

Tersine Mühendislik ve Eklemeli İmalat ile Kişiyeye Özel Nazal Dilatör Tasarımı ve Üretimi

*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 25.07.2023

Kabul/Accepted: 09.01.2024

Yayımlandı/Published: 27.02.2024

Design and Fabrication of Custom Nasal Dilator with Reverse Engineering and Additive Manufacturing

Hasan Kemal SÜRME^{1*}, Tolga GÜVEN²

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Savunma Teknolojileri Bölümü, İstanbul, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Öz

Nazal dilatörler nazal valfdeki yapısal anomalilerden kaynaklanan solunum güçlüğü gidermek amacıyla kullanılan medikal cihazlardır. Buruna dışarıdan veya içeriden uygulanan cihazlar burnun nazal valf bölgesini genişleterek buradaki hava direncini azaltır ve nefes almayı kolaylaştırır. Burun yapısı kişiden kişiye değişmekte hatta aynı bireyin iki nazal valf yapısı arasında bile yapısal farklılıklar bulunmaktadır. Bu nedenle kişiye özel olarak tasarlanan nazal dilatörler daha verimli ve konforlu olabilirler. Bu çalışmada tersine mühendislik ve eklemeli imalat yöntemleri kullanılarak kişiye özel nazal dilatör tasarımı ve üretiminden bahsedilmektedir. Tasarım sürecinde nazal valfin izi kil kalıp ile alınmış ve bu kalıbın 3B modeli fotogrametri yöntemiyle elde edilmiştir. Elde edilen model daha sonra bir 3B modelleme yazılımı ile hava geçişini sağlayacak ve cihazın kullanımı kolaylaştıracak şekilde tasarlanmıştır. Nazal dilatörün konforlu kullanımı için malzeme olarak esnek özelliğinden dolayı TPU seçilmiştir. Daha sonra modelin üretimi bir FDM (Fused Deposition Modeling) 3B yazıcı ile yapılmıştır. Elde edilen ürün, 3B modeli ile boyutsal doğruluk açısından karşılaştırılmıştır. Belirlenen çeşitli referanslardan alınan ölçümler neticesinde üründe ortalama boyutsal hata 0,058mm ile %0,609 olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada geliştirilmiş olan kişiye özel nazal dilatörlerin her bir kullanıcının burun yapısıyla uyumu sayesinde farklı burun yapıları için kullanılan aynı formdaki standart nazal dilatörlere göre büyük üstünlük sağlayabileceği anlaşılmaktadır. Serbest-formlu organik objelerin modellenmesini kolaylaştıran tersine mühendislik ve tasarımdan doğrudan üretime imkân veren 3B baskı teknolojisi hat kurulumu ve yüksek ilk yatırım maliyetleri olmadan, seri üretime uygun olmayan kişiye özel medikal cihazların tasarım ve üretimi için önemli faydalar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: 3B Baskı; Burun Dilatörü; Eklemeli İmalat; Fotogrametri; Kişiyeye Özel Tasarım; Tersine Mühendislik.

Abstract

Nasal dilators are medical devices used to relieve respiratory distress caused by structural anomalies in the nasal valve. These devices, which are applied to the nose externally or internally, widen the nasal valve part of the nose, reducing the air resistance and facilitating breathing. The structure of the nose varies from person to person, and there are even structural differences between two nasal valve structures of the same individual. Therefore, customized nasal dilators can be more efficient and comfortable. In this study, the design and fabrication of custom nasal dilators using reverse engineering and additive manufacturing methods are discussed. In the design process, the impression of the nasal valve was taken with a clay mold and the 3D model of this mold was obtained by photogrammetry method. The final model was then designed with a 3D modeling software to provide air passage and facilitate the use of the device. TPU was chosen as the material for the comfortable use of the nasal dilator due to its flexible feature. Then the final model was fabricated with an FDM (Fused Deposition Modeling) 3D printer. The final product was compared with its 3D model in terms of dimensional accuracy. As a result of measurements taken from various references, the average dimensional error in the product was obtained as 0.609% with 0.058mm. It is understood that the personalized nasal dilators proposed in this study can provide a great advantage over standard nasal dilators of the same form used for different nasal structures, thanks to their compatibility with the nasal structure of each user. Reverse engineering, which facilitates the modeling of free-form organic objects, and 3D printing technology, which enables direct fabrication from design, offers significant benefits for the design and production of personalized medical devices that are not suitable for mass production, without production line and high initial investment costs.

Keywords 3D Printing; Nasal Dilator; Additive Manufacturing; Photogrammetry; Custom Design; Reverse Engineering

1. Giriş

Burun kemik ve kıkırdaktan yapılmış bir solunum ve koku organıdır. Burnun temel fonksiyonu solunumdur ve bu nedenle burunda yüksek miktarda hava direnci oluşmaktadır (Karataş 2012). Nazal direnç olarak da

bilinen bu durum burun deliği girişi olan nazal valf bölgesinde ve burnun arka kısmından burun deliğine kadar gelen, hava akımını yönlendirme görevini de yerine getiren konkalarda meydana gelmektedir (Tahamiler vd. 2007). Hava kanalının daralmasıyla burundaki hava direnci artarken hava kanalının genişlemesi ile burundaki

hava direnci azalır. Burundaki hava direncinin artışı veya azalışı sonucunda ise kişinin solunumu da bununla doğru orantılı olarak olumlu ya da olumsuz şekilde etkilenir (Akçam vd. 2005). Hava yolunu genişleterek burundaki nazal direnci azaltıp solunumu kolaylaştırmak için burun genişleticiler kullanılmaktadır.

Burun hava yolunun daralması sonucunda kişide burun tıkanıklığı gibi belirtiler meydana gelebilir. Burun tıkanıklığı uyku esnasında uyku kalitesini düşürebileceği gibi horlamaya da neden olabilir (Ulfberg ve Fenton 1997). Burun genişleticilerin burun hava yolunun daralmasından kaynaklanan horlamanın önlenmesine katkı sağladığı bilinmektedir (Matteo vd. 2019, Matteo vd. 2019, Matteo ve Giorgio 2019). Burun tıkanıklığı ile ilgili olduğu düşünülen obstrüktif uyku apne sendromu (OSAS) şikâyeti olan hastaların nazal dilatör kullanımı sonucunda şikayetlerinde düzelme olup olmadığı araştırılmıştır. Bu çalışmada sürekli pozitif havayolu basıncı (CPAP) terapisi yapılan OSAS'lı hastaların terapi sırasında nazal dilatör kullanımının solunum durumunu nasıl etkilediği incelenmiştir. Sadece CPAP cihazı kullanılması ile $11,4 \pm 1,5 \text{ cmH}_2\text{O}$ değerinde hava akım basıncı elde edilmiştir. Nazal dilatör ile kullanılması sonucunda ise hava akım basıncı $10,8 \pm 1,5 \text{ cmH}_2\text{O}$ olarak ölçülmüştür. Uyku sırasında nazal dilatörün buruna takılmasından sonra CPAP cihazının kullanılması sonucunda hava akım basıncının önemli ölçüde düştüğü gözlemlenmiştir (Matteo vd. 2019).

