

ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

COVID-19 SALGININDA 3B YAZICILARLA GELİŞTİRİLEN ÜRÜNLERİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF PRODUCTS DEVELOPED WITH 3D PRINTERS IN THE COVID-19 PANDEMIC

Yazarlar (Authors): Cansu Kardaş *, Hüseyin Rıza Börklü 



Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Kardaş C., Börklü H. R., "Covid-19 Salgınında 3b Yazıcılarla Geliştirilen Ürünlerin İncelenmesi" *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 6(1): 113-125, (2022).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.957098

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

COVID-19 SALGININDA 3B YAZICILARLA GELİŞTİRİLEN ÜRÜNLERİN İNCELENMESİ

Cansu Kardeş^a , Hüseyin Rıza Börklü^b 

^aİstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Türkiye

^bGazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Türkiye

*Sorumlu Yazar: kardascansu@gmail.com

(Geliş/Received: 24.06.2021; Düzeltme/Revised: 06.03.2022; Kabul/Accepted: 27.04.2022)

ÖZ

COVID-19 virüsü; 31 Aralık 2019'da Çin'in Hubei Eyaletinde ortaya çıkan, ateş, öksürük ve nefes darlığı olarak klinik belirtiler gösteren bir solunum hastalığı olarak belirlenmiştir. Bu hastalığın yayılması ile Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından kısa sürede pandemi ilan edilmiştir. Bu sebeple salgına karşı koruyucu ürünlere olan ihtiyaçlar olağanüstü seviyede artış göstermiştir. Temel koruyucu ürünlere, üretim kapasitesinin çok üstünde gelen talebi karşılamada fabrikalar yetersiz kalmıştır. Bu eksikliği giderebilmek için 3B yazıcı teknolojisi devreye sokulmuştur. 3B yazıcılar sayesinde kısa sürede örgütlenilerek başta sağlık çalışanlarının eksiklikleri giderilmiştir. Siperlik, maske ve aparatları gibi birçok ürün yüzlerce insan tarafından geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Bu çalışmada pandemi sürecinde bu virüsten korunma amaçlı geliştirilen ürünler ve kullanılan eklemeli imalat teknolojileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Covid-19 Virüsü, Koruyucu Ürünler, 3B Yazıcı.

INVESTIGATION OF PRODUCTS DEVELOPED WITH 3D PRINTERS IN THE COVID-19 PANDEMIC

ABSTRACT

COVID-19 virus was identified as a respiratory disease that appeared on December 31, 2019 in Hubei Province, China, with clinical symptoms as fever, cough and shortness of breath. With the spread of this disease, it was declared as a pandemic by the World Health Organization (WHO) in a short time later. For this reason, the need for protective products against the epidemic has increased enormously. Factories were insufficient to meet the demand for basic protective products that are far above their production capacities. 3D printer technology has been put into use to overcome this deficiency. Cooperating started within a short time thanks to 3D printers and the shortcomings of healthcare professionals were eliminated. Many products such as face shields, masks and apparatus have been designed and developed by hundreds of people. In this study, the products developed for protection from this virus and the additive manufacturing technologies used during the pandemic process were examined.

Keywords: Covid-19 virus, protective products, 3D printer.

1. GİRİŞ

Covid-19 virüsü, 31 Aralık 2019'da Çin'in Hubei Eyaleti, Wuhan kentinde görülerek Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) bildirilmiştir. Ateş, öksürük ve nefes darlığı şeklinde klinik

belirtiler gösteren ve kaynağı bilinmeyen bir solunum hastalığı olarak uyarı yapılmıştır [1]. İnsanları enfekte eden bu yeni virüs resmi olarak 6 Ocak 2020'de onaylanmış ve korona virüs hastalığı 2019 (Covid-19) olarak

tanımlanmıştır [2,3]. Enfekte olan kişilerin öksürmesi sonucu yayılan damlacıkların solunması ile bulaşır. Bu damlacıkların temas ettiği yüzeylere dokunulduktan sonra ellerin yıkanmadan yüz, göz, burun veya ağza götürülmesi ile de virüs alınabilmektedir [4].

Covid-19 salgını sürdükçe virüs hakkında bilinmeyen birçok yeni bilgi de gün yüzüne çıkmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre semptomatik Covid-19 vakası, Covid-19 virüsü semptomları olan bir kişiden bulaşmayı ifade eder [5]. Salgın sonucu oluşan küresel belirsizlik tüm dünyayı büyük bir ekonomik ve sosyal krize sokmuştur. Üretim ve taşımacılıktaki aksaklıklar, küreselleşme ve serbest ticarete karşı gerileme kaynaklı lojistik zorluklar, tedarik zincirlerini kısıtlayarak temel mallarda bazı kıtlıklara neden olmuştur [6]. Bu bağlamda Covid-19 salgını ile mücadele esnasında 3B yazıcı teknolojisi, acil ihtiyaç duyulan bazı ürünleri çabuk, etkin ve verimli bir şekilde kullanılabilceği görülmüştür [7]. Örneğin 3B baskı teknolojisi ile kişisel koruyucu ekipmanlar, tıbbi cihazlar ve kişisel aksesuarların hızlı bir şekilde üretiminin bu salgında eşsiz bir yardımcı olduğu kanıtlanmıştır. Çeşitli araştırma enstitüleri, üniversiteler, şirketler, 3B baskı atölyeleri ve 3B baskı teknolojisi ile çalışan bireyler, hastaneler ve sağlık çalışanları için tıbbi ekipman basmak üzere yaratıcı becerilerini kullanarak ve diğer sektörlerle iş birliği yaparak pandemiyle mücadelede öne çıkmışlardır [8,9].

Bu çalışma kapsamında salgınla mücadelede aktif rol oynayan yazıcıların sağladığı imkanlar, pandemi başlangıcından itibaren yeri ve kullanımı, kişi ya da kurumların bu yazıcılar sayesinde bastığı ürünler incelenmiştir.

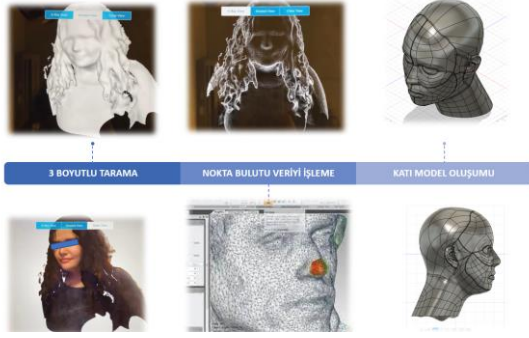
2. 3B TEKNOLOJİLER VE SALGINDAKİ YERİ

Salgının başlamasıyla birlikte sağlık hizmetlerinin aksamaması için gerekli malzeme ve cihaz üretimine ihtiyaç duyulmuştur. İlk zamanlarda firmalar tedarik noktasında yetersiz kaldıkları için, 3B yazıcılar çok büyük bir rol oynamışlardır. Bu tür cihazlara sahip şirket ve bireyler tarafından sağlanan esnek ve gelişmiş bir üretim ağı büyük bir potansiyel arz etmiştir. 3B baskı, COVID-19 taleplerini yetenek potansiyelinde yeniden konuşlandırarak bu acil durumda rekabet imkân ve gücünü göstermiştir. Bu çok yönlü teknoloji, sosyo-ekonomik

eğilimler ve tedarik zincir aksaklıklarına bağlı oluşan arz-talep dengesizliklerini gidermek için çok uygundur [6,10].

