777.5	855
CSK 20	.79/20	50	6,000	.55/14	1.85/47	2115	1003.5
CSK 25	.98/25	77	5,200	.59/15	2.05/52	2407.5	1228.5
CSK 30	1.18/30	133	4,200	.63/16	2.44/62	2632.5	1451.25
CSK 35	1.38/35	177	3,600	.67/17	2.83/72	2835	1639
1.57/40	1.57/40	284	3,000	.87/22	3.15/80	3496.5	2756.25

Çizelge 5.1 : Tek Yönlü Rulman Katalogu [14]

Deliklerde Geçmeler



Millerde Geçmeler



Şekil 5.7 : Deliklerde ve Millerde Geçme Toleransları [15]

5.1.2 Karşılık merdanesi ve gövdeye yerleşimi

Filamentin filament ezici dişli tarafından ezilebilmesi için filamentin dişliye doğru bastırılması gerekmektedir. Fakat filamentin kaydırma yapmadan sürülebilmesi için yapılan bastırma kuvvetinin aynı zamanda filamentin hareketini zorlaştırmaması gerekmektedir. Bu nedenle filamenti sıkıştırma işlemi ezici dişlinin karşısına yerleştirilen bir rulman ile yapılmaktadır. Taşınan yüklerin küçük olması ve rulmanın ekstruder içerisinde fazla yer kaplamaması amacıyla burada 623 ZZ rulmanı seçilmiştir. Rulman şekil 5.8'de görül VXB marka olup iç çapı 3 mm, dış çapı 10 mm ve genişliğide 10 mm'dir. Rulmanın daha sonra yağlanması vb. bakım işlemleri gerekmemesi için çift tarafı kapatılmış rulman seçilmiştir. Rulmanın saç yüzeye tutturulması işlemi 3 mm çapta pim ile gerçekleştirilmektedir. Pimin rulman tarafında rulmanın iç bileziğine temas eden bir kademe çizilmiştir. Kademe sayesinde üst bileziğin sürtebileceği bir yüzey engellenmiştir. Rulman, çapı 3 mm olan pime boşluklu geçmekte daha sonra çekiç ile vurularak pimin çapı şişirilmektedir. Pimin çapı şiştikten sonra dış kısımda rulmanın dış bileziğini saracak şekilde şişmekte ve rulmanın geri çıkması engellenmektedir. Pimin arka kısmı da tasarlanacak gövdeye sıkı olarak geçirilecek böylece bağlantı parçalarına verilecek ekstra bir ücret olmayacaktır.



Şekil 5.8 : VXB Marka 623ZZ Rulman

5.1.3 Filament yatağı

Ekstrudere takılacak olan filamentin, sapmadan filament ezici dişli ve merdane arasına gitmesini sağlamaktadır. Filamentin takılması esnasında yataklar arasına kolayca takılabilmesi, çalışma esnasında karşılık merdanesi ve filament ezici dişli

arasından çıkmasını engellemektedir. Filament yatağının iyi yataklaması için iki önemli husus vardır. Bunlardan ilki filamentin dış çapı ile filament yatağının çapı arasındaki fark büyük olmamalıdır. Çap farkı artması filamentin kanal içinde eğilebilmesine sebep olmakta ve kanal çıkışında filamentin sapma mesafesini arttırmaktadır. Bir diğer husus ise filament yatağının çıkışını mümkün olduğunca filament ezici ve karşılık dişli arasında sıkıştığı noktaya yakın yapmaktır. Mesafenin yaklaşması filamentin sapma miktarını azaltmaktadır.