Matteo vd. (2019) yaptıkları bir diğer çalışmada obstrüktif uyku apnesi yaşayan hastalarda internal nazal dilatörün kullanımıyla solunum kalitesinin etkilenip etkilenmediği araştırılmıştır. Oksijen destürasyon ve apne-hipopne indeksinin nazal dilatör kullanımı sonucunda önemli ölçüde azaldığı ve ayrıca uyku kalitesinde önemli ölçüde iyileşme olduğu görülmüştür.

Bu çalışmalarda genel olarak burun dilatörlerinin kullanımı sonucunda uyku kalitesinde düzelme olduğu anlaşılmıştır. Ancak nazal dilatörlerin uyku sırasında burundan düşebileceği ve buruna basınç uygulamasından dolayı rahatsızlık verdiği görülmüştür. Ayrıca dilatörlerin burunla yapısal uyumsuzluğu nedeniyle bazı hastalar bu cihazları kullanmak istemediklerini belirtmişlerdir (Peterson 1989). Nazal dilatörler günümüzde birkaç standart boyutta üretilmektedirler. Bununla birlikte burun valfinin yapısı her insanda farklı boyutlarda ve şekilde olduğu için biyometrik özellikleri farklıdır. Hatta bir kişinin iki burun deliği arasında bile geometrik farklılıklar görülebilir (Eser vd. 2015). Bu durumlar dikkate alındığında her bir hastanın nazal valf

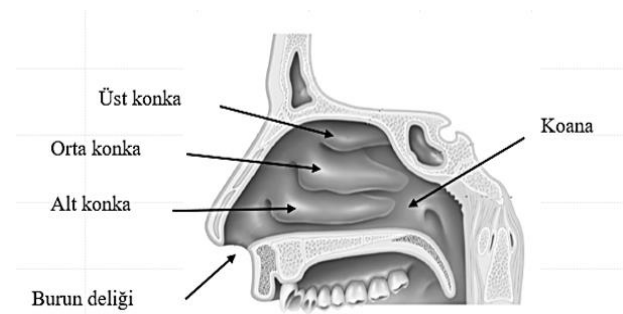
geometrisine göre tasarlanmış nazal dilatörler sayesinde fonksiyonellik, kullanım ve konforun iyileştirilebileceği fikri oluşmuş ve buradan yola çıkarak kişiye özel nazal dilatör tasarımı ve üretimi bu çalışmaya konu olmuştur.

İnsan vücudunun çeşitli bölgelerine uygulanan kişiye özel tasarımlar o bölgenin geometrik özelliklerine uygun olarak yapılmaktadır (Sürmen 2019, Bozkurt vd. 2021). İnsan vücudu gibi organik nesnelere serbest-formlu özellik göstermektedir. Bu nedenle bu bölgelere uygun tasarımlar için üç boyutlu tarama teknolojilerinden faydalanılır (Yüksel ve Bulut 2019, Rahmanimirshakarlou ve Tunçer 2022).

Bu çalışmada yakın mesafe fotogrametrisi (close-range photogrammetry) (Luhmann vd. 2019) ve bir eklemeli imalat teknolojisi olan Eriyik Yığarak Modelleme (Fused Deposition Modeling) (Sürmen 2019) kullanılarak kişiye özgü bir burun dilatörü tasarımı ve üretimi amaçlanmıştır. Nazal valfin iç yapısının 3B izinin alınmasında kil malzemesi kullanılmıştır. Kilin kolay şekil alma özelliği sayesinde burun nazal kısmının pozitif kalıbı alınmıştır. Alınan kalıbın 3B modeli fotogrametri yöntemi ile taranarak oluşturulmuştur. Bu model temel alınarak burun dilatörü hava akışını arttıracak şekilde tasarlanmış ve 3B baskı yöntemi ile üretilmiştir.

2. Burun ve Nazal Valf Yapısı

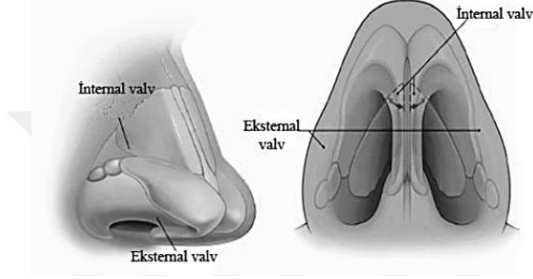
Burun, piramide benzeyen solunum sisteminin ilk bölümünü oluşturan kemik ve kıkırdaktan meydana gelen bir organdır. Burun yapısı eksternal ve internal olmak üzere iki yapıya ayrılır. Eksternal yapının 1/3'lük kısmı kemik ve 2/3'lük kısmı ise kıkırdak yapıdan oluşur (Mukhtarova 2020).



Şekil 1: İnternal burun yapısı

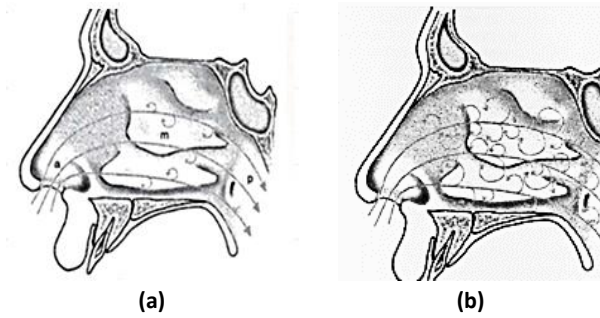
İnternal burun yapısında ("Şekil 1") nazal septum tarafından ikiye ayrılmış burun boşluğunun (nazal kavite) her bir tarafında burun deliği (nostril), nazal valf, koana olarak nazal açıklıklar ve alt, orta, üst konkaların alt kısımlarında meatuslar bulunur.

