T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİŞİYE ÖZEL YÜZ (SOLUNUM) MASKESİ TASARIMI ve İMALATI

Ahmet ÇAKIR

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Kemal SÜRMEN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2022

Bu çalışma, Tarih girmek için burayı tıklatın. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından ....., ...nda ..... olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Kemal SÜRMEN(Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Mahmut Cüneyt FETVACI
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Yunus Ziya ARSLAN
Türk – Alman Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışması İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmamın fikir aşamasında, planlanmasında ve yürütülmesinde, değerli görüş ve katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hasan Kemal SÜRMEN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Değerli dostum Burhan ÖZÜDOĞRU'ya da desteğini her zaman hissettirdiği için teşekkür ederim. Maddi ve manevi desteklerini her zaman hissettiğim, kıymetli ailem, annem Zehra ÇAKIR, babam Ali ÇAKIR, ablam Bahar ÇAKIR ve kardeşim Betül ÇAKIR en büyük teşekkürü size borç bilirim. Bu çalışmayı, tez sunumuma çok kısa bir süre kala vefat eden anneannem Emine BAYRAK'a adıyorum.

Son olarak, bana karşı olan sabrı, güveni, desteği ve hayatıma kattıkları için kıymetli eşim Neslihan TURHAN ÇAKIR'a sonsuz teşekkür ederim.

Ocak 2022 Ahmet ÇAKIR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **ix**
KISALTMA LİSTESİ ..... **x**
ÖZET ..... **xi**
SUMMARY ..... **xiii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 TEZİN AMACI 5
2. GENEL BİLGİLER **6**
2.1 EKLEMELİ İMALAT 6
2.1.1. Eklemeli İmalat Süreci 7
2.1.2. Eklemeli İmalat Yönteminde Kullanılan Malzemeler ve Uygulama Alanları 11
2.1.3. Eklemeli İmalat Teknolojisinin Avantaj ve Dezavantajları 12
2.1.4. Eklemeli İmalat Metotları 14
2.1.1.1. Lazer Tabanlı İşlemler *14*
2.1.1.2. Ekstrüzyon Tabanlı İşlemler *15*
2.1.1.3. Malzeme Püskürtme Tabanlı İşlemler *16*
2.1.1.4. Yapıştırıcı Tabanlı İşlemler *16*
2.1.1.5. Elektron Işını Tabanlı İşlemler *17*
2.2 ERİYİK YIĞMA MODELLEME 17
2.3 KORUYUCU EKİPMAN (MASKE) VE ÖZELLİKLERİ 20
2.4 TERSİNE MÜHENDİSLİK 21
3. MALZEME VE YÖNTEM **23**
3.1 MALZEME SEÇİMİ 24
3.2 YÜZ MODELİ OLUŞTURULMASI 26
3.3 MASKE TASARIMI 28
4. BULGULAR **31**
4.1 MASKE İLE YÜZ ARASINDAKİ TOPLAM DEFORMASYON ANALİZİ 31

4.2 MASKE YÜZ ARASI HAVA AKIŞ ANALİZİ 34
4.3 MASKENİN 3B YAZICI İLE BASILMASI 36
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 40
KAYNAKLAR 43
ÖZGEÇMİŞ 48

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Maske kullanımında sıklıkla karşılaşılan sızdırmazlık problemleri. 2

Şekil 1.2: Maske çeşitlerine göre koruyuculuk etkinliği [1]. 3

Şekil 1.3: Günlük kullanım sırasında yaygın olarak karşılaşılan maske kayması. 4

Şekil 1.4: a) Sağlık personellerinin uzun süreli maske kullanımından sonra yüzde meydana gelen eritem ve iritasyonlar **b)** Cerrahi maske kullanımında karşılaşılan problemler [8]. 4

Şekil 2.1: Eklemeli imalat sürecinin şematize edilmesi [11]. 7

Şekil 2.2: Eklemeli imalat süreç kategorizasyonu [9].....17

Şekil 2.3: EYM süreç şematiği. 18

Şekil 2.4: Eriyik yığma modelleme parça kalitesi ve performans iyileştirme teknikleri üzerine bir literatür taramasının sınıflandırılması. 19

Şekil 2.5: Geleneksel tersine mühendislik [40].....22

Şekil 3.1: Tasarım süreci, geri besleme ve döngüler [45]. 23

Şekil 3.2: Kişiye özel, tam temaslı yüz maskesinin tasarım ve üretim adımları. 24

Şekil 3.3: FARO Edge Arm cihazı. 27

Şekil 3.4: Blender yazılımı "Facebuilder for Blender" eklentisi arayüzü. 28

Şekil 3.5: Ön çalışma kapsamında tasarlanmış olan konsept maske tasarımının a) patlatılmış montaj görüntüsü, b) yüze uygulanmış montaj görüntüsü. 29

Şekil 3.6: Maske çerçevesi ve maske gövdesi aynı forma sahip olarak elde edilmiştir.....30

Şekil 3.7: Sadeleştirilmiş filtre destek parçaları tasarımı. 30

Şekil 4.1: a) Analize hazır geometri **b)** Mesh yapısı. 31

Şekil 4.2: Maske – yüz arası uygulanan kuvvet. 32

Şekil 4.3: Sabit destek bölgeleri. 32

Şekil 4.4: Toplam deformasyon. 33

Şekil 4.5: Elastik gerilme analizi. 33

Şekil 4.6: N95 maske örneği ile yapılan analiz. 33

Şekil 4.7: Sadeleştirilmiş N95 maske örneği. 34

Şekil 4.8: İç akış hacmi. 35

Şekil 4.9: Hız akış vektörleri. 35

Şekil 4.10: Hız akış kontürü. 36

Şekil 4.11: Çalışmada kullanılan Raise 3B marka EYM yazıcı görseli. 37

Şekil 4.12: Baskı aşaması. 37

Şekil 4.13: 3B yazıcı ile üretilmiş prototip maske. 39

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: ABS ve PLA polimerin özellikleri [54]. 26

Tablo 4.1: Malzeme özelliği [55]. 31

Tablo 4.2: Çalışmada kullanılan Raise 3B marka EYM yazıcının özellikleri.....37

Tablo 4.3: PLA Filament fiziksel, mekanik ve termal özellikleri [57].....38

KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
3B	: Üç Boyutlu
ABS	: Akrilonitril-Bütadien-Stiren Kopolimerleri
AMF	: The Additive Manufacturing File Format
ASTM	: American Society For Testing And Materials
BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım
BDÜ	: Bilgisayar Destekli Üretim
Eİ	: Eklemeli İmalat
EYM	: Eriyik Yığma Modelleme
FDM	: Fused Deposition Modeling
FFP	: Filtering Face Piece
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
HP	: Hızlı Prototipleme
KKD	: Kişisel Koruyucu Donanım
PA	: Poliamid
PC	: Polikarbonat
PLA	: Polilaktik Asit
SEM	: Sonlu Elemanlar Metodu
SLA	:Stereolitografi
SLS	: Seçici Lazer Sinterleme
TM	: Tersine Mühendislik

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİŞİYE ÖZEL YÜZ (SOLUNUM) MASKESİ TASARIMI ve İMALATI

Ahmet ÇAKIR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Hasan Kemal SÜRMEN

Genel olarak, "yüz maskesi" terimi, birincil işlevi parçacıkların veya damlacıkların geçişini azaltmak olan koruyucu ekipmanı ifade etmektedir. Yüz maskeleri, toz, kirleticiler, alerjenler, patojenik organizmaların solunum yoluyla vücuda alınmasına karşı fiziksel bir bariyer olarak kullanılmaktadırlar. Covid – 19 pandemisiyle de yeniden gündeme gelen yüz (solunum) maskeleri kişisel korunmada çok önemli bir rol oynamaktadırlar. Son yıllarda yüz maskelerinin kullanım performanslarının artırılması büyük önem kazanmıştır. Sızdırmazlık, uzun süreli kullanım, konfor, maske – yüz uyumluluğu, tekrar kullanılabilirlik, temizlenebilirlik gibi parametreler kullanım performansını belirlemektedir. Bu tez kapsamında toz, sis, buğu, duman ve havada asılı kalan biyolojik parçacıklara karşı koruma sağlayan maskelere alternatif, kişiye özel bir yüz (solunum) maskesinin tasarım ve üretim metodundan bahsedilmektedir. Bu metotta, kişinin yüz hatlarıyla örtüşen, sızdırmazlık oranı yüksek, uzun süreli kullanımlarda yüksek konfora sahip, yeniden kullanılabilir ve filtreleri değiştirilebilir bir solunum maskesi tasarımı geliştirilmiştir. Maskenin tasarımında kişinin yüzü üç boyutlu fotogrametrik modelleme yöntemi ile elde edilmiş ve maske bu model kullanılarak kişinin yüzü ile tam – temaslı olacak şekilde tasarlanmıştır. Sonlu elemanlar metodu kullanılarak maskenin yüzde oluşturduğu deformasyon incelenmiş ve hava akış analizleri yapılmıştır. Sonrasında tasarımı yapılan maske bir eklemeli imalat metodu olan eriyik yığma modelleme ile üretilmiştir. Birçok kişiye özel tasarlanmış biyomedikal cihazda olduğu gibi bu tezde tasarlanan yüz maskesi modeli de antropometrik verilere dayandığı için serbest formlu bir geometriye sahiptir. Bu tez kapsamında günümüz üç boyutlu tarama ve üç boyutlu baskı teknolojilerden tasarım ve üretim

aşamasında etkin bir şekilde faydalanılmıştır. Ayrıca, bu çalışmada geliştirilen tasarım ve üretim metodu ile itfaiye maskesi olarak ifade edilen duman maskesi, yüzme – dalış maskesi, kimyasal, biyolojik, radyasyon ve nükleer maskesi, pilotların kullandığı oksijen maskesi gibi birçok yüz maskesinin kişiye özel bir şekilde tasarlanması ve performanslarının artırılması mümkün olabilir.

Ocak 2022, 62 sayfa.

Anahtar kelimeler: Yüz maskesi tasarımı, solunum maskesi, 3b fotogrametri, eklemeli imalat, eriyik yığma modelleme

SUMMARY

M.Sc. THESIS

DESIGN and MANUFACTURING of PERSONALIZED FACE MASK (RESPIRATOR)

Ahmet ÇAKIR

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Hasan Kemal SÜRMEN

Generally, the term "face mask" refers to protective equipment whose primary function is to reduce the passage of particles or droplets. Face masks are used as a physical barrier against the inhalation of dust, pollutants, allergens and pathogenic organisms. Face (respiratory) masks, which have come to the fore again with the Covid-19 pandemic, play a very important role in personal protection. Increasing the usage performance of face masks has gained great importance in recent years. Parameters such as tightness, long-term use, comfort, mask-face compatibility, reusability, cleanability determine the performance of use. In this thesis, the design and production method of a personalized face (respiratory) mask, which is an alternative to masks that provide protection against dust, fog, mist, smoke and airborne biological particles, is discussed. In this method, a reusable and replaceable filter respirator mask design has been developed, which overlaps with the person's facial features, has a high sealing rate, has high comfort in long-term use. In the design of the mask, the face of the person was obtained by the three-dimensional photogrammetric modeling method and the mask was designed to be in full-contact with the person's face using this model. By using the finite element method, the deformation of the face of the mask was examined and air flow analyzes were made. As with many custom-designed biomedical devices, the face mask model designed in this thesis has a free-form geometry as it is based on anthropometric data. Within the scope of this thesis, today's three-dimensional scanning and three-dimensional printing technologies have been effectively utilized in the design and production stages. In addition, with the design and production method

developed in this study, it may be possible to individually design and increase the performance of many face masks such as smoke masks, swimming - diving masks, chemical, biological, radiation and nuclear masks, and oxygen masks used by pilots.

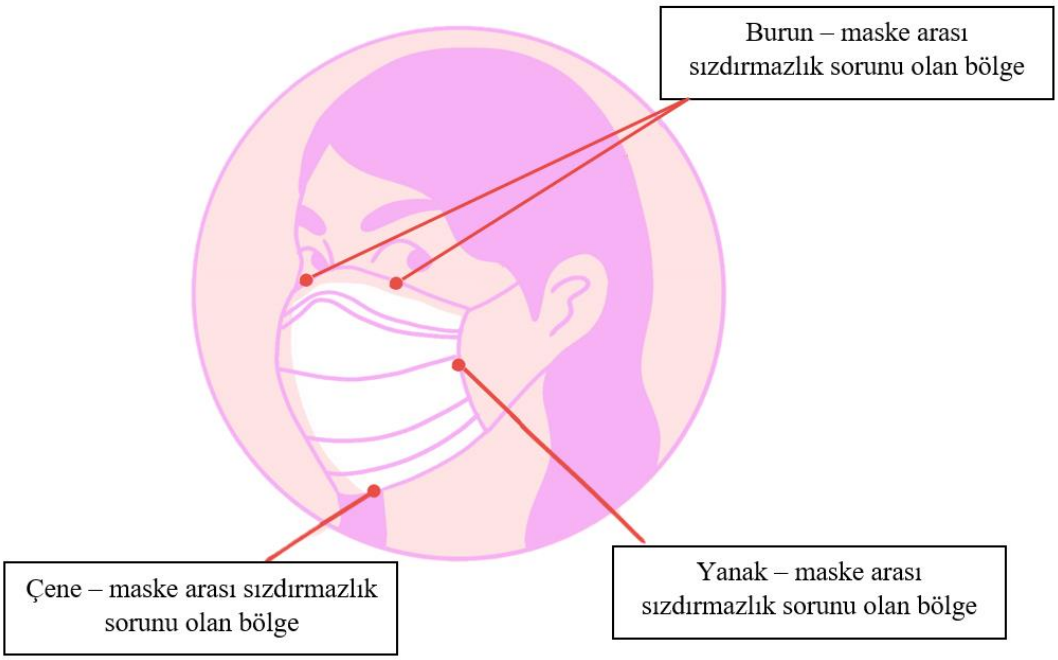
January 2022, 62 pages.

Keywords: Face mask design, respiratory mask, 3d photogrammetry, additive manufacturing, fused deposition modeling

1. GİRİŞ

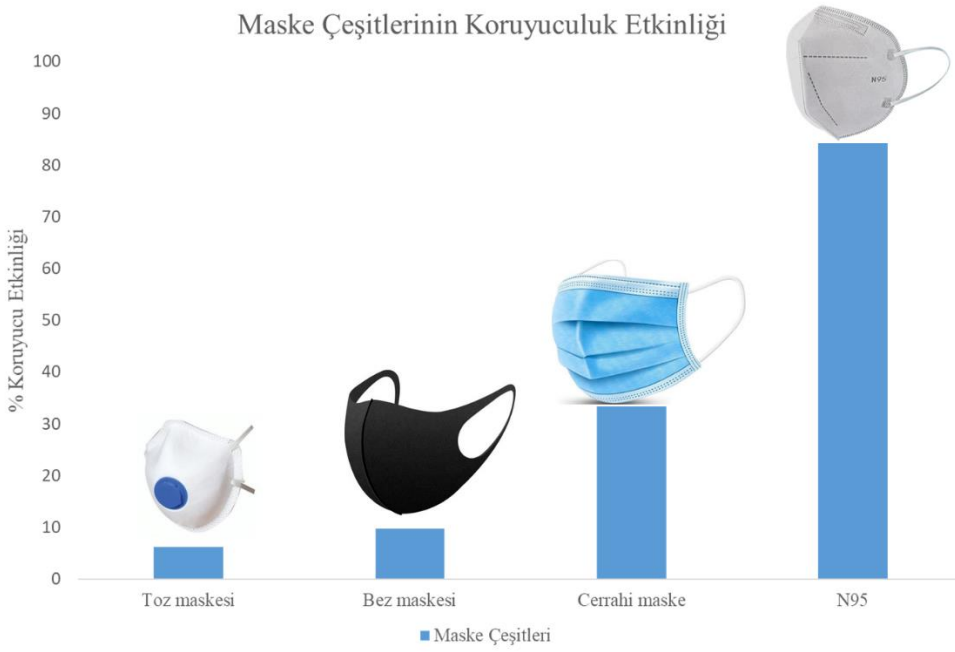
Havada taşınan damlacıklar ve asılı durumda bulunan çok küçük taneciklerden korunmak için yüz maskeleri ve solunum maskeleri kullanılmaktadır. Maskeler çeşitlerine göre; toz, sis, buğu, duman, alerjenler, biyolojik parçacık gibi aerosolleri filtreleme görevlerine sahiptirler [1]. Bununla beraber olası bir enfeksiyon durumunda, maskeler uygun bir şekilde kullanıldığı zaman toplu ortamlarda enfeksiyonun yayılma hızını azaltmada önemli bir etkiye sahiptir. Dünya çapında sağlık alanında bez, pamuk veya gazlı bez maskeleri (bez maskeleri); tıbbi, cerrahi veya prosedür maskesi (tıbbi maskeler); ve N95, N99, N100, P2, P3, FFP2 ve FFP3 solunum maskeleri (solunum aygıtları) kullanılmaktadır [2]. Sağlık alanında maskelerin uyku apneli hastaların tedavisinde kullanılan oronazal maskeler gibi farklı çeşitleri de bulunmaktadır. Maskeler sağlık sektörünün dışında da havada bulunan toz ve gazlardan korunmak, hava beslemesi sağlamak, basınç düşürmek, su girişini engellemek gibi birçok amaçla farklı alanlarda kullanılmaktadır.

Maskeler kullanım alanına uygun görevleri yerine getirebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Cerrahi maskeler gibi yüz koruyucuları, bir kişi tarafından solunan ortam partiküllerinin konsantrasyonunu azaltırken, aynı zamanda o kişi tarafından çevreye yayılan ekspiratuar partiküllerin sayısını da azaltabilmektedir. Maskelerin çeşitlerine göre sahip oldukları birçok farklı özelliğin arasında filtreleme ve sızdırmazlık, maskelerin fonksiyonelliği açısından en yaygın aranan iki temel özelliktir [3]. Sızdırmazlık özelliği maskenin kendi malzemesi ve sahip olduğu öğelerle alakalı olduğu gibi maskenin uygulandığı yüze tam olarak oturması ve maskenin kenarlarından hava çıkışına izin verilmeyerek tam bir izolasyonun sağlanmasıyla gerçekleştirilir. Şekil 1.1'de maske kullanımında sıklıkla karşılaşılan sızdırmazlık problemleri gösterilmektedir. Burun, çene ve yanaklar ile maske arasında kalan bölgeler sızdırmazlık probleminin en sık yaşandığı yerlerdir. Yüz maske uyumu bu bölgelerde tam olarak sağlanamadığından koruyucu ekipman görevini tam olarak yerine getirememektedir. Partikül boyutuna bağlı olarak materyal filtreleme verimliliği, yüz maskesinin hava geçişi performansını etkileyen en önemli kriterdir. Filtreleme verimi, filtre malzemesinin doğasına, bulaşıcı partikülün boyutuna, solunum ve çevre koşullarına, yüz sızdırmazlığına ve kullanıcı uyumuna bağlıdır [4-5].