3 boyutlu yazıcılar ile katmanlı üretim tekniği, hızlı üretim kapasitesi, düşük atık oluşumu, yüksek doğruluk, tekrarlanabilirlik, şekil ve geometrinin kolay özelleştirilmesi, yüksek dayanıklılığı ve basılabilir çok çeşitli malzeme kullanımı nedeniyle diğer üretim tekniklerine göre daha kullanıcı dostudur [11,12].

Farklı teknolojiler içeren ve değişik malzemeler kullanılan birçok 3B yazıcı günümüzde mevcuttur [13]. FDM, Stereolitografi (SLA), Seçici Lazer Sinterleme (SLS), Bağlayıcı Püskürtme (BJ), MJF, EBM/SLM gibi çok sayıda 3B yazıcı ile değişik yöntemlere dayalı teknolojiler mevcuttur. Bunlardan en yaygın olan FDM teknolojisi, bir 3B baskılı yapı oluşturmak için katman katman dizilmiş bir şekilde nozülden aşağıya eritilen / ekstrüde edilen termoplastik filamentleri kullanmaktadır [14]. Kullanılacak filamentin seçimi basılacak ürünün niteliği ve kullanılan yazıcının teknik özellikleri ile doğrudan ilgilidir [15]. Bu yazıcıları kullanabilmek için çıkartılmak istenilen ürünün STL uzantılı halde modeline ihtiyaç vardır. STL formatlı 3B bir cismin hacim bilgisini sadece herhangi bir renk, doku veya malzeme bilgisi olmadan saklama ve aktarmayı sağlamaktır [16]. Daha sonra bu uzantı ile kaydedilen dosya herhangi bir 3B baskı programında doluluk, destek oranı planlaması gibi teknik özellikleri ayarlayıp katmanlar haline getirerek 'gcode' uzantılı dosyaya dönüştürülür. Bu modeli oluşturabilmek için parçanın bilgisayar destekli bir tasarım programında modellenmesi gerekir. Bu yetkinliğe sahip olamayan kişiler ise çeşitli siteler üzerinden hazır STL formatlı dosyaları indirerek yazıcılarından çıkarabilmektedir. Karmaşık geometriler, ölçü alınamayacak yüzeyler, organik cisimler veya tercihen bir modeli oluşturabilmek için 3B tarayıcılar kullanılabilir (Şekil 1). Lazer teknolojisi kullanan bu cihazlar cisme ışınlar göndererek çarpması ve pikosaniyede geri dönmesiyle geçen süreyi hesaplayan hassas ölçüm sistemleridir [17]. Salgına yönelik geliştirilen ürünlerden özellikle insan vücudu ile direkt bağlantılı tasarımlarda kullanımı önem arz etmektedir.



Şekil 1. 3B tarayıcı kullanarak oluşturulan bir modelin aşamaları.

Günümüz teknolojisinin sağladığı imkanlar ile bahsedilen yetersizliklere duyarsız kalmayan firmalar ve hatta halk, kendi evlerinde bulunan 3B yazıcıları kullanarak sağlık personellerinin kişisel koruyucu ekipman ihtiyacını gidermek amacıyla örgütlenmişlerdir. Ayrıca virüse yakalanan hastaların tedavisini destekleyecek ürünlerin de basılmasını sağlamışlardır.

3. 3B YAZICILARIN SALGINDA KULLANIMI

Hemen her alanda kullanılabilen, geleneksel imalat yöntemleri ile bile üretilemeyen çok karmaşık ve yapımı zor parçaların imalini mümkün kılan 3B yazıcılar, salgın döneminde de hayati parça ve sistemlerin üretilmesini sağlamıştır. Böylece yaşanan zor günlerde birçok insan için de can simidi olmuştur. Gün geçtikçe gelişen bu teknoloji insanlığın karşılaştığı sorunlara esnek ve çok yönlü çözüm bulmada gün geçtikçe daha fazla anlam ve önem kazanmaktadır.

3.1. Ülkemizde 3B Yazıcılar ve Kullanımı

Salgının artışı ile ülkemizde de yetersiz kalan ekipman tedarikine karşılık; siperlik, maske ve tedavi destekleyici ürünlere olan gereksinim artmıştır. Buna karşılık bilgisayar destekli tasarım programlarında tasarlanarak geliştirilen ürünlerin kaynakların çoğu ilgili kişiler tarafından erişime açık hale getirilmiştir. Bu sayede 3B yazıcıya sahip herkes kaynakları kullanarak ihtiyaç duyulan ürünler üretebilmiştir. Pandemi sürecinin başında önce İtalya'da maske aparatı basımıyla daha sonra da mart ayında tüm dünyada siperlik basımıyla beraber 3B yazıcıların popülerliği artmıştır. Ülkemizde de salgın boyunca 3B yazıcıların farkına varılmaya başlanmıştır [18]. Türkiye'de 12 bin evde 3B yazıcı bulunmaktadır. Bunun yanı sıra endüstriyel alanlarda kullanılan 5 bin yazıcı ile beraber toplamda ülkemizin 17 bin 3B

yazıcı kapasitesi bulunmaktadır. Zaxe'nin Genel Müdürü Emre Akıncı dünyada sektörün her yıl yüzde 30 büyüdüğünü fakat bu yıl pandemi sebebiyle geçen yıla göre taleplerin yüzde 400 oranında arttığını ve gelecek yıl da bu büyümenin süreceğini ifade etmektedir [19].

3.2. 3B Destek Hareketi

Virüsün ortaya çıkmasıyla birlikte salgının en büyük yükünü üstlenerek mücadele eden sağlık çalışanlarının kişisel koruyucu ekipmanlara olan ihtiyacı ortaya çıkmıştır. İlk zamanlarda yetersiz kalan ekipmanların tedarikine yardım için 3B baskıyla siperlik üretimi seferberliği '3 Boyutlu Destek Kolektif Üretim Hareketi' olarak Ramazan Subaşı tarafından başlatılmıştır. Subaşı, yazıcılardan baskı alabilmek için gerekli hammadde (yani filament) fiyatına bağlı olarak evde üretilecek bir siperlik maliyetinin 2 TL olabileceğini ifade etmiştir (Şekil 2). Gönüllü olarak yaklaşık 3500 kişi / kurum ve yaklaşık 5 bine ulaşan 3B yazıcıyla bu ağ geliştirilmiştir. Türkiye'nin 81 ilinde 3 Boyutlu Destek Hareketi'nin temsilcisi ve burada üretim yapan insanlarla birlikte açık bir platform oluşturulmuştur.

Kişisel koruyucu ekipmanlardan olan siperliğin, salgının ilk zamanlarında fazla üretilmediği (hatta ücretle bile temin edilemediği) için 3 Boyutlu Destek Hareketi ile kolektif üretimin katkısı ve gönüllük bağı ile sağlık çalışanlarına üretilerek ulaştırılması sağlanmıştır. Türkiye'de başlatılan seferberlik ile birlikte toplamda 600 bin adet siperlik üretilmiştir. Günümüzde siperliklerin ulaşılabilir olması sebebiyle ekip bu organizasyona devam etmemektedir [19,20].



Şekil 2. Seferberlik ile üretilen siperlikler.

