

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK MALZEMELERİN YÜZEY KALİTESİNİ ARTIRMAK İÇİN YÜZEY
AŞINDIRMA CİHAZININ GELİŞTİRİLMESİ

Onur KESKİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mekatronik Mühendisliği

Yüksek Lisans Programı

Danışman

Doç. Dr. Hüseyin ÜVET

Haziran, 2021

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PLASTİK MALZEMELERİN YÜZEY KALİTESİNİ ARTIRMAK İÇİN YÜZEY
AŞINDIRMA CİHAZININ GELİŞTİRİLMESİ**

Onur KESKİN tarafından hazırlanan tez çalışması 10.12.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Hüseyin ÜVET
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Hüseyin ÜVET, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Kadir ERKAN, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Enes ORUÇ, Üye

Gebze Teknik Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Hüseyin ÜVET sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Plastik Malzemelerin Yüzey Kalitesini Artırmak İçin Yüzey Aşındırma Cihazının Geliştirilmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Onur KESKİN

İmza



Bu çalışma, TÜBİTAK TEYDEB 1501 Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı 3191725 numaralı projesi ile desteklenmiştir.



*Aileme,
Tridi Teknoloji AŞ ekibine,
ve
Doç. Dr. Hüseyin ÜVET'e
Teşekkürlerimle.*

TEŐEKKÜR

Çalışmalar sırasında emeklerini esirgemeyen ve her türlü desteği veren Doç. Dr. Hüseyin ÜVET'e, prototipin hayata geçirilmesinde maddi ve manevi destek olan Tridi Teknoloji ailesine ve hayatım boyunca yanımda olan, beni bugünlere getiren sevgili Anne ve Babama sonsuz teşekkürlerimle...

Onur KESKİN



ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	x
HARİTA LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Solvent – Polimer Etkileşimi	6
1.4 3 Boyutlu Yazıcı Teknolojileri	10
1.5 3 Boyutlu Yazıcı Pazar Büyüklüğü	12
1.6 3 Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Malzeme Çeşitleri	15
1.7 Sanayi Kuruluş Altyapısı	18
2 CİHAZIN MEKANİK TASARIM VE ANALİZİ	20
2.1 Mekanik Tasarım	24
2.2 Ana Gövde Tasarımı	24
2.3 İzole Oda Tasarımı	26
2.4 Gaz Nozülü Tasarımı	28
2.5 Aseton Tankı ve Ultrasonik Modül	30
3 ELEKTRİK – ELEKTRONİK SİSTEM DİZAYNI	31
3.1 Elektrik – Elektronik Tasarım	31
3.2 Elektronik Ekipmanlar	33
4 SİSTEM ENTEGRASYONU	45
4.1 Çalışma Prensibi	45
5 SİSTEMİN TEST ÇIKTILARI VE DEĞERLENDİRME	52
5.1 Test Düzenekleri ve Sonuçlar	52
5.2 Sonuçların Değerlendirilmesi	54
KAYNAKÇA	61
A ERASMUS	62
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	63

SİMGE LİSTESİ

R_a	Yüzey Pürüzlülük Değeri
μm	Mikron
Δd_{ham}	Ham Hali Yüzey Mesafe Farkı
SH_{ham}	Ham Hali Sertlik Değeri



KISALTMA LİSTESİ

FDM	Fused Deposition Modelling
FFF	Fused Filament Fabrication
ABS	Akrilonitril Bütadiyen Stiren
ASTM	American Society for Testing and Materials
SLA	Stereolitografi
DLP	Digital Light Processing
SLS	Selective Laser Sintering
MJF	Multi Jet Fusion
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
UV	Ultraviyole
PET	Polietilen Tereftalat
PLA	Poli Laktik Asit
CFM	Cubic Feet Per Minute





Plastik Malzemelerin Yüzey Kalitesini Artırmak İçin Yüzey Aşındırma Cihazının Geliştirilmesi

Onur KESKİN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin ÜVET

Günümüzde oldukça yaygın bir kullanım alanına sahip olan 3D yazıcıların gelecekte üretim alanındaki popülaritesinin artması beklenmektedir. Üretim yapısı gereği eklemeli üretim teknolojisine sahip olan 3 boyutlu prototipleme cihazları, nihai kullanım ürünleri açısından halen geliştirilmeye ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışmada, 3D yazıcılarla üretilen ABS malzemeli ürünlerin yüzeylerindeki katman izlerinin kimyasal solvent ile fiziksel olarak aşındırılmasıyla daha iyi bir yüzeyin nasıl elde edileceği anlatılmaktadır. Makinenin elektronik ve mekanik aksamları tez içerisinde detaylı olarak anlatılmıştır. Sistemin en uygun şekilde çalışabilmesi için mekanik sistem ile sensör ekipmanları farklı alternatifler geliştirilerek tasarlanmıştır. Bu cihaz yardımıyla kimyasal aşındırıcı kullanılarak farklı parametrelerdeki ayarlarla yüzeydeki değişimin etkisi gözlemlenmiştir. Sıcaklık, basınç ve zaman parametrelerine bağlı olarak 3D yazıcılar ile üretilen ürünlerin yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki farklar da vurgulanmıştır. Bu çalışma ile farklı sektörlerde prototipleme için kullanılan 3D yazıcıların dezavantajları azaltılarak yüzey pürüzlülük değerinin kontrollü olarak azaltılması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3 boyutlu yazıcı, yüzey iyileştirme, kimyasal solvent, makine imalat.



Development of Surface Abrasion to Improve The Surface Quality of Plastic Materials

Onur KESKİN

Department of Machine Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin ÜVET

It is expected that the popularity of 3D printers, which has a very common usage area today, in the field of production will increase in the future. 3D prototyping devices, which have additive manufacturing technology due to their production structure, still need to be developed in terms of end-use products. In this study, it is explained how to obtain a better surface by physically etching the layer traces on the surfaces of ABS material products produced with 3D printers with chemical solvent. The electronic and mechanical parts of the machine are explained in detail in the thesis. In order for the system to work in the most appropriate way, the mechanical system and the sensor equipment have been designed by developing different alternatives. With the help of this device, the effect of the change in the surface was observed by using chemical abrasives with different parameters. The differences between the surface roughness values of the products produced with 3D printers depending on the temperature, pressure and time parameters are also emphasized. With this study, it is aimed to reduce the surface roughness value in a controlled manner by reducing the disadvantages of 3D printers used for prototyping in different sectors.

Keywords: 3D printing, surface improvement, chemical solvent, machine manufacturing.



1.1 Literatür Özeti

Yüzey iyileştirme çalışmalarının temeli oldukça köklü olup, farklı sektör ve uygulamalarda üzerinde yayınların ve patentlerin bulunduğu bir konudur. Üretim teknolojilerinde, çıkan ürünlerin yüzeylerinin iyileştirilmesi ve pürüzsüz hale getirilmesi malzeme ve solventlerin gelişmesiyle giderek artmıştır. 1998 yılında uluslararası patent konusu olarak "Method of finishing plastic surfaces"[1] polimer bazlı plastiklerin yüzeylerinin kurutularak ve homojen hale getirilerek, hem kaplanabilmesi hem de boyanabilmesi ile alakalıdır.

1978 yılında yayınlanan bir çalışmada, Refinishing Of The Surfaces Of Bodies Of A Thermoplastic Resin, akrilo-bütadien-stiren (ABS) polimer malzeme yüzeyini, yüzeye bir kaplama malzemesi uygulayarak ve gövdeyi bir çözücü ile işleyerek yenileme çalışmasından bahsedilmektedir [2]. Temel çalışma prensibi itibari ile benzer ilk çalışma olup yüzey parlatma ve pürüzsüzleştirme ile ilgili bir yayındır.

2003 yılında yayınlanan bir patent çalışmasında, Smoothing Method For Layered Deposition Modeling, bir katmanlı imalat hızlı prototipleme tekniği kullanılarak bir polimerik malzemeden basılmış bir nesnenin yüzeyini pürüzsüzleştirmek için bir yöntemdir. Model 3 boyutlu yazıcıdan basıldıktan sonra, parça yüzeyinin yeniden akması için aşındırma süresi boyunca bir buharlaştırıcıda olduğu gibi buharlaştırılmış bir solvante maruz bırakılır [3]. Bu çalışma benzerlik açısından bu tez çalışmasındaki örneklere benzer olup, söz konusu patente ek olarak kontrollü geri besleme mekanizması ve parçaya göre değişen modlara göre farklılıklar göstermektedir

2015 yılında yapılan bir başka uygulamada ise, Vapor Infusion System, bu çalışmada, plastik parçaların ve özellikle hızlı prototipleme makineleri ile yapılan parçaların yüzeylerinin düzleştirilmesi ve aynı zamanda mukavemete olan katkısı için geliştirilmiş bir yüzey iyileştirme prosesi ve cihazıdır [4].

Kimyasal yüzey işlemleri ile mukavemetten ciddi bir kayıp vermeden yüzey pürüzlülüğü azaltılır. Her plastiğe etkiyen solvent farklıdır, deneylerde kullanılan solvent olan aseton, ABS malzemeyi çözmektedir. Aseton solventi, ABS ile üretilen modelin ortalama 0,50 mm derinliğine kadar yüzeyini çözmektedir. İşlem odasının hacmi, işlem süresi, solvent miktarı, sıcaklık ve buhar basıncı bu işlemin parametreleridir. Soğuk aseton yöntemi için; farklı hacimler test edilmekle birlikte, işlem odası hacmi 15 L olarak sabitlenmiştir ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Bu parametreler ile 40 mL solvent için optimum işlem süresi 40 dk olarak bulunmuştur. 1 mm' nin altında kalan kesitler bu parametrelerde kaybedilir, bu modellerde güvenli işlem süresi 25 dk' dır. Sıcak aseton yöntemi için; aynı parametreler kullanılarak işlem sıcaklığı 55C dereceye yükseltilmiştir. İşlem süresi 10 dk' ya düşmüş fakat model yüzeyinde baloncuklanmalar görülmüştür. Son olarak ultrasonik buhar yöntemi test edilmiştir. Bu yöntemde sıvı aseton ultrasonik dalgalar ile sis haline getirilmiş ve işlem odasına oda sıcaklığında aktarılmıştır. Bu yöntem işlem süresini kısaltırken modele zarar vermemektedir. Süreç boyunca elde edilen hata bulguları şu şekildedir; 2 mm altında duvar kalınlığına sahip modellerde geometrik çarpılma meydana gelmektedir. 1 mm altındaki kesitler tamamen çözünüp kaybolmaktadır [6]. ABS malzemenin doğrudan aseton ile yıkanması kısa sürede problem yaratmazken, uzun sürede parçada ciddi zararlara neden olmaktadır. Bu verilere göre ultrasonik dalgalar kullanılarak ve buhar basıncı kontrol altında tutularak işlem yapılabilir.

Günümüz teknoloji ile yapılan plastik kalıp içerisinde aseton buhar banyosu denemeleri incelendiğinde, plastik kalıpta erimelerin olduğu gözlenmiştir. Eriyen plastik kullanılamaz hale geldiği için uygulama doğru bir fikir olarak görülmemiştir. Bu iş için aynı boyutlarda ve şekillerde başka bir sızdırmaz kap bulmak da oldukça zordur.

Yapılan bir diğer deneme ise cam kavanoz içerisinde işlem yapmaktır. Aseton buharıyla yumuşatma için cam kap başlarda iyi gibi gözükse de başarısız olmuştur. Cam kavanoz dayanıklıdır ancak kaba aseton doldurulması gerektiğinde cismin kaptan çıkarılması gerekmektedir. Bir süre aseton buharına maruz kalan nesne yumuşar ve kaptan çıkarmadan önce havalandırmak ve sertleştirmek için bir süre bekletilmeye ihtiyaç duyar. Bu nedenle aseton buhar işlemi için cam kap da uygun olmamaktadır. Bu işlemde bir diğer problem ise parçanın şeklidir. Isıtıcı rezistansın kabın altında bulunması nedeniyle, nesnenin üst

kısmı düzleşene dek alt kısmı aşırıya kaçarak erimektedir. Homojen bir işlem olmaması yüzey pürüzlülüğünü gidermek için uygun olmadığını göstermektedir.

Aseton buharı ile yüzey yumuşatmaya en uygun kabın metal kalıplar olduğu görülmüştür. Yapılan ilk testlerde metal yüzeylere kâğıt havlu asılarak üzeri aseton ile ıslatılmıştır. Bu sayede homojen dağılım elde edilmektedir. Ayrıca tekrar kullanım için de uygundur.

ABS 3D baskılı parçaları işlemek için aseton buhar banyosu, parlak, pürüzsüz yüzeyli parçalar oluşturmanın son derece etkili (ve yalnızca orta derecede tehlikeli) bir yoldur [7]. Modelin aseton buhar banyosuna daldırılması veya modelin yüzeyine fırça ile aseton uygulanması yüzeyin erimesine neden olur. Aseton buharı kullanmak, pürüzsüz ve parlak bir son verirken ayrıntıların korunmasına yardımcı olur. Yüzey yumuşatmanın birkaç yolu vardır:

- Zımparalama
- Boncuk patlatma
- Buhar yumuşatma

Zımparalama işlemi, 3D baskılı yüzeyleri yumuşatmak için kum kullanır. Zımparalama, ürününüzde pürüzsüz bir yüzey elde etmek için ucuz ve kanıtlanmış bir yöntemdir. Ancak, aynı zamanda oldukça ciddi dezavantajları da var. Burada doğruluk ve dayanıklılık anahtardır, zımparalama işleminin ne kadar malzeme çıkaracağını akılda tutmak önemlidir. Bu nedenle, katmanlaşmayı azaltmak ve pürüzsüzlüğü artırmak gerektiğinde zımparalama daha iyi bir seçenek değildir.

Yaygın olarak kullanılan bir diğer bitirme işlemi de boncuk patlatmadır. Katman çizgilerini ortadan kaldırmak için küçük boncuklar nozuldan modele püskürtülür. İşlem hızlıdır ve tamamlanması yaklaşık 5 ila 10 dakika sürer. Parça boyutu bir sorun olmasına rağmen, daha büyük parçalar boncuk patlatma ile bitirilemez. Ayrıca parçaların elle kumlanması gerekir, bu da toplu bitirmeyi çok uzun sürelerde bitirilmesine yol açar.

Buhar yumuşatma yönteminde ise, nesne, kaynama noktasına getirilen sıvı içeren bir buhar tankına daldırılır. Buhar, nesnenin bir kısmını eritir ve pürüzsüz bir yüzey oluşturur.

Basılı parçaların pürüzsüz son halini almanın kolay ve ekonomik yoludur. Buharla yumuşatma işlemi için kullanılabilen farklı reaktifler bulunmaktadır [7].

- Aseton
- Tetrahidrofur (THF)
- Metil etil keton (MEK)

Guang-huai Xue tarafından yapılan test düzeneğinde, ısıtıcı ile 80°C ye getirilen aseton, kaynama noktasını (56.5°C) geçtiği için buharlaşmaya başlar. Isıtılmış aseton buharı ABS parçayı yıkamaya geçer. ABS asetonunda çözünen bir madde olması nedeniyle, parça yüzeyinde yavaş yavaş çözünmeler görülür. Kalıp ne kadar uzun süre bekletilirse, o kadar çok ABS çözünür. Ancak kapalı kap içerisindeki basınç doymuş buhar basıncına ulaştığında buharlaşma duracaktır. Aseton hacmini hesaplamak için [1] denklemi kullanmıştır:

$$P \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T = \frac{\rho \cdot V_{aseton}}{M} \cdot R \cdot T \quad [1]$$

Eğer kapalı kaptaki aseton basıncı doymuş buhar basıncına ulaşmış ise her deneyden önce behere 10 ml aseton eklenir.

3 boyutlu yazıcıların günümüzde imalat ve prototip alanında oldukça popüler hale gelmesiyle de katmanlı üretim yapabildiğinden dolayı kompleks geometriler geleneksel talaş kaldırmalı yöntem yerine 3 boyutlu yazıcılarda üretilmektedir. Makinelere çıkan ürünlerin yüzeylerindeki katmanları gidermek için bir diğer yüzey iyileştirme işlemi, el yordamıyla zımpara yapılarak ve sonrasında üzerine macun ve astar atılarak yapılmaktadır. Fakat bu işlem sadece düz geometrilere yapılabilmektedir. İnce detaylı olan yerlere ise el işçiliği ile yüzey iyileştirme yapılamamaktadır.

Bu tezde yapılan çalışmanın bir benzeri Polonya menşeli Zortrax marka 3 boyutlu yazıcı üreticisidir. ABS ürünler için solvent ile yüzey iyileştirme yapan bir cihaz geliştirmiştir. Ürünler bir makinenin içerisine yerleştirilip 3-4 saat işleme tabii tutulmaktadır. Kontrollü bir uygulama yapılmayıp üründen bağımsız solvent uygulaması yapılmaktadır.

Bir diğerk benzer çalışma ise Polymaker marka cihaz olup sadece kendi ürettiği filamentlere yüzey işlem yapmaktadır. Kullanılan ürün yine solvent olup yüzey aşındırma prensibine dayanmaktadır.

Kimyasal yüzey işlemi alanında çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalara bakıldığında, çalışmamıza en yakın ürünü Polonya menşeli Zortrax firması geliştirmektedir. Firma halihazırda masaüstü 3 boyutlu yazıcı alanında faaliyet göstermektedir. Makine fiyatının yüksek olması ve yüzey iyileştirme süresinin uzun olması bu makinenin dezavantajları arasındadır. Bir ürünün ortalama yüzey iyileştirme işlemi 3-4 saat arası sürmektedir. Makine fiyatının da 6.000 dolar olması dolayısıyla piyasada tercih edilmemektedir.