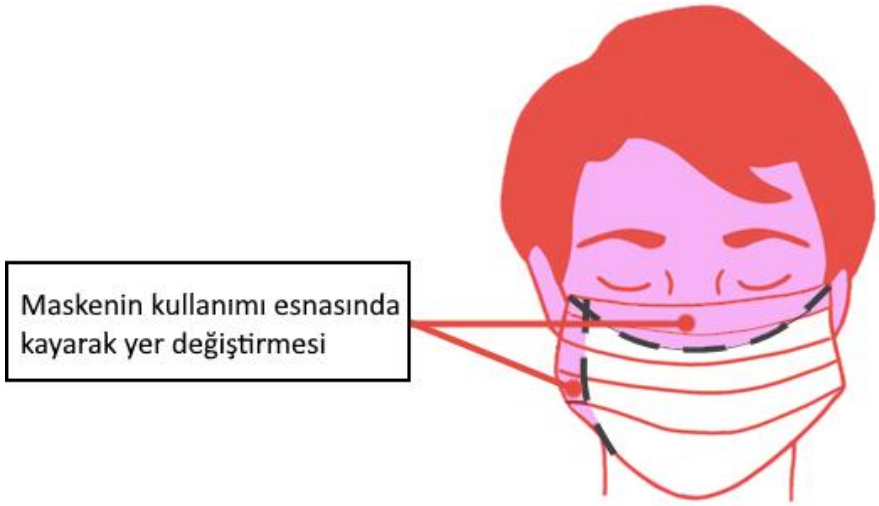
Şekil 1.1: Maske kullanımında sıklıkla karşılaşılan sızdırmazlık problemleri.

Salgın hastalıklarda virüslerin havada tanecikler içinde süzülerek insandan insana bulaştığı ortamlarda, zehirli gaz ve partiküllerin havada taşındığı ortamlarda kullanılacak maskelerin yüze tam oturması, bu şekilde dış ortamla izolasyonun sağlanması gereklidir. Yüz maskeleri ve solunum cihazları ile tozdan, alerjenlerden ve bulaşıcı aerosollerden korunma, bileşiğin aerosol konsantrasyonuna ve solunan doza bağlıdır. Yapılan bir çalışmada cerrahi, bez maskeleri, toz maskeleri ve N95 maskesi için koruyucu etkinlikleri sırasıyla %33.3, %11.3, %6.1 ve %89,6 bulunmuştur [1] (Şekil 1.2.) . Diğer maske çeşitlerine göre daha düşük hava geçirgenliğine ve su buharı geçirgenliğine yani yüksek malzeme filtreleme verimliliğine (%90'dan fazla [6]) sahip olan N95 solunum maskelerinde [4] bile yüz-maske arasındaki sızıntı, solunan ortam partiküllerinin birincil kaynağını sağlamaktadır [3]. Dolayısıyla kullanılan maskenin koruyucu etkinlik verimliliği yüksek olsa bile maske etrafından olabilecek bir sızıntı ile sızdırmazlık özelliği tam olarak sağlanamamaktadır.



Şekil 1.2: Maske çeşitlerine göre koruyuculuk etkinliği [1].

Yüz maskelerinde en çok aranan özelliklerden biri olan sızdırmazlık, kimi maskelerde tam olarak sağlanamazken kimi maskelerde de kullanıcıyı rahatsız eden bir şekilde tasarlanmakta ve bu konforsuzluk maske kullanımını zorlaştırdığı gibi maske kullanım süresini de düşürmektedir. Maskeler yüze takıldıktan sonra kafanın arkasına geçirilen bir veya daha fazla kayışla yüze sabitlenirler. Hava sızdırmazlığının sağlanabilmesi için kayışlar sıkılarak maske yüze doğru çekilip yüzle tam temasın sağlanmasına çalışılır. İnsan yüzü kişiden kişiye boyut ve şekil olarak farklılıklar gösteren serbest-formlu bir yapıdadır. Üretilen maskeler birkaç farklı boyutta üretilmiş olsalar da, her insanın yüz şeklinin birbirinden farklı olmasından dolayı tam uyumun sağlanması mümkün değildir. Bununla beraber maskelerin kayışları sıkılıp maskenin yüzle temas eden kısımlarından yüze doğru basınç uygulanarak yüz şekillerindeki farklılıklardan oluşan açıklıklar kapatılmaya çalışılır. Ayrıca, maskeler günlük kullanımda yüz formuna, günlük aktiviteye bağlı olarak ideal konumunu koruyamamakta ve yüz yapısı üzerinde çeşitli yönlere kaymaktadır. Bu durumda da tam izolasyon sağlanamamakta, ayrıca maske konforu da düşmektedir. Şekil 1.3'te yüzde ideal maske konumu ve kayan bir maske gösterilmektedir.



Şekil 1.3: Günlük kullanım sırasında yaygın olarak karşılaşılan maske kayması.

Uzun süreli maske kullanımı, temas bölgelerinde kızarıklığa, döküntü, pigmentasyon ve kontakt dermatit gibi birçok dermatolojik iritasyonlara, cilt hassasiyetine ve tahrişe neden olabilmektedir (Şekil 1.4) [7]. Ticarileşmiş maskelerin sahip olduğu bu dezavantajlardan dolayı, tam bir izolasyonla beraber yüksek konforda maske tasarımı ve üretimi ihtiyaç haline gelmiştir.



a) b)

Şekil 1.4: a) Sağlık personellerinin uzun süreli maske kullanımından sonra yüzde meydana gelen eritem ve iritasyonlar **b)** Cerrahi maske kullanımında karşılaşılan problemler [8].

Bunlara ek olarak; dünya çapında dönemsel olarak yaşanan salgın hastalıklar dikkate alındığında maske ihtiyacı dünya nüfusu düşünüldüğünde çok yüksek boyutlara çıkmaktadır. Bu nedenle maskelerin ulaşılabilir veya kolayca üretilebilir olması önemlidir. Eklemeli imalat yöntemi ile üretilen maskelere ulaşım kolaylaştığı gibi ani yüksek üretim ihtiyacı doğduğunda

yeni üretim hatlarının kurulması için gerekli olan maddi imkansızlıklar ve süre kısıtlamalarından doğabilecek krizlerin önüne geçebilme fırsatı sunmaktadır.

Tek kullanımlık maskeler yıkanabilir veya tekrar kullanıma uygun değillerdir. Bu maskelerin uzun dönemlerde çok sayıda insan tarafından tüketilmesi ekonomik olarak büyük bir sorun oluşturmaktadır. Kişinin kendi yüz hatlarına göre üretilecek olan maske arındırıcılarla yıkanabilmekte, ayrıca maske filtreleri değiştirilebilir özellikte olduğu için tekrar kullanılabilmektedir. Özellikle virüs maskesi olarak bilinen tıbbi ve solunum maskelerinin her kullanımdan sonra değiştirilmesi gerekmekte, bunun ihmal edilmesi sağlık açısından riskler taşımaktadır.

1.1 TEZİN AMACI

Bu çalışma ile havada damlacık yoluyla yayılan virüs, toz, sis, buğu, duman, biyolojik parçacık gibi aerosollere karşı koruma sağlayan, yeniden kullanılabilir, filtreleri değiştirilebilir, maske kullanıcısının yüz hatlarına tam uyum gösteren bir solunum maskesi tasarımı ve eklemeli imalat yöntemi kullanılarak üretimi gerçekleştirmek amaçlanmıştır. Maske kullanımlarında en yaygın karşılaşılan problemler; maske – yüz arası sızdırmazlığın tam olarak sağlanamaması, uzun süreli kullanımlarda konforsuzluk, pandemi dönemlerinde yüksek sayıda maske kullanımı nedeniyle ortaya çıkan çevre kirliliği ve maske ihtiyacı olarak belirtilebilir. Bu tez kapsamında geliştirilecek maskenin, kişiye özel tasarımı sayesinde yüksek oranda sızdırmazlık sağlayarak, konfor seviyesini artırması, özellikle uzun süreli kullanımlarda yüzde meydana gelebilecek tahrişin önüne geçmesi, filtreleri değiştirilebilir, daha çevreci bir tasarım oluşturması ve maske kullanım performansının arttırması amaçlanmıştır. Ayrıca bu çalışmaya konu olan maske, doğru maske kullanımı alışkanlığının kazanılması açısından daha pratik bir yaklaşım sunmayı amaçlamaktadır. Maskenin beklenmedik nedenlerden dolayı hasar alması durumunda kişiye özel olarak tasarlanmış olan elektronik ortamdaki model üzerinden bir 3B yazıcıyla (ev tipi masa üstü yazıcı) yeniden üretilebilmesi ve sürekliliğin sağlanması bu çalışmanın bir diğer amacıdır.

Ayrıca, bu çalışmada geliştirilen tasarım ve üretim metodu ile itfaiye maskesi olarak ifade edilen duman maskesi, yüzme – dalış maskesi, kimyasal, biyolojik, radyasyon ve nükleer maskesi, pilotların kullandığı oksijen maskesi gibi birçok yüz maskesinin kişiye özel bir şekilde tasarlanması ve performanslarının artırılması amaçlanmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 EKLEMELİ İMALAT

Eklemeli imalat (Eİ), geçmişte hızlı prototipleme (HP) olarak adlandırılırken, günümüzde 3B Baskı olarak adlandırılan üretim teknolojisi için kullanılan resmi bir terimdir. Eklemeli imalat, "geleneksel üretim metodolojilerinin aksine, 3B model verilerinden nesneler yapmak için malzemeleri katman üstüne katman ekleyerek birleştirme işlemi" olarak tanımlanmaktadır [9]. Hızlı prototipleme terimi, çeşitli endüstrilerde, son sürümden veya ticarileştirmeden önce hızlı bir şekilde bir sistem veya parça temsili oluşturma sürecini tanımlamak için kullanılmaktadır. Bir ürün geliştirme bağlamında, hızlı prototipleme terimi ise doğrudan dijital model verilerinden fiziksel prototipler oluşturan teknolojileri tanımlamak için yaygın olarak kullanılmıştır.

Hızlı prototipleme teriminin yetersiz olduğunu ve özellikle teknolojinin daha yeni uygulamalarını etkili bir şekilde tanımlamadığı fark edilmiştir. Bu makinelerden çıkan ürünlerin nihai ürüne çok daha yakın olduğu tespit edilmiştir. Birçok parça artık doğrudan bu makinelerde üretilmekte ve bu nedenle onları "prototip" olarak etiketlenmesi mümkün olmamaktadır. Hızlı prototipleme terimi aynı zamanda bu teknolojilerin temel prensibini gözden kaçırmaktadır, çünkü bu parçalar / ürünler eklemeli bir yaklaşım kullanarak imal edilmektedir. ASTM (American Society For Testing And Materials) bünyesinde oluşturulmuş bir teknik komitenin çalışmaları neticesinde artık bu imalat yöntemi için eklemeli imalat terimi kullanılmaktadır [10].

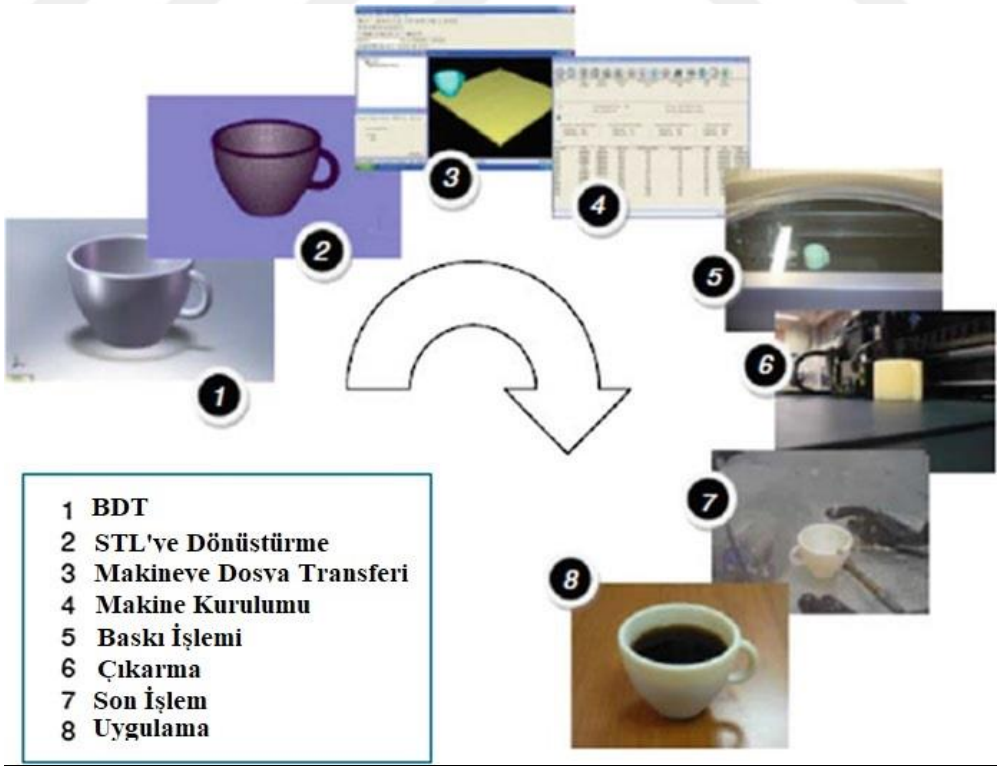
Eklemeli imalat teknolojisinin temel prensibi, üç boyutlu Bilgisayar Destekli Tasarım (3B BDT) sistemi kullanılarak oluşturulan bir modelin, süreç planlamasına gerek kalmadan doğrudan üretilebilmesidir. Eklemeli imalat teknolojisi, BDT verilerinden karmaşık 3B nesnelerin üretme sürecini önemli ölçüde basitleştirmektedir. Diğer üretim süreçlerinde, farklı özelliklerin üretimi sırasında hangi araçların ve işlemlerin kullanılması gerektiği ve parçayı tamamlamak için hangi ek fikstürlerin gerekli olabileceği gibi koşulları belirlemek için parça geometrisinin dikkatli ve ayrıntılı bir analizinin yapılması gerekmektedir. Bunun aksine, eklemeli imalatın yalnızca bazı temel boyutsal ayrıntılara ve eklemeli imalat makinesinin nasıl çalıştığı ve parçayı oluşturmak için kullanılan malzemeler hakkında bilgiye ihtiyacı vardır.

Başlangıçta eklemeli imalat, özellikle geliştirilmekte olan ürünler için görselleştirme modelleri oluşturmak için kullanılmıştır. Kavramsal tasarımı sunarken, tasarımcının amacını tam olarak anlamada modellerin çizimlerden veya görüntülerden çok daha yararlı olabileceği yaygın olarak bilinmektedir. Çizimler daha hızlı ve oluşturulması daha kolay olsa da, tasarımın tam olarak doğrulanması için çoğu zaman modellere ihtiyaç duyulmaktadır.

Eklemeli İmalat teknolojisi model yapmak için yararlı olmakla birlikte üretim zincirleri oluşturmak için diğer teknolojilerle birlikte kullanıldığında, ürün geliştirme sürelerini ve maliyetlerini önemli ölçüde kısaltmak için kullanılabilmektedir.

2.1.1. Eklemeli İmalat Süreci

Eklemeli İmalat, sanal BDT tanımından fiziksel sonuç parçasına kadar bir dizi adım içermektedir. Eklemeli imalat süreci, genel olarak; i) Kavramsallaştırma ve BDT, ii) STL'ye dönüştürme, iii) Eklemeli İmalat Makinesine Aktarma ve STL Dosya İşleme, iv) Makine Kurulumu v) Baskı, vi) Çıkarma vii) Son İşlem, viii) Uygulama olmak üzere sekiz adım içermektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Eklemeli imalat sürecinin şematize edilmesi [11].

i) Kavramsallaştırma ve BDT: Eklemeli imalat parçaları, dış geometriyi tam olarak tanımlayan bir yazılım modelinden başlamaktadır. Bu model tüm profesyonel BDT katı modelleme yazılımlarının kullanımı ile elde edilebilmekte ve çıktı 3B katı veya yüzey temsili olmaktadır. Bu temsili oluşturmak için tersine mühendislik ekipmanları (örneğin, lazer ve optik tarama) da kullanılabilmektedir.

Ürün geliştirme sürecindeki ilk adım, ürünün nasıl görüneceği ve çalışacağı konusunda bir fikir bulmaktır. Kavramsallaştırma, pek çok biçimde (metin, eskiz, temsili model vb.) olabilmektedir. Eklemeli imalat ile üretim yapılacaksa, ürün açıklaması fiziksel bir modelin yapılmasına izin veren dijital bir biçimde olmalıdır.

Eklemeli imalat teknolojisi, 3B BDT programlarının katı nesneleri bilgisayarlarda temsil etme yeteneğini kullanarak, bu tür nesneleri fiziksel olarak üretmek için geliştirilmiş bir teknolojidir. Dolayısıyla, eklemeli imalat yöntemi ile bir ürünün üretilmesi için 3B BDT programlarına ihtiyaç vardır. Diğer birçok BDT / BDÜ (Bilgisayar Destekli Üretim) teknolojisinin aksine, eklemeli imalat için tasarım ve üretim aşamaları arasında çok az müdahale bulunmakta veya hiç müdahale bulunmamaktadır.

Modern katı modelleme BDT araçlarının çoğu boşluksuz dosyalar oluşturabilmektedir, bu da bir parçanın geometrik olarak belirsiz olmayan temsilleri ile sonuçlanmaktadır ve katı verilerin bütünlüğünü koruma etkisi göstermektedir. Makinenin içine sığması koşuluyla, tipik olarak herhangi bir BDT modeli çok fazla zorluk olmadan eklemeli imalat teknolojisi kullanılarak üretilebilmektedir.

ii) STL'ye Dönüştürme: Eklemeli imalat makineleri STL dosya biçimini kullanmaktadır. STL terimi, 1990'larda 3B Systems'in ilk ticari eklemeli imalat teknolojisi olan STereoLithograhy'den türetilmiştir. STL, BDT modelini yalnızca geometrisi açısından tanımlamanın basit bir yoludur. Yapı verilerini, modelleme geçmişini vb. kaldırarak ve modelin yüzeylerini bir dizi üçgen yüzle yaklaştırarak çalışmaktadır. Bu üçgenlerin minimum boyutu, çoğu BDT yazılımında ayarlanabilmektedir ve oluşturulan modellerin yüzeyde herhangi bir belirgin üçgen göstermemesini amaçlamaktadır. Üçgen boyutu, aslında üçgenin temsil ettiği düzlem ile temsil etmesi beklenen yüzey arasındaki minimum mesafe cinsinden hesaplanmaktadır. Temel bir pratik kural, minimum üçgen ofsetinin eklemeli imalat makinesinin çözünürlüğünden daha küçük olmasını sağlamaktır. Çoğu BDT sisteminde STL'ye

dönüştürme işlemi otomatiktir, ancak bu aşamada hatalar meydana gelme olasılığı bulunmaktadır. Bu nedenle, bu tür hataları tespit etmek ve mümkünse bunları düzeltmek için bir dizi yazılım aracı geliştirilmiştir.