3.3. Diğer Destekleyen Kuruluşlar

İtalya'da bulunan Isinnova adlı firma çalışanları, ülkenin pandemiden dolayı çektiği solunum destek ürünleri sıkıntısıyla mücadele

edebilmek için bir fikir geliştirmiştir. Bu fikir piyasada mevcut normal bir şnorkel maskesini oksijen kaynağına bağlayan bir ara yüz tasarlayarak 3B yazıcıda basılıp birleştirilmesini içermektedir. Birincil bağlantı parçasına, Charlotte, Dave valfine bağlanmak için ikincil bağlantı parçası olan Charlotte valfi adı verilmiştir (Şekil 3). Bu parça uyumunda birkaç değişiklik gerektiğinden her şnorkel maskesi için kullanılabilecektir. Charlotte valfinin amacı, maske ile oksijen arasında bir bağlantı oluşturarak bir Covid-19 hastasının nefes almasını sağlamak ve sistemin su geçirmez contası sayesinde doğru hava üfleme basıncı oluşturmaktır. Ülkemizde bu haberin yayılması ile Decathlon Türkiye’de bu su altı dalış ürün satışını durdurma kararı almış ve ihtiyaç halinde stokların tedavi amaçlı sağlık çalışanlarınca kullanılabileceğini duyurmuştur. Ayrıca Decathlon Türkiye bu ürünün sağlık açısından uygunluk testinin henüz kanıtlanmadığını ama bu ürünü modifiye ederek geliştirecek sağlık amaçlı kullanımını test edip onaylayabilecek sağlık kurumları ve Ar-Ge merkezleri aradığını belirtmiştir [21,22].



Şekil 3. Charlotte valfi kullanımı.

Çin’de bulunan Kişisel Koruyucu Donanımları üreten büyük ölçekli bir firma, hastanelere güvenlik gözlükleri basabilmek için 200’den fazla Flashforge Guider II 3B yazıcısını kullanmıştır (Şekil 4). Salgının başlarında üretim zamanından kazanmak için güvenlik gözlüklerini tekrar tasarlayan ekip Çin’deki hastanelere bu ürünleri bağışlamıştır.



Şekil 4. Üç boyutlu yazıcı çiftliği.

Gerek ülkemizde gerekse dünyada 3B yazıcıya sahip pek çok kişi, kurum ve kuruluşlar başta sağlık çalışanlarının ihtiyacını gidermek ve virüse yakalanan kişilere tedavi sağlaması amacı ile çok sayıda baskı gerçekleştirmişlerdir.

4. SALGIN DÖNEMİNDE 3B YAZICILAR İLE ÜRETİLEN ÜRÜNLER

Covid-19 salgının yayılması ile önleyici, koruyucu ve tedaviye yönelik ürünlere olan ihtiyaçlar giderek artmıştır. İhtiyaçlar kapsamında ürün tedariklerini karşılayabilmek için üretici firmalar tam kapasiteli çalışsalar bile olağanüstü seviyede gelen talebi giderebilmek adına başlangıçta çok yetersiz kalmışlardır. Gereksinim duyulan ürünler; maske, siperlik, dezenfektan ve kapları, solunum cihazları vb. şeklinde sıralanabilir. Bu bölümde bahsedilen ürünler incelenerek listelenmiştir.

4.1. Siperlikler

Yüz siperi, kafayı çevreleyen ve vizörü kullanıcının yüzünün önüne konumlandırılan bir çerçeve ile darbeye ve neme dayanıklı bir vizörün monte edildiği bir kişisel koruyucu ekipman türüdür [23]. Yüz maskelerine ek koruyucu olarak yüz siperlikleri, COVID-19 salgınında kişisel koruyucu ekipman olarak hem halk hem de sağlık uzmanları için tercih edilen bir alternatif olarak kullanılmaktadır. Hasta tarafından çevre ve tıbbi personel için başka bir koruma katmanı olarak takılmaktadır [24]. Bu vizör genelde polietilenden (PE) yapılarak koruması ile kullanıcıyı havadaki sıvı kirleticiler / parçacıklardan koruyarak enfeksiyon yayılmasını önlemeye çalışır. Sağlıklı ve enfekte bir kişi arasında engel görevi görmektedir [25].

JAMA'daki bir makalede yüz siperliklerinin toplumdaki hastalık bulaşmasını azaltmada maskelerden daha etkili olacağı ileri

sürülmüştür. Bunun nedeni de yüz siperliklerinin daha rahat olacağı ve böylece halk tarafından daha fazla benimsenebileceği şeklindeki kuvvetli kanaattir [26]. Siperliklerin vizör ve lastik kısmı dışındaki ana gövdesi salgının ilk zamanlarındaki seferberlikte 3B yazıcılar ile üretilmeye başlanmıştır. Pek çok tasarımcı kişi ve kurumlar kendi siperlik dosyalarının erişimini açık hale getirmiştir. Böylece sağlık çalışanları başta olmak üzere hayati öneme sahip olan bu ürün 3B yazıcılar sayesinde kolaylıkla tedarik edilmiştir. Şekil 5'te görüldüğü üzere klasik bir siperlik birbirine bağlı iki yarım halka formunda aparattan meydana gelmektedir. Bu sayede içteki halka insan kafasında sabitlenirken, vizörün diğer halkaya bağlı olması sebebiyle istenilen durumlarda açılıp kapanması sağlanmaktadır. Diğer siperlik tasarımlarında da baskının daha kısa sürede elde edilebilmesi amacıyla fonksiyonu azaltılarak dıştaki halkanın ön bölümünü sadece vizörle yüz arasında mesafe bırakmak amacıyla kullanmışlardır.

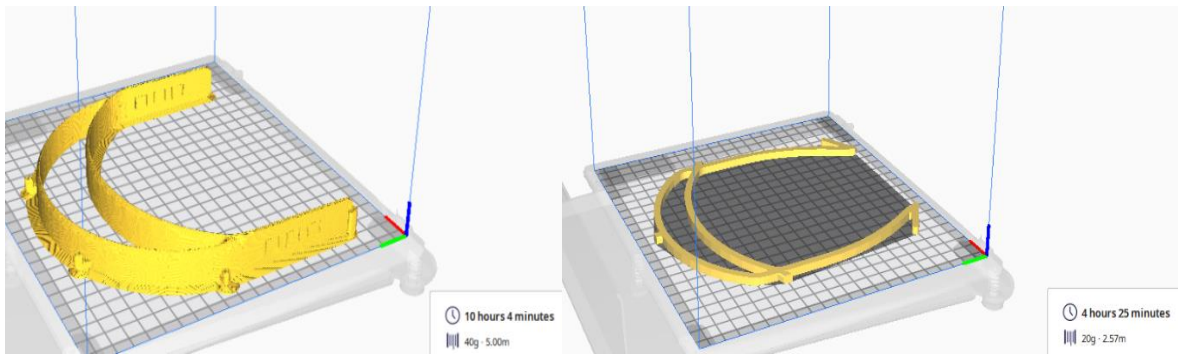


Şekil 5. Klasik bir siperlik.