Nazal valf burnun en dar yapısını oluşturur. Eksternal ve internal nazal valf olarak ikiye ayrılır ("Şekil 2"). İnternal nazal valf 10-15 derecelik bir nazal valf açısına sahiptir ve burun deliklerinden yaklaşık 1,5 cm içeride yer alır (Eser vd. 2015). Nazal valf açısındaki değişimler nazal boşluktan geçen havanın direncinde değişiklik meydana getirir. Nazal valfin dar yapısından dolayı buradan giren havanın direnci fazladır. Bu bölgede aniden oluşacak bir daralma bölgedeki hava akışının türbülanslı olmasına neden olacaktır.



Şekil 2: İnternal ve eksternal nazal valf

İnspirasyon anında burundaki hava akımı nazal valften girip alt konkanın üzerinden devam ederek orta konkanın arka tarafından koanalarla doğru geçer. İnspirasyon esnasında burun içerisinde laminer bir hava akışının olduğu düşünülse de nazal yapısından dolayı nazal duvarında hava akışı yavaş, orta kısımda ise hızlı olmasından dolayı türbülanslı bir akım oluşur (Karataş 2012). Ekspirasyon sırasında akım yönü tersine olduğundan inspirasyona göre türbülanslı akım daha fazladır ("Şekil 3").



Şekil 3: Burundaki hava akışı a) İnspirasyon sırasındaki hava akışı b) Ekspirasyon sırasındaki hava akışı

3. Nazal Valf Yapısından Kaynaklanan Rahatsızlıklar

Burun tıkanıklığı günümüzde çok sık rastlanabilen rahatsızlıklardan biridir. Burun tıkanıklığında alerjik veya kişinin anatomisinden kaynaklı sebeplerin haricinde nazal valfin yapısı da önemli bir rol oynamaktadır. Üst

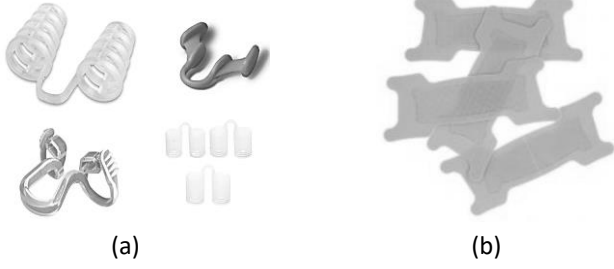
solunum yollarının en dar bölümünü nazal valfin olduğu alan oluşturur. Bu alanın darlığı buruna girecek hava miktarının azalmasına neden olacağından kişilerde burun tıkanıklığı, OSAS ve bunun sonucunda da horlama, uyku sırasında nefes durması, düzensiz uykudan dolayı gündüzleri yaşanan yorgunluk hissi ve halsizlik gibi rahatsızlıklar görülebilmektedir. Burun tıkanıklığından dolayı inspirasyon durumu olumsuz yönde etkilenir. Bu durum sonucunda oluşan negatif basınç nedeniyle burundaki hava türbülansı değişmektedir. Hava türbülansının değişmesi de horlamanın şiddetini etkilemektedir (Fairbanks vd. 2003, Hudgel ve Harasick 1990) Horlama verilerine göre yetişkinlerin %45'i ara sıra, %25'i sürekli horlamaktadır. 30-35 yaş grubundaki erkeklerin %20'si, bu yaş grubundaki kadınların ise %5'i, 60 yaş grubundaki kadınların %40'ı, bu yaş grubundaki erkeklerin ise %60'ı sürekli horlamaktadır (Varolüneş 2010).

Göteborg Devlet Hastanesi'nde yapılan bir araştırmada Petruson (1989) gece yatarken burundan nefes almakta güçlük çekmesinden dolayı horlama yaşayan, sabah uyandığında yorgunluk hisseden ve boğaz kuruluğu yaşayan 50 hasta üzerinde nazal dilatör test edilmiştir. Bu şikayetleri yaşayan hastalara nazal dilatör kullanılarak yaşadıkları olumlu ve olumsuz sonuçların rapor edilmesi istenmiştir. Hastalardan gelen olumlu sonuçlara göre, horlama sorunu yaşayan 26 hastanın %88'i nazal dilatör kullanımı sonucunda horlamalarında azalma olduğunu belirtmiştir. Sabahları uyandığında ağız kuruluğu şikâyeti olan 34 hastanın %80'i uyandıklarında ağızlarında daha az kuruluk olduğunu söylemişlerdir. Hastaların yarısı nazal dilatör kullanımı sayesinde kendilerini daha az yorgun hissetmiştir. Öte yandan 11 hasta, gece yatarken uyku esnasında nazal dilatörlerin burunlarından düştüğünü belirtmişlerdir.

4. Nazal Dilatör

Burun nazal valf kısmını genişletip burada oluşacak hava direncini azaltarak rahat nefes almayı sağlayan nazal dilatörler internal ve eksternal olmak üzere iki çeşittir ("Şekil 4"). İnternal dilatörler burnun içerisine, eksternal dilatörler ise dış kısmına yerleştirilir. Her iki nazal dilatör tipi de çeşitli tasarımlara sahiptirler. Bu tasarımlar standart olarak üretilmektedir. Farklı boyutları olan bazı nazal dilatör tipleri olsa da bunlar kişiyi özel tasarımlar olmadığı için kullanıcıların nazal valf yapılarıyla uyumlulukları zayıftır. Bu nedenle nazal dilatörlerin verimleri kişiden kişiye değişmekte, cihazlar her bireyde fonksiyonlarını etkili bir şekilde yerine getirememekte, kişilerin nazal valf yapılarındaki farklılıkların standart

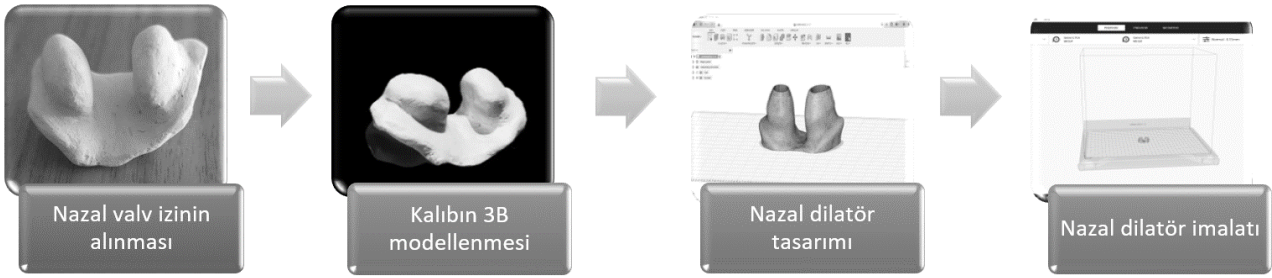
nazal dilatörlere uyumsuzluğundan dolayı konforsuz bir kullanım ve hatta kullanım esnasında dilatörlerin yerinden çıkması gibi durumlar yaşanabilmektedir.