5.1.4 Filament ezici dişli

Filament ezici dişli olarak bölüm 4.5.1'de bahsi geçen A tipi filament ezici dişli kullanılmasına karar verilmişti. Fakat tek step motor ile çift filament sürme mekanizması olarak kullanılacak olan CSK 8 rulmanın ara bir parçaya ihtiyaç duyulmadan çalışabilmesi için filament ezici dişlinin CSK 8 rulmanın dışına giydirilmesi kararı verilmiştir. Bu nedenle diş yapısı sayesinde filamentin kaymasını engelleyen A tipinin dış formu CSK 8'e giydirilecek dış dişliye giydirilmektedir. Yapılan bu tasarım ile dış tarafa giydirilecek dişlinin tahmini çapı ilk çalışmalarda ve bölüm 5.1.1'de belirtildiği gibi 30 mm olarak yapılması hedeflenmiştir. Çapın 30 mm hedeflenmesinin sebebi CSK 8 rulmanın dış çapının 22 mm olmasıdır. Dairesel olarak çalıştığımız için malzeme kalınlığı bu iki mesafenin yarısı olan 4 mm'ye düşmektedir. Yapılan hesaplamalar A tipi dişlinin benzerinin bu çapta uygulandığında 1.7 mm mesafe kalınlıkta olması gerektiğini göstermiştir. Sıkı geçme yapılacağı için parçanın mukavim olması içinde dişlinin taban kalınlığında 2 mm olması kararı verilmiştir. Böylelikle 29,4 mm çapında bir filament ezici dişli tasarımı yapılmıştır.

5.1.5 Sıcak son

Sıcak son ekstruder sisteminin en can alıcı noktasıdır. Sıcak sonun çalışması esnasında sıcaklığın filament yüzeyinden içeriye doğru nasıl iletildiği, sıcak sondaki sıcaklık dağılımı, filamentin sıcaklığının artmasıyla iç yüzeydeki sürtünme kat sayısının artması ve filamentin iten kuvvetler gibi birçok konuyu içermektedir ve kendi başına bir tez konusu olabilecek içeriktedir. Bu nedenle bizim tezimizde ekstruder yapısının bu kısmı incelenmemiş ve hem ABS hem de PLA malzemelerini

eritebilecek yani 260°C'ye kadar filamenti ısıtabilecek hazır bir komponent alınmıştır.

5.1.6 Fan

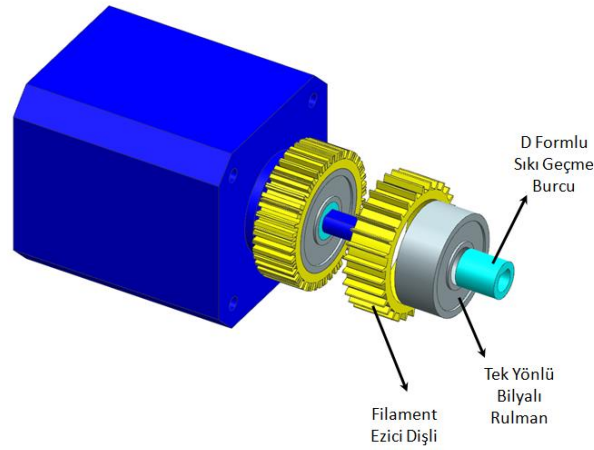
Filamentin sıcak sona girmeden ergimesini önlemek için sıcak sonun giriş kısmındaki ısının havaya aktarılması amacıyla fan konulması kararına varılmıştır. Fanın direk bağlanması gövdede titreşim problemlerine neden olacağı için fanın gövde sacına temas edeceği bölgelere titreşim sönümleyici malzeme koyma kararı verilmiştir. Fanın soğutacağı bölgenin küçük olması fanın seçimindeki öncelikli kriter olarak alınmıştır. Bunun sebebi filamentin sıcak son girişinde ergimesi durumu uzun süre çalışan ekstruderler parçaların zamanla ısınması ve doğal akışın ısıyı atmasında yeterli olmamasından kaynaklanmaktadır. İki filament arası mesafe fanın ölçülerinin belirlenmesinde kriter olarak alınmıştır. Hatırlanacağı üzere filament ezici dişlerin çapı 30 mm'ydi. Sınır limiti olarak bu kısıt alınarak fanın çapının 35 mm olması kararı verilmiştir. Boyutsal kriterlere uygunluğundan dolayı Sunon MC35100V1-000U-A99 model fan kullanılmasına karar verilmiştir.