STL dosyaları, üçgen köşeleri ve yüzey normal vektörlerinin sıralanmamış bir toplamıdır. Bu nedenle, bir STL dosyasında birim, renk, malzeme veya diğer özellik bilgileri yoktur. STL dosyasının bu sınırlamaları, yakın zamanda yeni bir "AMF" (The Additive Manufacturing File Format) dosya formatının benimsenmesine yol açmıştır. Bu format STL formatını boyut, renk, malzeme ve diğer birçok kullanışlı özelliği içerecek şekilde genişleten uluslararası bir ASTM / ISO standart formatıdır.

iii) Eklemeli İmalat Makinesine Aktarma ve STL Dosya İşleme: STL dosyası oluşturulduktan ve onarıldıktan sonra, doğrudan hedef eklemeli imalat makinesine gönderilebilmektedir. İlk görev, parçanın doğruluğunu denetlemek olacaktır. Eklemeli imalat sistem yazılımı normalde kullanıcının parçayı görüntülemesine ve değiştirmesine izin veren bir görselleştirme aracına sahiptir. Kullanıcı, parçayı yeniden konumlandırmak veya hatta makine içinde belirli bir konuma inşa edilmesine izin vermek için yönünü değiştirmek isteyebilir. Bir eklemeli imalat makinesinde aynı anda birden fazla parça oluşturmak oldukça yaygındır. Bu, aynı parçanın katları veya tamamen farklı STL dosyaları olabilmektedir. STL dosyaları doğrusal olarak kolayca ölçeklenebilmektedir. Bazı uygulamalar, proses büzülmesini veya kaplamaları hesaba katmak için eklemeli imalat parçasının orijinalden biraz daha büyük veya biraz daha küçük olmasını gerektirebilir; bu nedenle imalattan önce ölçeklendirme gerekebilmektedir. Uygulamalar ayrıca parçanın bir şekilde tanımlanmasını gerektirebildiğinden, STL formatlı verilere metin ve basit özellikler eklemek için bazı yazılım araçları geliştirilmiştir. Bu araçlarda, 3B kabartmalı karakterler ekleme şeklinde yapılmaktadır. STL dosyalarının segmentasyonunu (örneğin, çok büyük olabilecek parçalar için) veya hatta birden fazla STL dosyasının birleştirilmesini gerektirebilir.

iv) Makine Kurulumu: Eklemeli imalat makinesi, baskı işleminden önce uygun şekilde ayarlanmalıdır. Bu tür ayarlar, malzeme kısıtlamaları, enerji kaynağı, katman kalınlığı, zamanlamalar vb. gibi yapım parametreleriyle ilgili olmaktadır.

v) Baskı İşlemi: Parçanın oluşturulması otomatikleştirilmiş bir süreçtir ve makine büyük ölçüde gözetimsiz olarak devam edebilmektedir. Malzemenin bitmesi, güç veya yazılım

arızaları vb. gibi hiçbir hatanın meydana gelmediğinden emin olmak için yalnızca makinenin yüzeysel olarak izlenmesi gerekmektedir.

vi) Çıkarma: Eklemeli imalat makinesi oluşturmayı tamamladığında, parçalar çıkarılmalıdır. Parça çıkarılırken, güvenlik kilitlerine sahip olabilen makine ile etkileşim gerekebilmektedir.

İdeal olarak, eklemeli imalat makinesinin çıktısı, minimum manuel müdahale ile kullanıma hazır olmalıdır. Bazen durum böyle olsa da, çoğu zaman parçalar kullanıma hazır hale gelmeden önce birçok son işlemden geçirilmesi gerekmektedir. Her durumda, parça ya parçanın üretildiği bir inşa platformundan ayrılmalıdır ya da parçayı çevreleyen fazla yapı malzemesinden çıkarılmalıdır.

vii) Son İşlem: Parça makineden çıkarıldıktan sonra, kullanıma hazır hale gelmeden önce ek temizlik gerektirebilir. Parçalar bu aşamada zayıf veya çıkarılması gereken destekleyici özelliklere sahip olabilmektedir. Son işlem aşaması yapılacak uygulamaya özeldir. Bazı uygulamalar yalnızca minimum bir son işlem gerektirebilirken, bazı uygulamalar ise iyi bir hassasiyet ve bitirme sağlamak için parçaların çok dikkatli kullanılmasını gerektirebilmektedir. Bu nedenle, bu aşamada cilalama, zımparalama, kimyasal veya ısıl işlem, yüzey kaplama, kurutma, boyama ve pişirme gibi manuel operasyonlar yapılmalıdır.

viii) Uygulama: Bu aşamada parçalar artık kullanıma hazır hale gelmektedir. Bununla birlikte, kullanım için kabul edilebilir hale gelmeden önce de bazı parçalara astarlama ve boyama gibi ek işlem uygulaması gerekebilmektedir. Nihai bir model veya ürün oluşturmak için diğer mekanik veya elektronik bileşenlerle birlikte monte edilmeleri de gerekebilir.

Eklemeli imalat yöntemi ile üretilen parçalarda işlem veya malzeme ile bağlantılı olarak bazı olumsuzluklar meydana gelebilmektedir. Parçaların benzer malzemelerden yapılmasına rağmen standart malzeme özelliklerine göre davranmaması, küçük boşluklara sahip parçaların, mekanik gerilme altında arızalara neden olması, malzemenin yapım sırasında bozulması veya malzemelerin optimum şekilde bağlanmaması veya kristalleşmemesi gibi olumsuzluklarla karşılaşılabilmektedir. Sonuç olarak, eklemeli imalat ile üretilen parçalar, daha geleneksel bir üretim yaklaşımı kullanılarak yapılan parçalardan farklı davranır. Bu davranış, belirli bir uygulama için daha iyi veya daha kötü olmasına neden olduğundan, bir tasarımcı, bu farklılıkların farkında olmalı ve tasarım aşamasında bunları dikkate almalıdır. Eklemeli imalat malzemeleri ve süreçleri hızla geliştiğinden; tasarımcılar, ihtiyaçları için eklemeli imalatı nasıl

kullanacaklarını en iyi şekilde belirlemek adına malzemelerdeki ve süreçlerdeki son gelişmelerden haberdar olmalıdır [11].

2.1.2. Eklemeli İmalat Yönteminde Kullanılan Malzemeler ve Uygulama Alanları

Eklemeli imalat yöntemi kullanılırken genellikle metaller ve alaşımlar, polimerler ve kompozitler, seramikler ve beton kullanılmaktadır. Amaca yönelik daha spesifik malzemelerin kullanımı da mevcuttur. 3B baskı için filament, tel, toz, macun, tabaka ve mürekkep şeklindeki malzemeler kullanılabilmektedir.

Metal malzeme kullanılan eklemeli imalat yönteminde, geleneksel üretim yöntemlerine kıyasla özel bağlantılarla karmaşık geometriler üretmek için kolaylık sağlanmaktadır. Metallerin 3B baskı işlemi, bir lazer veya bir elektron ışını gibi bir enerji kaynağı kullanılarak metalik besleme stoğunun (toz veya tel) eritilmesinden oluşmaktadır. Eriyen malzeme, katı bir parça oluşturmak için katman katman dönüştürülmektedir. Bu teknoloji ağırlıklı olarak havacılık endüstrisinde araştırma, prototip oluşturma veya ileri uygulamalarda, ayrıca biyomedikal, savunma ve otomotiv endüstrilerinde de kullanılmaktadır [12]. Metal malzeme ile eklemeli imalat, havacılık ve biyomedikal endüstrileri için önemli olan titanyum ve alaşımları gibi pahalı malzemelerle yapılan karmaşık bileşenlerin imalatını kolaylaştırmaktadır. Metal eklemeli imalat, düşük takım maliyetleri, karmaşık ve hafif yapıların tasarım ve imalat özgürlüğü ve parça montajlarını ortadan kaldırabilmesi gibi avantajlara sahiptir. 3B baskı için uygun sınırlı bir metal ve alaşım seçimi, mevcut alaşımların ve polimer-metal kompozitlerin sayısını artırmak, mevcut tekniklerin daha geniş bir malzeme yelpazesine uyarlanması ve ayrıca kompozit yapılar geliştirmek için sürekli araştırma ve geliştirmeyle sonuçlanmıştır. Parçaların yönüne bağlı olan gözeneklilik, malzeme özelliklerinin ve şekillerinin değişkenliği gibi kusurlar, metal 3B baskının olanaklarını hala sınırlamaktadır.

Polimerler, çeşitlilikleri ve farklı 3B baskı süreçlerine adaptasyon kolaylığı nedeniyle 3B baskı endüstrisinde en yaygın malzemeler olarak kabul edilmektedir. Eklemeli imalat için kullanılan polimerler, termoplastik filamentler, reaktif monomerler, reçine veya toz formunda bulunmaktadır. Akrilonitril-bütadien-stiren kopolimerleri (ABS), poliamid (PA), polikarbonat (PC) ve polilaktik asit (PLA) gibi termoplastik polimerler ve polistiren, poliamidler ve fotopolimer reçineler gibi ısıyla sertleşen tozlar, en yaygın polimer türleridir. Polimer ve kompozitlerin imalatı için stereolitografi, SLS(Seçici Lazer Sinterleme), EYM (Eriyik Yığma

Modelleme) , 3B biyo-baskı ve mürekkep püskürtmeli baskı gibi çeşitli 3 boyutlu baskı teknikleri mevcuttur. EYM, en yaygın olarak, düşük erime noktalarına sahip polimer kompozitlerin ve termoplastiklerin üretiminde kullanılmaktadır [13]. Polimerler ve kompozitler 3B baskı ile havacılık, mimari, oyuncak imalatı ve tıbbi alanlar gibi birçok endüstriyel uygulamada araştırılmıştır. 3B baskı kullanarak kompozit imal etme, geometriyi yüksek doğrulukla ve uygun maliyetle özelleştirme, daha gelişmiş özelliklere sahip polimer elde edilmesi gibi avantajlara sahiptir [14].

Eklemeli imalat, biyomalzemeler ve doku mühendisliği için gelişmiş seramiklerin üretiminde de önemli bir yöntemdir [15]. Baskının doğruluğuna rağmen, katman katman görünüm ve sınırlı malzeme seçimi, seramiklerin 3 boyutlu baskısı için ana zorluklardır [16]. Eklemeli imalat ile yüksek mukavemet / ağırlık oranına sahip 3B baskılı seramik malzeme üretimi kolaylaşmıştır. Seramikler, çoğunlukla toz veya mürekkep şeklinde 3B olarak basılmıştır. Tozlar, lazer kullanılarak sinterlenir veya yardımcı bir yapıştırıcıyla birbirine bağlanmaktadır. Seramiğin 3B baskısı, parçanın mikroyapısı ve bileşiminin kontrollü olmasına imkan tanımaktadır.

Eklemeli imalat teknolojisi ile kontur işleme adı verilen yöntem kullanarak beton hamurunu çıkarmak için daha büyük nozullar ve yüksek basınç yardımıyla katman görünüm yerine pürüzsüz bir yüzey elde etmek için aparat tasarlanmıştır [17].

2.1.3. Eklemeli İmalat Teknolojisinin Avantaj ve Dezavantajları

Eklemeli imalat yenilikçi bir üretim teknolojisidir ve üretimde verimliliği artırmak isteyen şirketler için yeni fırsatlar oluşturmaktadır. Ayrıca, geleneksel yöntemleri önemli ölçüde modernize ederek, ilerleyen yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte norm haline gelme potansiyeline sahiptir.

Geleneksel üretim süreçleriyle karşılaştırıldığında, eklemeli imalat malzeme verimliliği, kaynak verimliliği, parça esnekliği, üretim esnekliği, malzeme tasarrufu gibi avantajlara sahiptir;

Malzeme verimliliği: Büyük miktarda malzemenin çıkarılması gereken geleneksel eksiltici üretim metotlarının aksine, eklemeli imalat, parçaları katman katman oluşturarak ham maddeleri verimli bir şekilde kullanmaktadır. Kalan malzemeler genellikle minimum işlemle yeniden kullanılabilmektedir.

Kaynak verimliliği: Geleneksel üretim metotları, ana makine takımına ek olarak aparat, fikstür, kesici takımlar ve soğutucular gibi yardımcı kaynakları gerektirmektedir. Ancak eklemeli imalat, 3B BDT modellerinden alet ve kalıba gerek olmadan doğrudan üretim kolaylığı sağlamaktadır [18].

Parça esnekliği: Takım kısıtlamaları olmadığından, karmaşık özelliklere sahip parçalar tek bir parça halinde yapılabilmektedir. Farklı mekanik özelliklere sahip tek bir parça oluşturmak mümkün olması, tasarım yeniliği için fırsatlar sağlamaktadır.

Üretim esnekliği: eklemeli imalat makineleri maliyetli kurulumlar gerektirmediğinden küçük parti üretimleri ekonomik olmaktadır. Parçaların kalitesi, operatör becerilerinden çok sürece bağlıdır ve müşteri talebi ile kolayca senkronize edilebilmektedir. Karmaşık parçaların tek parça halinde üretilmesi ile üretimde meydana gelebilecek sorunlar(hat dengeleme ve üretimde tıkanıklık) ortadan kalkmaktadır [19,20].

Malzeme Tasarrufu: Eklemeli imalat yöntemi üretim sırasında kullanılmayan atık malzemeleri (toz, reçine vb.) yeniden kullanarak malzeme tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca, eklemeli proses olması nedeniyle imalat sırasında daha az atık oluşturmaktadır. Talep üzerine yedek parça yaratma yeteneği nedeniyle envanter israfını azaltmaktadır.

Yukarıda belirtilen avantajların yanı sıra, eklemeli imalat teknolojisi, bir takım dezavantajları nedeniyle, özellikle seri üretim alanında, geleneksel üretimle hala tam olarak rekabet edememektedir [21].

Boyut sınırlamaları: Eklemeli imalat parçaları katman katman oluştururken genellikle sıvı polimerler, reçine veya alçıdan oluşan bir toz kullanılmaktadır. Bu malzemelerin mukavemetinin düşük olması nedeniyle eklemeli imalat ile büyük boyutlu nesneler üretilememektedir. Büyük boyutlu nesneler, yapım sürecini tamamlamak için gereken uzun süre nedeniyle de genellikle pratik değildir. Ayrıca, eklemeli imalat makinesinin boyutu da parça boyutunu sınırlandırmaktadır [19,20].

Üretim süresi: Geleneksel seri üretime kıyasla, eklemeli imalatın nispeten yavaş olduğu gözlemlenmiştir. Eklemeli imalatta üretim çalışmaları arasında değişim süresi mevcut olmasa da, üretim çıktısı, geleneksel seri üretim çalışma sürelerine kıyasla daha uzun sürmektedir [22]. Büyük miktarlar talep edildiğinde yazıcıların üretim süreleri iyileştirilemediği sürece, tercih

edilen üretim mekanizması geleneksel imalat olacaktır. Sınırlı envanterde son derece özelleştirilmiş ürünler oluşturma yeteneği sunduğundan, eklemeli imalat teknolojilerinin toplu özelleştirme imalatında kullanılması daha olasıdır.

Maliyet: Baskı ekipmanının ve gerekli malzemelerin maliyeti eklemeli imalat teknolojisinin önündeki önemli engellerden birini oluşturmaktadır. Parça başına makine maliyeti, toplam maliyetin önemli bir bileşenidir. Eklemeli imalat için makineler ve malzemeler hala pahalıdır, ancak eklemeli imalatın daha yaygın olarak kullanılan bir üretim tekniği haline gelmesiyle bunların maliyeti düşecektir. Teknik gelişmelerdeki artış ve sektöre giren daha fazla üreticiyle birleştiğinde, 3B yazıcıların ve malzemelerin fiyatlarının yakın gelecekte düşmesi beklenmektedir.

Yönetmelikler: Eklemeli imalat gelişen her teknoloji gibi etkili bir şekilde düzenlenmelidir. Aksi takdirde, büyük sosyal ve ticari sonuçlara sahip olabileceği öngörülmektedir. Örneğin; 2013 yılında, plastik tabanca tasarımı internette ücretsiz olarak bulunmaktaydı [23]. BDT tasarımı ve öğeyi yazdırmak için yeterince büyük bir yazıcı mevcutsa, ürün kolayca ve kısıtlama olmaksızın var olabilir. 3B baskılı silah, metal dedektörleri tarafından tespit edilemediği için kötü niyetli biri tarafından basılmışsa, kamu güvenliğini tehdit edebilecektir.

Bilgi Eksikliği: Yeni bir imalat yöntemi olduğu için malzemelerin geliştirilmesi ve standardizasyonu zaman almaktadır. Mevcut malzemelerin ve eklemeli imalat teknolojilerinin mekanik ve termal özelliklerinin doğrulanması gerekmektedir. Eklemeli imalat konusunda yetenekli tasarımcı ve mühendis eksiği de bulunmaktadır [18].

2.1.4. Eklemeli İmalat Metotları

Parçalar oluştururken parçaların biriktirilme biçimi, çalışma prensibi veya kullanılan malzeme türüne bağlı olarak değişen çok sayıda eklemeli imalat yöntemi mevcuttur. Her yöntemin kendine özgü avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır [9].

2.1.1.1. Lazer Tabanlı İşlemler

Lazer tabanlı eklemeli üretim süreçleri, malzemeyi eritmek, katılaştırmak veya sertleştirmek için orta - düşük güçte bir lazer kaynağı kullanmaktadır. Lazere dayalı işlemler, faz değişim mekanizmasına bağlı olarak lazer eritme ve lazer polimerizasyon olmak üzere iki alt kategoriye ayrılmaktadır [9]. Lazer polimerizasyonunda, genellikle ışığa duyarlı bir reçine ve düşük güçlü

bir lazer kaynağı tarafından sağlanan UV radyasyonuna maruz kalması üzerine kürlenmektedir. Stereolitografi (SLA), katı zemin kürleme (SGC), Sıvı termal polimerizasyon (LTP), Işın girişim katılaşması (BIS), Holografik girişim katılaşması (HIS) yöntemleri yaygın olarak kullanılan lazer polimerizasyonu yöntemleridir. SLA ışığa duyarlı monomer reçinelerin UV radyasyonuna maruz kaldığında meydana gelen fotopolimerizasyon ilkesine dayanmaktadır. SGC, katman geometrisinin üretiminin yüksek güçlü bir UV lambası, maske veya lazer kaynağı aracılığıyla gerçekleştirildiği foto-polimer bazlı bir eklemeli üretim teknolojisidir [24]. LTP, parçanın ardışık sıvı polimer katmanlarının katılaşması ile oluşturulma biçiminde SLA'ya benzer bir işlemdir. BIS, farklı dalga boylarına sahip iki lazer ışınının kesişme noktasında ışığa duyarlı polimerlerin nokta nokta katılaşmasına dayanmaktadır. HIS sürecinde ise, polimerin tüm yüzeyinin katılaşması için bir teknede bulunan sıvı, ışığa duyarlı polimer üzerine holografik bir görüntü yansıtılmaktadır [25].

Lazerle eritme işlemlerinde, ince toz formunda olan malzemeyi seçici olarak eritmek için bir lazer kaynağı kullanılmaktadır. Malzeme daha sonra soğuyarak, son parçayı oluşturmak için katılaşmaktadır. Lazer ışınını x-y düzleminde yönlendirmek için tarama optiği kullanılmaktadır.

Seçici lazer sinterleme (SLS), Seçici lazer eritme (SLM), Doğrudan metal lazer sinterleme (DMLS), Lazerle tasarlanmış ağ şekillendirme (LENS), Doğrudan metal biriktirme (DMD), Lazer toz biriktirme (LPD), Seçici lazer kaplama (SLC) yöntemleri yaygın olarak kullanılan lazer eritme yöntemleridir. SLS'de, tanelerin birbirine kaynaşmasına izin verecek şekilde bir lazer ile ısıtılan ince bir toz kullanılır [18]. SLM ve DMD, SLS'ye benzer bir işlemdir, teknik ayrıntıları farklılık göstermektedir. LENS yöntemi, metal tozunu eritmek için yüksek güçlü bir lazer kullanarak parça üretiminde kullanılmaktadır. DMD, toz halindeki malzemeyi (metal) güç kaynağı olarak lazer kullanarak sinterleyen veya eriten bir eklemeli imalat tekniğidir. LPD sürecinde, bir toz / hava akımı doğrudan substrat üzerindeki lazer ışını odak noktasına enjekte edilmektedir [27]. SLC, bir alt tabaka üzerinde biriktirilecek metal tozunu eritmek için lazeri bir ısıtma kaynağı olarak kullanan başka bir ticari malzeme işleme tekniğidir.