Polymaker firmasına ait Polysmooth ürünü kitlesel fonlama ile kurulan, ancak pürüzsüzleştirme mekanizması ve oranı açık olmayan bir üründür. Geliştirme aşamasında olup, ürün hakkında yeterli bilgi mevcut değildir. Sadece kendi marka filamentleri için yüzey iyileştirme işlemi yapabilmektedir. Başka marka ve türden filamentlere yüzey iyileştirme yapamamaktadır.

Tüm ürünlerin ortak dezavantajı homojen yüzey kalitesi oluşturmada çok ciddi sorunları oluşdur. Bu sorunun temelinde, benzer çalışmaların, iş parçasının tüm yüzeyine pürüzlülük değeri ayırt etmeksizin aynı parametrelerde solvent uygulamasıdır. Kontrollü bir yaklaşım söz konusu değildir.

1.2 Tezin Amacı

Masaüstü 3 boyutlu yazıcılar ile üretilen polimer modeller, katmanlı imalat teknolojisi sebebiyle, basamaklı bir yüzeye sahiptir. Bunun yanı sıra; farklı açılardaki geometriler, destek malzemeye ve tabla yüzeyine temas eden kısımlar ve benzeri unsurlar yüzeyin homojen ve pürüzsüz olmasını engellemektedir. Yüzey kalitesinin basamaklı ve pürüzlü olmasından dolayı, endüstride ve son kullanıcılar için son ürün olarak kullanılmaya engel teşkil etmektedir. Bu sebeple, tezin asıl amacı, 3 boyutlu yazıcılardan çıkan ürünleri son ürün kalitesinde bir yüzey haline getirerek, yüzey pürüzlülük Ra değerini 0.4 seviyesine getirmek üzere yapılmış bir çalışmadır. Tezin sonundaki hedefimiz, masaüstü ölçeğinde

bir prototip oluşturmaktır. Tamamı elle ve çalışan tecrübesine dayalı bu işlem, yarı-otonom olarak kontrollü bir şekilde yüzey üzerine uygulayacak bir cihaz tasarlanmıştır.

Yapılan çalışma eklemeli üretim metotları ile üretilen polimer bazlı objelerin yüzey pürüzlerini azaltarak, ürün kalitesini arttıracak bir cihaz geliştirme üzerinedir. Mevcut durumda el yordamı ile kontrolsüz olarak yapılan bu işlemi gerçekleştirebilecek bir prototip bu çalışma kapsamında tamamlanmıştır.

Günümüz 3 Boyutlu baskı teknolojisi, metal ve polimer bazlı objelerin kompleks geometrilerde üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yolla geliştirilen kompleks objeler, yüzey pürüzlülüğü problemini beraberinde getirmektedir ve son ürün elde etmede 3 boyutlu printerların kullanım alanını büyük oranda azaltmaktadır. Bu sebeple, ardıl işlem ihtiyacı açıkça görülmektedir ve polimer bazlı eklemeli imalatlar için aseton buharı bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Aseton buharı ile pürüzlülük azaltma, yüzey kalitesi arttıran bir yöntemdir. Tamamıyla kontrolsüz ve kullanıcı tecrübesine dayalı bu yöntem için standart bir metot yoktur. Yapılan bu çalışmada probleme çözüm üretebilecek bir cihaz tasarlayıp üreterek katma değer sağlayacak bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, oldukça geniş bir kullanım alanı olan 3 boyutlu yazıcı piyasasına bir yan ürün üreterek piyasada yeni bir pazar oluşturmak projenin amaçlarından biridir. Cihaz prototip aşamasında masaüstü ölçekte üretilecek olup, proje tecrübesi ile sanayi ölçeği üretimleri de gerçekleşecektir. Bu amaçla, aseton buharı ile yüzey pürüzsüzlüğü giderme işlemini yapabilen bir cihaz gerçekleştirilebilecektir. Bu anlamda yapılan çalışma hem araştırma geliştirme olarak katma değer yaratan hem de piyasada talebin karşılığını bulacak bir cihaz olması amaçlanmıştır.

1.3 Solvent – Polimer Etkileşimi

Aseton, propanon ya da dimetil keton, organik bir kimyasaldır. Keskin bir kokuya sahip olup, yanıcı ve zehirli olmayan bir sıvıdır. Genellikle çözücü olarak sıklıkla kullanılır. Sağlığa zararlı değildir. C₃H₆O kapalı formülüne sahip olan aseton, kaynama noktası

olarak 56 °C'dir. Aseton aynı zamanda birçok organik maddeyi de eritmek için kullanılmaktadır.

Piyasada sıklıkla kullanılan aseton, özellikle kozmetik sektöründe oje çıkarmak amacıyla tercih edilmektedir. Aynı zamanda boya sektöründe, boyaları inceltmek amacıyla da kullanılan bir solventtir. Sanayi sektöründe çok geniş üretim yelpazesinde kimyasal hammadde olarak da tercih edilir.

Plastik malzemelerin birçoğu belirli solventlerle etkileşime girebilmektedir. Her plastiğin bir çözücü neredeyse bulunmaktadır. ABS malzeme için en iyi çözücü solventlerden birisi de saf asetondur [8]. Belirli sıcaklık ve basınçta ABS malzeme ile aseton fiziksel bir çözünmeye maruz kalmaktadır.

Bu prensipten yola çıkarak, belirli şartlar altında en iyi sonucu verecek çözüme işlemini otomatik olarak gerçekleştirmek amaçlanmıştır. Uzun süre asetona maruz bırakılan malzemede istenmeyen deformeler gözükmemektedir. Kısa süreli maruz bırakıldığında ise çözüme başlamamaktadır.

Hazard label olarak tanımlanan kimyasal malzemelerin tehlike değerlerini gösteren etiketler bulunmaktadır. Bu etiketlere göre kimyasalın tehlike derecelerini görüp sınıflandırma yapılabilmektedir. Mavi bölge kimyasalın sağlık açısından tehlike derecesini göstermektedir. 0-4 arası değerlerde değişmekte olup, 0 en tehlikesiz 4 ise en tehlikeli anlamını taşımaktadır. Kırmızı bölgede ise yangınlık ve patlama risklerini göstermektedir. 0-4 arasında bir değer olup farklı sıcaklıklardaki yangınlık derecesini belirtmektedir. Sarı bölge, değişkenlik ve tepkimeye girme risklerini göstermektedir. Bu bölge de 0-4 değer aralığında değişmektedir. Beyaz bölge olarak belirtilen kutucuk, özel bir tehlike durumundan bahsetmemektedir. Asidik veya radyoaktif bir madde olup olmadığını anlamak için bir belirtteçdir. Bu sayede kimyasalın tehlike derecesini ayırt etmeye yarayan bir tehlike etiketi bulunmaktadır.

Aseton solvent malzemesinin tehlike etiketine baktığımızda hafif sağlık tehlikesi içermektedir. Yangınlık ve patlayıcılık olarak da 37C altında bir değeri bulunmaktadır.

Değişkenlik değeri ise kararlı olarak gözükmemektedir. Bu saf aseton için belirlenen standart değerlerdir. İnsan sağlığına ciddi anlamda bozucu bir etkisi bulunmamaktadır.

Kimyasal yüzey işlemi uygulanan modellerde, farklı açılarda farklı sonuçlar alındığı yapılan test düzeneklerinde gözlemlenmiştir. Daha dar açılarda katman izlerinin belirgin olmasından dolayı, kimyasal solvente maruz bırakılan süre de arttırılması gerekmektedir [9]. Katman geçişleri arasındaki farkların birbirine olan yakınlığı ne kadar yakınsa, çıkan ürünlerin yüzey kalitesi bir o kadar iyi olmaktadır. Bundan dolayı farklı açılardaki yüzeylerde farklı sürelerde ve miktarlarda asetona maruz bırakmak gerekmektedir.

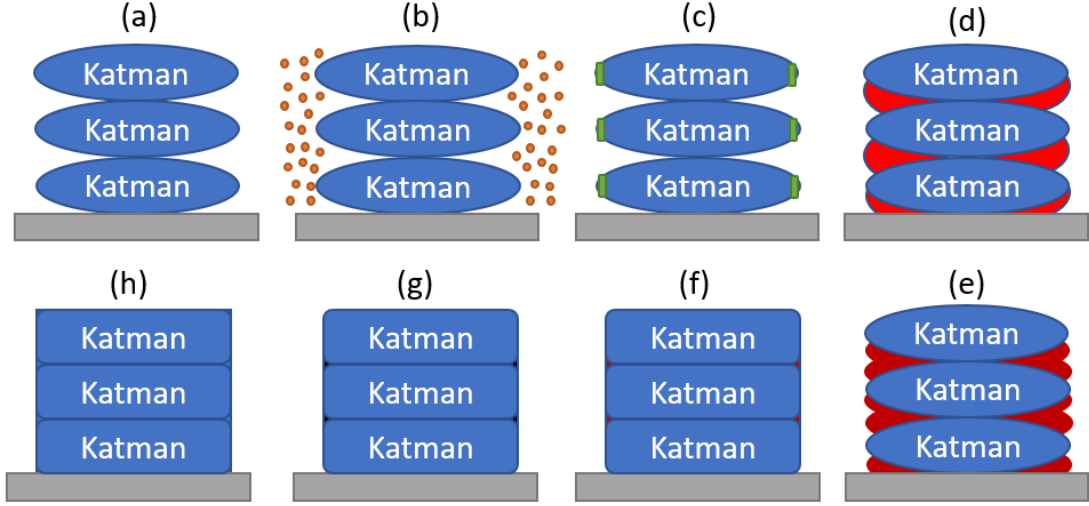
Proje hedefi, tüm açılarda olabildiğince yakın Ra değerleri elde etmektir. Tüm açılarda maksimum 0,5-0,8 μm aralığında ortalama pürüzlülük değeri elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu değer için maksimum işlem süresi 1 saat olarak makina tasarımı yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda, ortalama pürüzlülük değeri (Ra) 6,7 μm 'ye varan parçaların kimyasal yüzey işlemi ile 0,48 μm 'ye düşürüldüğü görülmüştür. Kimyasal yüzey işlemi ölçüsel sapmalarda iyileşmeler sağlamaktadır.

Ör: $\Delta d_{\text{ham}} = 0,145 \text{ mm} \rightarrow \Delta d_{\text{işlem sonrası}} = 0,079 \text{ mm}$

Ek olarak, yapılan çalışmada Shore sertlik değerlerinde işlem sonrası artma gözlemlenmiştir [10].

Ör: $SH_{\text{ham}} = 66,5 \text{ Hd} \rightarrow SH_{\text{işlem sonrası}} = 72,3 \text{ Hd}$



Şekil 1.1 Kimyasal Solvent ile Katmanlar Arasındaki Aşınma Aşamaları

- (a) Ham haldeki katman dağılımı
- (b) Aseton buharıyla ilk etkileşim hali
- (c) Uç kısımların çözülmeye başlar,
- (d) Çözülen kısımlar boşluklara doğru akar,
- (e) Katmanlar arası boşluklar çözülmüş haldeki polimerle dolar,
- (f) Dış yüzeylerdeki basamak etkisi kaybolur,
- (g) Yüzey yeniden sertleşir,
- (h) İşlem tamamlanmıştır.



Şekil 1.2 3 Boyutlu Yazıcılarda Seri İmalata Yönelik Uygulama Örnekleri

Şekil 1.2’de gösterilen ön seri imalat ürünleri için 3 boyutlu yazıcılar sıklıkla kullanılmaktadır. Çıkan parçalara yüzey iyileştirmesi yapılarak yüzey katman izleri azaltılma çalışmaları günümüzde sıklıkla gözlenmektedir. Bu işlemi yaparken kontrollü bir süreç olması fire oranlarını ve imalat hızını arttıracaktır. El yordamıyla yapılan yüzey aşındırma teknikleri parçaların homojenliğini bozarak, seri adetler için problem çıkarabilmektedir.

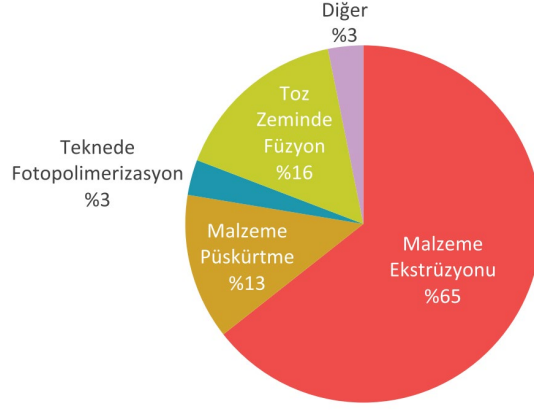
Bu prensipten yola çıkılarak, solvent malzeme ile plastik malzemeler üzerinde deformasyona maruz bırakarak, parçaların yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı, kontrollü bir sistem geliştirilerek parça yüzey kalitesini iyileştirebilecek bir sistemin dizaynı geliştirmek amaçlanmıştır. 3 boyutlu yazıcılardan çıkan ürünlerin pürüzlülük değeri 4-16 Ra arasında değişkenlik göstermektedir [REF EKLE]. Yapılan akademik çalışmalar doğrultusunda, yüzey pürüzlülük değerinin 0.5 μm ’ye düşürülebildiği görülmüştür. Kontrollü bir proses sağlanarak farklı geometrilerdeki parçaların farklı yüzeylerindeki yüzey pürüzlülüğü homojen olarak elde edilebilecek bir sistem geliştirmek üzere bir çalışma yapılmıştır.

Cihaz içerisinde güvenli bir şekilde aseton kullanabilmek için özel kartuş dizaynı yapılacaktır. Prototip aşaması için DKP malzemedan bir şasi imal edilerek içerisinde asetonu bir şırınga veya huni vasıtasıyla koyulmaktadır. Yanıcı özelliği olması dolayısıyla makine içerisinde kapalı, izole bir sistem tasarlanmıştır. Modelin bulunduğu hazneye ise

bir pompa ve PTFE hortumlar vasıtasıyla buhar olarak transfer edilmektedir. Bu sayede kapalı bir döngü içerisinde yer alan aseton, insan sağlığı açısından bir tehdit oluşturmamaktadır.

1.4 3 Boyutlu Yazıcı Teknolojileri

Temelde 3 boyutlu yazıcı teknolojisi bir objenin CAD modeli gibi dijital tasarımından malzemelerin üst üste eklenmesi ile fiziksel temsilinin oluşturulduğu teknolojilerdir. Yıllar içinde oldukça büyük gelişmeler görülen bu alanda teknolojinin gelişmesi ile ilerlemeler hızla devam etmektedir. Şu anda dünyada 3D baskı teknolojisi, kitlesel özelleştirme, prototipleme gibi amaçlarla, tarım, sağlık, otomotiv endüstrisi, lokomotif endüstrisi ve havacılık gibi endüstrilerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İlk zamanlarda prototipleme amacı ile geliştirilen bu teknoloji günümüzde seri üretimde dahil olmak üzere birçok amaçla kullanılmaktadır. 3 boyutlu yazıcı teknolojisinin tarihi 1980'li yıllarda Japonya'ya kadar izlenebilir. 1981'de Hideo Kodama, hızlı bir prototipleme sistemi geliştirmek amacı ile UV ışığıyla polimerize edilmiş ışığa duyarlı bir reçine kullanarak üretim için katman katman bir yaklaşım geliştirdi. Patenti alınmamış olsa da bu çalışma SLA (Stereolitografi) teknolojisinin erken bir versiyonu olarak kabul edilebilir. Farklı işlevlerle ve gereklilikler doğrultusunda 3D baskı teknolojilerinin birçok çeşitleri geliştirilmiştir. ASTM F2792 standardı (Additive Manufacturing Technology Standards) ile bu katmanlı imalat teknolojilerinin terminolojisi oluşturulmuştur. ASTM 3 boyutlu baskı teknolojilerini yedi ana grupta değerlendirmektedir. Bunlar; toz yatağı ve mürekkep püskürtme, doğrudan enerji biriktirme, seçici lazer ergitme, malzeme ekstrüzyon, saç laminasyon, damla püskürtme, Teknede fotopolimerizasyon olarak irdelenir. Bu teknolojilerin hepsi kullanım alanları, üretim kaliteleri, üretim süreleri gibi birçok farklı kriter bakımından birbirlerinden ayrılmaktadır.



Şekil 1.3 Yazıcı Teknolojilerin Kullanımlarının Yüzdesel Dağılımı [3]

Şekil 1.3 üzerinde görüldüğü gibi, en yaygın olarak kullanılan 3 boyutlu yazıcı teknolojilerinin yüzdesel olarak dağılımları verilmiştir. %65 olarak FDM yazıcı teknolojisinin en yaygın olarak kullanılan yazıcı teknolojinin olduğunu söyleyebiliriz. Peşi sıra takip eden toz sinterleme ve püskürtme teknolojisi gelmektedir. Bu çalışma, FDM teknolojisinden çıkan parçalar uygulandığı için geniş bir kullanım alanı olduğunu söyleyebiliriz. Tablo 1.2 'de gösterilen dağılımda ise yazıcı teknolojilerinin kullanılan sektörlere göre kırılımları verilmiştir. Pek çok sektörde yaygın bir şekilde kullanılan 3 boyutlu yazıcı teknolojisi yenilikçi üretim teknolojileri arasında yerini gün geçtikçe arttırmaktadır. Amerika merkezli, bağımsız bir danışmanlık şirketi olan Wohlers Associates' in 2015 yılında 127 firma üzerinden gerçekleştirdiği araştırma sonucunda elde ettiği rapordaki katmanlı imalat teknolojilerinin sektörler arasındaki yüzde dağılımı incelendiğinde iş makinaları endüstrisi sektörde lider konumunda görülmektedir.