Şekil 4: Nazal dilatör örnekleri a) internal nazal dilatörler b) Eksternal nazal dilatörler

5. Materyal ve Metot

Bu çalışmada izlenen iş adımları; 3B nazal valf izinin kil malzemesi kullanılarak alınması, mobil fotogrametri ile kalıbın 3B modelinin oluşturulması, 3B kalıp modeline göre burun dilatörünün tasarlanması, hava akışını arttıracak şekilde geliştirilmesi ve son olarak dilatör modelinin eklemeli imalat yöntemine göre çalışan bir FDM 3B yazıcı ile üretilmesinden oluşmaktadır (Şekil 5)



Şekil 5: Kişiyi özel nazal dilatörün tasarımı ve üretimi için uygulanan iş akış şeması

6. Burun Nazal Valf Kalıbının Alınması

Burun nazal valf kalıbının alınması için kil malzemesinden yararlanılmıştır. Kil yapısı itibariyle su çekme özelliğine sahiptir. Su ile teması sonucunda yumuşak, şekil alabilen bir malzemeye dönüşmektedir. Aynı zamanda sağlık açısından uygun, doğal bir malzemedir. Işığı absorbe ederek yansımaların oluşmasına izin vermeyen mat görünümlü kil dokusu fotogrametrik modelleme için oldukça uygundur. Kilden yapılmış objeler karmaşık yüzey yapılarına sahip olsalar dahi fotogrametri ile başarılı bir şekilde modellenebilmektedirler (Surmen 2023). Bu nedenle burun nazal valf kalıbının alınmasında kil malzemesinden faydalanılmıştır.



Şekil 6: Nazal valf izinin kalıbı

Uygun miktardaki kil suyla yumuşatılarak şekil alabilecek kıvama getirildikten sonra her iki burun girişinden nazal valfe doğru el ile uygulanmıştır. Kil malzemesi burnun giriş kısmını içeriden kaplayacak şekilde uygun derinlikte (15 mm) yerleştirildikten sonra kuruması için bir süre bekletilmiştir. Kuruyan kalıp çıkartılarak 3B modelleme için hazır hale gelmiştir ("Şekil 6").

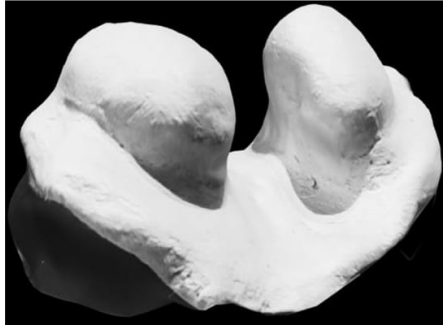
7. Burun Dilatörünün Tasarlanması

Fotogrametri genel olarak hava ve karasal fotogrametri olarak ikiye ayrılır. Karasal fotogrametri 300 metrenin altındaki mesafelerde yakın mesafe fotogrametrisi olarak adlandırılır (Surmen 2022). Görüntülerin arada temas olmadan elde edilmesi ve elde edilen bu görüntülerin işlenerek modelin oluşturulması prensibine dayanır (Oruç 2021). Eskiden haritalama alanında kullanılan fotogrametri günümüzde objelerin 3B modellerinin üretilmesinde kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan yöntem resim tabanlı modelleme (image-based modeling), 3B fotogrametri (3D photogrammetry), fotogrametrik modelleme gibi isimlerle de anılmaktadır.

3B fotogrametri, bir objenin veya çevrenin birbiriyle örtüşen farklı açılardan çekilmiş 2B fotoğraflarının bir fotogrametri yazılımı ile birleştirilmesi neticesinde 3B modelinin elde edildiği bir rekonstrüksiyon yöntemidir (Surmen 2023). Bu yöntem gelişmiş fotoğraf

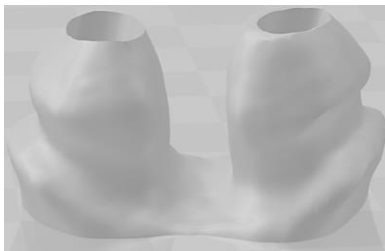
makinelerinin yanı sıra mobil telefonlarla da uygulanabilmektedir ve biyomedikal (Ravi vd. 2021, Surmen vd. 2016), mimarlık (Asadpour 2021), dijital dökümantasyon (Uslu ve Uysal 2021) ve arkeoloji (Yiğit ve Uysal 2021) gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bilgisayar yazılımlarının yanı sıra Android ve IOS işletim sistemleriyle çalışan mobil telefonlar için de geliştirilmiş birçok fotogrametri yazılımı mevcuttur (Surmen 2022).

Bu çalışmada AR Generation/MagiScan 3B mobil fotogrametri yazılımı ve Android işletim sistemiyle çalışan bir mobil telefon kullanılarak nazal valf kalıbının 3B modeli elde edilmiştir. Nazal valf izi alınarak elde edilen kil kalıbın uygun ışık altında farklı açılardan fotoğrafları tüm yüzey detaylarını kapsayacak şekilde çekilmiştir. Fotoğraflar MagiScan 3B yazılımı tarafından işlenerek kil kalıbın 3B modeli üretilmiştir ("Şekil 7").



Şekil 7: Nazal valf izinin 3B modeli

Fotogrametri yöntemi ile elde edilen burun kalıbının üç boyutlu modeli temel alınarak nazal dilatörünün ilk tasarımı açık kaynaklı Blender Foundation/Blender ve Autodesk/Fusion 360 yazılımları kullanılarak düzenlenmiştir. 3B geometrik verisi elde edilen burun kalıbının yüzey pürüzsüzlüğünü sağlamak için Blender yazılımının şekillendirme modu olan "sculpting mode" kullanılmıştır. Modelin hava kanallarını açmak için için için Fusion 360 yazılımı kullanılmıştır. İçi boşaltılan modelin çeperleri hava akışını arttırmak için %10 genişletilmiştir. Ayrıca burun dilatörünün burundan çıkmasını engellemek için modelin tasarımı geliştirilmiştir ("Şekil 8").