2.1.1.2. Ekstrüzyon Tabanlı İşlemler

Materyal ekstrüzyon, genellikle plastik tel şeklindeki materyali yumuşatmak veya eritmek için ısıtılmış ekstrüzyon başlığının kullanıldığı termal proseslerdir. Eritilen malzeme, malzemeyi biriktiren bir ekstrüzyon nozülünden geçerek katılaşmak ve nihai parça geometrisini

oluşturmak için soğumaktadır. Robocasting ve Eriyik Yığma Modelleme (EYM) yöntemleri bu prosesler arasındadır [9]. Robocasting, yoğun seramikler ve kompozitler için yüksek sıcaklıkta, koloidal bulamaçların katman bazında biriktirilmesine dayanan serbest formlu bir imalat tekniğidir [28].

Bu tez kapsamında Eriyik Yığma Modelleme (EYM) yöntemi kullanıldığından dolayı, tezin "Eriyik Yığma Modelleme" bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır.

2.1.1.3. Malzeme Püskürtme Tabanlı İşlemler

Malzeme püskürtme işlemlerinde, tozu katı bir nesneye bağlamak için erimiş malzemeyi ya da bağlayıcıyı (yapıştırıcı) kontrollü bir şekilde "püskürtmek" için ince nozullar kullanılmaktadır.

İşlemin çalışma prensibi, faz değişikliği olmamasına rağmen, tüm lazer eritme işlemlerine çok benzerdir; bunun yerine bağlayıcı, toz partiküllerini bir arada tutmaktadır. Üç boyutlu baskı (3BP), Mürekkep püskürtmeli baskı (IJP), Multijet modelleme (MJM), Balistik parçacık üretimi (BPM) ve Termojet en yaygın kullanılan malzeme püskürtme işlemleridir. 3BP, parçaların bir toz yatağı içeren bir piston içinde oluşturulduğu katmanlı bir üretim sürecidir [29]. IJP, mürekkep damlacıklarını kağıt, plastik veya diğer alt tabakalara iterek dijital bir görüntü oluşturan bir tür bilgisayar baskısıdır. Mürekkebin viskozitesi ve katı içeriği, nozul boyutu ve baskı hızı, mürekkep püskürtmeli baskı parçalarının kalitesini belirleyen faktörlerdir [16]. İşlenebilirliğin sürdürülmesi, kaba çözünürlük ve katmanlar arasında yapışma olmaması, bu yöntemin ana dezavantajlarıdır.

MJM'de yönteminde katmanlama tekniği kullanılmaktadır. BPM işlemi, hedef substrat üzerinde biriktirilecek piezoelektrik mürekkep püskürtmeli baskı nozullerinden püskürtülen bir erimiş damlacık akışını içermektedir. Termojet yönteminde makinede, birden çok püskürtme nozülüne sahip geniş alanlı bir başlık kullanılır. Bu püskürtme başlıkları, katı nesneyi oluşturmak için çarpma sırasında soğuyan ve sertleşen küçük erimiş sıvı malzeme damlacıkları püskürtmektedir [9].

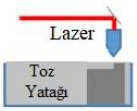
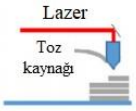
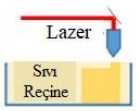
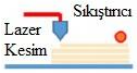
2.1.1.4. Yapıştırıcı Tabanlı İşlemler

Yapıştırıcı bazlı işlemler günümüzde sınırlı kullanım alanına sahiptir. Çalışma prensibi, istenen ana hatlarda ince bir kağıt veya plastik filmi kesen bir kesiciyi (genellikle bir lazer) içerir. Film daha sonra ısıtılmış bir sıkıştırıcı tarafından bir öncekinin üzerine bastırılır, böylece alt tabakaya yapıştırılmak üzere filmin aşağı bakan yüzünde bulunan ısıyla sertleşen bir yapıştırıcı

etkinleştirilmektedir. Lamine nesne imalatı (LOM) ve Katı folyo polimerizasyonu (SFP) yaygın olarak bilinen yapıştırıcı tabanlı eklemeli imalat yöntemleridir. LOM bir parçanın imalatında ekleme ve çıkartma tekniklerinin beraber kullanıldığı bir teknolojidir. Kullanılan malzemeler sac formundadır. Kağıt, plastik film, metalik sac ve seramik bant LOM teknolojisinde en sık kullanılan malzemelerdir [30]. SFP prosesi, yarı polimerize edilmiş plastik folyoların uygun ışık kaynağına maruz kalması üzerine tam polimerizasyonuna dayanmaktadır.

2.1.1.5. Elektron Işını Tabanlı İşlemler

Elektron ışını işlemleri, lazer eritme işlemleriyle aynıdır, ancak bir lazer ışını yerine, malzemeyi eritmek veya sinterlemek için bir enerji kaynağı olarak bir elektron ışını kullanılmaktadır. Elektron ışını üretimi (EBM) yaygın olarak kullanılan yöntemdir. EBM teknolojisi, yüksek basınç atmosferi altında metal tozların veya filamentlerin yüksek enerji ve sıcaklık sağlayan odaklanmış bir elektron ışını tarafından tamamen eritilmesi prensibine dayanmaktadır [30]. Eklemeli imalat süreçleri Şekil 2.2'deki gibi özetlenebilmektedir.

Eklemeli İmalat Süreçleri													
İşlem		Lazer Tabanlı Eİ Süreçleri						Termal Ekstrüzyon		Materyal Püskürtme		Materyal Yapıştırma		Elektron Işını	
		Lazer Eritme				Lazer Polimerizasyonu									
İşlem Şeması															
İsim	Malzeme	SLS		DMD		SLA		FDM		3DP		LOM		EBM	
		SLM		LENS		SGC		Robocasting		IJP		SFP			
		DMLS		SLC		LTP				MJM					
				LPD		BIS				BPM					
						HIS				Thermojet					
Malzeme Türü				Toz		Sıvı		Katı							

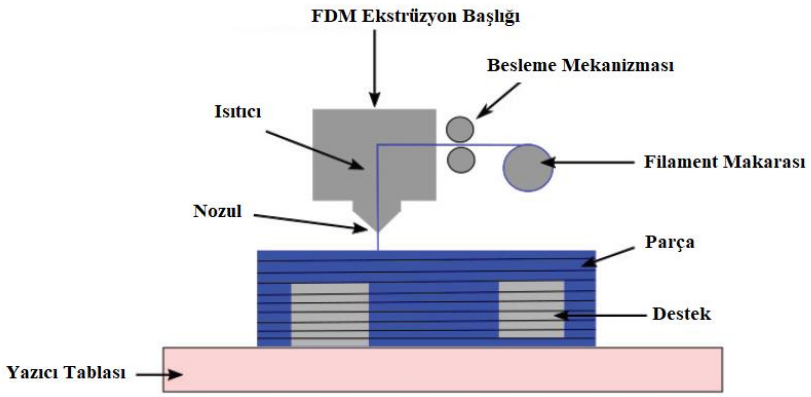
Şekil 2.2: Eklemeli imalat süreç kategorizasyonu [9].

2.2 ERİYİK YIĞMA MODELLEME

Eriyik yığma Modelleme (EYM), plastik veya kompozitleri katmanlar halinde birleştirerek yeni parçalar oluşturma prensibi ile çalışan bir eklemeli imalat yöntemidir. Ayrıca Eriyik yığma Modelleme, Fused Deposition Modeling (FDM), Fused Filament Fabrication (FFF), Modeling Extrusion (ME), Fused Layer Manufacturing (FLM) olarak da isimlendirilen ekstrüzyona

dayalı bir yöntemdir [31]. 1980'lerin sonunda, S. Scott Crump EYM 3B yazıcıyı geliştirmiş ve 1990'da Stratasys tarafından ticarileştirilmiştir [32].

EYM teknolojisinin genel çalışma prensibi Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Termoplastik filamentler üç boyutlu modeller oluşturmak için iki silindir tarafından bir baskı kafasının ekstrüderinin nozül ucuna doğru hareket ettirilir ve burada sıcaklık kontrol üniteleri tarafından yarı erimiş duruma ısıtılır. Yarı eriyik haldeki malzemeler nozülden ekstrüde edilir ve arzu edilen alanda katılaşır. Katılaşmadan sonra aynı yöntem ile başka bir katman biriktirilir. Bu adımlar, katman katman şeklinde bir 3B yapıyı üretmek için tekrarlanır ve nihai ürün elde edilir.

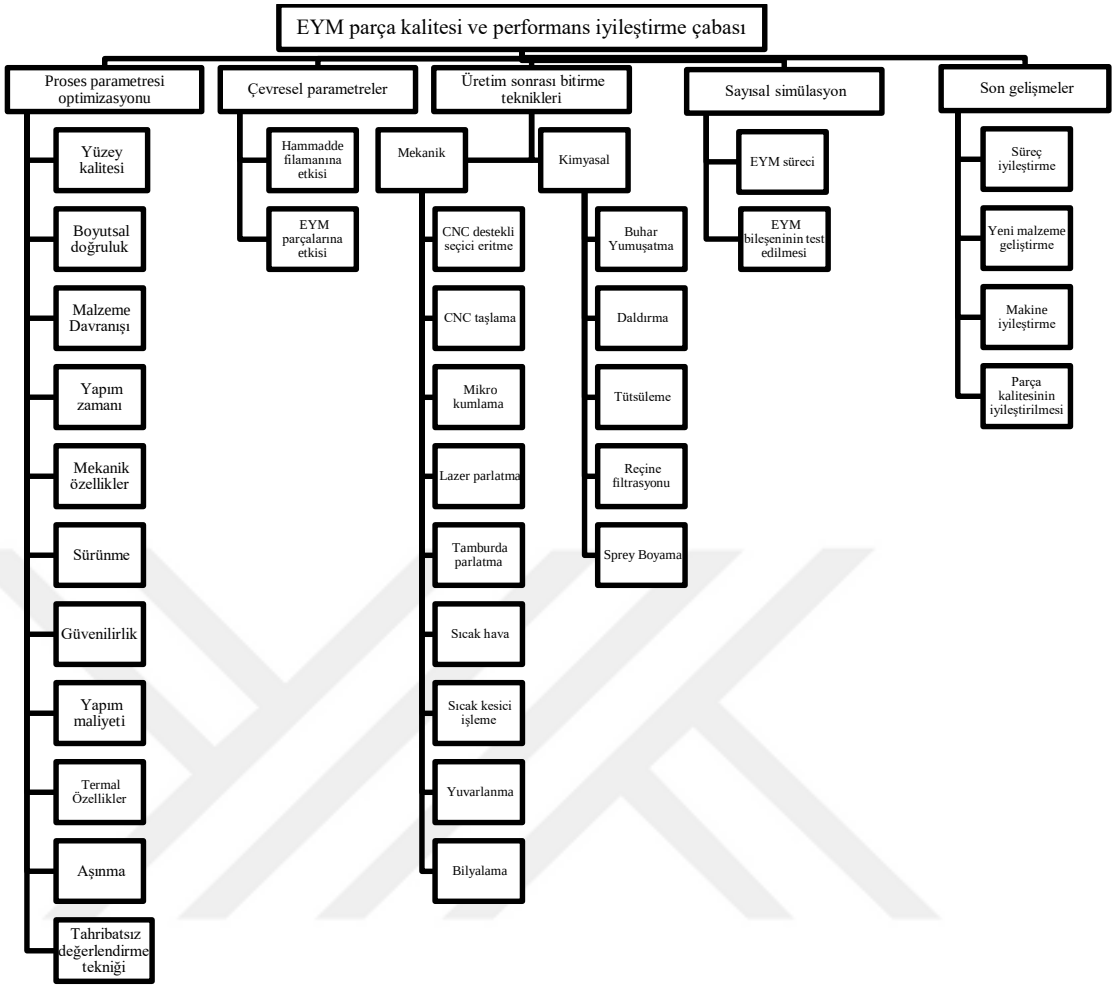


Şekil 2.3: EYM süreç şematiği.

EYM kullanımının kolay olması, düşük maliyeti ve çevre dostu özellikleri nedeniyle en yaygın kullanılan 3B baskı yöntemi haline gelmiştir ve otomobil, mimari, tıbbi cihazlar, uçak ve havacılık da dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerde ürün geliştirme, prototip oluşturma ve üretim süreçlerinde giderek daha fazla kullanılmaktadır.

EYM birden fazla malzeme türünden üretilmiş nesneler oluşturabilmektedir. EYM, PC, polistiren (PS) ve ABS gibi geleneksel malzemelerin yanı sıra camla güçlendirilmiş polimerler, metaller, seramikler ve biyoemilebilir malzemelerden de 3B modeller basabilmektedir [11].

Eriyik yığma modelleme teknolojisinde, parça kalitesi ve performans iyileştirme teknikleri üzerine yapılan literatür taraması metodolojisi Şekil 2.4'te gösterilmektedir. Genel literatür incelemesi neticesinde bu teknikler, proses parametrelerinin optimizasyonu, çevresel parametreler, üretim sonrası bitirme teknikleri, sayısal simülasyon ve son gelişmeler başlıkları adı altında beş ana gruba ayrılmıştır.



Şekil 2.4: Eriyik yığma modelleme parça kalitesi ve performans iyileştirme teknikleri üzerine bir literatür taramasının sınıflandırılması.

EYM proses parametrelerinin optimizasyonuna ilişkin araştırmalar, yapım süresi, yüzey kalitesi, boyutsal doğruluk, basınç dayanımı, çekme dayanımı, darbe dayanımı ve eğilme dayanımı gibi statik mekanik özelliklerin iyileştirilmesine odaklanmıştır. Eriyik yığma modelleme proses parametreleri, yanıt gereksinimine göre optimize edilmelidir.

Sıcaklık ve nem gibi çevresel faktörler hammadde filamentinin performansını ve EYM parçasının kalitesini etkilemektedir. EYM tarafından üretilen parçalarda hızlı soğutma ve faz dönüşümleri nedeniyle, hedeflenen geometride sapmalar meydana gelir ve bazı parçalar uzun bir son işleme gerektirir. Bu nedenle, ticari EYM parçaları yapmak için üretim sonrası sonlandırma gerekmektedir.

EYM tarafından üretilen parçanın mukavemeti, ekstrüde edilen elyafların mukavemeti, elyaflar arasındaki bağ mukavemeti ve elyaflar arasındaki boşluk içeriği dikkate alınarak

projelendirilebilmektedir. Ekstrüde edilmiş liflerin gücü, işlenmemiş polimerinkine eşittir ve parçalardaki boşluk içeriğini tahmin etmek için analitik bir model kullanılmaktadır. Bu nedenle, EYM parçalarının hesaplama mukavemeti için tüm bileşenleri içerecek şekilde yalnızca bağ kuvveti belirlenmelidir. EYM teknolojisi süreçte meydana gelen gelişmeler, geliştirilen yeni malzemeler, makine iyileştirmeleri ve parça kalitesinin iyileştirmesiyle gelişimine devam etmektedir [33].

2.3 KORUYUCU EKİPMAN (MASKE) VE ÖZELLİKLERİ

Genel olarak, "yüz maskesi" terimi, birincil işlevi parçacıkların veya damlacıkların geçişini azaltmak olan koruyucu ekipmanı ifade etmektedir [26]. Yüz maskeleri, toz, kirleticiler, alerjenler ve patojenik organizmaların solunmasına karşı korunmak için takılmaktadır. Yüz maskeleri son çeyrek asırda, koronavirüs pandemisi, Asya'daki Domuz gribi (H1N1), Şiddetli Akut Solunum Sıkıntısı Sendromu (SARS), Yüksek Patojenik Kuş Gribi (HPAI) gibi virüs salgınlarında yayılımın önlemesinde ve Dünya Ticaret Merkezinin çöküşünden kaynaklanan tozdan korunmada yaygın olarak kullanılmıştır [1].

Havadaki patojenlerin enfeksiyon potansiyeli ve partiküllere maruz kalmanın etkileri tek kullanımlık yüz maskelerinin kullanımıyla hafifletilebilmektedir. Bu tür maskelerin patojenleri ve kirleticileri dışlamadaki etkinliği, maskelerin havadaki partiküllerin ve bulaşıcı ajanların nüfuzuna direnme içsel yeteneğinin bir fonksiyonudur [35]. Solunum maskeleri, yerçekimsel çökeltme, eylemsizlik impaksiyonu, engelleme, difüzyon ve elektrostatik biriktirme ve filtrasyon gibi çeşitli yöntemlerle solunan hava akımından partikülleri uzaklaştırmaktadır. Filtrasyon verimliliği, partikül boyutuna, yüke, konsantrasyona ve filtre malzemesinden geçen akış hızına bağlıdır [36].

Cerrahi ve N95 solunum maskelerini içeren tıbbi sınıf maskeler, öncelikle kullanıcıyı havadaki partikül ve damlacıkların yanı sıra vücut veya diğer tehlikeli sıvılardan korumak için tasarlanmıştır [37]. Bu maskeler, kullanıcının ağzını, burnunu kaplar ve uygun şekilde takılırsa, solunum yolu virüslerinin ve bakterilerin bulaşmasını önlemede etkili olabilmektedir. Solunum yolu enfeksiyonunu önlemek için kullanılan 2 ana maske türü vardır; bunlar bazen yüz maskeleri olarak da adlandırılan cerrahi maskeler ve solunum maskeleridir. Bu maskeler, filtreleyebildikleri bulaşıcı partiküllerin türüne ve boyutuna göre farklılık göstermektedir. Yüz maskeleri, kısa mesafelerde seyahat eden ve öksürük veya hapşırma ile bulaşan damlacıklar

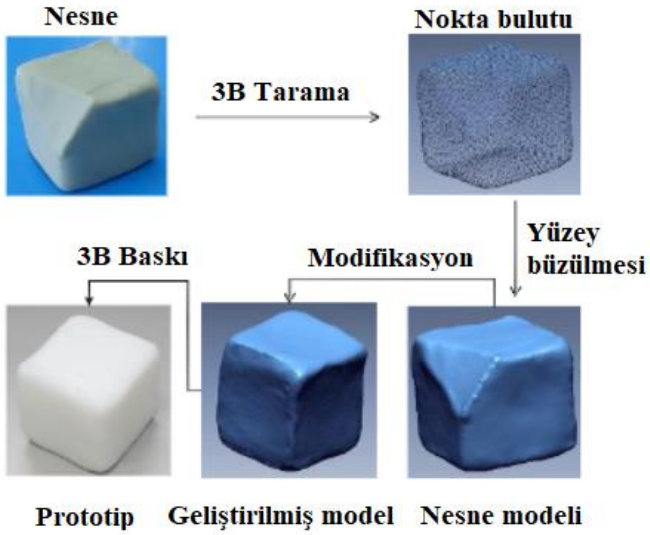
yoluyla yayılan solunum virüsleri için daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüz maskeleri, yüze genellikle gevşek bir şekilde oturmakta ve kullanıcının büyük spreyler ve damlacıklar yaymasının yanı sıra el-yüz teması da önlemektedir. N95 solunum maskeleri ise havadaki partiküllerin %95'ini engeller, yüze sıkıca oturur ve enfekte bir kişi öksürdükten veya hapşırdıktan sonra havada uzun mesafelere yayılabilen daha küçük bulaşıcı partiküllerin solunmasını önlemektedir. N95 solunum maskeleri yüz kılı olan kişiler veya çocuklar tarafından uygun bir uyum sağlamak zor olduğundan kullanımı tercih edilmemektedir. Bu durumlarda, bunun yerine motorlu hava temizleyici solunum cihazı adı verilen özel bir solunum cihazı kullanılabilir [38]. Tıbbi maskeler dikdörtgen şeklindedir ve üç veya dört katmandan oluşmaktadırlar. Her katman, ince veya çok ince liflerden oluşur. Bu maskeler, damlacıkları (boyut olarak 3 mikrometre; EN 14683 ve ASTM F2100 standartları) ve parçacıkları (boyut olarak 0.1 mikrometre; yalnızca ASTM F2100 standardı) bloke etme yetenekleri açısından test edilmektedir. Maskeler damlacıkları ve parçacıkları bloke etmeli ve aynı zamanda hava geçişine izin vererek solunabilir olmalıdır. Tıbbi maskeler yasal düzenlemelere tabi tıbbi cihazlardır ve Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) olarak sınıflandırılırlar.