Tablo 1.1 Sektörlere Göre 3 Boyutlu Yazıcıların Kullanım Yüzdeleri [3]

Endüstri	Yüzdelik Dilim
İş Makinaları Endüstrisi	%17.5
Tüketici Ürünleri ve Elektronik Endüstrisi	%16.6

Otomotiv Endüstrisi	%16.1
Havacılık Endüstrisi	%14.8
Medikal Endüstrisi	%13.1
Eğitim	%8.2
Savunma Sanayi	%6.6
Mimari ve İnşaat Endüstrisi	%3.9
Diğerleri	%3.2

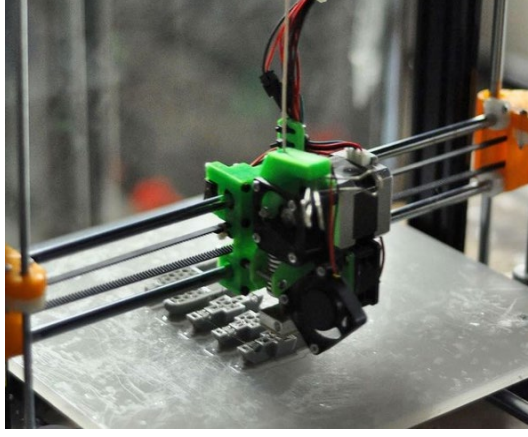
Otomotiv sektöründe 3 boyutlu yazıcı teknolojisi büyük şirketler tarafından benimsenen 3 boyutlu üretim teknolojisi hızlı prototipleme alanında oldukça önemli bir yer kaplamaktadır. Otomotiv üretiminde oldukça fazla komponent yer aldığı için seri üretim olarak şu anda doğrudan kullanılsa da prototip alanında oldukça yaygın kullanılmaktadır.

Tüketici ürünleri ve elektronik endüstrisi oyuncaktan cep telefonuna kadar oldukça geniş bir ürün dağılımı olan tüketici ürünlerinde kullanılan 3 boyutlu yazıcı teknolojileri ile artan hızlı tüketim ihtiyaçlarını karşılamak için hızlı ürün geliştirme alanında önemli gelişmeler yer almıştır.

Medikal alanında cerrahi aletlerin tasarımında yapılan AR-GE çalışmalarında, dental endüstrisinde tarama teknolojisi ile kalıp yaratma gibi birçok alanda 3 boyutlu yazıcı teknolojileri sağlık sektörüne entegre olmuştur.

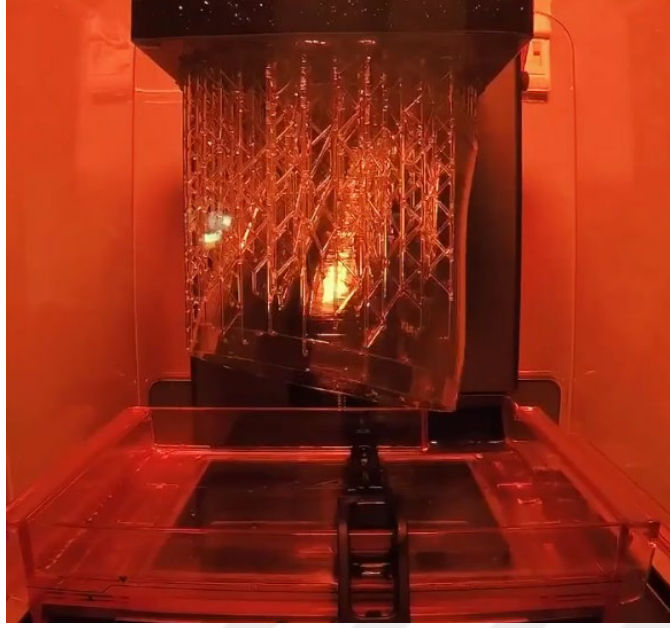
Boyutlu üretim teknolojilerinden en yaygını olan FDM (Fused Deposition Material) veya bir diğer ismi ile FFF (Fused Filament Fabrication) filament haline getirilmiş termoplastik malzemenin sürekli beslenmesi ve katman katman işlenmesi ile gerçekleştirilen 3 boyutlu üretim teknolojisidir. Şekil 1.4'de görüldüğü gibi 3 eksen üzerinde hareket eden bir kafa içerisinde ısıtılarak eritilip belirli bir katman yüksekliğinde modelleri örmektedir. Günümüzde ev tipi de olmak üzere oldukça yaygın bir kullanım kitlesine sahiptir. Oldukça geniş bir malzeme yelpazesine sahip olan FDM teknolojisi, kullandığı

filament çeşitliliği bakımından; PLA, ABS, PET, Naylon, Kompozit katkıli filamentler, Ahşap katkıli filamentler gibi farklı malzeme özellikleri sunulabilmektedir.



Şekil 1.4 Masaüstü FDM 3 Boyutlu Yazıcı Örneği

SLA teknolojisi belirli bir dalga boyundaki ışık kaynağının fotopolimer reçineyi sertleştirilmesi yoluyla 3 boyutlu fiziksel baskılar alınmasını prensip edinen bir yöntemdir. SLA, hammadde olarak UV ışını ile form değiştirebilen “fotopolimer reçineler” kullanır. Fotopolimer malzemeler, en yalın tanımlarıyla, UV ışık ve lazer ışınları altında kimyasal olarak değişime uğrayan polimerlerdir. Şekil 1.5 üzerinde gösterilen SLA teknolojisine sahip cihaz, dışarıdaki UV ışınlarından korunaklı bir yapıya sahiptir ve üretim bir reçine havuzunun içinde başlar. Lazer ışınları hassas aynalar ile havuza yönlendirilerek her katman için reçineyi katılaştırır. İlk tabaka, parçanın platforma güvenli bir şekilde durmasını sağlayan “destek yapılarından” oluşur. Platform katmanlar işlendikçe yukarı yönde hareket eder ve parça inşa edilir. Özelleşmiş dental reçineler, endüstriyel uygulamalar için özelleşmiş sert reçineler ve yüksek sıcaklık reçineleri gibi seçeneklerle dental uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1.5 Masaüstü SLA 3 Boyutlu Yazıcı Örneği

Seçici Lazer Sinterleme (SLS) teknolojisinde yaygın olarak toz haldeki plastik veya metal hammaddenin odaklanmış lazer ile yüksek ısıda birleştirilerek daha büyük tanecikler elde edilmesi esasına dayanan 3 boyutlu yazıcı teknolojisidir. Şekil 1.6 üzerinde gösterilen şekilde bir toz ünitesinin içerisinde birden fazla parça üretimine imkan veren bir teknolojidir. Prosesin son ürünü ana malzeme içinde oluşturulduğu için dışarıdan hammadde takviyesine ihtiyaç duyulmaz. FDM tipi üretim teknolojilerine kıyasla daha detaylı ve yüksek üretim toleranslarına sahip ürünler elde edilir.



Şekil 1.6 Endüstriyel SLS 3 Boyutlu Yazıcı Örneği

1980'li yıllardan günümüze kadar oldukça yüksek bir ivme ile teknolojik gelişmeler ışığında gelişen 3 boyutlu yazıcı teknolojileri plastikler, metaller, kompozitler, seramikler gibi birçok farklı malzeme kompozisyonuna sahiptir. Birçok sektörde farklı alanlarda kullanılan 3 boyutlu yazıcı teknolojisi, en yaygın biçimi ile prototiplemeden seri üretime kadar farklı üretim miktarlarında kullanıma sunulabilmektedir.

1.5 3 Boyutlu Yazıcı Pazar Büyüklüğü

Teknoloji ve malzeme biliminin gelişmesiyle beraber 3 boyutlu yazıcı sektörü de ivme kazanıp, prototipleme alanında oldukça büyük bir pazar payı elde etmiştir. Daha önceden geleneksel yöntemlerle üretilen ürünler artık 3 boyutlu yazıcılar ile daha hızlı ve daha düşük maliyetler ile üretilebilir hale gelmiştir. Buna bağlı olarak, gelişen malzeme çeşitliliği de pazarın ihtiyacını büyük bir ölçüde karşılamaktadır.

2017 yılı küresel 3 boyutlu yazıcı pazar büyüklüğü toplam 5,43 Milyar USD olmuştur. Türkiye'nin pazar payı %1,3 ile 8,82 Milyon USD olarak hesaplanmıştır [4]. Gelecekte pazar payı daha da artması beklenen 3 boyutlu yazıcılar için yüzey iyileştirme cihazı oldukça faydalı ve gerekli bir cihaz olması öngörülmüştür.

Cihazın uygulanabileceği 3 boyutlu yazıcı teknolojileri FDM ve FFF teknolojileri ile üretilen ABS ve ABS katkılı malzemelerdir. Ekstrüzyon ile baskı yapan bu teknolojilerin piyasada kullanım alanı en geniş yazıcılar olduğunu söyleyebiliriz. Hali hazırda kullanılan yazıcı teknolojisinin %65'i FDM ve FFF teknolojisi ile üretim yapan cihazlardır [4]. Malzeme püskürtme ve toz zeminde füzyon işlemi ile üretilen cihazlarda ise bu yöntem henüz işe yaramamaktadır. Geliştirilecek teknoloji ile hedeflerden biri de tüm yazıcı teknolojisindeki, tüm malzemeler ile bu cihazın yüzey pürüzlülüğünün artması olacaktır.

1.6 3 Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Malzeme Çeşitleri

ABS, Akrilonitril Bütadiyen Stiren, 1940 yıllarından itibaren bulunmuş olup, günümüzde endüstride birçok uygulamada, özellikle plastik enjeksiyon ve prototipleme alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Stiren malzemeye göre artan mukavemeti, piyasada birçok uygulamada kullanılmaya uygun hale getirmiştir, fakat bununla beraber üçüncü bir monomer olarak kauçuğun bütadiyen kullanılmasına yol açmıştır. Yaygın şekilde ABS plastikler olarak bilinen malzeme birleşimi ortaya çıkmıştır. Bu malzeme 1950'de piyasada yer edinmiştir ve mukavemet, kimyasal dayanımı ve kolay işlenebilirliği sayesinde ABS en yaygın kullanılan mühendislik polimeri olmuştur. ABS malzemesinin bileşenleri, %20 akrilonitril, %20 bütadien, %60 stiren şeklinde oluşarak malzemeyi meydana getirmektedir. Çalışma sıcaklığı olarak da -22 ve +60 derece arasında çalışabilmektedir.

PLA (Polilaktik Asit), şeker kamışı ve mısır nişastasından elde edilen organik bir termoplastiktir. İçeri itibari ile insan sağlığına herhangi bir zararlı etkisi bulunmamaktadır. ABS nazaran daha parlak bir yüzeye sahiptir. FDM teknolojisini kullanan bir 3 boyutlu yazıcı PLA ile kolaylıkla baskı alabilir. 3 boyutlu yazıcı pazarının haricinde, birçok sektörde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Gıda, ambalaj, makine parçaları, oyuncak ve benzeri kategorilerde yaygın olarak tercih edilir.

PLA malzemeler dayanım sıcaklığı 60°C derecedir. Bu sıcaklığın üstünde parçada deformeler gözlenmektedir. ABS'ye göre daha düşük sıcaklık dayanımına sahip olduğu için kullanım yerlerinde genellikle ABS malzeme tercih edilmektedir. Aynı zamanda kırılğan ve sert bir yapıya sahiptir. PLA malzeme aseton ile tepkimeye girmemektedir. Bu yüzden PLA ve ABS farklı çözücü solventlere sahiptir.

Günümüzde 3 boyutlu yazıcıların kullanımının artmasıyla beraber, bu cihazlarda en yaygın olarak kullanılan iki malzeme öne çıkmaktadır. Bunlarda birisi PLA, diğeri ise ABS malzemedir. Granül malzemedden ekstrüzyon cihazlar yardımı ile filament halinde makaralara sarılan bu malzeme, 3 boyutlu yazıcıların baskı sarf malzemesini oluşturmaktadır. 1.75mm çapındaki ABS filament malzeme 0.4mm genişliğindeki nozzle

içerisinde 260 derece sıcaklıktan geçirilerek basılacak ürünü oluşturmaktadır. Basılan malzemeler genellikle 0.2mm katman kalınlığında olup bu değer değişkenlik gösterebilmektedir.

Farklı katman kalınlığı ve hassasiyet ile üretilen modeller belirli bir katman izi ile belirgin olarak plastik enjeksiyondan üretiminden ayrılmaktadır. Son kullanıcı kişiler için kimi zaman bu katman izi kabul edilebilir olsa da 3 boyutu yazıcıların kullanım alanlarını oldukça kısıtlamaktadır.



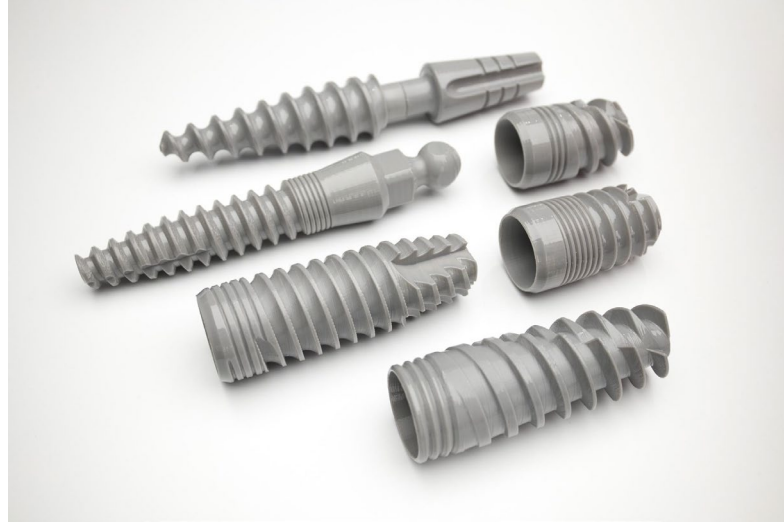
Şekil 1.7 3 Boyutlu Baskı Sonrası Model Üzerindeki Katman Çizgileri



Şekil 1.8 Baskı Sonrası Orijinal Model – Kimyasal Solvent Uygulanmış Model

Şekil 1.7 üzerinde gösterilen model baskı sonrası modelin orijinal yüzey kalitesidir. Bu yüzey kalitesi kimi zaman kullanılmaya engeller teşkil etmektedir. Bu sebeple yüzeydeki katman izlerini gidermek için kimyasal solvent ile yüzey aşındırma yapılarak yüzey iyileştirme yapılmaktadır. Şekil 1.8 de ise aynı modelin baskı sonrası orijinal yüzeyi ile baskı sonrası yüzey aşındırma işlemi yapıldığındaki aradaki fark vurgulanmıştır. Yüzeydeki katman izleri azalmış ve yüzey parlaklığı artmıştır. Son ürün olarak kullanıma daha uygun bir yapı kazanmıştır.

Şekil 1.9 da görülen parçalar ise medikal alanda kullanılan ekipmanlara yüzey işlem uygulanarak gerçek koşullar altında denenmesi için pilot bir çalışma yapılmıştır. Kullanıcı aldığı modelleri ölçü veya tolerans kaybı yaşamaksızın kullanabilmiştir. Hem yüzey kalitesi anlamında hem de mukavemet açısından iyileşme gösteren bir model olarak kullanıcı tarafından beğeni kazanmıştır. Bu işlem el yordamıyla ve farklı parametrelerde yapıldığı için farklı parçalarda farklı yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Bu sebeple çıkan parçaların homojenliği ve standart bir seviyede kontrollü bir yüzey aşındırma için bu tez çalışmasına ihtiyaç doğmuştur.



Şekil 1.9 Kimyasal Solvent Uygulanmış Model Örnekleri

1.7 Sanayi Kuruluş Altyapısı

Proje sanayi arge projesi olarak yürütülmüş olup, sanayi kuruluşu tarafında Tridi Teknoloji AŞ. yer almaktadır. Tez faaliyetleri yürütülürken araştırma geliştirme faaliyetleri üniversite bünyesinden yapılırken, sanayi tarafında destek olup TÜBİTAK desteği almamızı sağlayan Tridi Teknoloji bu konudaki yetkinliği sahadaki tecrübesiyle oldukça yetkindir. Tridi ekibi 18 çalışandan oluşmakta ve bunların içerisinde 3 kişilik bir Ar-Ge birimi bulunmaktadır. Ekipte 2 Mekatronik Mühendisi/Direktör, 1 Makine Mühendisi ve 1 Bilgisayar Mühendisinden oluşmaktadır. Proses testleri için ayrılmış bir alanı ve araç-gereçleri mevcuttur. Prototipler ve testler için kuruluşun üretim biriminin sahip olduğu katmanlı imalat teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Hassas ölçümler, mukavemet testleri vb. gibi profesyonel ekipman gerektiren işlemler için Yıldız Teknik Üniversitesi'nin laboratuvar imkanlarından faydalanılmaktadır. Yapılan çalışmalar, bulut üzerinde sistematik şekilde klasörlere ayrılan belgelendirme sistemi ile arşivlenmektedir



Şekil 1.10 Tridi Teknoloji Üretim Parkuru

Kuruluş piyasada katmanlı imalat teknolojileri ile üretilen modellere yüzey işleme hizmeti veren nadir kuruluşlardan biridir. Uzun yıllardır "Full finish" adı altında sunulan hizmetleri; model üzerine macun, zımpara, astar ve boya işlemleri uygulanarak yüzey iyileştirmesi sağlamaktadır. 2016 itibariyle deneysel olarak sunulan kimyasal yüzey işleme hizmeti projenin temelini oluşturmuştur. Bu hizmet, manuel olarak bir kutu içerisine serilen emici bezlerin üzerine solvent dökülmesi ve parçanın kutu içerisinde bekletilmesiyle gerçekleşmektedir. Bu süreç boyunca müşterilerin farklı geometrilere sahip yüzlerce parçasına işlem uygulanmıştır. Ar-Ge ekibi kimyasal yüzey işleme üzerine hem gerçek müşteri parçaları hem de belirlenen deney numuneleri üzerinde testler yapıp deneysel bilgiler elde etmiştir. Bunların yanı sıra kuruluşun donanım geliştirme konusunda oldukça yetkindir. Firmanın kuruluşunun ilk yıllarında Abbas by Tridi markasıyla FDM yazıcı üretim ve destek hizmeti sunmuştur.