Şekil 8: Kişiyi özel geliştirilmiş nazal dilatörün modifiye edilmiş 3B modeli

8. Burun Dilatörünün Üretilmesi

Eklemeli imalat, 3B geometrik verinin katmanlar halinde üretilerek bir nesneye dönüştürülmesi prensibine dayanan bir üretim yöntemidir. Eklemeli imalat prensibiyle çalışan 3B baskı teknolojileri serbest-formlu ve karmaşık geometrili objelerin üretiminde oldukça kullanışlıdır. Ayrıca seri üretime uygun olmayan kişiyi özel biyomedikal ürünlerin üretiminde eklemeli imalat, maliyet ve zaman açısından da avantaj sağlamaktadır (Sürmen 2019).

Günümüzde eklemeli imalat prensibinden faydalanan birçok 3B baskı teknolojisi mevcuttur. Bu teknolojilerden faydalanırken üretilmek istenen ürünün malzemesi ve kullanım şartları dikkate alınır. Bu çalışmada burun dilatörünün üretiminde FDM teknolojisinden yararlanılmıştır. FDM teknolojisinde filament halindeki termoplastik malzemeler kullanılarak üretim yapılabilmektedir. Filament ekstrüderden geçirilerek nozüle doğru itilir. Nozüle gelen filament yarı eriyik hale gelene kadar burada ısıtılır. Isıtılan filament basım tablasında katmanlar halinde basılarak bütün parça elde edilir (Sürmen 2019).

Nazal dilatör burun valfi içine yerleştirilen bir üründür; bu nedenle yumuşak bir malzemedan imal edilmesi konforu artırabilir. Ayrıca dilatörün burun çeperlerini genişletebilecek dirence sahip olması için malzemenin esnekliğinin doğru bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. Bu çalışmada eklemeli imalat ile üretilmesi düşünülen burun dilatörü için Termoplastik Poliüretan (TPU) malzeme kullanılmıştır. Kullanılan TPU malzemesinin özellikleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

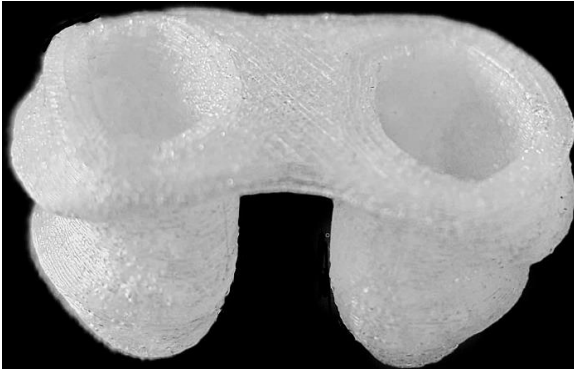
Tablo 1: 3B baskı işleminde kullanılan TPU filamentinin özellikleri

| | |
|------------------|------------|
| Baskı Sıcaklığı | 220-240 °C |
| Çap | 1.75 mm |
| Tabla Sıcaklığı | 50-70 °C |
| Sıcaklık Direnci | 70 °C |
| Uzama | > 500% |

Tasarlanan burun dilatörünün üç boyutlu baskı ile üretilmesinde Tablo 2' deki veriler kullanılmıştır. Üç boyutlu baskı için Artillery, Sidewinder-X2 3B yazıcı kullanılmıştır. Baskı işlemi için Porima marka TPU Flex filament kullanılmıştır.

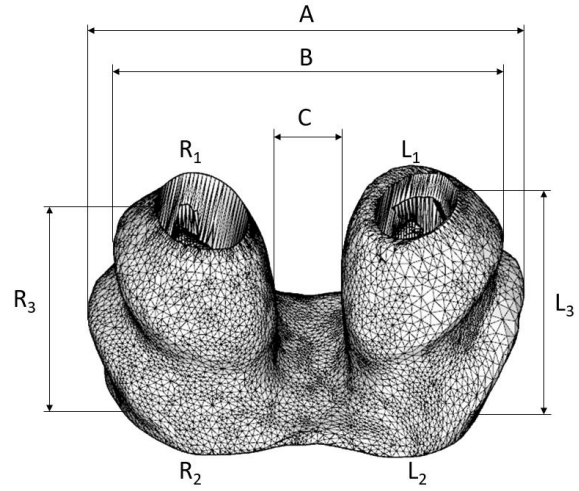
Tablo 2: 3B baskı parametreleri

| | |
|--------------------|-----------|
| Katman Yüksekliği | 0.2 mm |
| Duvar Kalınlığı | 1.32 mm |
| Duvar Hattı Sayısı | 3 |
| Dolgu Yoğunluğu | 20% |
| Dolgu Deseni | Triangles |
| Baskı Sıcaklığı | 230 °C |
| Tabla Sıcaklığı | 60 °C |
| Baskı Hızı | 60 mm/s |

**Şekil 9:** 3B baskı ile üretilmiş kişiyi özel nazal dilatör

Nazal dilatör tasarımının üzerinde referans ölçüleri belirlenmiş ve bu ölçüler dikkate alınarak eklemeli imalat ile üretilen nazal dilatör ile boyutsal olarak karşılaştırılmıştır ("Şekil 10"). A ölçüsü dilatörün en uzak noktaları arasındaki en geniş mesafeyi tanımlamaktadır. B sağ ve sol kolonun en dış noktaları arasındaki mesafeyi, C ise kolonlar arasındaki iç mesafeyi göstermektedir. R sağ, L ise sol kolonu göstermektedir. R₁ sağ kolonun üst kısmını, R₂ alt kısmını ve R₃ yüksekliğini belirlemektedir. Tablo 3'te gösterilen R₁₁ üstteki eliptik olan deliğin kısa çapını, R₁₂ uzun çapını belirtmektedir. R₂₁ kanalın alt kısmındaki dışa açılan deliğin kısa çapını, R₂₂ uzun çapını göstermektedir. Benzer şekilde sol kolon için L₁, L₂, L₃, L₁₁, L₁₂, L₂₁ ve L₂₂ ölçüleri tanımlanmıştır. Ölçüler dijital kumpas yardımıyla fiziki modelden elde edilmiş, 3B

modelden elde edilen ölçülerle karşılaştırılarak Tablo 3'te gösterilmiştir.