5.1.7 Gövde tasarımı

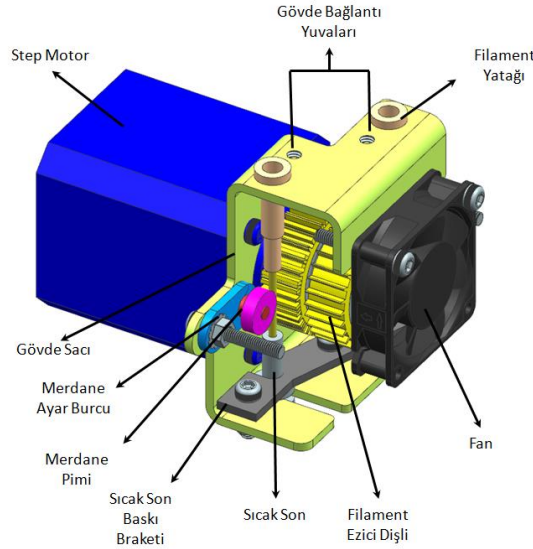
Gövde tasarımı yukarıda bahsedilen tüm komponentlerin mümkün mertebede ekstra bir bağlantı elemanı kullanılmadan sabitlenebileceği şekilde yapılmaya karar verilmiştir. Gövdenin saçtan yapılması iç taraftaki parçaların daha kolay soğumasını sağlayacak, gövdenin rijitliğini arttıracak ve gövdenin sıcaklıktan etkilenerek şekil değiştirmesinin önüne geçilecektir. Gövdeden beklenen özellikleri listelersek;

1. Step motor üzerinde kendini merkezleyebilmesi
2. Karşılık merdanelerinin filamenti sıkıştıracak doğru lokasyonda olmasını sağlaması ve üzerinde filamentin hareket ederek sabitleneceği yatakların bulunması
3. Filament yataklarının takılacağı girişlerin olması
4. Sıcak sonun gövde sacına takılabilmesi
5. Gövdenin yazıcının ekstruder kısmına bağlantısının sağlanabileceği yuvasının olması
6. Gövdenin filamentin sıcak sona girmeden ergimesini önleyecek fanın bağlanacağı yuvaya sahip olması

Ekstruder tasarımı yukarıda beklenen özellikleri sağlayacak şekilde çizimleri yapılmıştır. Step motorun üzerine filament ezici dişli ve rulmanın yerleşimi şekil 5.9'da görülmektedir. Sıcak sonun yakınına atılacak bir bağlantı elemanı ile bağlanması ısı genleşmeleri dolayısıyla zamanla gevşeyecektir. Bu problemin engellenmesi için sıcak son iki saç arasında sıkıştırılacak ve sıcak sona uzak noktalardan sabitlenecektir. Böylelikle sıcak sonun oluşturduğu sıcaklık farkı azaltılmaya çalışılacaktır. Yapılan çalışmalar sonucu tasarımı yapılan gövde sacı ve diğer parçaların üzerine bağlanmış hali şekil 5.10'da görülmektedir.



Şekil 5.9 : Step Motor Rulman Montajı



Şekil 5.10 : Alternatif 1 Prototip Modeli

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez kapsamında, kullanıcıların destek yapısı ve renkli çıktılar alabilmek için çoklu filament süren ekstruderlere ihtiyaç duyduğu fakat çoklu filament süren ekstruderlerin çalışma esnasında sorun çıkarması ve fiyatlarının yüksek olması problemlerine çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Bu problemlere çözüm getirebileceği düşünülen tek step motor ile çoklu filament sürebilen bir ekstruder konstrüksiyonu üzerine çalışılmıştır.

Çalışmaya başlamadan önce mevcut sistemler, patentler ve literatür araştırması yapılmıştır. Bununla birlikte önceden tasarımı yapılmış olan ekstruder tasarımları, ekstruderlerin parçaları ve çalışma prensiplerinden bahsedilmiştir. Yapılan araştırmalarda ürünler ve patentler incelenerek bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Araştırmalar sonucunda çift filamentli tek step motor ile süren sistemler bulunmuş fakat aktif pasif geçişi başka motor vb. tahrik elemanı ile yapıldığı için benzer bir sisteme rastlanmamıştır.

Tasarım metodolojisi olarak sistematik konstrüksiyon ilkeleri benimsenmiştir. İlk aşamada ürünlerin kullanılmasında yaşanan problemler, benchmark ürünüde görülen eksiklikler ve konu hakkındaki uzman kişilerin görüşleri alınarak istekler listesi hazırlanmıştır. Bulunan çözümler istekler listesini karşılama oranına göre puanlanarak en iyi alternatif seçilmiştir. Sistematik konstrüksiyon ilkelerinin benimsenmesi sonuca sistematik ve emin adımlarla ilerleme sağlanmıştır.