Tıbbi olmayan kumaş maskeler, çeşitli malzemeler veya şifon, pamuk, pazen, ipek veya diğer sentetikler gibi malzemelerin bir kombinasyonu kullanılarak oluşturulur ve solunum, konuşma veya öksürme sırasında solunum damlacıklarının iletimine engellemektedir. Tıbbi olmayan maskeler, polipropilen gibi çeşitli dokuma ve dokuma olmayan kumaşlardan yapılmaktadır. Tıbbi olmayan maskeler, farklı kumaş kombinasyonlarından, katman dizilerinden yapılabilir ve çeşitli şekillerde tasarlanabilmektedir. Tıbbi olmayan maskelerde, filtrasyon verimliliği (FV) veya filtrasyon, nefes alabilirlik, kullanılan malzeme sayısı ve kombinasyonu, şekil, kaplama ve bakım gibi özelliklere dikkat edilmelidir [39].

2.4 TERSİNE MÜHENDİSLİK

“Geleneksel mühendislikte”, ürünün birden çok kavramı müşteri ihtiyaçlarına ve stratejisine göre oluşturulmaktadır. Kavramlar daha sonra ürün modellerine (sanal modeller), ardından fiziksel modellere (prototipler) dönüştürülmektedir. Bu nedenle, geleneksel mühendislik "kavram-model-nesne" yolunu ifade etmektedir. Tersine mühendislikte, mevcut nesneden çıkarılan değerli bilgiler model oluşturmak için kullanılmakta yani “nesne-model-kavram” yolu takip edilmektedir. Modelden nesnenin altında yatan kavram çıkarılmaktadır. Şekil 2.5’te

geleneksel tersine mühendislik uygulamaları özetlenmektedir. Çoğu durumda, taranan nokta bulutları girdi bilgisi olarak kullanılmaktadır [40].



Şekil 2.5: Geleneksel tersine mühendislik [40].

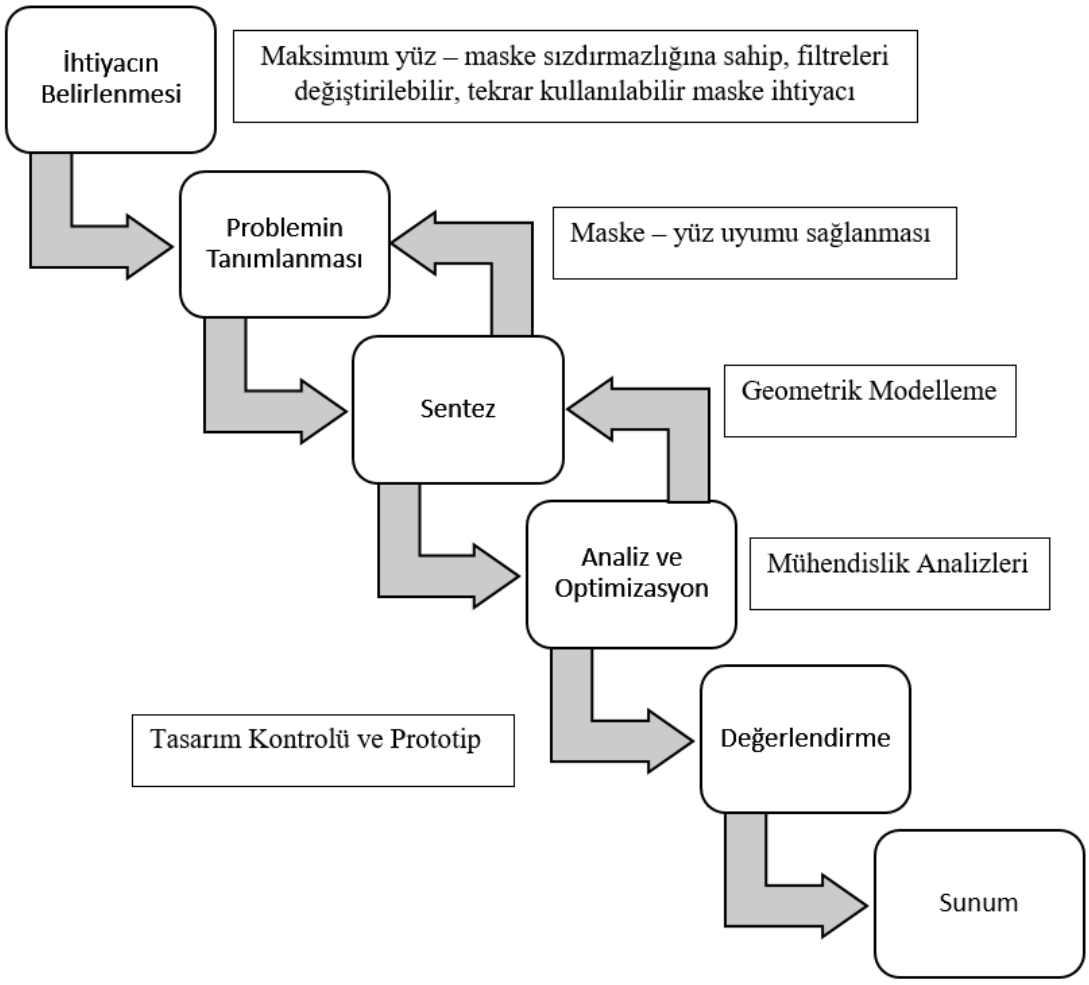
Taranan nokta bulutlarına ek olarak görüntüleme de tersine mühendislikte hayati bir rol oynamaktadır. Mevcut bazı yazılımlar, nesnenin bir dizi fotoğrafını birleştirmekte ve 3B katı modelini üretmektedir.

Nesnenin mevcut olmadığı durumlarda, eskizler kavramları ifade etmenin doğal ve sezgisel bir yolu olduğundan, eskizler tersine mühendislik gerçekleştirmek için kullanılabilmektedir [41]. Taranmış nokta bulutlarına, görüntülere ve çizimlere ek olarak, bir nesnenin önemli özelliklerini taklit etmek için analitik noktaların kullanıldığı başka bir tersine mühendislik türü daha bulunmaktadır. Analitik nokta bulutları farklı şekillerde oluşturulabilmektedir [42].

Tersine Mühendislik çağdaş ürün tasarımı ve üretim sürecinin bir parçası olarak kabul edilmektedir. Tersine Mühendislik süreci, fiziksel bir modelden matematiksel bir modelin oluşturulmasıyla sonuçlanan süreç olarak tanımlanabilir. Tasarım / üretim belgelerinin bulunmadığı parçalar için, modelden yalnızca 2B profil verilerini çıkarmakta ve enjeksiyon kalıplama endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [43]. Ayrıca TM; makine ve yazılım mühendisliği, animasyon ve eğlence sektörü, mikroçipler, kimyasal ürünler, elektronik, eczacılık, tıp, diş hekimliği, biyomedikal, giyim gibi alanlarda da kullanılmaktadır. Mevcut parçaları daha hızlı dijitalleştirmek için geliştirilen yöntemler TM'ye olan ilgiyi artırmıştır [44].

3. MALZEME VE YÖNTEM

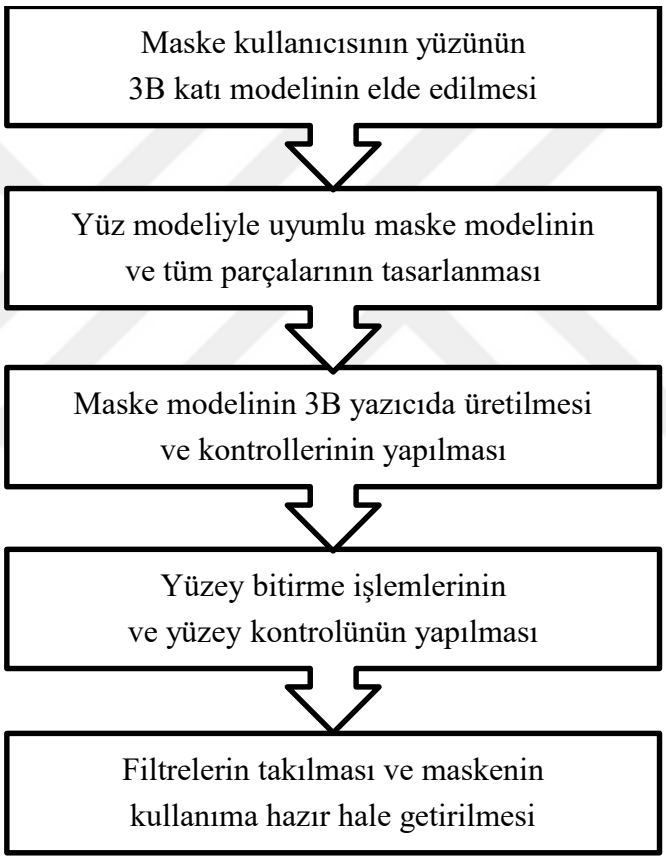
Bu çalışmada, tasarımın başlangıç noktasını maske ile insan yüzü arasındaki sızdırmazlığı ortadan kaldırma düşüncesi oluşturmuştur. Maske – yüz arasındaki uyumun sağlanması ve diğer bütün özellikler problemin tanımını oluşturmaktadır. Sentez kısmında geometrik model oluşturulmuştur. Analiz kısmından elde edilen verilere göre (örneğin; yüze yüklenen yüksek gerilimler) tasarım yeniden optimize edilmiştir. Bir prototip oluşturulması ile tasarımın gerçekten ihtiyaca cevap verebileceği tespit edilmiştir. Bu tasarım süreci şekil 3.1'de temsil edilmiştir.



Şekil 3.1: Tasarım süreci, geri besleme ve döngüler [45].

Bu çalışma kapsamında, maskelerin filtreleme, sızdırmazlık ve konfor gibi özelliklerini maksimuma çıkarmak için çeşitli yöntemlerle elde edilen insan yüzü modeline, tam uyumlu maske modelleri geliştirilmiş, çeşitli analizler ile sıradan maskelere oranla yüksek sızdırmazlık

ve konfora ulaşıldığı tespit edilmiştir. Bu amaçla, insan yüzü modeli ilk olarak tarama cihazı ile taranarak, ikinci çalışmada ise Blender yazılımının bir eklentisi olan "Facebuilder for Blender" ile üç boyutlu olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu modellere, Siemens NX 12 yazılımı kullanılarak farklı tiplerde maske tasarımları uygulanmıştır. Bu tasarımlar ANSYS yazılımı ile statik ve akış modülleri ile analiz edildikten sonra, Raise 3D markasının E2 modeli ile basılmıştır. Baskı için biyouyumlu materyal olan Polilaktik asit (PLA) filamenti kullanılmıştır. Şekil 3.2'de tasarım için izlenen basamaklar şematize edilmiştir ve ilgili adımlar takip eden başlıklarda açıklanmıştır.



Şekil 3.2: Kişiye özel, tam temaslı yüz maskesinin tasarım ve üretim adımları.

3.1 MALZEME SEÇİMİ

Son yıllarda polimerler; işleme kolaylığı, yüksek verimlilik ve önemli maliyet düşüşü nedeniyle çeşitli uygulamalarda birçok geleneksel malzemenin yerini almıştır [46]. EYM teknolojisi ile biyomedikal ürünlerinin 3B üretimi için Akrilonitril bütadien stiren (ABS), PLA, Polikarbonatlar (PC), PC-ABS (ABS ve polikarbonat (PC) karışımı malzeme), polivinil alkol

(PVA), PP ve PET-G (Polietilen Tereftalat-geliştilmiş) olan termoplastik malzemeler kullanılmaktadır. Yüz maskeleri ve kişisel koruyucu ekipmanlar genellikle polipropilen (PP), poliüretan, poliakrilonitril (PAN), polistiren, polivinil alkol (PVA), polikarbonat (PC), polietilen (PET) veya polyester gibi sentetik termoplastik polimerlerden üretilmektedir [47]. ABS, işlenmesi ve üretilmesi kolay, uygun maliyetli bir mühendislik polimeridir, darbeye, aşınmaya ve kimyasallara karşı dirence, mükemmel işlenebilirliğe, yüksek estetik niteliklere ve ayrıca iyi bir güç ve sertliğe sahiptir [48]. Ancak, ABS biyobozunur ve biyouyumlu olmayan bir polimer olduğundan biyomedikal uygulamalarda kullanımı sınırlıdır [49]. EYM'de baskı malzemesi olarak ABS kullanıldığı zaman, katmanlar ve biriken malzeme arasında küçük boşluklar veya gözenek bulundurmaktadır. Bu nedenle su geçirmez veya sızdırmaz bir ürün oluşturmayı engellemektedir [48]. Aynı zamanda baskı sırasında büzülme ve bükülme sorunları ortaya çıkardığı, platformdan sıyrılma eğilimi gösterdiği ve zehirli gazlar yaydığı için kullanımı uygun değildir.

Petrol fiyatlarındaki artış ve artan çevre bilinci, araştırmacıları biyotemelli malzemelerden ürünler geliştirmeye teşvik etmektedir. EYM'de biyopolimer olarak PC ve PLA yaygın olarak kullanılmaktadır.

EYM'de en yaygın olarak kullanılan PLA, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen ve biyolojik olarak parçalanabilir bir termoplastiktir [50]. PLA yüksek sertliği ve mukavemeti nedeniyle petrol bazlı plastiklerin yerini almak için büyük bir potansiyele sahiptir. PLA sentezi, laktik asidin doğrudan polikondenzasyonu ve ayrıca laktik asidin halkalı bir dimeri olan laktidin (LA) halka açma polimerizasyonu ile gerçekleştirilebilir [46]. PLA, diğer polimerlerle kıyaslandığında biyolojik olarak parçalanma (biyobozanabilme), geri dönüştürülebilme, biyouyumlu, bozunma ürünleri yerel dokularda toksik veya kanserojen etkiler oluşturmayan, termal işlenebilirliği ve enerji tasarrufu sağlaması ile ön plana çıkmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı doğal bir polimer olan PLA'nın biyomedikal uygulamalarda kullanımı artmıştır [51].

PLA kristalinitesi yüksek olan bir polimerdir. PLA, kopmadan önce %10'dan daha az uzamaya sahiptir ve bundan dolayı çok kırılgan bir malzemedir. PLA'nın polimer zincirinde bulunan metil grubu polimerin hidrofobik özelliğini artırırak, kolayca hidroliz olmasını engeller; böylelikle biyobozunma hızını yavaşlatır. Kristallik, moleküler ağırlık, moleküler ağırlık dağılımı, polimer morfolojisi ve stereoizomer yapısı da bozunma hızını etkilemektedir [52].

PLA, ABS'den daha düşük bir ekstrüzyon sıcaklığı gerektirir, baskı sırasında önemli bozulmalara maruz kalmaz ve platforma iyi yapışır, bu da ısıtılmış bir taban gerektirmediği

anlamına gelmektedir [53]. ABS ve PLA polimerlerinin genel özellikleri Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 3.1: ABS ve PLA polimerin özellikleri [54].

ÖZELLİKLER	ABS	PLA
Çekme Mukavemeti	27 MPa	37 MPa
Uzama	3.5-50 %	6 %
Eğilme Modülü	2.1–7.6 GPa	4 GPa
Yoğunluk	1.0–1.4 g/cm^3	1.3 g/cm^3
Erime Noktası	173°C	
Biyobozunur	Hayır	Evet

PLA, biyomedikal uygulamalarda yaygın kullanımı, yerel dokularda toksik veya kanserojen etkiler oluşturmaması, biyobozunur ve biyouyumlu olması nedeniyle bu çalışmada tercih edilmiştir.

3.2 YÜZ MODELİ OLUŞTURULMASI

İnsan yüzü kompleks bir yapıya sahiptir. Kişiden kişiye hatta aynı kişinin değişken yaşlarında bile farklılık göstermektedir. Bu nedenle geleneksel imalat yöntemleri ile elde edilen tek tip maskeler ile bu kompleks geometriler tam olarak örtüşmemektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için öncelikle insan yüzü ile ilgili verilere ihtiyaç duyulmuştur. Veriler elde edilirken iki farklı yöntem ele alınmış olup, ilk olarak tarama cihazı ile sonrasında Blender yazılımının bir eklentisi olan "Facebuilder for Blender" ile üç boyutlu olarak elde edilmiştir.

"Facebuilder for Blender" programı kullanılarak az sayıda fotoğraf ile yeterli veri elde edilmesi ve tarama cihazının yüksek maaliyeti nedeniyle bu çalışmaya ikinci yöntem ile devam edilmiştir.

3.2.1 Lazer Tarama Yöntemi İle 3B Model Eldesi

Tarama işlemi FARO Edge Arm cihazı (Şekil 3.3) ve FARO RevEng yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışma temassız şekilde yapılmış ve saniyede yüzbinlerce nokta yakalanmıştır. Öncelikle, FARO Edge Arm cihazı ile lazer bağlantısı yapılmıştır ve kullanılan lazerin hassasiyeti ± 25 µ'dur. Lazer kalibrasyonu yapılmış ve sonrasında lazerin doğruluğu kontrol etmek için tekrarlanabilirlik muayenesi yapılmıştır. Yapılan işlem

sonucunda cihazın verilen tolerans değerleri içerisinde olduğu tespit edilerek işleme başlanmıştır.

İlk olarak bir cansız manken yüzü taranmıştır. Elde edilen nokta bulutu proses edilerek STL formatta veri elde edilmiştir. Sonrasında bu işlemin insan yüzünde uygulanabilirliği ile alakalı çalışmalar yapılmıştır.