**Şekil 10:** Eklemeli imalat ile üretilen nazal dilatörün 3B modeli ile geometrik doğruluğunun kıyaslanmasında kullanılan referans ölçüler**Tablo 3:** Referans ölçülere göre 3B model ile eklemeli imalat ile üretilen ürünün geometrik doğruluğunun karşılaştırılması

| Ölçüler | 3B model (mm) | Ürün (mm) | Hata (mm) | Yüzde hata (%) |
|-----------------|------------------|--------------|--------------|-------------------|
| A | 31,51 | 31,48 | 0,03 | 0,095 |
| B | 28,35 | 28,31 | 0,04 | 0,141 |
| C | 5,26 | 5,23 | 0,03 | 0,570 |
| R ₁₁ | 6,38 | 6,31 | 0,07 | 1,097 |
| R ₁₂ | 10,49 | 10,45 | 0,04 | 0,381 |
| R ₂₁ | 9,21 | 9,18 | 0,03 | 0,325 |
| R ₂₂ | 15,80 | 15,71 | 0,09 | 0,569 |
| R ₃ | 13,97 | 13,90 | 0,07 | 0,501 |
| L ₁₁ | 5,68 | 5,60 | 0,08 | 1,408 |
| L ₁₂ | 9,12 | 9,05 | 0,07 | 0,767 |
| L ₂₁ | 7,07 | 6,98 | 0,09 | 1,272 |
| L ₂₂ | 15,52 | 15,48 | 0,04 | 0,257 |
| L ₃ | 14,82 | 14,74 | 0,08 | 0,539 |
| | | Ortalama | 0,058 | 0,609 |

3B baskı ile üretilen parçadan alınan ölçüler 3D modelin ölçülerine göre hep negatif yönde çıkmıştır. Boyutsal hata ortalaması 0,058mm olarak elde edilmiştir. Yüzde hata ortalaması ise %0,609 olarak hesaplanmıştır.

Eklemeli imalat ile üretilen ürün maliyet açısından da değerlendirilmiştir. Bir adet kişiyi özel nazal dilatör için harcanan süre, malzeme ve enerji Tablo 4'te verilmiştir. Tablonun son satırında toplam maliyet işçi ücreti hariç hesaplanmıştır.

Tablo 4: Bir adet kişiyi özel nazal dilatör için maliyet hesabı

| | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| Baskı süresi | 39 dk |
| Harcanan filament uzunluğu | 0.49 m |
| Harcanan filament miktarı | 4 gr |
| Harcanan enerji | 700 W/60 min x 39 min = 455 W |
| Bir adet için filament maliyeti | 0.004 kg x 16.40 €/kg = 0.065 € |
| Bir adet için enerji maliyeti | 0.455 kw x 0.035 €/kw = 0.015 € |
| Toplam maliyet | 0.065 € + 0.015 € = 0.08 € |

Bu çalışmada kullanılan Artillery Sidewinder-X2 3B yazıcısının elektrik harcaması saatte 700 W'tır. Yazıcının elektrik tüketim maliyeti hesaplanırken Türkiye'deki konut elektrik tüketim bedeli dikkate alınmıştır. Harcanan filament maliyeti Porima markasının 1 kg TPU Flex filament (16.40 €) dikkate alınarak hesaplanmıştır.

9. Tartışma

Bu çalışmada mobil fotogrametri yöntemi kullanılarak tersine mühendislik ile burun valfinin 3B modeli oluşturulmuş ve bu 3B model temel alınarak bir nazal dilatör, fonksiyon ve kullanım şartlarına göre tasarlanmıştır. Kişiyi özel olarak elde edilen bu tasarım daha sonra eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiştir.

Çalışmada nazal valfin izi kil malzemesi kullanılarak alınmıştır. Kuruyan kil malzemenin 3B modeli başarılı bir şekilde mobil fotogrametri ile bir akıllı telefon kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen yüzey model üzerinde dilatörün hava kanalları hava geçişini artıracak şekilde açık kaynaklı bir yazılım ile tasarlanmıştır. Modelin üretimi ise günümüzde yaygın olarak kullanılan masaüstü bir FDM 3B yazıcı ile yapılmıştır. Tasarımdan doğrudan üretime imkân veren 3B baskı teknolojisi sayesinde hat kurulumu ve yüksek ilk yatırım maliyetleri olmadan kişiyi özel olarak tasarlanmış olan nazal dilatörün üretiminde zaman ve maliyetten kazanç sağlandığı görülmüştür.

Basılan bir parçanın geometrik doğruluğu onun 3B modeline boyutsal olarak yakınlığı olarak bilinir. Bununla beraber boyutsal doğruluk bir 3B yazıcının katman kalınlığı, basım hızı ve basım sıcaklığından etkilenir. (Mohamed vd. 2014, Reddy vd. 2018). Bu nedenle çalışmada, kullanılan filamentin baskı parametreleri üretici firmanın önerdiği değerlere göre belirlenmiştir. Basılan ürünün boyutları, CAD modelin boyutları ile karşılaştırılmış ve ortalama boyutsal hata 0,058 mm ve