Tasarlanan sistemin prototip modeli üretilmiştir. Tasarım belki de ileride üretimi yapılması söz konusu olduğu için tasarım üretime uygun hale getirilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda kullanılan parçaların standart olmasına özen gösterilmiş, üretimi ve montajı zor olan parçalardan kaçınılmaya çalışılmış ve kullanılacak komponent sayısı azaltılmaya çalışılarak maliyet, stok ve lojistik açıdan artı değerler elde edilmeye çalışılmıştır.

Tasarım sürecinde, benchmark ürünler, mevcut sistemler ve literatür değerleri baz alınarak malzeme ve komponent seçimleri yapılmıştır. Üretilen prototip ile yapılan denemelerde sistem sorunsuz olarak çalıştığı görülmektedir. Fakat sistemin uzun süre çalışması esnasında göstereceği davranışlar ve alınan komponentlerin değerlerinin yeterliliği yapılacak olan uzun süreli testler ve sınır şartların zorlandığı denemeler sonucunda ortaya çıkacaktır.

Yapılacak olan testler ve denemeler sonucunda gerekli değişiklikler yapılarak tasarımı yapılan ekstruder üretime hazır bir ürün haline gelmektedir. Ürünün standart 3D yazıcılara takılması durumunda mevcut tek filament yazıcılarını iki filament süren 3D yazıcıya çeviren bu ürün tüm 3D yazıcılara entegre edilebilmesi özelliğiyle markanın sektörde tanınmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Url-1**, <http://en.wikipedia.org/wiki/Chuck_Hull>, alındığı tarih 11.04.2015
- [2] **Url-2**, <http://en.wikipedia.org/wiki/S._Scott_Crump>, alındığı tarih 11.04.2015
- [3] **Url-3**, <[http://en.wikipedia.org/wiki/STL_\(file_format\)](http://en.wikipedia.org/wiki/STL_(file_format))>, alındığı tarih 11.04.2015
- [4] **Url-4**, <http://worldwide.espacenet.com/searchResults?submitted=true&locale=en_EP&DB=EPODOC&ST=advanced&TI=&AB=&PN=&AP=&PR=>, alındığı tarih 11.04.2015
- [5] **Url-5**, <http://www.utwente.nl/ctw/opm/research/design_engineering/rm/RM%20processes/>, alındığı tarih 11.04.2015
- [6] **Url-6**, <<http://en.wikipedia.org/wiki/Photopolymer>>, alındığı tarih 11.04.2015
- [7] **Url-7**, <http://tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.555b00933cc523.94055224 >, alındığı tarih 11.04.2015
- [8] **Url-8**, <http://www.guven-kutay.ch/konstruksiyon/30_01_ks_odevin-analizi.pdf>, alındığı tarih 11.04.2015
- [9] Konstrüksiyon Sistematiği Ders Notları, 2013.
- [10] **Url-9**, < http://www.guven-kutay.ch/konstruksiyon/30_02_ks_fonksiyon-analizi.pdf >, alındığı tarih 11.04.2015
- [11] **Url-10**, <<http://airtripper.com/1676/3d-printer-extruder-filament-drive-gear-review-benchmark/>>, alındığı tarih 11.04.2015
- [12] **Url-11**, <http://www.linengineering.com/contents/stepmotors/pdf/Product_Guides/Lin_RG_StepMotorBasics.pdf >, alındığı tarih 11.04.2015
- [13] **Url-12**, <<https://www.youtube.com/watch?v=QjR7dimpSJA>>, alındığı tarih 11.04.2015
- [14] **Url-13**, <<http://www.marland.com/Products-Sprag-CSK-Series-One-Way-Bearings.asp> >, alındığı tarih 11.04.2015
- [15] **Url-14**, <http://www.aksan-tm.com/makale/delik_mil_toleranslari.php>, alındığı tarih 11.04.2015