Halihazırda Ar-Ge birimi tarafından geliştirilen tridi.co yazılım ürünü, müşterilerin yüklediği 3D modellerin üretime uygunluğunu denetler ve otomatik fiyat teklifi vererek doğrudan üretim kuyruğuna eklemelerini sağlamaktadır. Geliştirilen yazılım sayesinde, modellerin farklı teknolojilerdeki üretilebilirlik analizlerini 3 boyutlu model üzerinden denetleyebilmektedir. Üretime uygun olmayan geometrileri, üretimde problem olabilecek detayları ve tasarımda düzeltilmesi gereken yerleri işaretleyerek kullanıcıya gösterir. Bu sayede kullanıcılara üretim sırasında oluşabilecek hataları dijital ortamda göstererek olası zaman kayıplarının ve maliyetlerin önüne geçmektedir.

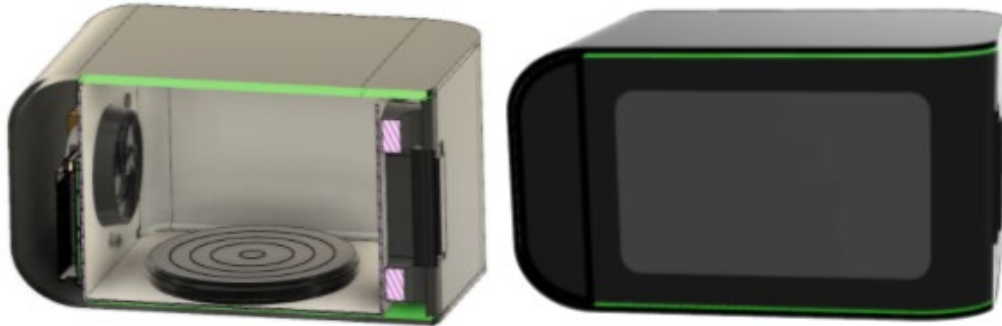


Şekil 1.11 Tridi Teknoloji Üretim Atölyesi

2.1 Mekanik Tasarım

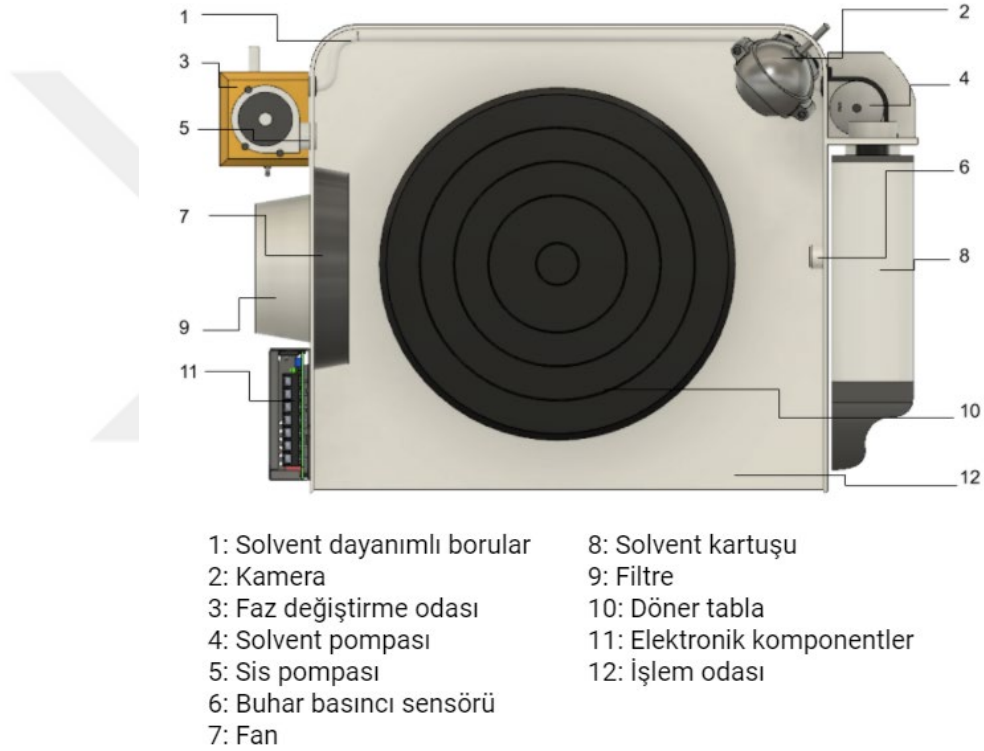
Cihaz tasarlanırken öncelikli olarak kullanılacak ekipmanlar belirlenmiştir. Sonrasında proje hedefine uygun olarak çalışabilecek bir sistem tasarımı için prototip çizimler tamamlanmıştır. Tasarım aşaması için kritik olan parametreler, sensörlerin doğru bir biçimde konumlandırılması, kimyasal solventi soğuk buhar hale getirdikten sonra kabin içerisinde sızıntı olmadan kalabilmesi, kabin içerisinde homojen bir buhar basıncının sağlanabilmesi projenin ana temellerini oluşturmuştur.

Bu doğrultuda ilk tasarımlar bilgisayar ortamında tasarlanarak analiz edilmiştir. Analiz sonrası başarılı olan tasarım üzerinden devam edilmiştir fakat burada önemli unsurlardan birisi üretilebilirlik için optimal bir tasarım sağlanmak istenmiştir. Bu yüzden yapılan konsept tasarımlar üretim aşamasına geçmeden önce üreticiler ile görüşülüp, revize edilerek farklı versiyonlar ile üretime geçilmiştir.



Şekil 2.1 ile gösterilen görselde, makinenin konsept tasarımı yapılmıştır. Sol tarafta görünen görsel makinenin ön yüzeyinden kesit alınmış bir görseldir. İç aksamları

gösterecek şekilde sırasıyla sol tarafta bir fan bulunmaktadır. Ortada bir döner tabla bulunarak parçanın homojen bir şekilde yüzey işlemi görmesi için konumlandırılmıştır. Sol iç kısımda ise elektronik komponentlerin bulunduğu bir izole oda dizaynı yapılmıştır. Sağ tarafta bulunan kısımda değiştirilebilir bir kimyasal solvent tankı bulunmaktadır. Bu sayede kullanıcının kolay bir şekilde içerideki solventi değiştirebilmeye imkan tanınmıştır. Şekil 2.2 ile üst kesit görüntüsünde görüldüğü gibi, makine ekipmanlarının detaylı olarak gösterimi mevcuttur.



Şekil 2.2 Konsept Tasarım Teknik Bileşenler

Solvente dayanıklı boruların seçiminde bir çok alkol, asit ve solvent ile kimyasal direnci yüksek olan, yüksek yanıcılığa sahip aseton buharının taşınmasında oluşabilecek elektriksel yük boşanımlarını yalıtabilecek, cihaz içerisinde rahatlıkla montajını gerçekleştirebileceğimiz esnek bir malzemeden olması, işlenebilirliğinin yüksek olması ve maliyetinin düşük olması amaçlanmıştır. Piyasada bulunan belli başlı boru

malzemelerinden (Teflon, PVC, Polikarbonat, vb) cihazda kullanılmaya uygun ve gerekli kimyasal, fiziksel şartları sağlayan teflon boru seçilmiştir. Teflon 327 C sıcaklığa kadar dayanabilmektedir. Cihazın hem üst (100 C) hemde alt (-10 C) sıcaklık koşullarını fazlasıyla teflon malzeme borular yerine getirmektedir.

Asetonun muhafazasının ve faz değiştirme işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için ayrı bir bölme ihtiyacı bulunmaktadır. Sıvı halden soğuk aseton buharı haline dönüşmesi için gerekli oda belirli şartları yerine getirmesi gerekmektedir. İşlem odasının tasarımında asetonun en etkili şekilde ultrasonik sensör ile temasını ve asetonun takviyesinin kullanıcılar için en uygun şekilde yapılması amaçlanmıştır. Aseton açık ortamda uzun süreli maruz kalındığında insan sağlığına zarar verebilmektedir. Asetonun dış ortam ile temasını sifıra yakın indirmek için muhafaza ve hal değişiminin olduğu bu faz değiştirme odasında sızdırmazlık sağlanması gerekmektedir. İşlenebilirliği ve ulaşılabilirliği bakımından birçok metal incelenmiştir (Paslanmaz çelik, bakır, alüminyum vb.) ve içlerinden kimyasal direnci en yüksek ve sızdırmazlık şartını sağlayabileceğimiz, tasarımı üretebileceğimiz paslanmaz çelik seçilmiştir. Paslanmaz çeliğin kullanabileceğimiz piyasada bulunan 3 değişik çeşidi vardır; bunlar östenitik, ferritik ve martenzitik paslanmaz çeliktir. Aseton yüksek yanıcılığa sahip bir madde olduğu için cihazda bulunduğu her ortamın yalıtılması şarttır. Ultrasonik sensörün ve diğer elektronik bileşenlerin faz değiştirme odasında bulunan yüksek miktardaki asetonu manyetik olarak etkilememesi ve asetonun parlamaması için faz değiştirme odası bu paslanmaz çelik çeşitlerinden östenitik paslanmaz çelik ile yapılmıştır. Östenitik paslanmaz çeliğinin farklı kullanım alanları için üretilen farklı oranlarda elementler içeren birçok serisi vardır. Kimyasal ürünler için yüksek kimyasal dirence sahip ve cihazımızın gerekli bütün güvenlik şartlarını yerine getiren özel olarak üretilmiş 316L serisi östenitik paslanmaz çeliği kullanılmıştır. Faz değiştirme işlemi başladıktan sonra faz değiştirme odasında biriken aseton buharının işlem odasına düzenli bir akış halinde aktarılması amacıyla iki oda arasında sis pompası kullanılmıştır. Cihazın en yüksek güç değerlerinde kullanımında işlem odasına aktarılması gereken aseton buharı miktarı 0.1 m³/saat olacak şekilde baz alınmıştır ve ultrasonik sensör kalibrasyonları bu değerler için yapılmıştır. Seçtiğimiz sis pompasının çıkış ucundaki akış oranı teknik olarak 0.06 cfm (cubic feet per minute) değerine sahip ve birim dönüşümü yaptığımız zaman yaklaşık 0.101 m³/saat olmaktadır.

Ultrasonik sensör çalıştığı süre boyunca sis pompası üretilen birim buhar başından daha fazlasını tahliye edebildiği için faz değiştirme odasında buhar birikmemesine ve dolayısıyla basıncı artırmadığı için ultrasonik sensörün her zaman ilk çalışma verim şartlarında çalışmasını sağlamaktadır. Aseton buharı yüksek basınç altında yanıcılığının artması nedeniyle hem faz değiştirme odasında hemde işlem odasında belirli çalışma basıncı altında kalması gerekmektedir. İşlem odasındaki basınç kontrolü basınç sensörü ile sağlanmaktadır. Basınç değerlerinin aşılması durumunda sistem buhar üretmeyi durdurmaktadır, böylece işlem odasında basıncın belli aralıkta kalması sağlanır. İşlem odasına aktarılan aseton buharının işlem görecekt parça üzerinde maksimum temas etmesi istenmektedir. Buharın içeride dolaşımını sağlamak ve temas yüzeyini artırmak için işlem odasının belirlenmiş köşesinden buhar ile 45 derece açı ile kesişime sahip bir fan kullanılmaktadır. Cihazın elektrik ve elektronik aksamalarının oldukça aşındırıcı aseton buharından ayrı tutulmuştur.

2.2 Ana Gövde Tasarımı

Aseton makinasının ana gövde tasarımı iki alt gövdeden oluşmaktadır. Birinci gövdede 20x20mm alüminyum profillerden oluşan çerçeve konstrüksiyonu, aseton buharı ile yüzey işleminin yapıldığı izole oda, aseton tankı, ultrasonik ve kompresör bulunmaktadır. İkinci gövde, elektronik ve yazılım ekipmanı ve işlemin gerçekleştirildiği değişkenlerin izlendiği kontrol ekranı içerir. İki gövde, olası bir kimyasal sızıntının elektronik ekipmana zarar vermesini önlemek için ayrı ayrı tasarlanmıştır. Montaj sırasında da bu iki gövde birbirlerinden seperatör plaka ile ayrılmış olup sadece elektronik bağlantılar için geçiş ayrılmıştır. Her iki gövde de 2 mm 316L paslanmaz çelik saç şase ile çevrili olup, tasarımdaki tüm bileşenleri kapsamaktadır. Gövde tasarımında öncelik olarak dikkat edilen hususlar ergonomik, kompakt ve dayanıklı olmasıdır. Bu kriterler dikkate alınarak tüm gövde 320x520x260 mm ölçülerinde tasarlanmıştır. Tüm gövdenin ve alt bileşenlerinin tasarımı, bilgisayar destekli 3 boyutlu katı modelleme ve tasarım yazılımı olan Solidworks'te gerçekleştirilmiştir.

Ana konsept tasarımından farklı olarak üretime uygun olması açısından konsept tasarımda bir takım değişiklikler yapılmıştır. Hem üretim maliyetlerini azaltmak hem de

üretim süreçlerini hızlandırmak için şekil 2.3 ile gösterilen tasarım gerçekleştirilmiştir. Burada konsept tasarımdan farklı olarak elektronik oda sağ tarafa alınmıştır. İzole oda ise sol tarafta yer alacak şekilde dizayn edilmiştir. Buhar yaratan ultrasonik modül ve pompa izole odanın arkasında yer almaktadır. Bu sayede daha fonksiyonel ve daha kompakt bir yapı ile makine tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ön kapak sızdırmazlık sağlaması açısından silikon conta ile çevrelenmiştir. İçeride olan buhar dışarı sızmaması basınç yaratabilmek için önem taşımaktadır. Aynı zamanda içeride oluşan buhar basıncı ne kadar yüksek olursa parçaya etki süresi o kadar azalmaktadır.



Şekil 2.3 Tasarım Sonrası Üretilen Cihaz

2.3 İzole Oda Tasarımı

Aseton buharı ile ürünlerin etkileşimi izole odada gerçekleşmektedir. Yüksek verim alınabilmesi için izole oda belirli koşulları sağlaması gerekmektedir. Bu tasarım şartlarını ilki olarak yapının tam sızdırmaz özellikte olması gerekmektedir. İzole odanın aseton buharı ile etkileşime girmemesi için paslanmaz 316L serisi çelik kullanılmıştır. Levhaların birbirlerine tam kaynatılması ve arada sızıntı olmaması için çift sürgü etek kaynak yapılmıştır. İkinci ve cihazın genel ölçülerini de etkileyen tasarım şartı ise izole oda iç hacmidir. Günümüzde katmanlı imalat uygulamalarının yarısından fazlasını (%65) malzeme ekstrüzyon uygulamaları oluşturmaktadır. Malzeme ekstrüzyon

uygulamalarının %60 lık kısmını ev kullanıcıları oluşturmaktadır. Bu kullanım alanındaki çoğu cihazın üretebileceği maksimum ürün ölçüleri 200x200x200 mm olmaktadır. Bu genelleme baz alınarak ölçüleri tasarlanan ve efektif kullanım hacmi 200x200x200 olan izole oda ürün ile aseton buharının yüksek verimde etkileşime girmesi için ürünün dış yüzeylerine gelen her bir kenarında koridor oluşturulmuştur. Koridor yapısının kullanılan fan ile kimyasal etkileşimde istenen verim artırılmıştır. Ayrıca izole odanın tavan kısmında bulunan delikli sac aparatı sayesinde ürünlerin tavana asılmasına olanak verilmiştir.