3B yazıcılardan baskı alabilmek için hazır model havuzuna sahip en popüler sitelerden biri olan GrabCAD üzerinden yaklaşık 4035 kez indirilen 'Gizeh Triana' isminde bir üyenin siperlik dosyası incelenmiştir. Şekil 6'da

görüldüğü gibi kullanılan klasik siperliklerden iki model alınarak Ultimaker Cura üzerinden yüzde 40 doluluk oranı, 0.1 mm hassasiyet, taban desteği, PLA ana ve destek hammadde seçilerek dilimlenmiştir. Şekil 6 (a)'daki siperliğin Şekil 6 (b)'ye göre baskı süresi ve ağırlığının daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi daha fonksiyonlu ve dayanıklı olmasıdır. Şekil 6 (a)'daki siperlik 40 gram ağırlıkla 10 saat 4 dakikada, Şekil 6 (b)'deki siperlik ise 20 gram ağırlıkla 4 saat 25 dakikada basılabilmektedir. Türkiye'de satılan 1.75 mm çaplı ortalama kalitede 1.000 gram bir filament yaklaşık 120 Türk lirası (TL) olarak kabul edilerek bir siperliğin hammadde maliyeti hesaplanmıştır. Buna göre Şekil 6 (a)'daki modelin filament maliyeti 4,8 TL ve Şekil 6 (a)'daki modelin filament maliyeti 2,4 TL'ye karşılık geldiği belirlendi. Bir 3B yazıcı ise ortalama olarak 150 ile 250 watt enerji harcamaktadır [27].

Bunun 250 watt/saat olduğunu kabul edilerek yapılan hesaplamada saatte 0,25 kw enerji harcamaktadır. 2021 Ocak ayı elektrik tüketimi ücretlerine bakıldığında tek zamanlı meskende 1 kWh elektrik vergiler dahil fiyatı 0,7102 TL'dir [28]. Bu durumda saatte 0,25 kw enerji harcayan bir yazıcı, saatte yaklaşık 0,18 TL maliyeti bulunmaktadır. Şekil 6 (a)'daki model yaklaşık 1,8 TL, Şekil 6 (b)'deki model ise yaklaşık 0,80 TL değerinde elektrik harcamaktadır. Halihazırda yazıcısı bulunan kişiler için basit bir siperlik üretim maliyeti yaklaşık 3,2 TL, biraz daha karmaşık bir siperlik maliyeti ise 6,6 TL olduğu görülmektedir

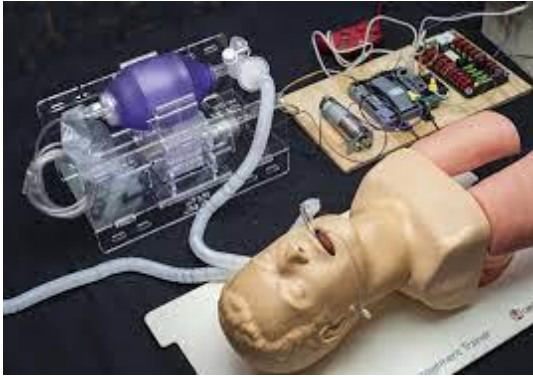


Şekil 6 (a). Fonksiyonlu bir siperliğin 3B baskıya hazırlanması, (b). Basit bir siperliğin 3B baskıya hazırlanması.

4.2. Ventilatörler

Mekanik ventilatörler solunum yetmezliği için hayat kurtaran bir destekleyici tedavi şeklidir (Şekil 7). Mekanik ventilasyonun potansiyel faydaları arasında solunum desteği ile kas yorgunluğunu tersine çevirerek şok durumlarında hayati organlara kan akışını yeniden başlatması bulunmaktadır [28].

Ventilatör valfleri, COVID-19 hastaları da dahil olmak üzere akut solunum sıkıntısı olan hastalara sabit aralıklarla oksijen vermek için kullanılan elemanlardır. 3B baskı teknolojisi, tek kullanımlık valf setleri için bir FDM veya bir polimer-lazer toz yatağı püskürtme teknolojisine sahip 3B yazıcı kullanılabilir. 3B yazıcılar, poliyamid ve polisülfon, polikarbonat gibi biyomateryaller kullanarak valfin farklı elemanlarını basabilmektedir. Ayrıca bu tek kullanımlık valfler, zaman alan sterilizasyon gereksinimini ortadan kaldırır [29].



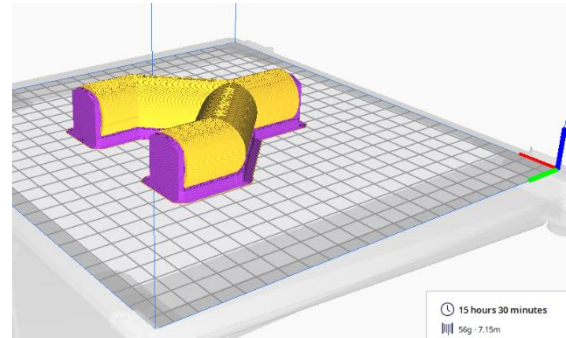
Şekil 7. Mekanik ventilatör

Sadece ventilatörün valfleri değil, mekanik parçaların büyük çoğunluğu da 3B yazıcılar ile üretilmiştir. Yakın Doğu Üniversitesi ise bu solunum destek cihazının yetersiz kalması halinde tek cihazın (mekanik ventilatör) aynı anda iki hastaya solunum desteği sağlayacak ventilatör çoklayıcı aparatı (Şekil 8) geliştirerek 3B yazıcılarda üretilmesine imkân tanımıştır [30]. Bunun gibi benzer aparatlar farklı kişi ve kuruluşlar tarafından tasarlanarak dosyalarını erişime açmışlardır.



Şekil 8. Ventilatör çoklayıcı aparat.

Yakın Doğu Üniversitesinin sağladığı bu erişimden yararlanılarak indirilen STL dosyası Ultimaker Cura programında incelenmiştir. Ana hammadde olarak Şekil 9'da sarı renkli olarak gözüken bölümler PLA, mor renkli gözüken bölümler ise suda eriyebilen bir destek filamenti olan PVA seçilmiştir. Yüzde 50 doluluk, taban desteği ve 0,1 mm hassasiyet olarak ayarlanmıştır. Modelin toplam ağırlığı 56 gram olup 15 saat 30 dakikada üretilmektedir. 1.000 gram ortalama bir PLA filamenti 120 TL, 500 gram ortalama bir PVA filamenti ise 400 TL olarak kabul edilmiştir. Buna göre 32 gram PLA ve 24 gram PVA'dan oluşan modelin filament maliyeti yaklaşık 23,04 TL'dir. Elektrik tüketimi ise yine saatte yaklaşık 0,18 TL olarak hesaplanan değeri baz alarak 2,79 TL harcamaktadır. Sonuç olarak 3B bir yazıcıda suda eriyebilen destek malzemeli bir ventilatör çoklayıcı aparatın ortalama maliyeti yaklaşık 25,83 TL olarak hesaplanmıştır.



Şekil 9. Ventilatör çoklayıcı aparatın 3B baskıya hazırlanması

4.3. Laringoskop Bıçakları (Bladeler)

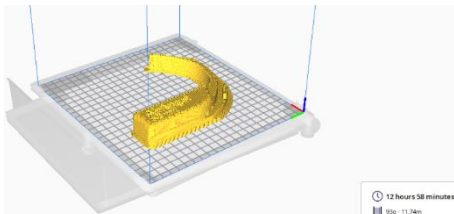
Bıçak anlamına gelen bladeler (Şekil 10) entübasyon için kullanılan laringoskopların iki kısmından birini oluşturur. Blade, handle (sap) denilen kısım ile takılıp çıkarılabilir. Blade kısmı farklı boyut ve şekillerden oluşmaktadır ve hastaya uygun olan blade seçilerek, entübasyon işlemi gerçekleştirilir [31].