EKLER

EK A: Motor Spesifikasyon Verisi

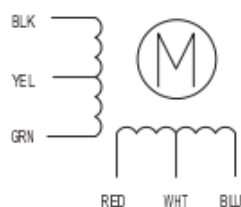
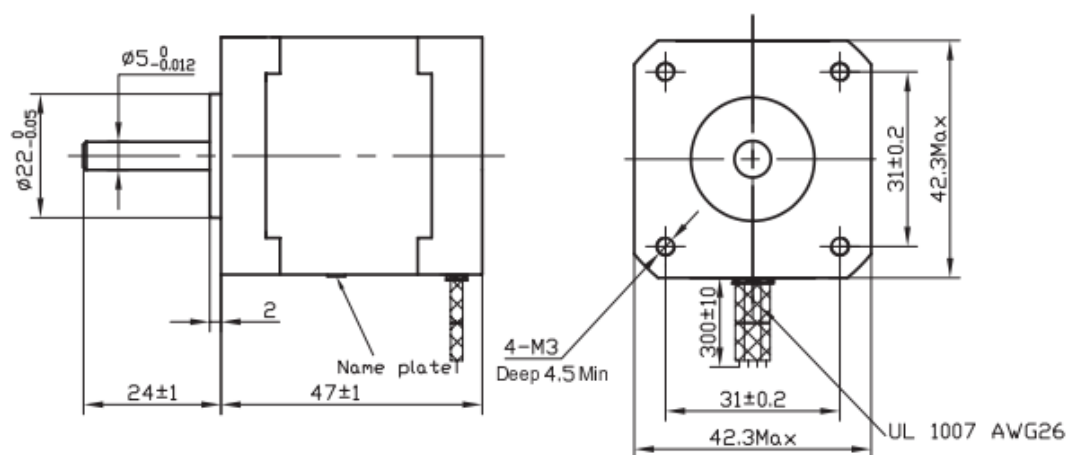
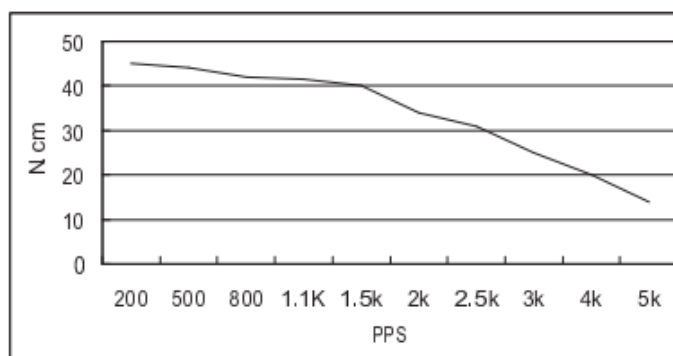
HIGH TORQUE HYBRID STEPPING MOTOR SPECIFICATIONS

General specifications		Electrical specifications	
Step Angle (°)	1.8	Rated Voltage (V)	4
Temperature Rise (°C)	80 Max (rated current, 2 phase on)	Rated Current (A)	1.2
Ambient temperature (°C)	-20 ~ +50	Resistance Per Phase ($\pm 10\%$)	3.3 (25°C)
Number of Phase	2	Inductance Per Phase ($\pm 20\%$ mH)	2.8
Insulation Resistance	100M Ω , Min (500VDC)	Holding Torque (Kg.cm)	3.17
Insulation Class	Class B	Detent Torque (g.cm)	200
Max. radial force (N)	28 (20 mm from the flange)	Rotor Inertia (g.cm ²)	68
Max. axial force (N)	10	Weight (Kg)	0.365

● Pull out torque curve:

VOLTAGE: 24VDC, CONSTANT CURRENT: 1.2A, HALF STEP

● Wiring Diagram:

● Dimensions:
(unit=mm)

					SY42STH47-1206A	TECHNICAL CONDITIONS
REV	REVISIONS	DESCRIPTION	BY	DATE		
DRAW	任飞	2010.06.29			CHANGZHOU SONGYANG MACHINERY & ELECTRONICS NEW TECHNIC INSTITUTE	060047000
CHECK						
APPROVE						

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Kemal OKTAY

Doğum Yeri ve Tarihi : İzmir-1990

E-Posta : kemaloktay@live.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Konstrüksiyon Programı