Aseton buharı ile yüzey aşındırma, izole bir odada gerçekleşir. İzole oda tasarımında en önemli beklenti sızdırmaz olmasıdır. Buhar durumundaki asetonun solunması sağlık açısından tehlikeli olmakla birlikte, kimyasal olarak oldukça aşındırıcı ve yanıcıdır. Aynı zamanda yüzey aşındırma işleminden başarılı sonuçlar elde edebilmek için basınç ve gaz yoğunluğunun sabit tutulması önemlidir. Bu sızdırmazlık özelliğinin sağlanması için sacdan oluşturulan hazne kaynak ile birleştirilerek sızdırmazlık özelliği sağlanır. Aynı zamanda aseton kimyasal olarak oldukça korozyif bir madde olduğu için izole odada kullanılacak malzeme önemlidir. Bu sebeple izole oda tasarımında seçilen malzeme, aseton ile kimyasal olarak reaksiyona girmeyen 18Cr13Ni3Mo paslanmaz çeliktir. Tasarım elementlerinden izole odanın boyutlarının belirlenmesinde günümüzde çoğu ticari 3D yazıcının tablo boyutlarının 200x200x200 mm olduğu göz önünde bulundurularak izole oda boyutları 200x200x200 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.4 İzole Oda Tasarım ve Üretim Sonrası Üretim

2.4 Gaz Nozül Tasarımı

Aseton buharı ile yüzey aşındırma işleminde, gaz dağılımını izole oda içerisinde eşit şekilde sağlamak esastır. Bu nedenle gaz çıkışında, izole odaya verilen gazın odaya eşit olarak dağıtılması için bir tasarım gereksinimine gidilmiştir. Bu gereksinim doğrultusunda gaz borusunun odaya giriş bölgesine bir nozül tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım üzerinde bulunan her bir delikten gaz akışı eşit olmalıdır. Bu amaçla, $Q = v \cdot A$ denkleminde göre her bir delikten çıkan akışı eşit tutmak için gaz borusundaki alanın kademeli olarak artırılmasına karar verilmiştir. Yapılan debi hesaplamaları doğrultusunda nozüldeki 7 delikte akış debisi eşitlenmiş ve her bir delikte alan artırılarak 180 mm'lik gaz nozülü tasarlanmıştır.



Şekil 2.5 Nozül Tasarım Yapısı ve Üretimi

Şekil 2.5 ile makinenin iç kısmı ve içerisindeki nozülün tasarımı gösterilmiştir. Kimyasal solventi izole oda içerisine püskürten nozül akışının homojen sağlanması için parametrik olarak tasarlanmış ve nozül çabığı buna göre hesaplanmıştır. Akışın doğru sağlanabilmesi için ilk olarak boru çapı artırılıp, delik çapları sabit tutulmuştur. Boru içinden geçen akışkanın boru içindeki debisini sabit tutarak, deliklerden çıkan buharın homojen dağılması amaçlanmıştır. Tasarlanan bu borunun hesaplamaları yapılmıştır. Şekil 3.5'te imal edilmiş halinin görüntüsü de yer almaktadır.

Aseton buharı ile yüzey aşındırma işleminde, gaz dağılımının izole oda içerisinde eşit şekilde sağlamak esastır. Düz bir boru üzerinde, aynı ölçülere sahip deliklerden oluşan nozül tasarımı, aseton buharının izole odada homojen bir şekilde dağılmasını

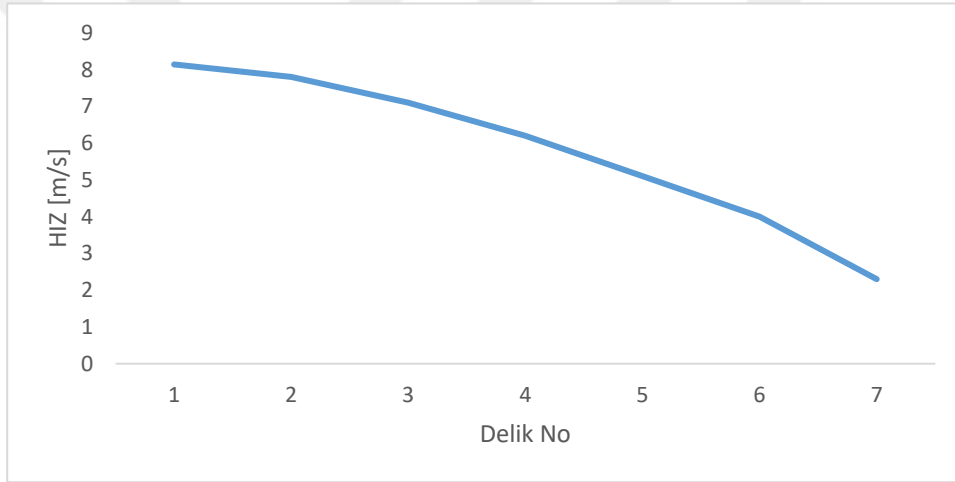
sağlamamaktadır. Nozül çapı sabit olsa da yerel iç kayıplar nedeniyle akış hızı azalmaktadır. Akış hızının azalması debinin de azalmasına neden olmaktadır.

$$Q = v \cdot A = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + z_1 + h_{pompa} = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + z_2 + h_{türbin} + h_k$$

h_k : Sürtünme kayıpları

Grafik 2.1 Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Açılara Göre Dağılımı



Şekil 2.6 Nozül Tasarım Yapısı ve Üretimi

Şekil 2.6'da tasarlanan ikinci nozül tasarımı bulunmaktadır. Kimyasal solventi izole oda içerisine püskürten ikinci nozül tasarımında boru çapı ve delik çapları sabit tutulmuştur.

Aseton buharının homojen dağılmasını sağlayabilen ikinci bir yöntem bulunmuştur. Yöntemlerden birincisi, delik boyutlarının eşit, nozül çapının nozül boyunca kademeli olarak artmasıdır. Nozül boyunca iç kayıplar nedeniyle akış hızı azalmaktadır. Nozül çapındaki artış alanı artırır, bu sayede debi sabit tutulur. Aseton buharının deliklerdeki istenen debisi 2 cm³/s 'dir. 160 mm uzunlukta nozül üzerinde 7 adet eşit boyutta delik bulunmaktadır. Nozülün girişi 20mm, çıkışı 30mm çapa sahiptir. Aseton buhar akış hızı girişte 10 cm³/s olacak şekilde nozül katmanları için akış hızları varsayım yapılmıştır. Bu bağlamda nozül boyunca çaplar aşağıdaki formül kullanılarak tabloda nozülün her katmanı için kapalı uçtan açık uca doğru nozül yarıçapı hesaplanmıştır.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot V}} \quad (2.1)$$



Şekil 2.7 Nozül Tasarım Yapısı ve Üretimi

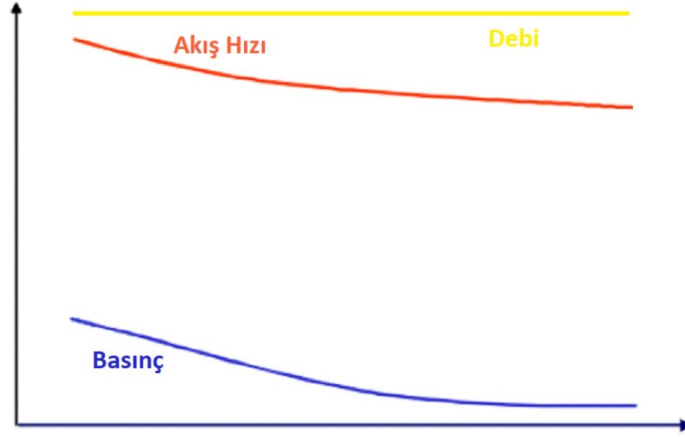
Tablo 2.1 Yarıçap – Debi Arasındaki İlişki

Debi (\dot{V}) [cm^3/s]	Hız (V) [cm/s]	Yarıçap (r) [cm]
2	2.30	1.05
4	4.00	1.13
6	5.10	1.22
8	6.20	1.28
10	7.10	1.34
12	7.80	1.40
14	8.14	1.48

Üçüncü yöntem ise nozül çapının nozül boyunca sabit kaldığı, delik çaplarının artırılarak debinin sabit tutulduğu tasarımdır. Pompadan gelen buhar nozül girişinde 0.1 m/s hızda akış durumundadır. İstenen debi deneysel yaklaşım yapılarak elde edilen akış hızlarının optimizasyonu sonrasında tabloda bulunan hız değerlerine ulaşılmıştır. Denklemi kullanılarak delikler için gerekli yarıçap değerleri yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Delik numarası nozül girişinden başlamaktadır.

Tablo 2.1 Gaz Hızına Göre Yarıçap Değerleri

Delik Numarası	Hız [m/s]	Yarıçap [mm]
1	0.9200	3.0
2	0.6760	3.5
3	0.5170	4.0
4	0.4087	4.5
5	0.3310	5.0
6	0.2736	5.5
7	0.2300	6.0



Şekil 2.8 Yarıçapa Göre Basınç ve Akış Hızı Değişimi

Elde edilen bu değerlere göre, en uygun olarak boru çapını sabit tutarak, delik çaplarını giderek artacak şekilde bir dizayn tercih edilmiştir. Bu sayede izole oda içerisinde bulunan parçaya her noktadan eşit debide bir solvent dağıtılarak, parça üzerindeki aşındırmanın homojen bir şekilde gerçekleşmesini sağlamak hedeflenmiştir.

2.5 Aseton Tankı ve Ultrasonik Sistem

Makinede kullanılan solvent olan aseton, 56°C kaynama noktasına sahiptir. Oda sıcaklığında makine içerisinde kartuş bölümünde sıvı halde bulunan aseton, ultrasonik cihaz yardımıyla buharlaştırılır. Bu işlem, oda sıcaklığında sıvı fazda bulunan asetonun buharlaşarak bir pompa yardımıyla iç odaya verilmesini sağlar. Oda içerisinde buhar basıncını arttırmak için bu işlem sürekli tekrarlanır. Cihaz içerisinde kullanılan ekipmanlar aseton malzeme ile tepkimeye girmeyen malzeme olarak seçilmiştir.

Kullanılan bağlantı borularında asetona dayanıklı PTFE olan borular tercih edilmiştir. Geniş sıcaklık aralıklarında kullanılabilmesi ve yanmaz bir malzeme olmasından dolayı cihazda kullanılmıştır. Herhangi bir şekilde sızdırma ve kaçırma olmaması için özel bağlantı contaları da sistemde kullanılmıştır. Sistemde oluşabilecek olası bir sızıntı veya

kaçak durumunda oda içerisindeki buhar basıncı düşeceği için sistemin doğru bir şekilde çalışmasını engelleyecektir.

Aseton tankı için birden fazla tasarım düşünülmüştür. İlk olarak tank içerisindeki aseton sıvı seviyesini görebilmek adına şeffaf bir dış gövde ile üretim hedeflenmiştir. Fakat üretim teknolojileri ve solvent ile malzeme arasındaki etkileşim göz önünde bulundurularak bu seçim maliyetli olduğu için tercih edilmemiştir. Şeffaf malzeme olan akrilik ile aseton arasındaki kimyasal etkileşim akrilik kullanımını engellemiştir. Bunun yerine bir başka şeffaf malzeme olan PC malzeme tercih edilmiştir, fakat üretim teknolojisi olarak plastik enjeksiyon ile üretim mümkün olacağından, prototip aşamasında bu tercih edilmemiştir.

Prototip üretimi için aseton tankı paslanmaz malzeme olan ve kimyasal korozyon direnci yüksek olan 316L malzeme tercih edilmiştir. Kapalı kabin olarak büküm ve kaynak yöntemleri ile üretim gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilerleyen aşamasında plastik enjeksiyon yöntemine geçerek PTFE veya PC malzeme ile şeffaf bir üretim sağlanacaktır.

Aseton tankı için hesaplanan hacim değeri 600 ml'dir. Buharlaştıran ve içeride yeteri basıncı oluşturmak için tank hacim değeri 500 ml üzeri olması gerekmektedir. Sistem içerideki tüm solventi kullanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Aynı zamanda tank içerisindeki solvent bitse bile, ultrasonik sistem üzerinde bulunan sensör yardımıyla algılayıp, sistemi kapatmaktadır ve uyarı vermektedir.

Ultrasonik sistem ile aseton tankında buharlaştırılan solvent, izole oda içerisinde iletilmesi gerekmektedir. Bu transfer, cihaz içerisinde bulunan bir kompresör pompa ile gerçekleşmektedir. Pompa tarafından sağlanan hava gücü ile bu buhar izole odaya taşınıp içeride buhar basıncını oluşturmayı sağlamaktadır. Sistemin ihtiyacı olan buhar basıncını karşılayabilecek olan pompa 3.5W gücünde saatte 200 Litre hava sağlayabilecek bir pompa seçilmiştir.

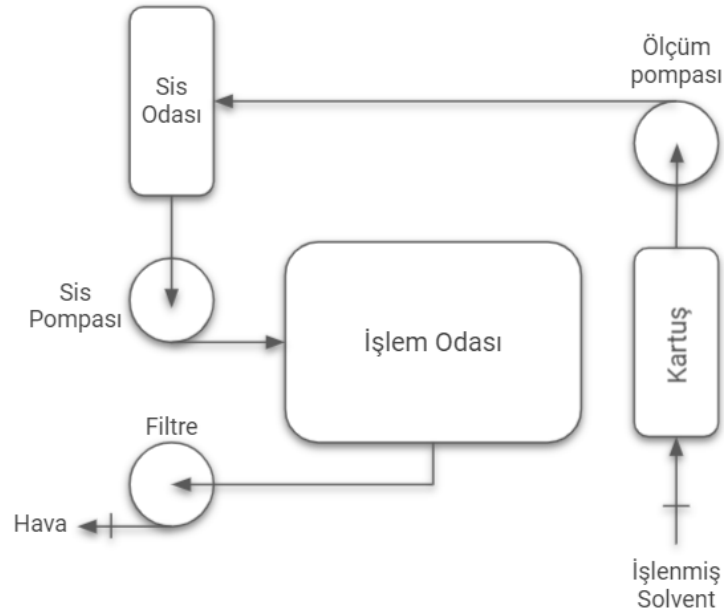
Pompa üzerinde bulunan güç elektronik olarak ayarlanabilmektedir. Bu sayede içeriye verilen buhar basıncı arttırılıp, azaltılabilmektedir. Sistemin çalışmadığı veya yeteri basınca ulaştığı zaman bir röle vasıtasıyla kapatılmaktadır.

Tüm bu sistem kapalı döngü bir çalışma prensibine sahiptir. Herhangi bir kaçak veya sızıntıyı engellemek adına, tüm bağlantı yerlerinde conta ve rakorlar kullanılmıştır. İzole oda içerisinde en iyi verimle buhar basıncını vererek sistemin kusursuz çalışması hedeflenmiştir.

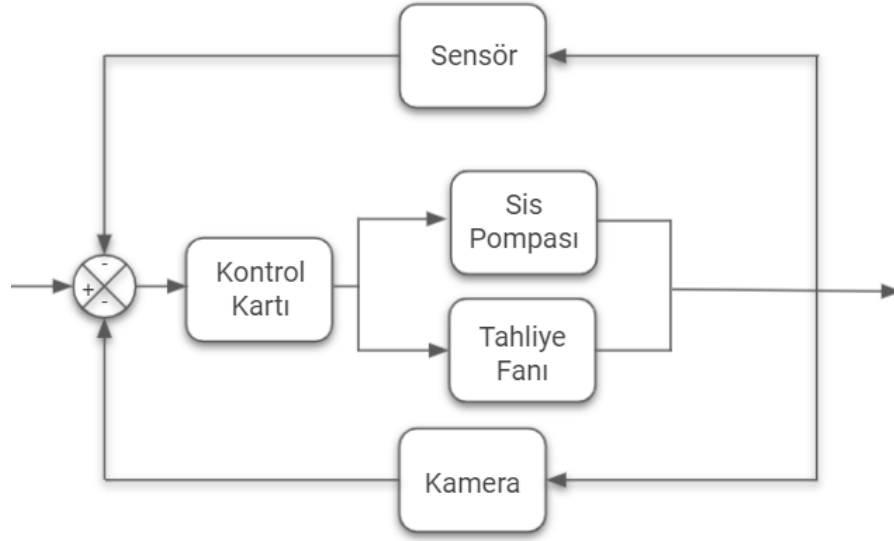


3.1 Elektrik – Elektronik Tasarım

Sistemin genel yapısı ile çalışma prensibi kapalı beslemeli bir kontrol sistemi olarak tasarlanmıştır. Kullanılan sensörler yardımıyla kabin içerisindeki basınç ve sıcaklık değerlerine göre optimum çalışabilecek bir otonom yapı söz konusudur. Makinenin çalışma modlarına göre içeriye verilecek aseton buhar miktarı belirlenip, sis pompası vasıtasıyla kabin içine transfer edilir. İçerideki buhar basıncı istenilen seviyeye geldiğinde pompa kapatılır ve sürekli olarak basınç kontrol edilir. Aynı şekilde kabin içerisindeki sıcaklık da belirli periyotlarla ölçülür ve röleler vasıtasıyla açma kapatma işlemleri kullanılan mikroişlemci ile gerçekleştirilir.



Şekil 3.1 Aseton İşlem Döngüsü



Şekil 3.2 Kapalı Devre Geri Beslemeli Sistem

Tasarlanan ilk sistemde kamera ile içerideki parça üzerinden görüntü işleme ile aşındırma miktarı gözlemlenmesi amaçlanmıştır fakat yapılan test düzenekleri ve deneylerde, içeride oluşan solvent buharından dolayı görüntü almak oldukça zor hale gelmiştir. Bunun yerine, makineye belirli modlar eklenerek, parçanın büyüklüğü ve ince detaylarına göre basınç ve sıcaklık değerleri ayarlanmıştır. Kullanıcıya bu modlardan birini seçerek ürünü pürüzsüzleştirilmesi otomatik olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2 Elektronik Ekipmanlar

3.2.1 Arduino Uno

Arduino bir geliştirme platformlarından oluşan bir programlama birimidir. Kullanılan tüm giriş ve çıkış elemanlarını kontrol eder. Sensörlerden gelen veriyi işler, işlenen veri ile uygun devre elemanının kontrolü sağlanır. Aynı zamanda işlenen sensör verisini görsel olarak gösterilmesi için Raspberry Pi4'e aktarımını sağlar.