%0,609 ile kabul edilebilir bir seviyede olduğu anlaşılmaktadır (Hanon vd. 2021, Saqib vd. 2012). El hüneri ile yapılan burun protezi gibi medikal ürünlere göre bilgisayar destekli tasarım ve üretim metodları kullanılarak üretilen medikal ürünler daha yüksek doğruluk sağlayabilmektedir (Shikara vd. 2018). Ayrıca bu çalışmada nasal dilatörlerin farklı kişilerde kullanımı dikkate alındığında ve kişiyi özel nazal dilatör tasarımı sadece birkaç boyuta sahip standart nasal dilatörlerle karşılaştırıldığında ortalama 0,058 mm boyutsal sapmanın makul bir değer olabileceği görülmektedir. Bununla birlikte eklemeli imalat ile üretilen parçaların yüzey pürüzlülüğünü azaltmak, merdiven etkisini gidermek için son-işlem teknikleri uygulanabilir. Bu yöntemlerden en sık kullanılanı boncuk şeklindeki plastik, cam, kum gibi aşındırıcı malzemelerle yapılan kumlama işlemidir. Kumlama işlemi ABS ve PLA için yüksek yüzey hassasiyeti istendiğinde tercih edilen bir yöntemdir (Zigon vd. 2020). Bir diğer son-işlem tekniği, 3B baskılı ile üretilmiş ABS parçalarında uygulanan aseton buharlaştırmadır (Pestano vd. 2022). Ancak bu çalışmada kullanılan malzeme oldukça esnek olan, sert plastiklere göre daha yüksek darbe dayanımına ve kimyasallara karşı daha yüksek dirence sahip poliüretan bazlı yumuşak-TPU malzemedir ve bu tekniklerden verim alınamamaktadır (Boualleg 2019). Ayrıca TPU, yüksek sünekliğinden dolayı boyama ve kaplama gibi yöntemler için de elverişli değildir. Bunun dışında sıcak hava tabancası ile yüzeylerin kısmen eritilerek pürüzlülüğünün giderilmesi için yapılan bazı amatör uygulamalar da mevcuttur. Ancak manuel olarak uygulanan bu yöntemde doğru hassasiyette ısı kontrolünün yapılabilmesi oldukça zordur ve boyutsal doğruluk büyük ölçüde etkilenmektedir. Bununla beraber pahalı bir yöntem olan, lazer ablasyon tekniğinden yararlanılarak (Boualleg 2019) eklemeli imalat ile üretilmiş TPU parçaların yüzey son-işlemleri için çözüm aranmaktadır.

Çalışmada elde edilen bir burun dilatörü için maliyet, işçi ücretleri hariç harcanan enerji ve malzeme dikkate alındığında ortalama 0.08 € olarak belirlenmiştir. Maliyeti ve baskı süresini düşürmek için farklı hastalara ait çok sayıda nazal dilatör modeli baskı platformu üzerine konumlandırılarak 3B baskı ile üretim yapılabilir. Bu durumda yazıcı, her baskı işlemi için ekstrüderi ve baskı platformunu yeniden ısıtmayacağı ve ara işlemler olmayacağı için hem baskı süresi hem de harcanan enerji azalacaktır. Böylece bir nazal dilatör için maliyet daha da düşürülebilir.

Kişiyi özel medikal ürünler tasarlanırken organik yapıların bilgisayar destekli tasarım yazılımları ile zor

modellenmesinden dolayı üç boyutlu tarama tekniklerinden faydalanılmaktadır. Bu tip medikal uygulamalarda sıklıkla kullanılan bilgisayar tomografi yöntemi hastayı potansiyel olarak zararlı radyasyona maruz bırakır. Ayrıca bu işlem ek bir maliyet de doğurur (Shikara vd. 2018). Bu çalışmada ise kişiyi özel nazal dilatör tasarımında faydalanılan fotogrametri yöntemi herhangi bir radyasyon ve zararlı bir dış etkiye neden olmaz ve düşük maliyetli bir yöntemdir.

10. Sonuç

Günümüzde burun ve kulak için kişiyi özel protezler tasarlanıp üretilebilmektedir (Mannoor vd. 2013, Deruyver vd. 2021). Bununla birlikte bu çalışmada nazal dilatörler için eklemeli imalat ile kişiyi özel tasarım anlayışı ileri sürülmüş ve bu cihazların tasarım ve üretiminde tersine mühendislik ve 3B baskı teknolojilerinin kullanımı başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Her kullanıcının burun yapısına göre tasarlanan cihazlar sayesinde konforlu bir kullanım sağlanabilir, standart boyutlu nazal dilatörlerden kaynaklanan rahatsızlıklar ve negatif durumların önüne geçilebilir. Seri üretime uygun olmayan kişiselleştirilmiş tasarımların üretiminde oyun değiştirici bir teknoloji olan 3B baskı ile maliyet ve üretim zamanı önemli ölçüde azaltılabilir. Ayrıca çalışmada ileri sürülen yöntem, tasarım esnasında bilgisayar ortamında model üzerinde hastaya özel hassas modifikasyonların yapılabilmesine de izin vermektedir.

Bu çalışma ile kişiyi özel bir nazal dilatörün tasarım ve üretim aşamaları detaylı bir şekilde ortaya konulmuş ancak herhangi bir klinik çalışma yapılmamıştır. Gelecek çalışmalarda belirtilen iş akışına göre kişiyi özel olarak üretilen dilatörler hastalar için tasarlanıp üretilebilir ve klinik sonuçları ortaya konularak standart dilatörlerle kullanım ve fonksiyonellik açısından karşılaştırılabilir.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Fikir Sahibi, Araştırma, Metodoloji, Tasarım, Üretim, Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak, Kaynaklar

Yazar 2: Deney, Araştırma, Tasarım, Üretim, Doğrulama, Metodoloji, Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak, Kaynaklar

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

11. Kaynaklar

Akçam, T., Karakoç, Ö., Karahatay, S., & Yetişer, S. (2005). Burun Genişletici Bantların ve Lokal Dekonjestanların Nazal Hava Yoluna Etkileri. *The Turkish Journal Of Ear Nose And Throat*, **15(5)**, 97-102.

Asadpour, A. (2021). Mobile Photogrammetry for Architectural Documentation: Tips from a Case Study. *Academia Letters*, **1-9**.
<https://doi.org/10.20935/AL2085>

Boualleg, A. (2019). Investigations on post-processing of 3D printed thermoplastic polyurethane (TPU) surface. Halmstad University, 63

Deruyver, L., Rigaut, C., Lambert, P., Haut, B., & Goole, J. (2021). *The importance of pre-formulation studies and of 3D-printed nasal casts in the success of a pharmaceutical product intended for nose-to-brain delivery*. *Advanced drug delivery reviews*, **175**, 113826.
<https://doi.org/10.1016/j.addr.2021.113826>

Eser, C., Gencel, E., Tabakan, I., Kesiktaş, E., & Yavuz, M. (2015). Travmatik Nazal Deformasyonu Olan Olgularda Uygulanan Osteotomili ve Osteotomisz Açık Septorinoplasti Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Cukurova Medical Journal*, **40(4)**, 738-745.
<https://doi.org/10.17826/cutf.22407>

Fairbanks, D. N., Mickelson, S. A., & Woodson, B. T. (Eds.). (2003). *Snoring And Obstructive Sleep Apnea*. Lippincott Williams & Wilkins.