Bir eğitim web sitesi laringoskoplar için tasarladıkları bıçakları yetersiz kaynaklara sahip ülkelerde erişilebilir hale getirmiştir. Yetişkin ve pediatrik bladeleri tasarlayarak 3B baskı şirketiyle beraber üretimini gerçekleştirmişlerdir. Yetişkinler için olan bıçağın tasarım dosyası ilgili şirketin web sitesinden ücretsiz olarak indirebilmektedir. Düşük bir ücret karşılığında pediatrik dosyayı satmaktadırlar [32]



Şekil 10. Blade (bıçak).

Yetişkinler için tasarlanan 5.5 mm'lik blade'in STL dosyası indirilerek Ultimaker Cura programı üzerinden incelenmiştir (Şekil 11). Yüzde 50 doluluk oranı, 0,1 mm hassasiyet, taban plakası, ana ve destek malzemesi PLA seçilerek model dilimlenmiştir. Blade'in baskısı için 93 gram ağırlığında filament ihtiyacı duyularak, 12 saat 58 dakikada gerçekleşmektedir. Buna göre ortalama olarak kabul ettiğimiz birim fiyatlara göre 11,16 TL hammadde maliyeti, elektrik tüketim maliyeti ise 2,34 TL'dir. Ortalama bir 3B yazıcı kullanarak 5,5 mm'lik bir laringoskop bıçağı üretmenin yaklaşık maliyetinin toplam 13,5 TL olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 11. 5,5 mm'lik bir laringoskop bıçağının 3B baskıya hazırlanması.

4.4. Maskeler

Küresel ticari malzeme sıkıntısı nedeniyle kötüleşen koronavirüs salgını (COVID-19) sırasında halka açık alanlarda maske kullanımı, ev yapımı maskelerin ve alternatiflerinin yaygın kullanımına yol açmıştır. Maske takılması, enfekte birinin hastalığı yayma olasılığını azalttığı düşünülür. Ancak bu maske tasarımları genelde pratikte test edilmemiştir [33].

Yaygın kullanımları öngörülen ve önerilen cerrahi (tıbbi) maskeler, TS EN 14683 standardına uygun olarak üretilmesi temel koşulu ve kullanım sürecinde özellikle el hijyenine azami derecede uymak ve fiziksel mesafeyi de korumak şartıyla, enfeksiyon bulaşma riskini önemli oranda azaltmakta ve azami derecede koruma sağlamaktadır.

Teste tabi tutulmayan maskeler bugüne kadar hava kirliliği, çeşitli hastalıklar veya hava kalitesi düşük çalışma ortamları dışında toplum içinde sürekli kullanmayı gerektirecek bir talep görmemiştir. Teste tabi tutulmuş cerrahi maskeleri temin edemeyen halk için uzmanlar tarafından ağız ve burundan çıkan partiküllerin etrafa yayılması önleyecek şekilde kahve filtreleri, yastık kılıfları ve çeşitli kumaşlar gibi malzemelerden yapılan maskeler ile kapatılması önerilmiştir [34].

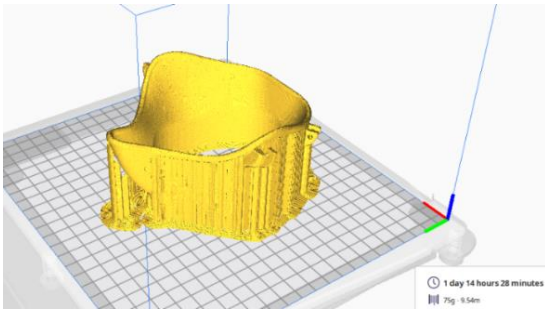
Tek kullanımlık maskelerin çevreye verdiği zarar, kullanım sırasında yarattığı sıkıntılar ve koruyuculuk etkisine olan güvenden dolayı pek çok kişi başka maskeler kullanma arayışına girmişlerdir. Cerrahi maskelere göre daha yüksek fiyatta satılan ventilli ya da ventilsiz N95 maskeler örnek alınarak yeni maskeler tasarlanmaya başlanmıştır. Bu maskeler tasarlanırken 3B tarayıcılar ve yazıcılar tasarımcılar için çok önemli olmuştur. Gerek açık kaynaklı maske aparatları gerekse modifiye edilerek çok sayıda 3B dosyaya erişilebilen maskeler piyasaya çıkmıştır (Şekil 12). Bu tür maske tasarımlarında; filtre yapacak parçanın doluluk oranları, kuvvete maruz kalacak lastik geçme bölgelerinin sağlamlığı, 3B baskıya uygunluğu ve destek konacak bölümlerin yazıcı ve malzeme türüne bağlı olarak bırakacağı pürüzlü bölge ile temasına dikkat edilmelidir. Ayrıca kullanılacak filament malzemenin insan sağlığı açısından tehlikeli olup olmadığı mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Teknoloji sektörünün önde gelen markaları ise kendine ait vücut ısısı

ölçme, filtreleme kontrolü gibi farklı fonksiyonlarda çok daha teknik özelliği barındıran maskelerini sunmuşlardır.

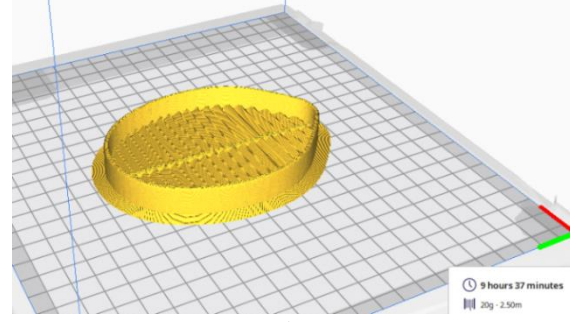


Şekil 12. 3B yazıcılar ile üretilmiş maske

GrabCAD üzerinden yaklaşık 430 kez indirilen 'Chris' adındaki bir üyenin filtreli maske dosyası incelenmiştir. Şekil 13'de görüldüğü gibi filtre ve gövdesi birbirine monte edilerek kullanılmaktadır. Bu modeller Ultimaker Cura üzerinden yüzde 30 doluluk oranı, 0,06 mm hassasiyet, taban desteği seçimi, PLA ana ve destek hammaddesi seçilerek dilimlenmiştir. Şekil 13 (a)'da görüldüğü gibi maske gövde baskı geometrisi, hassasiyeti ve hacminden dolayı diğer incelenen parçalara göre çok daha uzun sürede çıktı vermektedir. Gövdesi ortalama bir FDM yazıcıda 75 gram ağırlığıyla 38 saat 28 dakikada basılabilmektedir. Şekil 13 (b)'de görülen filtresi ise 9 saat 37 dakikada basım süresiyle 20 gram ağırlığa sahiptir. Önceki çalışmalarda kabul edilen değerlere göre gövdesi ve filtresi dahil bir maske için ortalama filament maliyeti 11,4 TL, elektrik tüketim maliyeti ise 8,64 TL'dir. Böylece filtreli bir maskeyi 3B yazıcı ile üretmenin toplam maliyeti yaklaşık 20 TL olarak hesaplanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 13. Bir maske filtresinin 3B baskıya hazırlanması.

Entübasyon kutuları (Şekil 14), entübasyon sırasında hasta üzerine konularak partiküllerin öksürük dağılımını önlemede fayda sağlaması için kullanılmaktadır. Doktorlar, kutuda bulunan iki delik sayesinde hastanın tedavisini gerçekleştirebilmektedir. Kutu genel olarak şeffaf pleksi malzemeden meydana gelmektedir. Bu pleksi levhaları birleştirmek amacıyla 3B yazıcıdan aparatların basımı gerçekleştirilmektedir [35].