Elektronik kısımda kullandığımız birçok sensörden gelen veriyi işleyecek ve bu sensörlerden elde ettiği veriye göre birçok çıkış elemanını kontrol edebilecek yüksek işlem gücüne sahip bir mikroişlemciye ihtiyaç duyuyoruz. Bu ihtiyacı karşılayan Arduino

yaygın kullanımı sebebiyle ve açık kaynak koda sahip olması nedeniyle zengin bir data havuzuna ve zengin bir kütüphaneye sahip. Aynı zamanda hem analog hemde dijital giriş ve çıkış birimlerinin bulunması sebebiyle arduino ihtiyaçlarımızı karşılamıştır. Hazır kütüphane olarak birçok hazır açık kaynaklı yazılımın bulunması sistemi hızlı bir şekilde tamamlamamıza yardımcı olmuştur.

Sistemin ihtiyaçlarından yola çıkarak, 11 dijital giriş/çıkış pini ve 2 analog giriş/çıkış pinine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu pinlerden 4 tanesi sensörler için 4 tanesi çıkış birimleri için 5 tanesi ise Raspberry ile RF haberleşmesi için kullanılmaktadır. Aynı zamanda aldığı verileri 9600 baud hızında işleme kapasitesi sayesinde sistemin ihtiyaç duyduğu işleme hızını karşılayabilmektedir. 5V çalışma gerilimine sahip olması nedeni ile oldukça az güç tüketmektedir.

3.2.2 Raspberry Pi 4

Raspberry Pi bir tek işlemcili mini bilgisayardır. Boyutlarının mini olmasının sağlamış olduğu avantajlar sayesinde bu kartlar genellikle işlemci, grafik işlemcisi ve RAM'e ayrıca dış dünyayla haberleşmeye olanak sağlaması için USB ve Ethernet gibi bağlantılara sahiptirler. Az elektrik harcayan bu kartlarda sadece gerekli işlemlerin bütünlüğünü ve yapısını karşılayacak parçalar bulunur. Arduino'dan gelen sensör verisini işler. İşlediği veriyi harici ekran modülüne (5 Inch HDMI Kapasitif Dokunmatik LCD) iletir.

Arduino tarafından işlenen verilerin kullanıcı tarafından fiziksel olarak da okunabiliyor olması için bir ekrana ihtiyaç duyulmaktadır. Arduino bu kapsamda işlem gücünün yetersiz kaldığı ve yüksek çözünürlüğe sahip Arduino ile uyumlu bir ekran modülü olmadığı için Raspberry Pi kullanılmıştır. Raspberry pi dijital girişlerine bağlı olan RF alıcı sayesinde arduino tarafından gelen verileri alır, işler ve görselleştirerek ekran üzerinde gösterimini sağlar. 5V çalışma gerilimine sahip olması nedeni ile oldukça az güç tüketmektedir.

3.2.3 LCD Kapasitif Dokunmatik Ekran

LCD, tek fazlı ışığın kutuplanma filtresi ile gözle görülebilmesi ilkesine dayanmaktadır ve bir görüntü teknolojisi olarak cihazlar üzerinde kullanılabilirliği artırmak amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Raspberry Pi uyumlu bu ekran birimi ile Raspberry Pi'den gelen sensör verisi görselleştirilmiştir.

Raspberry pi ile uyumlu çalışabilmesi için HDMI bağlantı gerektiren bir ekran kullanılması gerekiyordu. Kullanıcı tarafından rahat kullanılabilmesi için yüksek çözünürlüklü ve kapasitif dokunmatığe sahip bir ekran olması ve makinanın düşük enerji tüketimi için bu ekran tercih edildi. 800x480 çözünürlüğe ve 5 inç boyutlara sahip olması kullanıcının rahatlıkla görebilmesi ve gösterilen değerleri okuyabilmesi için ihtiyaç duyulan özellikleri karşılamaktadır.

3.2.4 Ultrasonik Buhar Modülü

Ultrasonik buhar modülü, ultrasonik çalışma prensibine dayalı, bulunduğu ortamda bulunan sıvıların buharlaşmasını sağlayan bir faz değiştirici birimdir. Düzenekte kullanılan ultrasonik buhar modülü solvent sıvısının etkili bir şekilde faz değiştirmesinde ve sıvının soğuk buhar evresine geçişinde kullanılmaktadır.

Ultrasonik buhar modülü Arduino ile uyumlu bir şekilde çalışması sebebi ile tercih edilmiştir. Üzerine entegre bir şekilde bulunan sıvı seviyesi ölçüm sensörü sayesinde tankta bulunan solvent bittiğinde otomatik olarak devre dışı kalarak sistemi korumaya almaktadır.

24V/1A ile çalışan bu modül az güç tüketimi sağlamaktadır.

3.2.5 Isıtıcı Tabla

Birçok sektörde ihtiyaç olan numune analizinde kapların ve ortamın ısıtılması için kullanılan arabirimdir. İşlem göreceği parçanın uygun şartlara gelebilmesi için ortam

sıcaklığının istenen seviyeye getirilmesi amacı ile kullanılmıştır. Maksimum verim elde edebilmek için izole odanın altında konumlandırılmıştır.

Sistemde kullanılan solventin uygun koşullara gelebilmesi için izole odanın ısıtılması gerekmektedir. Parça ile solventin etkileşime girmesi için en uygun sıcaklık 30-35C arasındadır. Bu ısıtma işlemi için hızlıca ısınan, homojen ısı dağılımına sahip ve güvenli bir ısı kaynağı ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyaç doğrultusunda 24V çalışma gerilimine sahip bu ısıtıcı tabla hızlı ısınması, homojen ısı dağılımı, kolay kontrol edilişi ve kısa devrelere karşı güvenilir olmasıyla bu ihtiyacı karşılamıştır.

3.2.6 Termistör

Termistör sıcaklık ile iletkenliğin değiştiği ve bu sayede anlamlı bir değer aralığında çıkış veren bir sensördür. Kullanılan ısıtıcı tablanın ve ortam sıcaklığının uygun sıcaklığa ulaşmasının kontrolü için anlık olarak elde edilen termistör sensör verisi Arduino (Arduino Uno R3) ile işlenir.

Arduino ile uyumlu doğru ve hassas ölçüm yapabilen sensörler kullanılmıştır. 12 bit ölçüm çözünürlüğü bulunan bu sensörler doğru, hassas bir ölçüm yapabilmesi için yeterlidir. Ayrıca -55 / +125 C arası ısı ölçümü yapabilmektedir. Su geçirmez yapısı sayesinde solvent buharından etkilenmezler.

3.2.7 Basınç Sensörü

Basınç sensörü, gaz ve sıvıların basıncını ölçer ve her bir birim alan için uygulanan kuvvetin büyüklüğüne eşittir. Basınç sensörü transduser gibi çalışır ve basınca bağlı genellikle 4 ila 20 miliamper büyüklüğünde bir sinyal oluşturur. İşlem görececek ürünün uygun şartlarda işlem görebilmesi için gerekli basınç değerinin kontrolünü sağlanmasını için anlık olarak basınç verisini Arduino'ya (Arduino Uno R3) aktarır.

Arduino uyumlu analog bir sensör kullanılmıştır. Analog olması sayesinde hassas ölçüm yapılabilmektedir. 5V çalışma gerilimine sahip bu sensör düşük enerji tüketimi sağlamaktadır. Metal gövdesi sayesinde solventten etkilenmez.

3.2.8 Haberleşme Alıcı ve Verici Modülü

NRF24L01 kablosuz haberleşme için kullanılan ve 2.4GHz frekansında düşük güç ile çalışan bir haberleşme modülüdür. Arduino ile Raspberry Pi arasındaki haberleşme için kullanılmıştır. Arduino tarafından işlenen sensör veri dizisini raspberry pi'ye aktarır.

Arduino tarafından işlenen ve dijital bir dizin haline getirilen verilerin raspberry pi tarafına aktarılması gerekmektedir. Arduino ve raspberry pi ile uyumlu olması sebebi ile NRF24L01 kullanılmıştır. 2.4 Ghz bandında yayın yapabilir ve 2Mbps haberleşme hızı ile kesintisiz ve hızlı veri aktarımı sağlayabilmektedir. 3,3V çalışma voltajına sahip olması nedeni ile ultra düşük güç tüketimine sahiptir. Küçük boyutları sayesinde ise yer kaplamazlar.

3.2.9 Röle Modülü

Röle akım varlığında çalışan bir devre elemanıdır ve elektromanyetizma prensibi ile çalışır. Röleler düşük akım ile yüksek akımlı bir alıcıyı anahtarlayabilmek için kullanılır. Yüksek akım ve güç tüketen elemanların aktif hale getirilmesi için kullanılmaktadır.

Kontrolü arduino ile sağlanan ultrasonik buhar modülü, ısıtıcı tabla, hava pompası, led gibi elemanların anahtarlanması için kullanılmıştır. Bu elemanların çalışma gerilimleri arduino tarafından sağlanamadığı için röle modülüne ihtiyaç duyulmuştur. 5V ile anahtarlama yapabilen röle modülü arduino ile uyumlu olarak çalışmaktadır. 10 ampere kadar anahtarlama yapabilir ve sistem için oldukça yeterlidir.

3.2.10 Hava Pompası

Hava pompaları, elektrikli motor ile dışarıdaki havayı haznesinde depolayan ve oluşturduğu basınçlı havayı yönlendiren, aktaran cihazlardır. Oluşan solvent buharının etkili bir şekilde izole odaya aktarılmasında kullanılmaktadır.

Solvent tankı içerisinde ultrasonik buhar modülü sayesinde oluşan solvent buharını aktarılması için hava pompası kullanılmıştır. 3,5W düşük güç tüketimine sahiptir. Saatte 200 litre hava emiş gücüne sahiptir ve bu değer sistem için oldukça yeterli görülmüştür.

3.2.11 Güç Kaynağı

Güç kaynağı gerekli olan enerjiyi sağlamak için kullanılan birimlere verilen addır. Sistem için gerekli gücün sağlanmasında kullanılmaktadır. Sistem için gerekli olan voltaj değeri 24V seçilmiş olup, güç kaynağı olarak da 24V 8A bir güç kaynağı kullanılmıştır.

Sistemin ihtiyaçları belirlendikten sonra kullanılacak ekipmanlar tek tek listelenmiştir. Seçilen elektronik ekipmanların kullanım kılavuzundaki değerleri göz önünde bulundurularak, güç kaynağı hesabı yapılmıştır. Her bir ekipmanının çalışma voltajı göz önünde bulundurulduğunda 24V ağırlıklı bir sistem olduğu için, 24V bir güç kaynağı seçilmiştir. Sensör, pompa, butonlar ve diğer tüm elektronik aletler göz önüne alındığında sürekli çalışma akım toplamı 6.8A olarak bulunmuştur. Anlık pik değerleri ve güvenlik katsayısı da göz önünde bulundurularak 24V 8A bir güç kaynağı uygun bulunmuştur.

Seçilen bir diğer güç kaynağı ise yine ağırlıklı olarak 5V olarak çalışan elektronik ekipmanlar için seçilmiştir. Bir voltaj dönüştürücü kullanılmamıştır. Bunun yerine 5V 3A bir güç kaynağı ile arduino ve diğer sensörler beslenmiştir. Sistem prototip amaçlı olduğu için 2 ayrı güç kaynağı kullanılmıştır. Seri üretim bir cihaz için alt yapı hazırlanıp, tek güç kaynağı olacak şekilde ilerlenecektir.

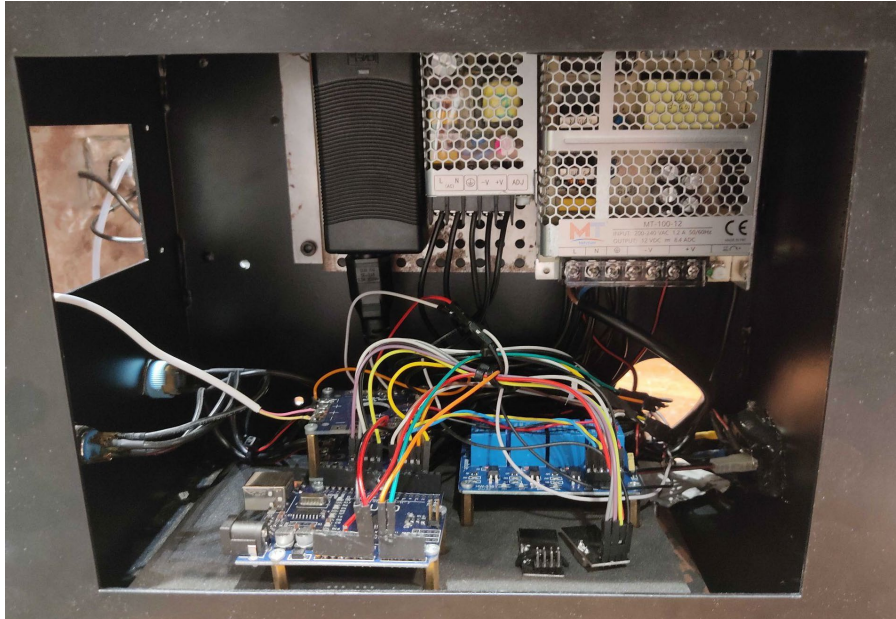
3.2.12 Butonlar ve Ledler

Bir makine devresinde kullanılan ve aktif edildiğinde ilgili ekipmanın çalışmasını sonlandıran ve oluşabilecek tehlikeleri kontrol altına alan bir emniyet kontrol birimidir. Sistemde oluşabilecek tehlikeli durumların önüne geçebilmek için kullanılmıştır. Kullanıcı tarafından gerek görüldüğü zaman basıldığında sistemdeki tüm elektriği kesmektedir.

Butonlar aktif edildiğinde makinedeki bir sürecin başlamasını ve sürecin kontrolünü sağlayan basit bir anahtar mekanizmasıdır. Sistemi aktif hale getirmek ve durum kontrollerini sağlayabilmek için kullanılmıştır.

LED ışık yayan bir elektronik devre birimidir. İşlem gören ürünü gözlemleyebilmek için yardımcı eleman olarak kullanılmıştır.

Makine içerisinde kullanılan tüm bu komponentler bir arada uyum içerisinde çalışması için uygun ekipmanlar seçilmiştir. Genel olarak sistem çalışma voltajı 24V olarak seçilmiştir. Elektronik sistemin kimyasal solvent buharından etkilenmemesi için özel kabin yapılarak içerisine monte edilmiştir. Makine içerisindeki yerleşim şekli görsellerde belirtilmiştir.



Şekil 3.3 Makine İçerisindeki Elektronik Ekipman Yerleşimi

Şekil 3.3'te yüzey aşındırma cihazının elektronik komponentlerini içeren elektronik bölme görselidir. Güç kaynağı, arduino ve raspberry içeren devre, bağlantı kabloları ve motor sürücülerini yer almaktadır.



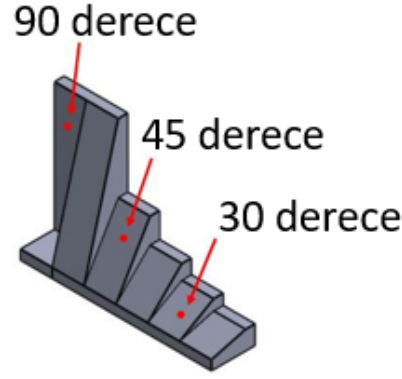
Şekil 3.4 Makine Genel Görünümü

Şekil 3.4'te yüzeyi aşındırılacak parçanın yerleştirilecek izole odanın giriş kısmı ve dokunmatik ekran, stop düğmesi, on/off düğmesini içeren kontrol panelini gösteren makine genel görünümü yer almaktadır.

4.1 Çalışma Prensipleri

Solventin faz değiştirerek işlem görecektürüne maksimum verimde etki etmesi amacıyla tasarlanan cihazın her adımında kullanıcı kontrolüne olanak sağlayan donanımsal ve yazılımsal bütünleşik sistem tasarım aşamaları sayesinde ürünün istenen yüzey kalitesi ve solventin oluşturacağı zararlı etkilerin minimize edilmesi amaçlanmıştır.

İşlem adımları olarak öncelikle solvent tankı doldurulur ve makineye güç verilir. Ürün izole oda içerisine yerleştirilir ve sızdırmazlığın kontrolü için izole oda kapatılarak kilitlenir. Ürünün yapısına ve kullanıcının istediği yüzey kalitesini belirlemek için oluşturulmuş hazır modlardan biri seçilir ya da geliştirme sürecinde olan projeler için özel ayar modu kullanılır. Modun belirlenmesinin ardından başlatma butonuna basılır. Seçilen Mod'a göre sıcaklık değeri istenen değere ulaşana kadar ön hazırlık aşamasına geçilir. Ön hazırlık aşamasının tamamlanmasıyla birlikte solvent tankında bulunan solvent ultrasonik buhar modülü yardımı ile faz değişim işlemine başlar ve solventin soğuk buhar olarak haznede oluşmasını sağlar. Solvent tankı içerisine hava pompası yardımı ile oluşan buharın izole oda içerisine taşınması sağlanır. Başlangıçta seçilen sıcaklık değerini sağlamak için sıcaklık sensörlerinden gelen veri Arduino tarafından işlenir ve istenen sıcaklık değerinde sabit kalacak şekilde ısıtıcı tabla kontrolü sağlanır. Bu süreç seçilen mod da belirtilmiş süre ve durumların geçerli olduğu süreç boyunca devam eder. Modun tamamlanması sonrası insan sağlığı için zararlı olan solventin ürün üzerinde tekrar faz değiştirmesi ve ortamdan tahliye edilmesi için sistemin seçilen moda uygun süre boyunca 5-10 dakika arası beklenmesi gerekmektedir. İşlem sonrası bekleme süresinden sonra ürün cihaz içinden rahatlıkla alınabilir.