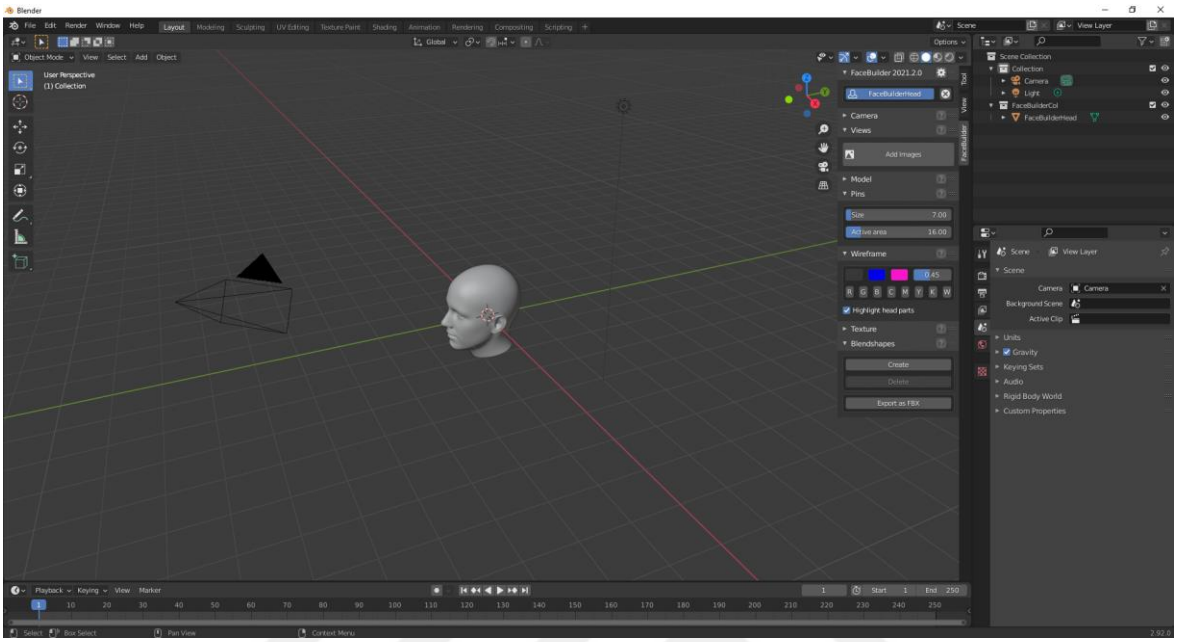


Şekil 3.3: FARO Edge Arm cihazı.

3.1.2 "Facebuilder For Blender" Yazılımı İle 3B Model Eldesi

Blender yazılımı, nesnelerin/objelerin üç boyutlu olarak modellenmesi ve canlandırılması gibi amaçlarla kullanılan bir uygulamadır. Bu çalışmada kullanılan, Blender yazılımının bir eklentisi olan "Facebuilder for Blender" ise kişinin yüz detaylarının sisteme tanıtılması ile 3B model elde edilmesi sağlanmıştır. "Facebuilder for Blender" yazılımının ara yüzü Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Kişinin ön, sağ ve sol tarafından eşit mesafeden çekilerek elde edilen üç adet fotoğraf yazılıma eklenmiştir. Ön yüzeyden çekilen fotoğraf yardımı ile kişinin ağız, burun, göz, kaş, kulak, çene gibi serbest şekilli yapıyı büyük ölçüde biçimlendiren yüz parçaları/kısımları sisteme tanıtılmaktadır. Sağ ve sol yüzeylerden çekilen fotoğraflar ile

kişinin detaylı burun, kulak hatları ve kafa yapısı sisteme tanıtılmaktadır ve 3B model STL dosyası olarak elde edilmektedir.



Şekil 3.4: Blender yazılımı "Facebuilder for Blender" eklentisi arayüzü.

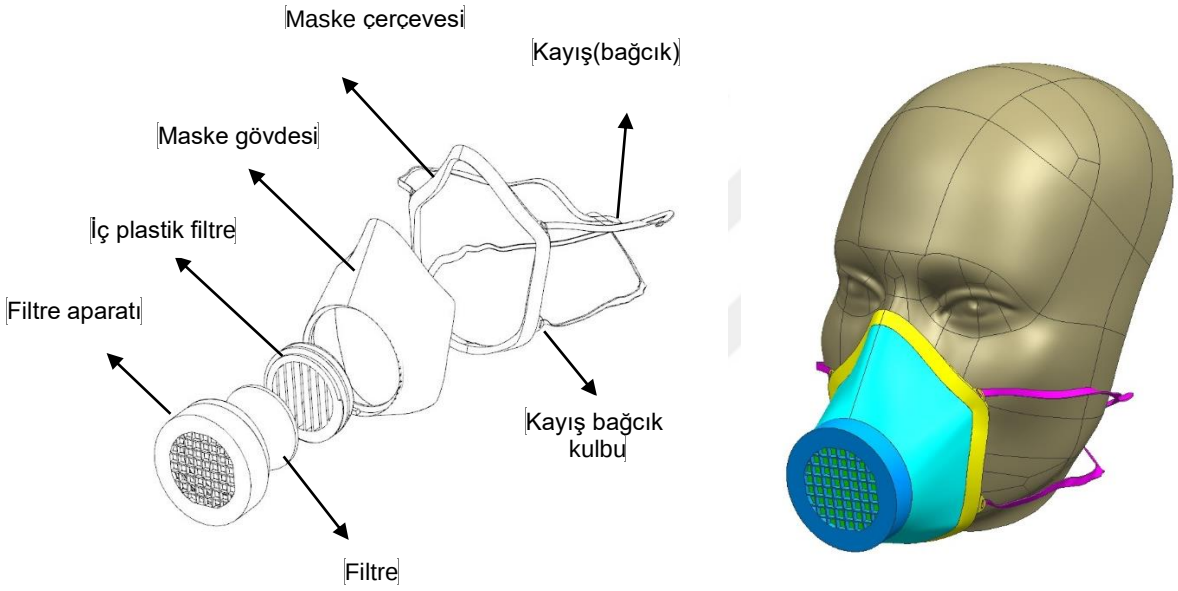
3.3 MASKE TASARIMI

Maske tasarımı için Siemens NX 12 yazılımı kullanılmıştır. Maske tasarım aşamasındayken, solunum esnasında yeterli hava geçişi, uzun süreli kullanımlara uygunluk, konfor, sızdırmazlık, filtrelerin kolay değişimi, 3B baskı ile üretilebilirlik, baskı süresi, özgül dayanım, destek malzeme kullanımı gibi parametreler dikkate alınmış olup farklı formlarda tasarımlar yapılmıştır.

Maske modeli tasarımının ilk adımını oluşturan maske çerçevesi elde edilirken, 3B yüz modellerinin üzerine tam uyumlu olacak şekilde burunun ortasından başlayarak yanaklardan çenenin altından geçecek şekilde bir hat izlenmiştir. Bu hat ile maske çerçevesi elde edilmiştir.

Ön tasarımda maske birçok farklı aparata sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Bunlar; maske çerçevesi, maske gövdesi, iç plastik filtre, filtre aparatı, filtre ve kayıştır. Bu aparatlar Şekil 3.5'te detaylı olarak gösterilmiştir. Tarama ile elde edilen modelde maske çerçevesi üzerine maskenin filtre açıklığına kadar olan kısmı tasarlanmıştır. Maske gövdesinin bu kısmının

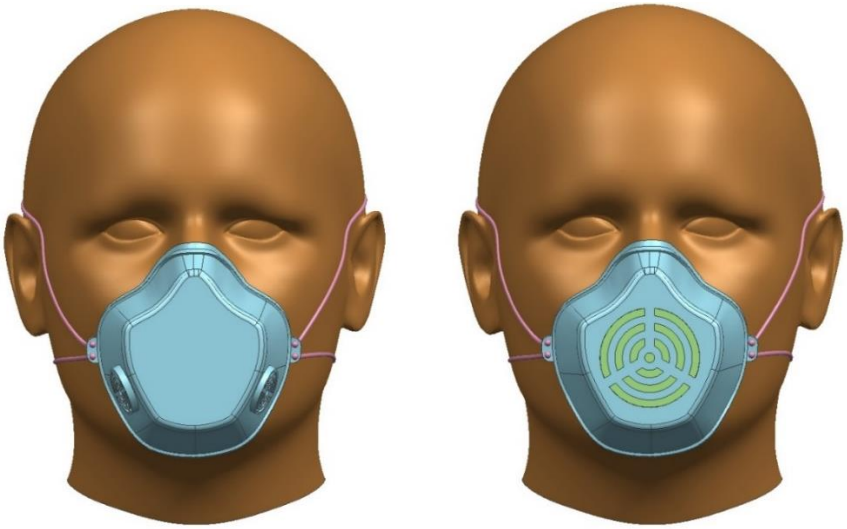
yüzle herhangi bir teması söz konusu olmayacak, içerisinde hava boşluğu oluşacak şekilde tasarımı gerçekleştirilmiştir. Maske gövdesinin uç kısmı açık olarak dışarı doğru uzanmaktadır. Gövdenin dışarı uzanan yüzeyine diş açılarak bu kısma maske filtre aparatı monte edilmiştir. Maske filtre aparatı silindirik olarak tasarlanmış ve dışarı açılan kısmı ızgaralı bir yapıdadır. Bu aparatın içine plastik ızgara formlu bir filtre vidalanarak monte edilebilmektedir. Maske filtre aparatı solunumun kolay yapılabilmesi ve dolayısıyla yeterli hava geçişinin sağlanabilmesi için en uygun boyutta tasarlanmıştır.



Şekil 3.5: Ön çalışma kapsamında tasarlanmış olan konsept maske tasarımının a) patlatılmış montaj görüntüsü, b) yüze uygulanmış montaj görüntüsü.

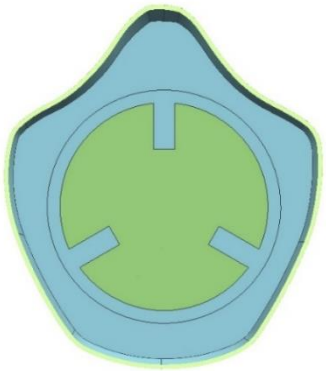
Ön tasarım değerlendirmelerinde aparat sayısının fazlalığı, dişli yüzeylerin üretimde yol açtığı sıkıntılar ve 3B yazıcıların karmaşık geometrileri basabilme yeteneği nedeniyle daha sade tasarımlara yönelim olmuştur.

"Facebuilder for Blender" yazılımı ile elde edilen modele de tarama yönteminde olduğu gibi serbest şekilli yüze uygun çerçeve yüzeye atanan noktalar yardımıyla elde edilmiştir. Yüz formuna uygun olarak tasarlanan maske çerçevesi ön tarafa doğru formunu koruyarak uzatılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Maske çerçevesi ve maske gövdesi aynı forma sahip olarak elde edilmiştir.

Maske gövdesinin yüz ile temasını önleyecek ve kullanıcının zorlanmadan nefes alış verişi yapacak şekilde yeterli uzaklıkta oluşturulan düzlem yardımıyla yüz üzerinde oluşturulan çizgiler offset edilerek yüzey tasarım komutları yardımıyla maske gövdesi tasarlanmıştır Ön tasarımın aksine, maske tek bir parça olarak tasarlanmış filtrelerin kolay değişimi ve işlevini yerine tam olarak getirmesi için destek parçaları kullanılmıştır (Şekil 3.7).



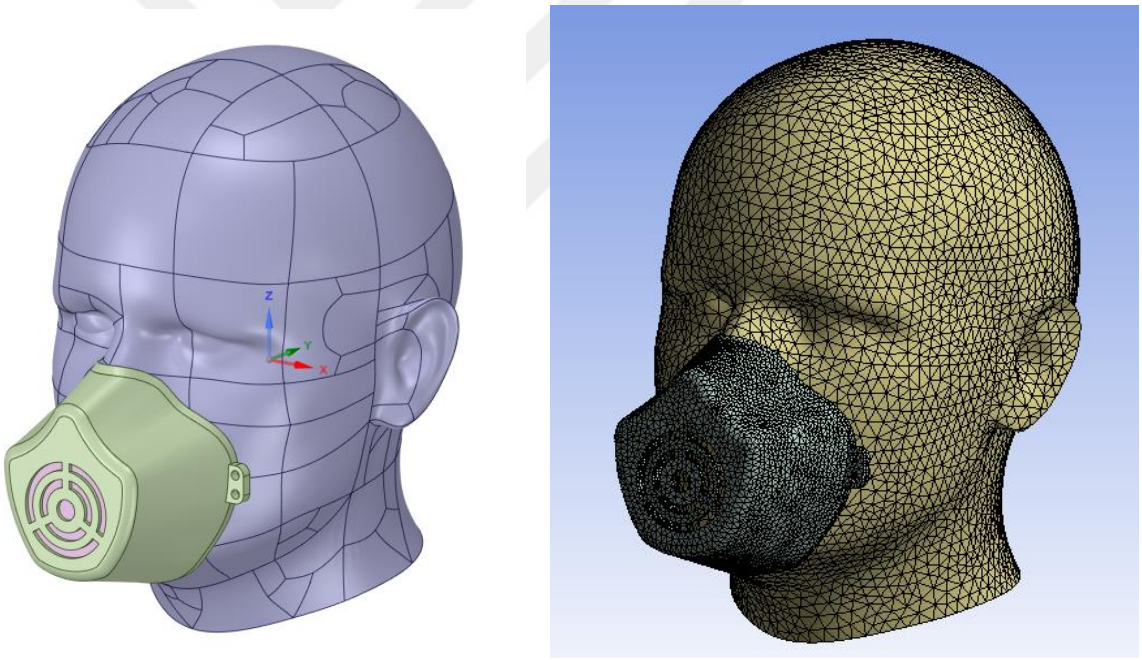
Şekil 3.7: Sadeleştirilmiş filtre destek parçaları tasarımı.

4. BULGULAR

4.1 MASKE İLE YÜZ ARASINDAKİ TOPLAM DEFORMASYON ANALİZİ

Bu bölümde, bir maske ile yüksek doğrulukta yüz şekli arasındaki etkileşimi simüle etmek için Sonlu Elemanlar Metodundan (SEM) faydalanılarak bir yöntem geliştirmiştir.

Genel yüz geometrisi, boyun bölgesinin destek olarak kullanılması için basitleştirilmemiştir (Şekil 4.1a). Maske için Polilaktikasit (PLA), yüz formu için Tablo 4.1'deki malzeme [55] özellikleri tanımlanmıştır. Derinin altında yağ dokuları, kaslar, bağlar, tendonlar, kan damarları ve kemikleri ve birbirleriyle etkileşimlerini modellemek oldukça karmaşık olacaktır. Bu nedenle seçilen yaklaşım, hepsini temsil edecek bir malzeme atamaktır. Sonrasında, 314904 node ve 206147 elemana sahip mesh yapısı oluşturulmuştur (Şekil 4.1b).

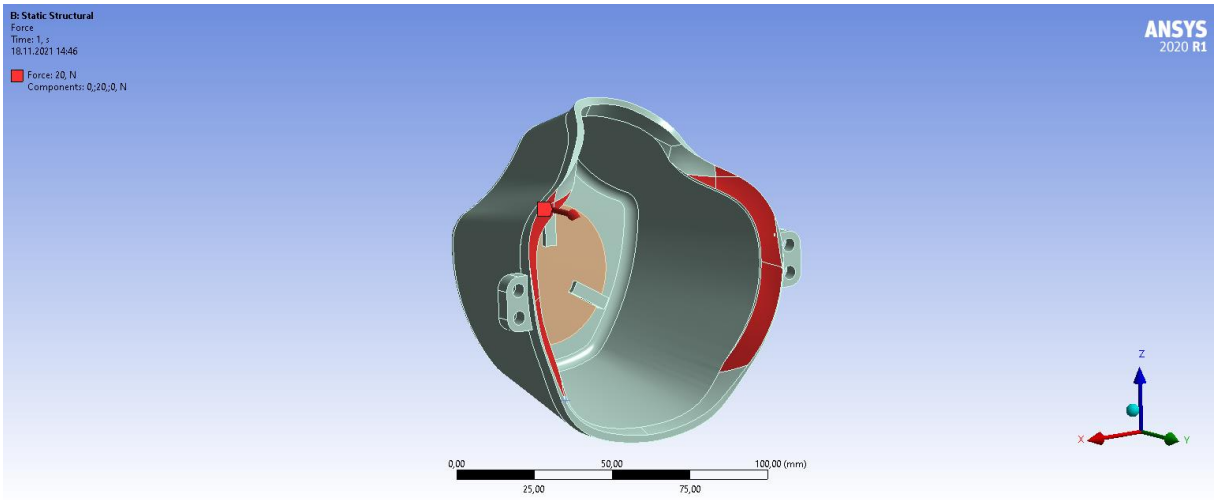


Şekil 4.1: a) Analize hazır geometri **b)** Mesh yapısı.

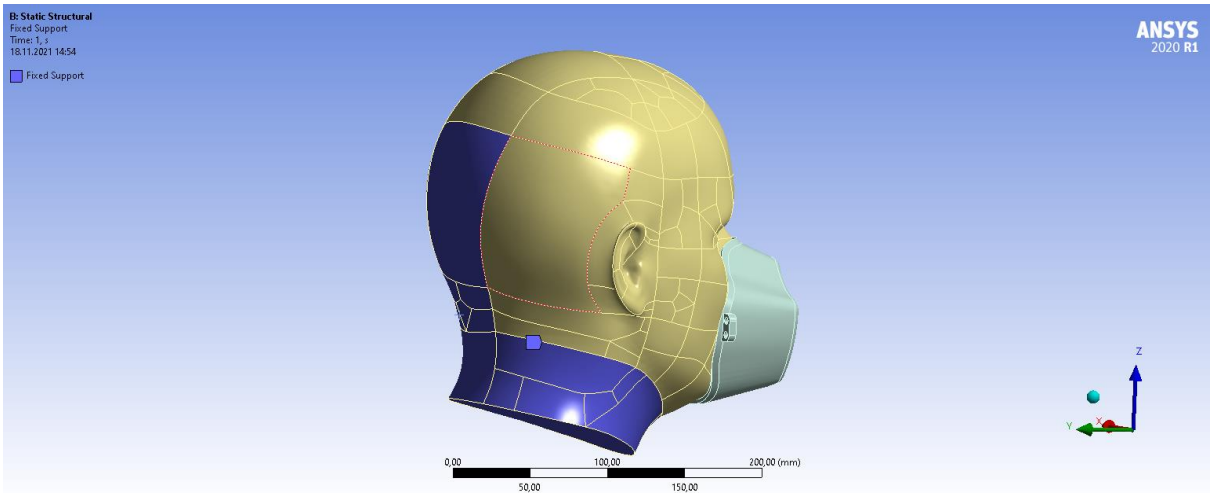
Tablo 4.1: Malzeme özelliği [55].

MALZEME	MODEL TÜRÜ	YOĞUNLUK(kg/m^3)	YOUNG MODÜLÜ(MPA)	POİSSON ORANI(V)
Yüz Kemiği	Lineer Elastik	1500	21000	0,23

Parçalar arasındaki etkileşimler, arayüz davranışını daha iyi temsil etmek için formülasyon ve özelliklerin ayarlanabileceği temas bölgeleri aracılığıyla modellenir. Y yönünde maske ile yüzey arasına maske kayışlarının sıkılmasını temsilen maskeyi yüze sabitleyen destek aparatının olduğu bölgeye temsili 20 N'luk [8] bir kuvvet uygulanmıştır (Şekil 4.2). Boyun ve baş bölgesinin arka kısmı insan vücudunun geri kalan kısmını temsilen sabitlenmiş ve geometri analize hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.3).