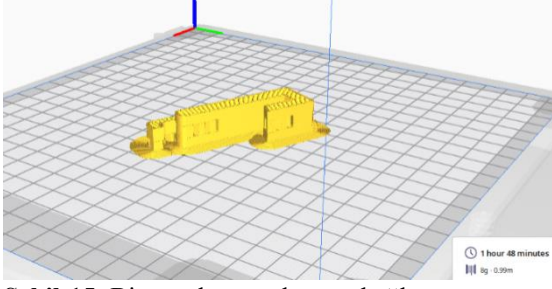


Şekil 14. Entübasyon kutuları.

Tüm bu ürünlere olan talep, salgının başladığı günden itibaren dünya çapında olağanüstü derecede artmıştır. Aşırı seviyede olan taleplere üreticiler yetişemediğinden dolayı dünyanın çoğu bölgesinde örgütlenmeler başlayarak bir kısmı giderilmeye çalışılmıştır.

Entübasyon kutuları için birleştirme aparatı olarak kullanılan parçanın ücretsiz erişiminden faydalanılarak Şekil 15'teki STL formatındaki dosyası indirilmiştir. Ultimaker Cura programı üzerinden bazı teknik özellikler ayarlanmıştır. Bu özellikler parçanın yüzde 20 doluluk oranında olması, 0,1 mm hassasiyet ile basılması, ana ve destek hammaddesinin PLA olarak seçilmesi ve taban plakası atılması olarak seçilmiştir. Bu işlemler yapıldıktan sonra dilimlenen parça ağırlığı ve baskının ne kadar süreceği bilgisi elde edilmiştir. Daha önceden baz alınan değerler ile 0,96 TL filament maliyeti, 0,36 TL ise elektrik tüketim bedeli olarak hesaplanmıştır. Bir entübasyon kutusu için 6 adet kullanılan parçanın 3B yazıcı ile

üretim toplam maliyeti ise yaklaşık 7,92 TL olarak belirlenmiştir.



Şekil 15. Bir entübasyon kutusu bağlantı aparatının 3B baskıya hazırlanması

Çizelge 1’de görüldüğü üzere salgın dönemi boyunca üretilen yaygın kişisel koruyucu ve tedavi destek için kullanılan ürünlerin amaçları ve 3B baskı teknolojileri ile nasıl üretilebileceği görülmüştür. Bu süreç içerisinde baskısı alınan en yaygın kullanımdaki ürünlerin ortalama birim fiyatları baz alındığında, yaklaşık olarak hammadde ve enerji tüketim maliyetleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre 3B yazıcılar, tedarik sıkıntılarının yaşandığı dönemde düşük maliyetler ile etkili çözümler sağlamıştır. Bu çizelgede yapılan çalışmayla ürünleri basabilmek için gereken hammadde miktarı ve süreleri ortaya konmuştur.

Çizelge 1. Salgın dönemi 3B baskısı alınan ürünlerin maliyet analizi.

Ürünler	Filament Maliyeti (TL)	Enerji Tüketim (TL)	Toplam Maliyet (TL)
Siperlikler (basit/ fonksiyonlu)	2,4 - 4,8	0,8 - 1,8	3,2 - 6,6
Ventilatör çoklayıcı aparat	23,04	2,79	25,83
Laringoskop Bıçağı	11,16	2,34	13,5
Maskeler	11,4	8,64	20
Entübasyon kutusu bağlantı aparatı (1 adet)	0,96	0,36	1,32

5. ÜRÜNLERİN GELENEKSEL YÖNTEMLERLE İLE KIYASLANMASI

Salgın süreci boyunca etkin rol oynayan 3B yazıcılarla, üretime destek amaçlı basılan ürünlerin avantajları ve maliyetleri incelenmiştir. Daha sonra bu ürünlerin geleneksel yöntemler ile üretim sürecindeki gereksinimlerle ilgili yapılan bir kıyaslama incelenmiştir.

Siperliklerin üretimi için yapılan bir araştırmada; ortalama bir 3B yazıcı ve klasik bir plastik enjeksiyon makinesi kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır [36]. Bu karşılaştırmaya göre siperlik üretimine başlamak için 3B yazıcı kullanıldığında modelin baskı için hazırlanması; baskı kalitesi, hassasiyeti, desteklerin belirlenmesi, malzeme atama gibi teknik özelliklerinin ayarlanması ve yazıcıyı baskı için uygun hale getirme süresinin 30 dakikadan daha az sürdüğü belirtilmiştir. Eğer plastik enjeksiyon kalıbı ile imalat gerçekleştirilirse; modelin karmaşıklığına bağlı olarak tasarlama süreci, tasarımın imalata uygun hale getirilmesi ve kalıbın üretilmesinin 2 ila 6 gün arası vakit aldığı belirtilmiştir. Buna göre üretimin başlangıcından itibaren kıyaslandığında; 3B teknolojiler, plastik enjeksiyon kalıbına göre hazırlanması daha kısa

sürmekte ve böylece daha az ekipman ihtiyacı gerektirmektedir.

Üretim sırasında planlamaya bakıldığında ise; düşük maliyetli bir 3B yazıcı kullanıldığında, baskı sürecinde ve sonrasında kalite kontrol gerektirebilir. Hammadde değişimleri sırasında yazıcının ve filamentin kalitesine bağlı olarak süreci uzatabilmektedir. Bu planlama işlemi plastik enjeksiyon kalıbı ile gerçekleştirildiğinde belirli sürede gerçekleşen ayarlamalardan sonra denetim olmaksızın çalışabilmektedir. Üretim sonrası işlemlere bakıldığında; 3B yazıcı ile üretiminde baskının deforme olup olmaması, ayarlanan hassasiyete göre tam ölçüyü sağlayıp sağlamadığının kontrolü, filamentin seçilen geometriye uygun biçimde ekstrüde edilmediğinden dolayı oluşabilen çapağın temizlenmesi gibi işlemlere ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu durumda ise plastik enjeksiyon kalıbı ile üretim sonrası işlem gerektirmediği için bu işlemde daha avantajlı hale gelmiştir. Alınan baskıdaki nesnenin kalitesi ise; 3B yazıcının sağladığı teknik özellikler ve bunları ayarlayan kullanıcıya bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Plastik enjeksiyon kalıbı ile

Çizelge 2. 3B yazıcılarla plastik enjeksiyon kalıbı ile üretimin karşılaştırılması [37].

Temel Özellikler	Ekllemeli İmalat	Plastik Enjeksiyon Kalıbı
Üretimi öncesi planlama	Az sayıda takım ve minimum işçilik gerektirir (ayara süresi < 30 dakika)	Model karmaşıklığına göre 2 - 6 gün kalıp hazırlık ve üretim süresi (daha fazla işçilik gerekir).
Üretim sırasında planlama	Düşük maliyetli 3B yazıcılar, her parça basımı ve filament değişimi, makineyi çalıştırma ve baskı sırasında gözlem.	Enjeksiyon cihazları ayar sonrası denetimsiz çalışır.
Üretim sonrası işlemler	Parça kalitesi / geometrisine bağlı olarak çapak / destek malzeme temizliği.	Üretim sonrası işlem gerekmez.
Üretilen nesnenin kalitesi	3B yazıcıların sağladığı parametreler ve bunları ayarlayan kullanıcıya bağlı	Üretilen tüm parçalarda aynı kalite
Üretim miktarı	Orta kalite (10 adet / gün)	Hızlı (2.000 adet / gün)
Enerji maliyeti	12 dakikalık ısınmada 1.200W ve çalışma süresi boyunca 300W	Çalışırken 3.000W ve yaklaşık 120 dakika kurulum süresi

üretiminde ise yüksek oranda her üründe eşit kalite sağlanabilmektedir.