Şekil 4.1 Yüzey Aşındırma Test Modeli

Seçilen ve tasarlanan model şekil 4.1’de gösterilmiştir. Yüzey üzerinde farklı açı değerleri bulunmaktadır. Bunun sebebi ise 3 boyutlu yazıcılarda farklı açı değerlerinde farklı pürüzlülük değerlerinin bulunmasıdır. Açı değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. Katmanlı imalat olmasından dolayı parçaların yatayda yaptığı açı azaldıkça baskı katman yüksekliğine bağlı olarak yatayda daha geniş ilerleme kat etmesidir. 3 farklı açı değeri seçilerek farklı geometrik şekilleri yaklaşımla daha doğru bir parametre seçmek amacıyla bu açı değerleri seçilmiştir. Çıkan sonuçlara göre makinenin optimizasyonu yapılacaktır.

3 boyutlu yazıcıdan çıkan ürünlerde katman çizgileri bulunmaktadır. Katman çizgileri tasarım açısındanki değişimlere göre belirginleşmektedir. Dik açılı bir parçada parça yüzeyinde katman çizgileri daha az belirgindir. Açı arttıkça parça yüzeyindeki katman çizgileri daha belirgin hale gelir ve yüzey daha bozuk bir görüntüdedir. Solvent ile yüzeyi iyileştirilecek bir modelde farklı açılara sahip yüzeylerin işlemden nasıl etkilendiğini gözlemlemek için farklı açılar tek bir parçada toplanmıştır. Bu şekilde açı konusunda kontrollü bir deney yapılmıştır.

Uygulanan solventin etkisi 3 parametre ile değişmektedir. İşleme alınacak farklı parçalar için solvante maruz kalma süresi, sıcaklık ve basınç ayarlayarak en iyi sonuçlar alınabilir. Bu nedenle kullanıcının parçaya göre seçim yapabilmesi için ön ayar olarak belirlenen ve kullanıcının değiştirmesine olanak sağlayan modlar geliştirilmiştir. Değerlere göre

aralıklar belirlenmiş ve kullanıcının kullanabileceği hafif, orta ve yüksek modları oluşturulmuştur. Ayrıca kullanıcı hassas işlem yapmak istediğinde kullanabileceği geliştirici modu konulmuştur. Geliştirici modu kullanıcının manuel ayarlama yapabilmesine olanak vermektedir. Hazırlanan modların değerleri Tablo 1.3'teki gibidir.

Tablo 4.1 Makine Çalışma Modları ve Özellikleri

	MOD SEÇENEKLERİ			
Değişkenler	Hafif	Orta	Yüksek	Geliştirici
Basınç (bar)	1	2	3	1-3
Sıcaklık (C)	25	35	45	24-50
Süre (dk)	30	45	60	0-90

Tablo 4.1'de gösterilen girdiler ve değerler makinanın ilk belirlenen standart giriş parametreleridir. Kullanıcının burada değiştirebileceği giriş değerleri belirtilmiştir. Aşındırılacak parça geometrisine göre kullanıcı uygun modu seçmesi gerekmektedir. İnce duvarlı ve ince yüzey geometrileri için daha kısa süre veya daha yüksek sıcaklık değerleri seçerek ayarlama yapabilecektir. Aynı zaman geliştirici modu ile kullanıcı el yordamıyla farklı bir giriş değeri de makineye atayabilecektir.

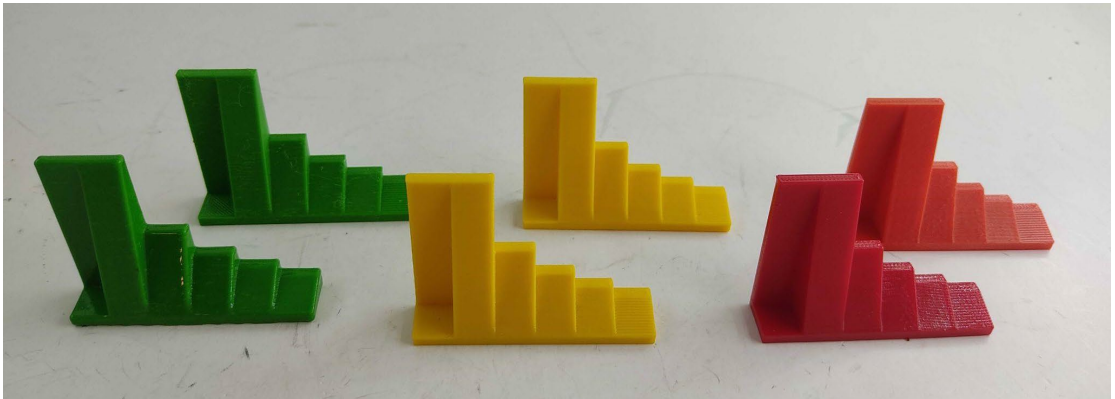
Mod seçenekleri parçanın geometrisine bağlı olup, deformasyon miktarının minimum olacak şekilde ayarlanmıştır. Manuel olarak yapılan test düzeneklerindeki süre ve sıcaklık değerleri göz önünde bulundurularak yapılan parça analizlerine göre değerlemeler belirlenmiştir. Buradaki amaç, her geometrinin yaklaşık olarak aynı yüzey pürüzlülük değerine sahip olmasıdır.

Hafif mod seçeneği, 1 mm'den ince detaylara sahip olan parçalar için kullanılması önerilen moddur. Parça herhangi bir şekilde deforme olmaması için düşük basınçta ve daha az sürede asetona maruz bırakılmaktadır. Yapılan test düzeneklerinde parça her ne kadar ince yüzeye sahip olursa olsun, 15 dakikanın altındaki sürelerde aşınma başlamamaktadır. Dolayısıyla, parçanın parlak ve pürüzsüz olması için ince parçalarda kullanıcılar Hafif modu seçmelidir.

Orta mod seçeneği, parça detaylarında 1-3 mm inceliğinde yapılar bulunması halinde tercih edilebilecek standart olarak belirlenen bir seçenektir. Burada, 3 boyutlu yazıcılardan çıkan parçalar genel anlamda incelenmiş olup, ortalama bir değer ile yoğunluklu olarak kullanılacak mod olarak belirlenmiştir.

Yüksek mod seçeneğinde ise parça genel hatlarıyla büyük yapıda ve kaba bir geometriye sahip ise bu mod kullanılmalıdır. Detay bulunmayan modellerde uzun süre kimyasal solvante bırakmak parçaları daha parlak ve pürüzsüz hale getirebilmektedir.

Parçaların deforme olmasını engellemek amacıyla süre ve basınç sınırlandırılması da makine özelliklerine eklenmiştir. Manuel olarak piyasada yapılan işlemlerde kapalı kabin olarak kontrolsüz bir şekilde işlemler gerçekleştiği için parça üzerindeki aşındırma miktarı deformasyona yol açabilmektedir. 3 boyutlu yazıcılarla üretilen parçaların üretim süresinin uzun olması, modelin geometrisine bağlı olarak ortalama 10-12 saat süren parçaları deforme etmek, hem maliyet hem de zaman kaybına yol açmaktadır. Bazı büyük ve detay içeren parçalarda üretim süreleri 50-60 saatlere çıkabilmektedir. Üretilen modelin de yüzeyini manuel olarak iyileştirmek de ciddi risklere sahiptir. Bu sebeple yapılan test ve ölçümlerle cihazın parçaları en optimum seviyede yüzey aşındıracak şekilde modları belirlenmiştir.



şekil 4.2 Makine ıktı Örnekleri

şekil 4.2'de farklı açılar için kontrollü deney sonuçları görülmektedir. Farklı açılar içeren parçamız için 3 ayrı modda denemeler yapılarak inceleme yapılmıştır.

5.1 Test Düzenekleri ve Sonuçları

FDM tipi 3 boyutlu yazıcıdan üretilen ABS (Akrilonitril bütadien stiren) tipi parçaların aseton buharı ile yüzey aşındırma ve iyileştirme işlemini gerçekleştirmek üzere aseton buharı ile yüzey iyileştirme cihazımızdan çıkan ürünler farklı modlarda kimyasal solvente maruz bırakıldı. Bu makinada farklı yüzey açılarına sahip ABS test parçamız, değişken sıcaklık, süre ve basınç değerlerinde test ederek parçanın yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini araştırdık.

Test parçalarımızı 3 farklı sıcaklık, 3 farklı basınç, 4 farklı süre aralığında ve bunların 4 farklı kombinasyonu şeklinde makinada aseton buharı uyguladık.

Seçilen test parçası özellikle farklı yüzey açıları bulunan ve düz yüzeyden farklı olarak kademeli yüzeylerdeki sonuçları test etmek için özel olarak dizayn edilmiştir. Test parçası üzerinde 15, 30, 45, 60, 75 ve 90 derece olarak 6 farklı açı bulunmaktadır. Ölçüm sonuçları için 3 farklı açı değeri seçilip farklı giriş parametrelerine göre ölçüm sonuçları hazırlanmıştır.

Tablo 1.4 üzerinde belirtildiği gibi, 12 farklı deney grubu yüzey aşındırmalarının giriş etkilerine göre çıktı üzerinde nasıl değişiklikler gösterdiğini incelemek üzere seçilmiştir. Bu seçilen değerler farklı sıcaklık, basınç ve süre değişkenleri göz önünde bulundurularak optimum bir deney olacak şekilde tasarlanmıştır. Genel olarak her bir değişkeni sabit tutarak diğer parametrelerinin değişmesinin yüzey açısından nasıl bir fark yarattığı incelenmiştir.

Sıcaklık değeri için seçilen değerler 25, 35 ve 45 derece olarak seçilmiştir. Bunun sebebi oda sıcaklığında veya daha yukarısında bir sıcaklık değerinin buhar basıncına olan etkisi ve aynı zaman yüzey aşındırmasına olan etkisi gözlemlenmiştir. Bir başka değişken basınç ise düşük, orta ve yüksek değerlerinde parametrik olarak denenmiş olup, çıktıya olan

etkisi incelenmiştir. Yüksek basınç veya düşük basınçta yüzeye etki değeri ne seviyede etki ettiği incelenmiştir. Yine aynı şekilde etki edecek bir diğer parametre ise süre parametresidir. Süre değişkeni ise 15, 30, 45, 60 dakika olarak seçilmiş olup bu değerlerin yüzeye etkisi incelenmiştir. Belirlenen bu parametreler daha önceden el yordamıyla yapılan deney düzeneklerine göre belirlenmiştir. 60 dakika üzerinde parça üzerinde deformasyonlar başladığı için sağlıklı bir test düzeneği yaratarak parametreler incelenmiştir. Çıkan sonuçlara göre cihaz için en uygun değerler belirlenecek ve makinanın giriş değerleri olarak sabitlenecektir.

Tablo 5.1 Test Deney Grupları

Test Parça Kodu	Sıcaklık	Basınç	Süre
A1	25C	ORTA	30 DK
A2	35C	ORTA	30 DK
A3	45C	ORTA	30 DK
B1	25C	DÜŞÜK	30 DK
B2	25C	ORTA	30 DK
B3	25C	YÜKSEK	30 DK
C2	25C	ORTA	30 DK
C3	25C	ORTA	45 DK
C4	25C	ORTA	60 DK

D1	25C	YÜKSEK	60 DK
D2	45C	DÜŞÜK	15 DK
D3	35C	YÜKSEK	60 DK
REFERANS PARÇASI	İŞLEM GÖRMEMİŞTİR.		

Tablo 5.1’de A1-A2-A3-B1-B2-B3-C1-C2-C3-D1-D2-D3 parçalarının işlem göreceği farklı sıcaklık, basınç ve işlem sürelerini içeren deney parametreleri yer almaktadır. Sıcaklık olarak 25-35-45C derece, basınç için düşük-orta-yüksek olarak tanımlanan değerler ve süre için 15-30-45-60dk değerleri ile deney yapılacaktır.

Yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar projenin gidişatı ve geliştirilmeye açık olması sonucunu doğurmaktadır. Elde edilen bulgular, sanayide ve hizmet sektöründe karşılığını bulabilmesi için düzenli olarak sektörden sonuçlarla ilgili geri bildirimler alınmıştır. 3 boyutlu yazıcıların son zamanlarda oldukça artmasıyla, kullanıcıların da bu teknolojiye olan artan talebinden dolayı, çıkan ürünlerin iyileştirilmesi, firmalara katma değer sağlamıştır.

Tridi Teknoloji AŞ firması ile ortak çalışma yapılarak yürütülen bu sanayi - arge projesinde çıkan sonuçlar gerçek anlamda müşterilere sunulmuştur. Hem görsel hem de yüzey kalitesi açısından işçilik zamanlarından oldukça avantaj sağlayarak firma açısından tercih haline gelen bir cihaz olmuştur.

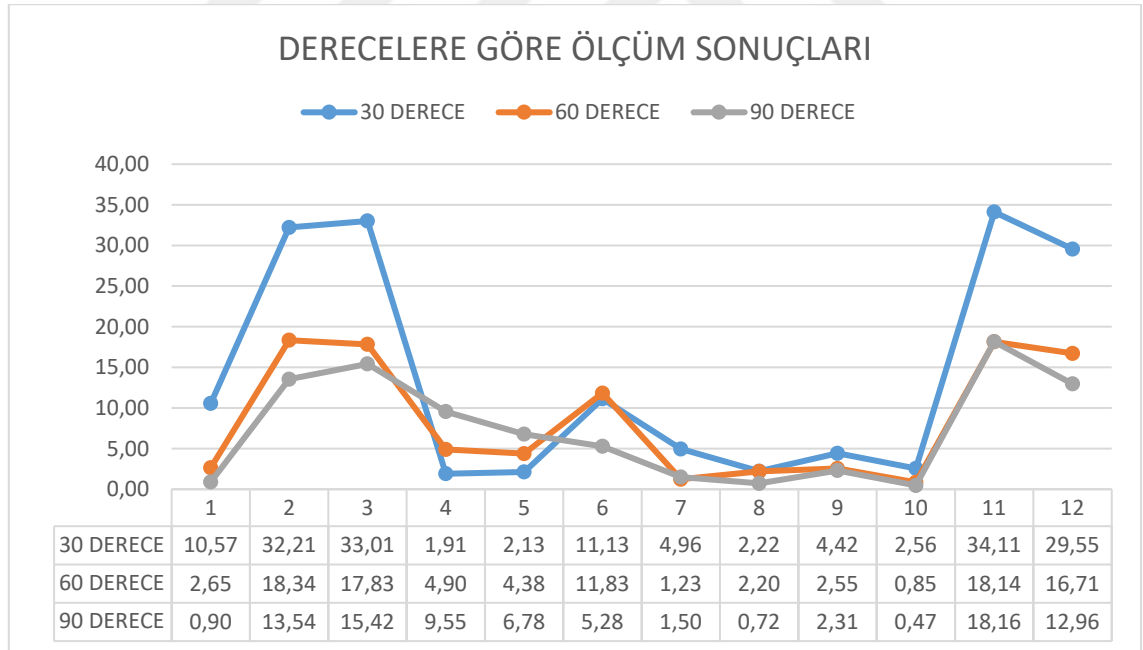
Tridi Teknoloji firması dijital üretim hizmet alanında faaliyet göstermekte olup, müşterilerine farklı teknolojilerde üretim hizmeti sunmaktadır. Bu hizmetler arasında prototipleme teknolojisi de yer almaktadır. Günümüz itibari ile 8 yıldır aktif olarak faaliyetlerine devam eden, kurumsal anlamda hizmet sunan, rakiplerine göre oldukça avantajlı konumda olması dolayısıyla sektörde tercih sebebi olan Tridi Teknoloji, bu

çalışmalarda ortaya çıkan sonuçlardan oldukça fayda görmüş ve çalışmalarımızı da desteklemiştir.

3 boyutlu yazıcılarda basılan ürünlerin geliştirmiş olduğumuz cihazda çıkan sonuçları farklı parametrelere göre deney grupları oluşturularak yüzey ölçüm cihazından incelenmek üzere ayrılmıştır. Bu sayede çıkan ürünlerin yüzey pürüzlülük Ra değerleri incelenip, farklı modlardaki sonuçların çıktılara yansımalarına bakılmıştır.

Yüzey ölçüm sonrası elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine göre giriş parametreleri belirlenmiştir. Bu giriş parametrelerinin çıktılara olan etkisi incelenmiş ve cihaz için gerekli olan en uygun ayarlar parametrik olarak çıkartılmaya çalışılmıştır. Bu sayede parça geometrisi fark etmeden her ürün için doğru yüzey pürüzlülük değerini verecek optimum giriş değerleri çıkarılmıştır.

Grafik 5.1 Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Açılara Göre Dağılımı



Grafik 5.1’de sıcaklık, basınç ve zaman parametreleri ile yapılan yüzey pürüzlülük deneyinin sonuçları yer almaktadır. Parça üzerinde yer alan 30 derece açılı bölümün sonuçları mikrometre olarak ölçülmüştür ve grafikte mavi ile gösterilmiştir. 60 derece açılı bölümün sonuçları turuncu ve 90 derece açılı bölümün sonucu kahverengi ile

gösterilmiştir. Ölçüm sonuçları yorumlanmak üzere grafik haline getirilmiştir. 4-5-8-9 yüzey pürüzlülüklerinin yakınlığı grafikte gözlemlenmiş ve incelenmek üzere kaydedilmiştir. 2-3-11-12 değerleri yüzey pürüzlülüğü açısından kabul edilebilir değerler değildir.