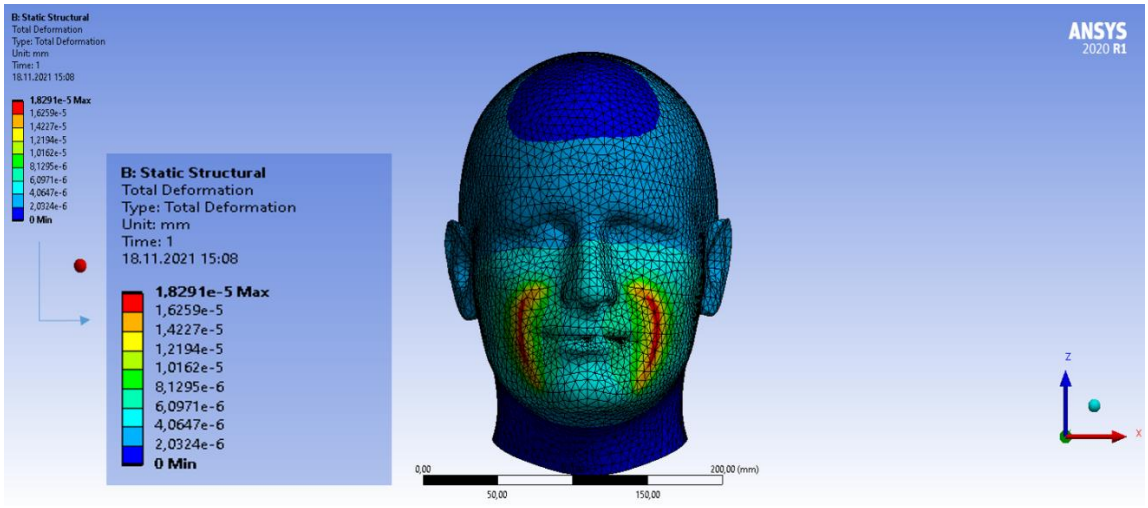


Şekil 4.2: Maske – yüz arası uygulanan kuvvet.

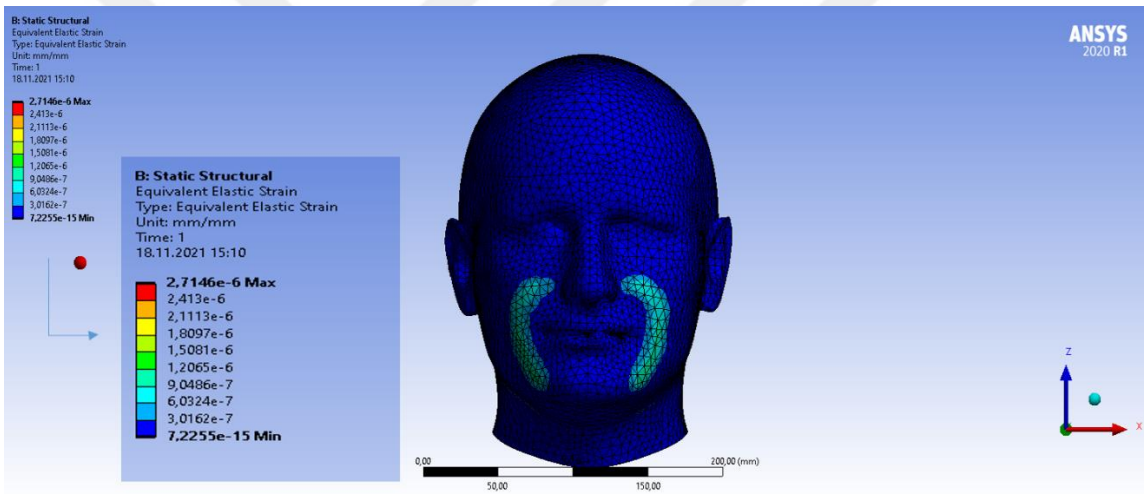


Şekil 4.3: Sabit destek bölgeleri.

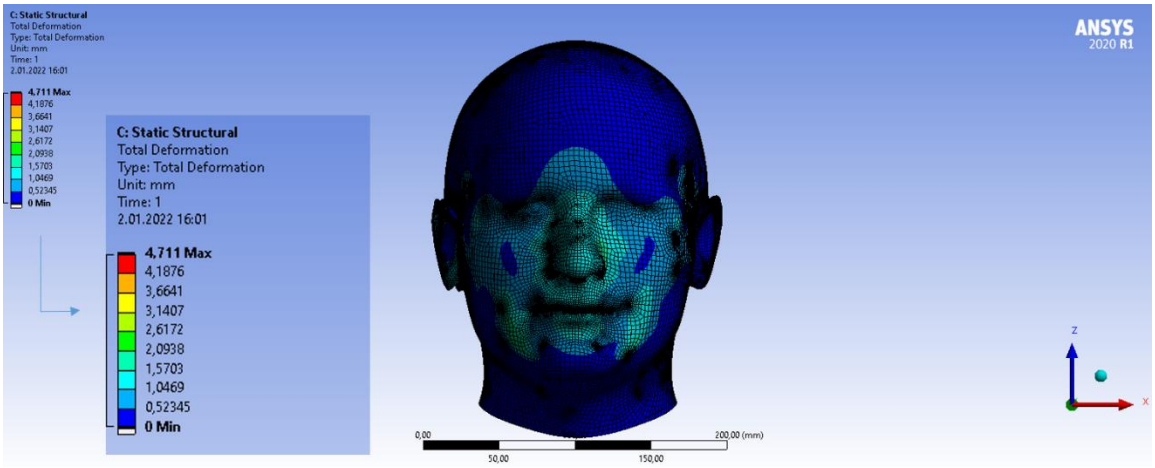
Analiz sonucunda maksimum toplam deformasyon 1,8291e^{-5} bulunmuştur (Şekil 4.4). Kuvvet uygulama alanlarında daha yüksek bir deformasyon söz konusu olsa bile elde edilen değer oldukça küçüktür. Şekil 4.5'te Elastik gerilme analizi sonucu verilmiştir.



Şekil 4.4: Toplam deformasyon.

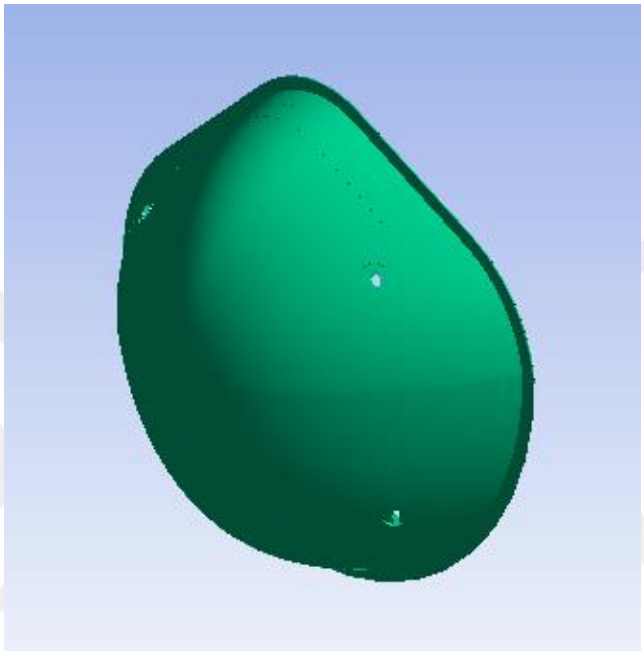


Şekil 4.5: Elastik gerilme analizi.



Şekil 4.6: N95 maske örneği ile yapılan analiz.

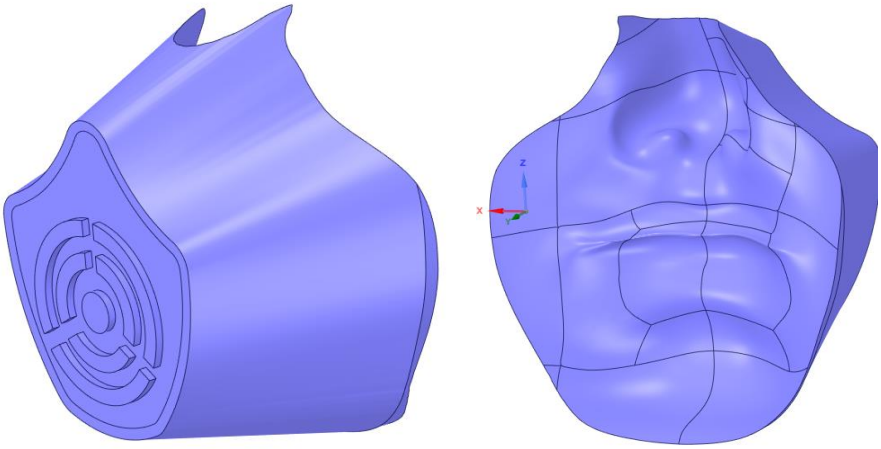
Şekil 4.6'da N95 maske örneği (Şekil 4.7) ile yapılan analiz sonucu verilmiştir. Bu analizde de 20 N'luk kuvvet uygulanmıştır ve eşit koşullarda gerçekleştirilmiştir. İki analiz karşılaştırıldığında yeni tasarım ile deformasyonların daha düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca maske yüze tam olarak oturmadığı için daha yüksek maske ipi kuvveti gerektirebilir veya kullanılan aparatlar yüze daha yüksek baskı oluşturabilmektedir.



Şekil 4.7: Sadeleştirilmiş N95 maske örneği.

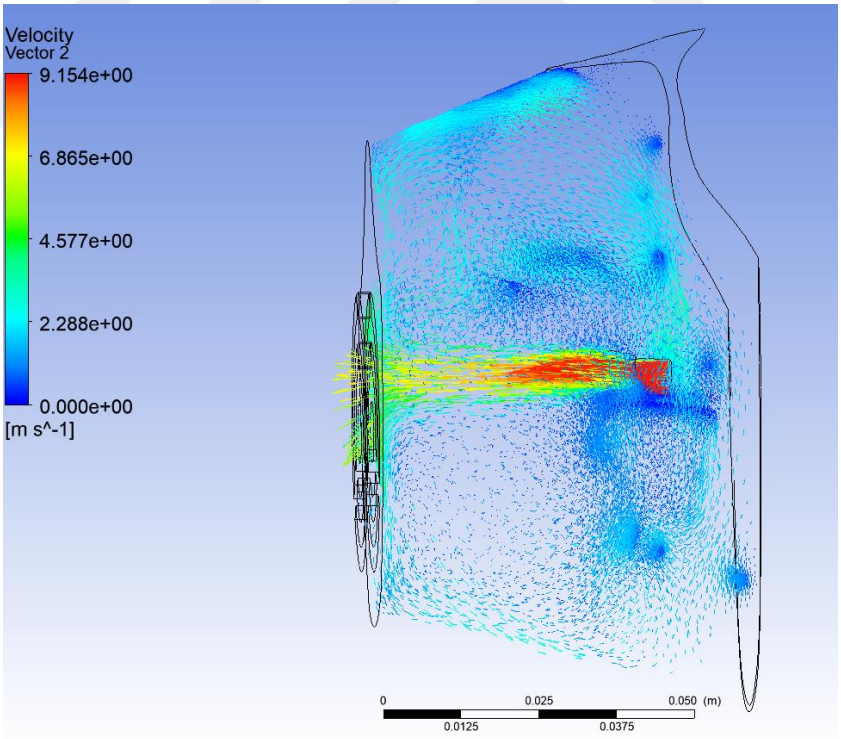
4.2 MASKE YÜZ ARASI HAVA AKIŞ ANALİZİ

Maske ve yüz arasındaki akış dağılımını elde etmek için iki geometri arasında kalan iç akış hacmi oluşturulmuştur (Şekil 4.8). Elde edilen akış hacmi için ağ yapısı oluşturulmuştur. Sonrasında, hava girişi ve çıkışının olacağı bölgeler tanımlanmıştır. İlgili denklem, malzeme seçimi, sınır koşulları gibi seçimlerden sonra analiz gerçekleştirilerek Şekil 4.9'da gösterilen akış vektörlerine ve Şekil 4.10'da gösterilen akış kontürlerine sahip olunmuştur.

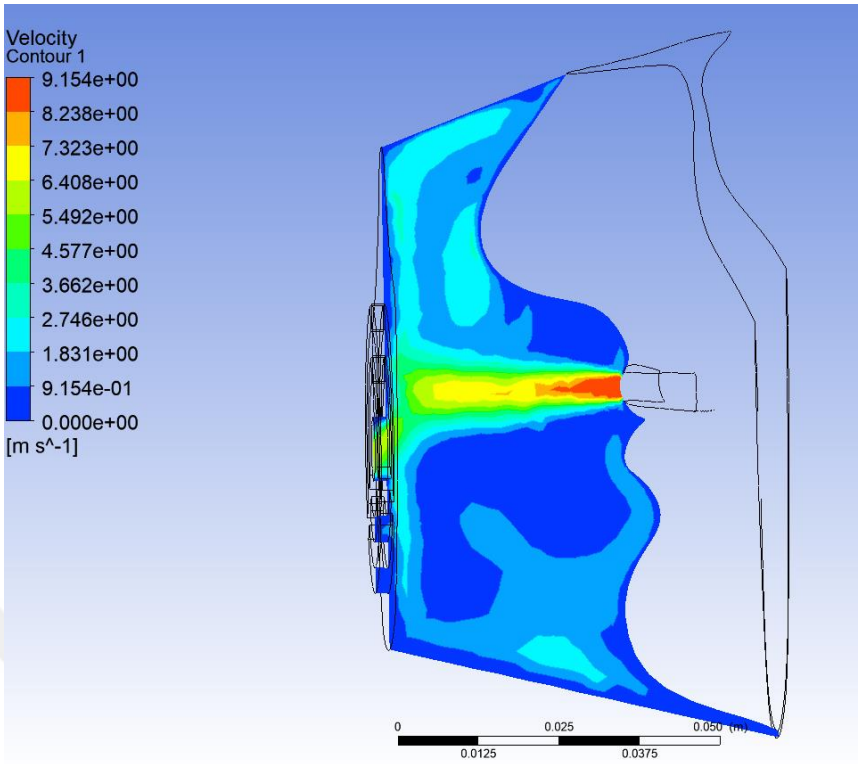


Şekil 4.8: İç akış hacmi.

Yapılan bir araştırmaya göre 1.85 m boy ve 64 kg sahip bir erkek maksimum 9,9 m/s debi üretmektedir [56]. Bu çalışmada da giriş hızı maksimum hıza yakın olması amacıyla 9.2 m/s seçilmiştir. Analiz sonucunda hava akışının sınır bölgelerde sıfır olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.9: Hız akış vektörleri.



Şekil 4.10: Hız akış kontürü.

Tasarımı yapılan maskenin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizi, içerideki havanın hareketini üç boyutlu bir şekilde ve düşük bir maliyetle görselleştirmemizi ve nicelleştirmemizi sağladı. Yapılan analizlerin değerlendirilmesi neticesinde hem statik hem de akış modellerinde uygun sonuç veren maske modeli eklemeli imalat yöntemiyle üretilmiştir. Yapısal analizde uzun süreli kullanımlarda ciltte iritasyonlara neden olmaması için en düşük toplam deformasyona sahip olması kritik değer olarak değerlendirilmiştir. HAD analizinde maske içinde akışın dağılımı ve hızın maske içinde ölü noktalar oluşturması dikkate alınmıştır. Verilen nefes sırasında kirli havanın dışarı atılması bir diğer kritik tasarım kriteri olarak dikkate alınmıştır.

4.3 MASKENİN 3B YAZICI İLE BASILMASI

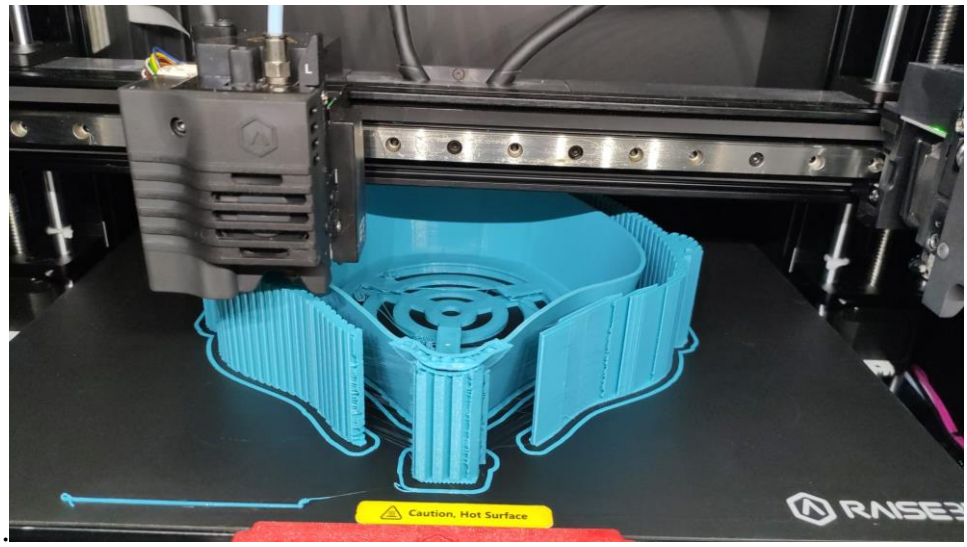
Tasarlanan maske Raise 3D ticari firmasının E2 modeli (Şekil 4.11) bir yazıcı ile 7 saatte basılmıştır (Şekil 4.12). Yazıcı özellikleri Tablo 4.2'de belirtilmiştir. Maske üretimi için PLA filamenti kullanılmış olup, filamentin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri Tablo 4.3'te belirtilmiştir.



Şekil 4.11: Çalışmada kullanılan Raise 3B marka EYM yazıcı görseli.

Tablo 4.2: Çalışmada kullanılan Raise 3B marka EYM yazıcının özellikleri.

BASKI TEKNOLOJİSİ	EYM
Baskı Hacmi	Tek Kafa Baskı: 330 x 240 x 240 mm Çift Kafa Baskı:295 x 240 x 240 mm
Baskı Hızı	30 – 150 mm/s
Katman Yüksekliği	0.02 – 0.25 mm
Maksimum Nozül Sıcaklığı	300˚C
Cihaz Boyutu	607×596×465mm



Şekil 4.12: Baskı aşaması.

STL formatı olarak oluşturulan model gerekli hazırlıklardan sonra basıma verilmiştir. Maske 37 saat süren baskı işlemi (Şekil 4.13) neticesinde elde edilmiştir (Şekil 4.13).

Tablo 4.3: PLA Filament fiziksel, mekanik ve termal özellikleri [57].