Üretim miktarları açısından kıyaslandığında ise 3B yazıcılar ile orta kalitede bir baskı alındığında günde 10 adet, kalıplama ile günde 2.000 adet kadar siperliğin üretilebildiği görülmüştür. Bu iki sayı arasında uçurumun, plastik enjeksiyon ile siperlik üretimini son derece avantajlı kıldığı görülmektedir.

Son olarak sistemlerin enerji maliyetine bakıldığında; ekllemeli imalat teknolojisi ile 12 dakikalık ısınma süresi boyunca 1.200 W ve çalışma süresi boyunca da 300 W enerji harcamaktadır. Kalıplamada ise çalışma süresi boyunca 3.000 W ve ortalama olarak 120 dakika kurulum süresi gerektirmektedir. Bir kalıbın üretimi 50 saat, makinenin hazırlanması ise 10 saatten fazla sürebilmektedir.

Plastik enjeksiyon kalıplama teknolojisi ile üretim tekniğinde maliyet hesaplanabilmesi için birçok parametre hesaba katılarak çok sayıda yöntem kullanılabilir. Bunlardan bazıları hacim, geometri, malzeme, kalıp işleme, yolluk sistem tasarımları, itici sistem, montaj gibi detaylandırılmaktadır. Herhangi bir ürünün kalıp maliyetinin hesabının yapılabilmesi için hazır ve hesaplanması gereken tüm girdilerle birlikte detaylı bir çalışma gerektirmektedir [38].

Bahsedilen tüm parametrelere bağlı olarak yapılan kıyaslamalarda hem 3B yazıcılar ile üretimin hem de plastik enjeksiyon kalıbı ile üretimin avantajlı olduğu haller olduğu görülmektedir. Herhangi bir ürünün normal imalat teknikleriyle üretilmesi başlıca; yaygın kullanımı ve kolay ulaşılabilirliğinden dolayı tercih edilse de gelişen teknoloji yönelimleri tersine çevirmeye başlamıştır [39]. Pandemi ilan edilen bu süreçte istenilen durum maksimum sayıda ve hızlı üretim ile gerçekleşmesi olduğundan dolayı sonraki süreçlerde plastik enjeksiyon teknolojisini daha avantajlı hale getirmiştir. 3B yazıcı ile siperlik üretiminin bu denli talep görmesinin sebebi ise tüm bu araştırmalarda görüldüğü üzere kolay ulaşılabilir olması, başlangıç maliyetinin daha düşük olması ve örgütlenmede elde edilen başarıdır.

6. SONUÇ

Bu çalışmada 3B yazıcıların covid-19 salgının başlamasından itibaren sağladığı faydalar incelenerek ne denli önem arz ettiği ortaya konmuştur. Salgındaki yeri ve kullanımı incelenerek 3B yazıcıya sahip kişi veya kurumların örgütlenerek mücadeleye sağladığı katkılar ile kendini kanıtlamıştır. Tıbbi cihazların eksikliği ve diğer ürünlerin tedariki çok çeşitli 3B baskılar kullanılarak çözülmüştür. Hastaneler ve diğer ilgili makamların taleplerini karşılamak için yüz siperleri, yüz maskeleri, gözlükler, oksijen

çoklaştırıcılar, izolasyon koşulları, ventilatörler, ayırıcılar gibi ekipmanlar 3B olarak basılıp dağıtılmıştır. Düşük miktarda atık çıktısı ve özel üretim ile hızlı prototipleme teknolojilerinin, 3B baskıyı kısa sürede çeşitli talepleri karşılaması tercih nedenleri arasında olduğu görülmüştür.

İnsanların sosyal medyanın etkisiyle seferberlik sağlayarak, çok sayıda yazıcı sahibi bu ürünleri basmasıyla katkı sağlamıştır. Hızlı prototip oluşturma yeteneği, organize ağlar üzerinden hızlı teslimat, kurulum kolaylığı ve dünyanın herhangi bir yerinden tasarımlara internetten erişme kolaylığı nedeniyle bu teknoloji, benzeri görülmemiş şekilde mücadeleye destek olmuştur.

Paylaşılan erişimlerden yararlanılarak incelenen ürünlerin teknik detayları kullanılarak baskı alınması halinde kaç gram

ağırlığa sahip olduğu, ne kadar sürede basılabildiği ve maliyetinin ne kadar tuttuğu yaklaşık olarak hesaplanmıştır.

Firmaların salgın döneminde kullanılan ürünlerdeki talepleri karşılamasıyla tedarik zinciri sıkıntısı giderildikten sonra 3B yazıcıların bu konuda kullanımı azalmıştır. Eklemeli imalat teknolojisiyle geleneksel üretim yöntemlerinden olan plastik enjeksiyon kalıplama teknolojisi karşılaştırılarak, üretimin başından sonuna kadar olan tüm sürecinde aşamalar değerlendirilmiştir.

Tüm bu incelemeler gösteriyor ki tedarik zinciri kesintiye uğradığında, mevcut salgın gibi acil durumlarda ve geleneksel yöntemlerden çok 3B baskının verimli olduğu kanıtlanmıştır. Katmanlı üretim, insanlığın bir sonraki pandemi gibi felaketlerle mücadele etmesinde yardımcı olmak için temel olmaya devam etmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Chung, M., Bernheim, A., Mei, X., Zhang, N., Huang, M., Zeng, X. et al, "CT Imaging Features of 2019 Novel Coronavirus (2019-nCoV)" *Radiology*, Vol. 295, Issue 1, Pages 202-207, 2020.

2. Li Q, Guan X, Wu P, et al. "Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia", *N Engl J Med.*, Vol. 382, Issue 13, Pages 1199–1207, 2020.

3. Zhu N, Zhang D, Wang W, Li X, Yang B, Song J, et al. "A novel coronavirus from patients with pneumonia in China", *N Engl J Med.*, Vol. 382, Pages 727-33, 2020.

4. Samancı, M., "Küresel Bir Salgın: Covid-19", *Samsun Sağlık Bilimleri Dergisi*, Vol. 5, Issue 1, Pages 6-11 6, 2020.

5. T.C. Sağlık Bakanlığı, "COVID-19 Nedir", <https://covid19.saglik.gov.tr/TR-66300/covid-19-nedir-.html>, July 20, 2020.

6. Choong, Y.Y.C., Tan, H.W., Patel, D.C., Choong, W.T.N., Chen, C., H.Y., Low, M.J., Tan, C.D., Patel, C.K., "The global rise of 3D printing during the COVID-19 pandemic", *Nature Reviews Materials*, Vol. 5, Pages 637–639, 2020.

7. Longhitano, G.A., Nunes, G.B., G., Candido, J.V., da Silva, L., "The role of 3D printing during COVID 19 pandemic: a review", *Progress in Additive Manufacturing*, Vol. 6, Pages 19–37, 2021.

8. Advincula, R., Dizon, J., Chen, Q., Niu, I., Chung, J., Kilpatrick, L., & Newman, R., "Additive manufacturing for COVID-19: Devices, materials, prospects, and challenges", *MRS Communications*, Vol. 10, Issue 3, Pages 413-427, 2020.