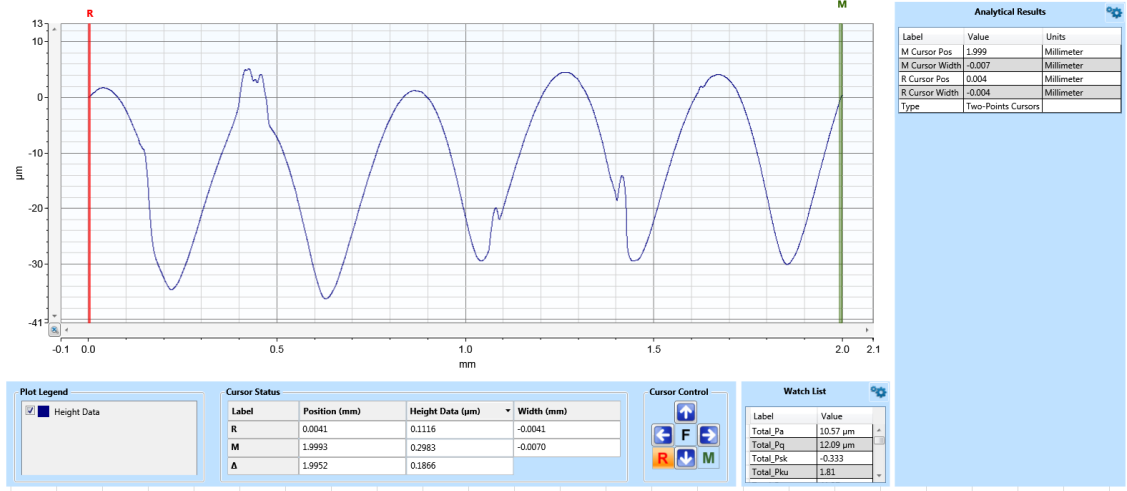
Tablo 5.2’te grafik değerleri tabloda gösterilmiştir.

Tablo 5.2 Test Deney Gruplarına Göre Yüzey Pürüzlülük Değerleri

DK SEVIYE C				ÖLÇÜM SONUÇLARI - Ra		
SÜRE	BASINÇ	SICAKLIK	GRUP	30 DERECE	60 DERECE	90 DERECE
30	2,00	25	A1	10,57	2,65	0,90
30	2,00	35	A2	32,21	18,34	13,54
30	2,00	45	A3	33,01	17,83	15,42
30	1,00	25	B1	1,91	4,90	9,55
30	2,00	25	B2	2,13	4,38	6,78
30	3,00	25	B3	11,13	11,83	5,28
30	2,00	25	C2	4,96	1,23	1,50
45	2,00	25	C3	2,22	2,20	0,72
60	2,00	25	C4	4,42	2,55	2,31
60	3,00	25	D1	2,56	0,85	0,47
15	1,00	45	D2	34,11	18,14	18,16
60	3,00	35	D3	29,55	16,71	12,96
			REFERANS PARÇASI	34,33	26,02	18,83

Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Bruker Dektak XT marka model cihaz profilometre ile ölçülmüştür. Her bir deney grubu için ayrı bir ölçüm yapılmıştır. Çıkan sonuçların

görseli şekil 5.1 'de gösterilmiştir. Yüzey ölçümü için Total Pa değeri göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 5.1 A1 – 30 Derece Profilometre Yüzey Ölçüm Ekranı – Diğer Sonuçlar Appendix e eklenmiştir.

Şekil 5.1'de değerleri ölçmek için kullandığımız Bruker Dektak XT ölçüm ekranı konulmuştur. Cihaz parça üzerinde gezdirdiği probun hareketi ile ölçüm yapmaktadır. Grafikte yükselen alanlar parça üzerindeki katman çizgilerini, düşüş kısımları ise katman çizgilerinin arasındaki boşlukları göstermektedir. Grafik üzerindeki küçük parazitler parça üzerinde ihmal edilecek düzeyde olan bozulmaları göstermektedir. Grafiğin altında yer alan tablolarda grafiğin sayısal değerleri bulunmaktadır.

Tüm deney gruplarının Total Pa değerleri göz önüne alınarak her açıdaki sonuçlar için regresyon modeli uygulanmıştır. Farklı açılardaki yüzeylerde farklı sonuçlar elde edildiği için her modelin denklemi ayrı olarak oluşturulmuştur [11].

30 Derece Yüzey Regresyon Sonuçları

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R	0,943
R Kare	0,889

Ayarlı R	
Kare	0,847
Standart	
Hata	5,383
Gözlem	12

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık</i> <i>F</i>
Regresyon	3	1857,540	619,180	21,368	0,0004
Fark	8	231,815	28,977		
Toplam	11	2089,355			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart</i> <i>Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük</i> <i>%95</i>	<i>Yüksek</i> <i>%95</i>	<i>Düşük</i> <i>95,0%</i>	<i>Yüksek</i> <i>95,0%</i>
Kesişim	-41,649	9,827	-4,238	0,003	-64,310	-18,988	-64,310	-18,988
SÜRE	-0,100	0,141	-0,709	0,498	-0,425	0,225	-0,425	0,225
BASINÇ	4,974	3,075	1,617	0,144	-2,118	12,066	-2,118	12,066
SICAKLIK	1,637	0,217	7,545	0,001	1,136	2,137	1,136	2,137

$$(y_i - \bar{y}) = (\hat{y}_j - \bar{y}) + (y_i - \hat{y}_j) \quad (5.1)$$

$$\sum(y_i - \bar{y})^2 = \sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum(y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (5.2)$$

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 y + \beta_3 z \quad (5.3)$$

Burada elde edilen sonuçlara göre lineer denklem için gerekli olan katsayılar elde edilerek denklem çıkarılmıştır. Katsayılar sütununda yer alan değerler sırasıyla β_0 , β_1 , β_2 , β_3 değerleri olarak denklemde yerine koyulduğunda 5.4 lineer denklemi elde edilmiştir. Benzer yaklaşımla 30 derece için bulunan lineer denklem aynı şekilde Anova

yöntemi ile elde edilen regresyon sonuçlarına göre 60 derece ve 90 derece yüzeyler için de uygulanarak 5.5 ve 5.6 denklemleri elde edilmiştir.

$$\widehat{Y}_{30} = -41,65 - 0,1 * SÜRE + 4,97 * BASINÇ + 1,64 * SICAKLIK \quad (5.4)$$

60 Derece Yüzey Regresyon Sonuçları

Regresyon İstatistikleri	
Çoklu R	0,900
R Kare	0,809
Ayarlı R Kare	0,738
Standart Hata	3,801
Gözlem	12

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F
Regresyon	3	490,312	163,437	11,311	0,003
Fark	8	115,597	14,450		
Toplam	11	605,909			

	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95	Düşük 95,0%	Yüksek 95,0%
Kesişim	-19,007	6,939	-2,739	0,025	-35,009	-3,005	-35,009	-3,005
SÜRE	-0,111	0,100	-1,114	0,298	-0,341	0,119	-0,341	0,119
BASINÇ	3,556	2,172	1,637	0,140	-1,452	8,564	-1,452	8,564
SICAKLIK	0,808	0,153	5,272	0,001	0,454	1,161	0,454	1,161

$$\widehat{Y}_{60} = -19 - 0,11 * SÜRE + 3,56 * BASINÇ + 0,81 * SICAKLIK \quad (5.5)$$

90 Derece Yüzey Regresyon Sonuçları

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R	0,896
R Kare	0,803
Ayarlı R	
Kare	0,729
Standart	
Hata	3,346
Gözlem	12

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anamlılık</i> <i>F</i>
Regresyon	3	364,157	121,386	10,844	0,003
Fark	8	89,549	11,194		
Toplam	11	453,706			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart</i> <i>Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-</i> <i>değeri</i>	<i>Düşük</i> <i>%95</i>	<i>Yüksek</i> <i>%95</i>	<i>Düşük</i> <i>95,0%</i>	<i>Yüksek</i> <i>95,0%</i>
Kesişim	-9,892	6,108	-1,620	0,144	-23,976	4,192	-23,976	4,192
SÜRE	-0,038	0,088	-0,431	0,678	-0,240	0,164	-0,240	0,164
BASINÇ	-0,746	1,911	-0,390	0,707	-5,154	3,662	-5,154	3,662
SICAKLIK	0,672	0,135	4,985	0,001	0,361	0,983	0,361	0,983

$$\widehat{Y}_{90} = -9,9 - 0,04 * SÜRE - 0,75 * BASINÇ + 0,67 * SICAKLIK \quad (5.6)$$

5.2 Sonuçların Değerlendirilmesi

Deney aşamasında öngörülen parametrelerin belirlenen girdilere göre çıktıya etkisi gözlemlenmiştir. Giriş parametreleri olan süre, basınç ve sıcaklık değerlerinin

farklılıklarına göre yüzeyde ölçülen değerlerin değişimleri incelenerek bir yaklaşım yapılmıştır.

Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre analizler yapılmıştır. Anova ve regresyon yöntemi kullanılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. R değeri ve ayarlı R kare değerleri değişkenlerin sonuçlar üzerindeki etkisine bakmak için incelenmiştir. 3 ayrı yüzey derecesinde de R ve ayarlı R kare değerleri incelenmiştir. Ayarlı R kare değerinin R kare değerinden farkı sonucu yanıtacak gereksiz eklenen bağımsız değişkenleri ihmal etmesidir. Bu sayede daha doğru bir yaklaşım ve denklem için ayarlı R kare değişkeni de göz önünde bulundurulmuştur [12].

Deney sonuçlarına bakıldığında, herhangi bir yaklaşım yapmadan bile gözle görülür bir şekilde sıcaklık parametresinin sonuçlara etkisini görebilmekteyiz. Sıcaklık değeri arttıkça yüzey aşındırma azalmaktadır ve neredeyse referans parça değerine yaklaşmıştır. Bunun sebebi olarak sıcaklık arttığında buhar basıncının düşmesi olarak yorumlanmıştır. Artan sıcaklıkta solventi etki derecesi azalmaktadır. Dolayısıyla yüzeye etki eden aşındırma yeterli süre olmasına rağmen gerçekleşmemiştir. Kullanılan solventin buharlaşma derecesinin 56°C derece olmasını göz önünde bulundurduğumuzda kaynama noktasına yakın bir değerde işlem yapmak parçaya etki etmediği sonucu çıkarabilmekteyiz. Burada çözüm olarak oda sıcaklığında kimyasal solventi kullanmak sonucu ortaya çıkmaktadır veya kaynama sıcaklığı daha yüksek olan bir aşındırıcı solvent ile deney sonuçları tekrar gözlemlenebilir. Bu çalışma için kullanılacak olan kimyasal solventin aseton olmasından dolayı oda sıcaklığında çalışmak tercih edilecektir.

Bir diğer gözlem ise açıkça görüleceği üzere süre ile yüzey aşındırma arasındaki ilişkinin süre arttıkça artan yönde olmasıdır. Deney sonuçlarında da görüleceği üzere uzun süreler yüzey aşındırmasına maruz kalan parçaların yüzey sonuçları daha pürüzsüz hale gelmiştir. Bununla ilgili olarak yaklaşım şu şekildedir. İzole oda içerisinde kimyasal solvente maruz bırakılan parçaya etki eden buhar basıncını yeterli düzeyde oluşturabilmek için belirli bir basınç etki seviyesinin yakalanması gerekmektedir. Bu başlangıç basıncının oluşması için minimum gereken zaman 15 dakikadır. Bu süreden önce herhangi bir şekilde parça üzerinde bir aşındırma başlamamaktadır. Gerekli süre

taini için minimum 30 dakikalık bir işlem gerekmektedir. Bu süreye etki eden diğer iki parametre olan sıcaklık ve basınç da ele alındığında farklı bir yaklaşım yapılması sonucu çıkmaktadır. Makinenin en kısa sürede işlem yaparak parça üzerindeki aşındırmanın gerçekleşmesi için diğer iki parametrenin de optimum seviyede ayarlanması gerekmektedir. Deney sonuçlarından da görüleceği üzere 60 dakika bekletilen parçanın yüzey sonuçları C4 ve D1 deney grupları için oldukça iyi yönde ve hedefe uygun sonuçlar verirken, yine aynı sürede bekletilen D3 deney grubu için sonuçlar oldukça farklı olduğu gözükmemektedir. Buradan yola çıkarak süre sadece tek başına bir parametre olmadığını söylemek gerekir. Sıcaklık ve basınç değeriyle doğru korelasyonda bir optimizasyon yapılarak en iyi sonucu elde edebileceğimizi söyleyebiliriz.

Elde edilen deney sonuçları ile sadece gözlem dışında bir regresyon yaklaşımı ile bir denklem oluşturularak, girdilerin etkilerine göre çıktılara etkiyen denklem yaklaşımı çıkartılmıştır. Bu sonuçların daha gerçekçi olarak etkisini görmek adına lineer bir yaklaşım yapılarak 30 derece, 60 derece ve 90 derece için elde edilen denklemler regresyon sonuçlarında belirtilmiştir.

Sonuç olarak ölçüm sonuçları 3 farklı yüzey için ayrı ayrı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara regresyon yöntemi uygulanarak girdilerin çıktılara olan etkisi gözlemlenmiştir. Anlamlı olan giriş değerleri göz önünde bulundurularak sıcaklık değerinin çıktıya etkisi maksimum seviyede olduğu söylenebilmektedir. Sıcaklık değeri arttıkça yüzey aşındırma oranı düşmektedir ve pürüzlülük değeri artmaktadır. Kullanılan solventin kaynama sıcaklığı 56°C olduğu için yüksek sıcaklıkta buhar basınç etkisini kaybetmektedir. Düşük buhar basıncında ise yüzey aşındırma işlemi süreden bağımsız olarak gerçekleşmemektedir. Bu yüzden cihazda kullanılacak sıcaklık ayarı en optimum seviye olan 25°C olarak sabitlenecektir.

Diğer değişkenlerden biri olan süre ise sıcaklık etmenine göre daha az etki etmektedir. Elde edilen verilere göre süre arttıkça aşındırma ve pürüzlülük oranı artmaktadır. Regresyon yöntemi ile yaklaşımda bulunarak elde edilmiş denklemde süre etkisi daha az etki etse de aşındırmanın başlaması için ortamdaki buhar basıncının oluşması adına

minimum bir süre gerekmektedir. Bu yaklaşıma göre cihaz için en doğru süre olarak 60 dakika tercih edilecektir.

Son değişken olan basınç değerine göre çıktılara etkisine bakıldığında, basınç arttıkça yüzey pürüzlülüğüne negatif yönde etki ettiği görülmüştür. Bu etki diğer değişkenler olan süre ve sıcaklığa göre çok daha az etki etmektedir. Dolayısıyla basınç azaldığında daha iyi bir yüzey kalitesi edildiği gözlemlendiği için, cihaza giriş parametresi olarak düşük basınç değeri tercih edilecektir.

Elde edilen tüm bu bulgulara göre cihazın yüzey aşındırması için en uygun değerleri belirlenmiş olup, bu sayede yüzey açısı değişse bile en doğru giriş değerleri belirlenerek sistem iyileştirmesi ve optimizasyonu yapılmıştır.



- [1] Kuo, Chil-Chyuan, and Rui-Cheng Mao. "Development of a precision surface polishing system for parts fabricated by fused deposition modeling." *Materials and Manufacturing Processes* 31.8 (2016): 1113-1118.
- [2] Kalyan, K., Singh, J., Singh, G., Soni, S., & Singh, H. (1 Mar 2018). Integration of FDM and vapor smoothing process : Analyzing properties of fabricated ABS replicas. *Materials Today: Proceedings*, 5(14), 27902–27911
- [3] Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı, Sektörler ve Kamu Yatırımları Genel Müdürlüğü (Temmuz 2019). Üretimde Paradigma Değişikliği, Artırımsal Üretim, Üç Boyutlu Yazıcılar. ISBN: 978-605-7519-55-9
- [4] Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies <https://www.astm.org/Standards/F2792.htm>
- [5] An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919308169>
- [6] Chohan, Jasgurpreet Singh, et al. "Dimensional accuracy analysis of coupled fused deposition modeling and vapour smoothing operations for biomedical applications." *Composites Part B: Engineering* 117 (2017): 138-149.
- [7] Singh, Rupinder, et al. "Investigation for surface finish improvement of FDM parts by vapor smoothing process." *Composites Part B: Engineering* 111 (2017): 228-234.
- [8] Garg, Ashu, Anirban Bhattacharya, and Ajay Batish. "On surface finish and dimensional accuracy of FDM parts after cold vapor treatment." *Materials and Manufacturing Processes* 31.4 (2016): 522-529.
- [9] Lalehpour, Amirali, and Ahmad Barari. "Post processing for fused deposition modeling parts with acetone vapour bath." *IFAC-PapersOnLine* 49.31 (2016): 42-48.
- [10] Mu, Mulan, et al. "Surface modification of prototypes in fused filament fabrication using chemical vapour smoothing." *Additive Manufacturing* 31 (2020): 100972.
- [11] Khan, M. S., and S. B. Mishra. "Minimizing surface roughness of ABS-FDM build parts: An experimental approach." *Materials Today: Proceedings* 26 (2020): 1557-1566.
- [12] Suárez-Macías, Jorge, et al. "Surface treatments with dichloromethane to eliminate printing lines on polycarbonate components printed by fused deposition modelling technology." *Materials* 13.12 (2020): 2724.



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Projeler

1. TÜBİTAK TEYDEB 1501 / 3191725 No'lu Proje