ÖZELLİKLER	TEST KOŞULLARI	TEST METODU	BİRİM	DEĞER
Özgül ağırlık		ASTM D792		1,24
Kalıp büzülmesi		ASTM D955	%	0,2-0,4
Eriyik Akış Hızı	220 /10 Kg	ASTM D1238	g/10 min.	27
Çekme Mukavemeti	@3,2mm Verim 50 mm/dak.	ASTM D638	kg/cm²	590
Çekme Uzaması	@3,2mm Ara 50 mm/dak	ASTM D638	%	4
Çekme Katsayısı	@3,2 mm 1mm/min.	ASTM D638	kg/cm²	33,000
Eğilme Mukavemeti	@3,2mm 15mm/min.	ASTM D790	kg/cm²	550
Eğilme Katsayısı	@3,2mm 15mm/min.	ASTM D790	kg/cm²	23,000
Izod Darbe Dayanımı 6,4mm Çentikli	23	ASTM D256	kg·cm/cm	16
	-30		kg·cm/cm	10
Izod Darbe Dayanımı 3,2 mm Çentikli	23	ASTM D256	kg·cm/cm	16
	-30		kg·cm/cm	10
Rockwell Sertliği	R-Ölçeği	ASTM D785		75
Vicat Yumuşama Sıcaklığı	5kg, 50 /h	ASTM D1525		58



Şekil 4.13: 3B yazıcı ile üretilmiş prototip maske.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Salgın hastalık dönemlerinde ve son olarak Covid-19 pandemisi ile birlikte maske kullanımı bütün dünyada bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu durum, maske korumasını yükseltmek için yapılan araştırmaların sayısının artmasına neden olmuştur. Aralık 2021 tarihi itibariyle yapılan çalışmada salgın hastalıklarda hala en koruyucu yöntemin maske kullanımı ve sosyal mesafe olduğu açıklanmaktadır [58]. Aşı, ilaç gibi farmakolojik çalışmaların yanında maske konusunda da araştırma geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmayla, virüs ve diğer mikroorganizmaların solunum yolu ile vücuda erişimine minimize ederek ortadan kaldırmanın yolları aranmıştır. Ayrıca, ticarileşmiş maskeleri kullanan bireylerin yaygın olarak şikayet ettiği yüzde oluşan deformasyonun önüne geçilmeye çalışılmıştır.

Maksimum korumanın sağlanabilmesi için maske – yüz formu arasında hava sızdırmazlığını tam olarak sağlamak öncelik teşkil etmektedir. Her bir kullanıcının farklı yüz anatomileri dikkate alındığında yüksek performanslı bir sızdırmazlık standart olarak tasarlanmış yüz maskeleri için oldukça zordur. Tıbbi maskelerde burun bölgesinde bir demir parçası ve gergin maske ipleri ile sızdırmazlık problemi giderilmeye çalışılmıştır. Ancak bu maskeler burun, yüz ve kulak arkası bölgelerinde tahrişe neden olmaktadır. Bunun haricinde kişinin yüz şekline bağlı olarak maskenin tam temas etmediği yanaklardan, çeneden ve burun bölgesinden hava giriş çıkışı olabilmektedir. Daha rijid bir çerçeveye sahip olan N95, FFP3 ve benzeri solunum maskelerinde de standart olarak üretildikleri için benzer sorunlar görülmektedir.

Bu tez kapsamında maske kullanıcısının yüz formuna uygun maske tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Öncelikle, kullanıcının 3B yüz modeli 3B fotogrametri metodu ile oluşturulmuştur. 3B yüz modeli elde edildikten sonra yüz maskesi tasarımı adımına geçilmiştir. Maskenin yüze temas eden çerçeve kısmı yüz formuna göre oluşturulmuştur. Tıbbi ve cerrahi maskelerin yüzü saran yapısından dolayı yüz ile arasındaki hava hacmi oldukça düşüktür. Tasarlanan maske ise daha geniş bir hava hacmine izin verecek şekilde düşünülmüştür. Bu hava hacmi ile fiziksel aktivitenin arttığı durumlarda da diğer maskelere kıyasla daha sağlıklı bir nefes alış verişi sağlaması amaçlanmıştır. Böylece yüz ile tam temas sağlayan maskenin sızdırmazlık ve konfor seviyesi yükseltilmiştir. Maske uzun süreli kullanımlarda insan yüz formuna doğrudan uyum sağladığından dolayı yüzde deformasyonu azaltmıştır. Diğer maskelerdeki gibi farklı yüz şekillerinden kaynaklanan açıklıkları kapatmak

için maske kayışları veya demir parçalar tarafından uygulanan ekstra kuvvete ihtiyacı ortadan kalkmıştır. Bu nedenle daha konforlu ve uzun süreli kullanımlara uygun hale gelmiştir. Burun yanlarından, çene altından ve yanaklardan hava çıkışları engellenmiştir. Maske yüze tam oturduğu için kullanım esnasında yüzde kaymadan sabit kalabilmektedir. Çalışma kapsamında yapılan analizde, 20 N' luk temsili bir kayış kuvvetine istinaden maskenin temas ettiği bölgelerde maksimum 1,825 e^{-5} mm deformasyon meydana geldiği görülmüştür.

Bu çalışma ile geliştirilen yüz maskesi, Covid-19 ve diğer salgın hastalıkların bulaşmasına karşı koruma amaçlıdır ve yüz maskesiyle ilgili uyum ve maksimum koruma, yeniden kullanılabilirlik ve atık minimizasyonu ile mevcut sorunları ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca, bu tasarım ile birlikte çevre kirliliğinin de önüne geçilmesi planlanmaktadır. Yaklaşık 8 milyar insanın yaşadığı gezegenimizde özellikle pandemi koşullarında günde milyarlarca maske kullanılmakta ve çöpe atılmaktadır. Bu maskeler çevre ve özellikle deniz kirliliğine sebebiyet vermektedir [59]. Biyouyumlu ve biyobozunur bir polimer olan PLA kullanımı ile hem daha uzun süreli kullanıma uygun olan bir tasarım yapılmış hem de çevre kirliliğinin önüne geçilmeye çalışılmıştır. Özetle, gündelik maske tüketiminin çevreye olan olumsuz sonuçlarının da önüne geçebilmek amacıyla geliştirilen maskenin yeniden kullanılabilir, filtreleri değiştirilebilir bir alternatif yüz solunum maskesi olması için çalışılmıştır.

Ayrıca, bu çalışmada geliştirilen tasarım ve üretim metodu ile itfaiye maskesi olarak ifade edilen duman maskesi, yüzme – dalış maskesi, kimyasal, biyolojik, radyasyon ve nükleer maskesi, pilotların kullandığı oksijen maskesi gibi birçok yüz maskesinin kişiye özel bir şekilde tasarlanması ve performanslarının artırılması mümkün olabilir.

Bu çalışmada, serbest forma sahip insan yüzünün 3B modelini kolayca elde etme yolları incelenmiştir. Bu bağlamda 3B tarama işlemi için ilk olarak 3B lazer tarama yöntemi kullanılmış, yüksek doğrulukta modelleme gerçekleştirilmiştir. Ancak bu yöntemin maske tasarımında başlangıç maliyetini artırdığı görülmüştür. Bu nedenle tasarım için alternatif 3B fotogrametri yöntemi araştırılmıştır. Düşük maliyet ve hassasiyet dikkate alınarak tarama yöntemi olarak Blender yazılımı eklentisi olan "Facebuilder for Blender" kullanılmıştır. Yalnızca fotoğraf ve bilgisayar yardımı ile 3B modellemenin yapılabildiği bu yaklaşımın oldukça pratik ve sonuç odaklı olduğu görülmüştür ve tercih edilmiştir.

Tasarım sürecinde, filtre tutucular ilk olarak farklı parçalardan meydana gelecek şekilde tasarlanmış sonrasında bu model sadeleştirilmiştir. Parça sayısı yükseldikçe maskenin ağırlık merkezi dışa doğru eğilim göstermekte ve yüzeyde kayma oluşturmaktadır. Son tasarımda ise filtre tutucular basit aparat halini almıştır.

Kullanıcılara uygulanacak solunum testleri ve deneysel ortamda oluşturulacak düzeneklerle filtre boyutu tasarım aşamasında değiştirilerek daha işlevsel bir maske ortaya konulabilir. Aktivite düzeyine bağlı olarak maksimum ve minimum debi tespiti sonrasında deney düzeneğinde üretilen maskeye bu hava debisi üflenerek maskenin ihtiyaca uygun olup olmadığı tespit edilebilir. Tasarım bu deneyler sonrasında iyileştirilebilir. Çalışmanın geliştirilmesi amacıyla daha hassas ölçümler yapan tarama yöntemleri tercih edilebilir. Son olarak, iki farklı malzeme kullanılarak yüze temas eden maske yüzeyinin daha yumuşak bir yapı olması sağlanabilir [8].

KAYNAKLAR

[1]. Bowen, L. E. (2010). Does that face mask really protect you?. *Applied biosafety*, *15*(2), 67-71

[2]. Goh, Y., Tan, B. Y., Bhartendu, C., Ong, J. J., & Sharma, V. K. (2020). The face mask: How a real protection becomes a psychological symbol during Covid-19?. *Brain, behavior, and immunity,* 88, 1-5.

[3]. Cappa, C. D., Asadi, S., Barreda, S., Wexler, A. S., Bouvier, N. M., & Ristenpart, W. D. (2021). Expiratory aerosol particle escape from surgical masks due to imperfect sealing. *Scientific reports,* 11(1), 1-12.

[4]. Ullah, S., Ullah, A., Lee, J., Jeong, Y., Hashmi, M., Zhu, C., ... & Kim, I. S. (2020). Reusability comparison of melt-blown vs nanofiber face mask filters for use in the coronavirus pandemic. *ACS Applied Nano Materials,* 3(7), 7231-7241.

[5]. Neupane, B. B., & Giri, B. (2021). Review of materials and testing methods for virus filtering performance of face mask and respirator. *PeerJ Materials Science,* 3, e17.

[6]. Dugdale, C. M., & Walensky, R. P. (2020). Filtration efficiency, effectiveness, and availability of N95 face masks for COVID-19 prevention. *JAMA Internal Medicine*, *180*(12), 1612-1613.

[7]. Park, S. R., Han, J., Yeon, Y. M., Kang, N. Y., & Kim, E. (2021). Effect of face mask on skin characteristics changes during the COVID-19 pandemic. *Skin Research and Technology*, *27*(4), 554-559.

[8]. Degueldre, L., Borduas, J., Dıon, F., Laurın, P., Castonguay, A., Vıens, S. P., ... & Clın, J. Improving the Fit of Respiratory Face Masks through 3D Scanning, Finite Elements Analysis and Additive Manufacturing.

[9]. Bikas, H., Stavropoulos, P., & Chryssolouris, G. (2016). Additive manufacturing methods and modelling approaches: a critical review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83(1-4), 389-405.

[10]. ASTM Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies., No Title, (n.d.).

[11]. Gibson, I., Rosen, D. W., Stucker, B., & Khorasani, M. (2021). *Additive manufacturing technologies* (Vol. 17). Cham, Switzerland: Springer.

[12]. Campbell, I., Diegel, O., Kowen, J., Wohlers, T. (2017). Wohlers Report 2017 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report.

[13]. Wang, X., Jiang, M., Zhou, Z., Gou, J., & Hui, D. (2017). 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*, *110*, 442-458.

[14]. Takezawa, A., & Kobashi, M. (2017). Design methodology for porous composites with tunable thermal expansion produced by multi-material topology optimization and additive manufacturing. *Composites Part B: Engineering*, 131, 21-29.

[15]. Wen, Y., Xun, S., Haoye, M., Baichuan, S., Peng, C., Xuejian, L., ... & Shibi, L. (2017). 3D printed porous ceramic scaffolds for bone tissue engineering: a review. *Biomaterials science*, *5*(9), 1690-1698.

[16]. Travitzky, N., Bonet, A., Dermeik, B., Fey, T., Filbert-Demut, I., Schlier, L., ... & Greil, P. (2014). Additive manufacturing of ceramic-based materials. *Advanced engineering materials*, *16*(6), 729-754.

[17]. Khoshnevis, B. (2004). Automated construction by contour crafting—related robotics and information technologies. *Automation in construction*, *13*(1), 5-19.

[18]. Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business horizons*, *55*(2), 155-162.

[19]. Prakash, K. S., Nancharaih, T., & Rao, V. S. (2018). Additive manufacturing techniques in manufacturing-an overview. *Materials Today: Proceedings*, *5*(2), 3873-3882.

[20]. Huang, S. H., Liu, P., Mokasdar, A., & Hou, L. (2013). Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *67*(5), 1191-1203.

[21]. Stein, A. (2012). Disadvantages of 3D printers. eHow TECH.

[22]. King, R. (2012). 3D Printing Coming to the Manufacturing Space and Outer Space. *Bloomberg LP, Bloomberg*.

[23]. Bogue, R. (2013). 3D printing: the dawn of a new era in manufacturing?. *Assembly Automation*.

[24]. Gebhardt, I. A. (2003). Rapid prototyping: industrial rapid prototyping system: prototyper: solid ground curing. *Cubital: Ra'anana, Israel*, 105-109.

[25]. Dahotre, N. B., & Harimkar, S. (2008). *Laser fabrication and machining of materials*. Springer Science & Business Media.

[26]. Chryssolouris, G. (2013). *Manufacturing systems: theory and practice*. Springer Science & Business Media.

[27]. Vilar, R. (2014). Laser powder deposition.

[28]. Cesarano III, J., King, B. H., & Denham, H. B. (1998). *Recent developments in robocasting of ceramics and multimaterial deposition* (No. SAND-98-2195C; CONF-980826-). Sandia National Labs., Albuquerque, NM (United States).

[29]. Pandremenos, J., Paralikas, J., Chryssolouris, G., Dybala, B., & Gunnink, J. W. (2008, September). RM product development: design principles, simulation and tool. In *International Conference on Additive Technologies, Ptuj*.

[30]. Sürmen, H. K. Eklemeli İmalat (3b Baskı): Teknolojiler Ve Uygulamalar. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, *24*(2), 373-392.

[31]. ISO/ASTM 52900, (2015). No Title, Addit. Manuf. Terminol.

[32]. Masood, S. H., & Song, W. Q. (2004). Development of new metal/polymer materials for rapid tooling using fused deposition modelling. *Materials & design*, *25*(7), 587-594.

[33]. Vyavahare, S., Teraiya, S., Panghal, D., & Kumar, S. (2020). Fused deposition modelling: A review. *Rapid Prototyping Journal*.

[34]. Fischer, E. P., Fischer, M. C., Grass, D., Henrion, I., Warren, W. S., & Westman, E. (2020). Low-cost measurement of face mask efficacy for filtering expelled droplets during speech. *Science Advances*, *6*(36), eabd3083.

[35]. Zhou, S. S., Lukula, S., Chiossone, C., Nims, R. W., Suchmann, D. B., & Ijaz, M. K. (2018). Assessment of a respiratory face mask for capturing air pollutants and pathogens including human influenza and rhinoviruses. *Journal of thoracic disease*, *10*(3), 2059.

[36]. Cherrie, J. W., Apsley, A., Cowie, H., Steinle, S., Mueller, W., Lin, C., ... & Loh, M. (2018). Effectiveness of face masks used to protect Beijing residents against particulate air pollution. *Occupational and environmental medicine*, *75*(6), 446-452.

[37]. Scheid, J. L., Lupien, S. P., Ford, G. S., & West, S. L. (2020). Commentary: physiological and psychological impact of face mask usage during the COVID-19 pandemic. *International journal of environmental research and public health*, *17*(18), 6655.

[38]. Desai, A. N., & Mehrotra, P. (2020). Medical masks. *Jama*, *323*(15), 1517-1518.

[39]. World Health Organization. (2020). *Advice on the use of masks in the context of COVID-19: interim guidance, 5 June 2020* (No. WHO/2019-nCoV/IPC_Masks/2020.4). World Health Organization.

[40]. Saiga, K., Ullah, A. S., & Kubo, A. (2021). A Sustainable Reverse Engineering Process. *Procedia CIRP*, *98*, 517-522.

[41]. Bonnici, A., Akman, A., Calleja, G., Camilleri, K. P., Fehling, P., Ferreira, A., ... & Rosin, P. L. (2019). Sketch-based interaction and modeling: where do we stand?. *AI EDAM*, *33*(4), 370-388.

[42]. Montlahuc, J., Shah, G. A., Polette, A., & Pernot, J. P. (2019). As-scanned point clouds generation for virtual Reverse Engineering of CAD assembly models.

[43]. Herbertson,T., Reverse engineering, in: Fourth Int. Conf. Ind. Tools ICIT, 2003: pp. 419–422.

[44]. Türkücü, T., & Börklü, H. R. (2018). Tersine Mühendislik Yaklaşımına Dayalı Yeni Bir İmalat İçin Tasarım İşlem Modeli. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, *6*(1), 91-104.

[45]. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2011). *Shigley's mechanical engineering design* (Vol. 9). New York: McGraw-Hill.

[46]. Masutani, K.; Kimura, Y., Chapter 1 PLA Synthesis. *From the Monomer to the Polymer. In Poly(lactic acid) Science and Technology: Processing, Properties, Additives and Applications*, The Royal Society of Chemistry: 2015; pp 1-36.

[47]. Armentano, I., Barbanera, M., Carota, E., Crognale, S., Marconi, M., Rossi, S., ... & Calabro, G. (2021). Polymer materials for respiratory protection: Processing, end use, and testing methods. *ACS Applied Polymer Materials*, *3*(2), 531-548.

[48]. Izdebska, J.: Printing on Polymers: Theory and Practice. In Printing on Polymers: Fundamentals and Applications, J. Izdebska, S. Thomas (eds).Waltham, MA:William Andrew, 2016. pp. 1–20.

[49]. McCullough, E. J., & Yadavalli, V. K. (2013). Surface modification of fused deposition modeling ABS to enable rapid prototyping of biomedical microdevices. *Journal of Materials Processing Technology*, *213*(6), 947-954.

[50]. Jamshidian, M., Tehrany, E. A., Imran, M., Jacquot, M., & Desobry, S. (2010). Poly-Lactic Acid: production, applications, nanocomposites, and release studies. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, *9*(5), 552-571.

[51]. Farah, S., Anderson, D. G., & Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications—A comprehensive review. *Advanced drug delivery reviews*, *107*, 367-392.

[52]. Sin, L. T.; Rahmat, Abdul R.; Rahman, Wan A. W. A., 2 - Overview of Poly(lactic Acid). In Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics, Ebnesajjad, S., Ed. William Andrew Publishing: Boston, 2013; pp 11-54.

[53]. Rodríguez-Panes, A., Claver, J., & Camacho, A. M. (2018). The influence of manufacturing parameters on the mechanical behaviour of PLA and ABS pieces manufactured by FDM: A comparative analysis. *Materials*, *11*(8), 1333.

[54]. Roy, R., & Mukhopadhyay, A. (2021). Tribological studies of 3D printed ABS and PLA plastic parts. *Materials Today: Proceedings*, *41*, 856-862.

[55]. Cai, Z., Xia, Y., Bao, Z., & Mao, H. (2019). Creating a human head finite element model using a multi-block approach for predicting skull response and brain pressure. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, *22*(2), 169-179.

[56]. Mhetre, M. R., & Abhyankar, H. K. (2017). Human exhaled air energy harvesting with specific reference to PVDF film. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, *20*(1), 332-339.

[57]. https://www.3dfilamex.com/ [Ziyaret tarihi: 07 Ekim 2021].

[58]. Talic, S., Shah, S., Wild, H., Gasevic, D., Maharaj, A., Ademi, Z., ... & Ilic, D. (2021). Effectiveness of public health measures in reducing the incidence of covid-19, SARS-CoV-2 transmission, and covid-19 mortality: systematic review and meta-analysis. *bmj*, *375*.

[59]. Dharmaraj, S., Ashokkumar, V., Hariharan, S., Manibharathi, A., Show, P. L., Chong, C. T., & Ngamcharussrivichai, C. (2021). The COVID-19 pandemic face mask waste: a blooming threat to the marine environment. *Chemosphere*, *272*, 129601.