9. 3D Gence, "How 3D printing can affect your broken supply chain during the crisis caused by the Covid-19 outbreak", <https://3dgence.com/3dnews/how-3d-printing-can-affect-your-broken-supplychain-coronavirus/> accessed: August 18, 2020.

10. Chua, C. K. & Leong, K. F. "3D Printing and additive manufacturing- principles and applications", Pages 217-219, 5th edn. World Scientific Publishing, Singapur, 2017.

11. D.Ngo, T., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., Hui, D., "Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges", *Composites Part B*, Vol. 143, Pages 143-172, 2018.

12. Browne, M. P., Redondo, E., Pumera, M., "3D Printing for Electrochemical Energy Applications, *Chemical Reviews*", American Chemical Society, Vol. 120, Issue 5, Pages 2783-2810, 2020.

13. Börklü, H. R., Yıldırım, A. & Sezer, H. K. "Hızlı Prototip Oluşturmada Karşılaşılan Problemler Ve Çözüm Önerileri", *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, Vol. 4, Issue 4, Pages 309-319, 2016.

14. Kumar, K. P. A., Ghosh, K., Alduhaish, O., Pumera, M., “Metal-plated 3D-printed electrode for electrochemical detection of carbohydrates”, *Electrochemistry Communications*, Vol. 120, Issue 1, Pages 1-7, 2020.
15. Sevli, O., “3 Boyutlu Baskıda Kullanılacak Malzemenin Makine Öğrenmesi Teknikleri İle Tahminlenmesi”, *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 5 (3), 596-605, 2020.
16. Kurttay, B., “STL: Nedir ve Nasıl Oluşturulur?”, <https://bicisim.com/blog/3d-baski-ile-uretilen-bir-parca-hangi-asamalardan-gecer>, October 29, 2019.
17. Aktepe, Y., “3D Tarayıcılar Nasıl Çalışır? Elektrik Port”, <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/3d-tarayicilar-nasil-calisir/22595#ad-image-0>, April 7, 2020.
18. Hürriyet, “3D yazıcılar nereye gidiyor? Evlerde de görececek miyiz?”, <https://www.hurriyet.com.tr/teknoloji/3d-yazicilar-nereye-gidiyor-evlerde-de-gorecek-miyiz-41657709>, November 9, 2020.
19. Milliyet, “Evlerde Üç Boyutlu Üretim Patlaması”, <https://www.milliyet.com.tr/ekonomi/evlerde-uc-boyutlu-uretim-patlami-6304517>, September 12, 2020.
20. Sivil Sayfalar, “Kolektif Ruhla Yeni Nesil Üretim Hareketi: 3 Boyutlu Destek”, <https://www.sivilsayfalar.org/2020/08/28/kolektif-ruhla-yeni-nesil-uretim-hareketi-3-boyutlu-destek/>, August 28, 2020.
21. Isinnova SRL, “Easy Covid”, <https://isinnova.it/archivio-progetti/easy-covid-19/>, July 20, 2020.
22. Habertürk, “Su Altı Maskesini Sağlık Maskesine Dönüştürecek Kurum Arıyor”, <https://www.haberturk.com/su-alti-maskesinin-satisini-durdurdu-haberler-2632164-ekonomi>, April 1, 2020.
23. Christensen, R.P., Leavitt Gen. Dent., R.W., “Efficiency of 42 brands of face masks and 2 face shields in preventing inhalation of airborne debris”, *Gen Dent.*, Vol. 39, Issue 6, Pages 414-421, 1991.
24. Anon J.B., Denne C., Rees D., “Patient-Worn Enhanced Protection Face Shield for Flexible Endoscopy”, *Otolaryngol Head Neck Surg.*, Vol. 163, Issue 2, Pages 280-283, 2020.
25. Kumar, K.P.A., Pumera M., “3D-Printing to Mitigate COVID-19 Pandemic”, *Advanced Functional Materials*, Vol. 31, Issue 22, 2021.
26. Perencevich, E. N., D. J. Diekema, and M. B. Edmond. “Moving personal protective equipment into the community: Face shields and containment of COVID-19”, *JAMA*, Vol. 323, Issue 22, Pages 2252-2253, 2020.
27. Vassilakopoulos T, Zakyntinos S, Roussos C. “The tension–time index and the frequency/tidal volume ratio are the major pathophysiologic determinants of weaning failure and success”, *Am J Respir Crit Care Med*, Vol. 158, Pages 378–385, 1998.
28. Gaz Elektrik, “1 kWh Elektrik kaç TL?”, <https://gazelektrik.com/faydali-bilgiler/1-kwh-elektrik-kac-tl>, November 20, 2019.
29. Ishack, S., Lipner S.R., “Applications of 3D Printing Technology to Address COVID-19–Related Supply Shortages”, *Am J Med.*, Vol. 133, Issue 7, Pages 771-773, 2020.
30. Yakın Doğu Üniversitesi, “Yakın Doğu Üniversitesi Ventilator (Solunum Cihazı) Çoklayıcı Aparatı Üretim Dosyasını Paylaşımına Açtı”, <https://neu.edu.tr/yakin-dogu-universitesi-ventilator-solunum-cihaz-i-coklayici-apatari-uretim-dosyasini-paylasima-acti/>, April 8, 2020.
31. Tıplopedi, “Laringoskop”, <https://www.tiplopedi.com/Laringoskop#:~:text=Laringoskop%20ent%C3%BCbasyon%20i%C3%A7in%20kullan%C4%B1lan%20bir,olan%20blade%20kullan%C4%B1larak%2C%20ent%C3%BCbe%20edilir,September13,2018>.
32. The AirAngel Project, “AirAngel Blade”, <https://www.airangelblade.org/>, November 4, 2020.
33. Fischer EP, Fischer MC, Grass D, Henrion I, Warren WS, Westman E, “Low-cost measurement of face mask efficacy for filtering expelled droplets during speech”, *Sci Adv.*, Vol. 6, Issue 36, 2020.
34. Independent Türkçe, “The New York Times, CDC, Ev yapımı maske için en iyi malzeme hangisi?” <https://www.indyurk.com/node/158861/sa%C4%9Flik/ev-yap%C4%B1m%C4%B1-maske-i%C3%A7in-en-iyi-malzeme-hangisi>, April 6, 2020.
35. Tridi, “Entübasyon Kabininin Tasarım Süreçleri”, <https://www.tridi.co/blog/entubasyon-kabini-tasarim-surecleri>, April 30, 2020.

36. TürkRC, “3D Yazıcı ve Modelcilik”, <https://www.turkrc.com/3d-yazici-ve-modelcilik>, February 2, 2019.

37. Kunkel, M.E., Vasques, M.T., Perfeito, J.A.J., “Additive manufacturing and injection molding process for mass-production of face shields during COVID-19 pandemic: A comparative study”, <https://www.researchsquare.com/article/rs-63872/v2>, Dec 01, 2020.

38. Karaağaç, İ., Uluer, O., Gürün, H., & Mert, F. “Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Maliyet Tahmini”, 1st International Symposium on Plastic and Rubber Technologies and Exhibition, Pages 29-40, Ankara, 2013.

39. Şanlıer, C., Börklü, H. R. & Eldem, C., “Dizüstü Bilgisayar Sehpaı Tasarımı: Geleneksel Ve Yeni İmalat Yöntemleri İçin Yapılan Tasarımlar Ve Karşılaştırılması”, International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry , Vol. 5, Issue 1, Pages 65-75, 2021.