Hanon, M. M., Zsidai, L., & Ma, Q. (2021). Accuracy investigation of 3D printed PLA with various process parameters and different colors. *Materials Today: Proceedings*, **42**, 3089-3096.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.1246>

Herbert, N., Simpson, D., Spence, W. D., & Ion, W. (2005). A preliminary investigation into the development of 3-D printing of prosthetic sockets. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, **42(2)**.
<https://doi.org/10.1682/JRRD.2004.08.0134>

- Hudgel, D. W., & Harasick, T. H. E. R. E. S. A. (1990). Fluctuation in timing of upper airway and chest wall inspiratory muscle activity in obstructive sleep apnea. *Journal of Applied Physiology*, **69(2)**, 443-450. <https://doi.org/10.1152/jappl.1990.69.2.443>
- Jiang, R., Jáuregui, D. V., & White, K. R. (2008). Close-range photogrammetry applications in bridge measurement: Literature review. *Measurement*, **41(8)**, 823-834. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2007.12.005>
- Karataş, D. (2012). Yüksek İrtifada Burun Fizyolojisi. *Eur J Basic Med Sci*, **2(1)**, 24-29. <https://doi.org/10.21601/ejbms/9172>
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Boehm, J. (2019). Close-Range Photogrammetry And 3d İmaging. In Close-Range Photogrammetry And 3d Imaging. De Gruyter. 1-27 <https://doi.org/10.1515/9783110607253>
- Mannoor, M. S., Jiang, Z., James, T., Kong, Y. L., Malatesta, K. A., Soboyejo, W. O., ... & McAlpine, M. C. (2013). 3D printed bionic ears. *Nano letters*, **13(6)**, 2634-2639. <https://doi.org/10.1021/nl4007744>
- Matteo, G., Giuseppe, P., Brigida, S., Nicola, Q., Giorgio, C., & On Snoring, I. S. G. (2019). Internal And External Nasal Dilatator İn Patients Who Snore: A Comparison İn Clinical Practice. *Acta Bio Medica: Atenei Parmensis*, **90(2)**, 10.
- Matteo, G., Pierluigi, I., Giuseppe, P., Vitaliano, N. Q., Onofrio, R., Nicola, Q., & Giorgio, C. (2019). Internal Nasal Dilator İn Patients With Obstructive Sleep Apnea. *Acta Bio Medica: Atenei Parmensis*, **90(2)**, 19.
- Matteo, G., & Giorgio, C. (2019). The Clinical İmportance Of The Nasal Valfe. *Acta Bio Medica: Atenei Parmensis*, **90(2)**, 31
- Matteo, G., Pierluigi, I., Giuseppe, P., Vitaliano, N. Q., Onofrio, R., Nicola, Q., & Giorgio, C. (2019). Internal Nasal Dilator İn Patients With Obstructive Sleep Apnea Syndrome And Treated With Continuous Positive Airway Pressure. *Acta Bio Medica: Atenei Parmensis*, **90(2)**, 24.
- Matteo, G., Pierluigi, I., Giuseppe, P., Vitaliano, N. Q., Onofrio, R., Nicola, Q., & Giorgio, C. (2019). Internal Nasal Dilator İn Patients With Obstructive Sleep Apnea. *Acta Bio Medica: Atenei Parmensis*, **90(2)**, 19.
- Mohamed, O. A., Masood, S. H., & Bhowmik, J. L. (2015). Optimiz"ation of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects. *Advances in manufacturing*, **3**, 42-53. <https://doi.org/10.1007/s40436-014-0097-7>
- Mukhtarova, E. (2020). Nazal Septal Perforasyon Onarımında Kompozit Kıkırdak Greft ve Trombositten Zengin Plazma Uygulanması: Deneysel Çalışma. Uzmanlık Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram Tıp Fakültesi, Konya, 52
- Pestano, V., Oliveira, M. P. D., & Silva, F. P. D. (2022). Effect of acetone vapor smoothing process on surface finish and geometric accuracy of fused deposition modeling ABS parts. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, **10(10)**, 1-9. <https://doi.org/10.4236/msce.2022.1010001>
- Oruç, M. E. (2021). Küçük Objelerin Modellenmesinde Videogrametri ve Fotogrametri Yöntemlerinin Karşılaştırılması Üzerine Bir Çalışma. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, **3(2)**, 62-68. <https://doi.org/10.53030/tufod.1019385>
- Petruson, B. (1989). Better sleep with dilated nose. *Rhinology*, **27(3)**, 211-3.
- Rahmanimirshekarlou, R., & Tunçer, N. İ. (2022). Ortodontide 3 Boyutlu Teknolojiler. *Sağlık Bilimlerinde*, Prof. Dr. Engin Şahna, Prof. Dr. Hasan Akgül (Editörler), Gece Kitaplığı, 33-48.
- Ravi, T., Ranganathan, R., Ramesh, S. P., & Dandotiya, D. S. (2021). 3D Printed Personalized Orthotic Inserts Using Photogrammetry and FDM Technology. Fused Deposition Modeling Based 3D Printing, Dave, H.K., Davim, J.P., Springer, 349-361. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68024-4_18
- Reddy, V., Flys, O., Chaparala, A., Berrimi, C. E., Amogh, V., & Rosen, B. G. (2018). Study on surface texture of Fused Deposition Modeling. *Procedia Manufacturing*, **25**, 389-396. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.108>
- Saqib, S.; Urbanic, J. (2012). An experimental study to determine geometric and dimensional accuracy impact factors for fused deposition modelled parts. In Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability, Hoda A. ElMaraghy, Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 293–298. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23860-4_48

- Shikara, M., Rizzi, C. J., Zelig, B., Hubbard, F., Vakharia, K. T., Isaiah, A., & Vakharia, K. T. (2018). Assessment of a novel computer algorithm for printing a 3-dimensional nasal prosthetic. *JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, **144(7)**, 557-563.
<https://doi.org/10.1001/jamaoto.2018.0360>
- Surmen, K., Ortes, F., & Arslan, Y. Z. (2016). Design and production of subject specific insole using reverse engineering and 3D printing technology. *Int J Eng Sci Invent*, **5(12)**, 11-15.
- Surmen, H. K. (2023). Photogrammetry for 3D Reconstruction of Objects: Effects of Geometry, Texture and Photographing. *Image Analysis & Stereology*, **42(2)**, 51-63.
<https://doi.org/10.5566/ias.2887>
- Sürmen, H. K. (2019). 3d Baskı Yöntemi ile Hastaya Özel Ortez İmalatı. 4th International Congress On 3d Printing (Additive Manufacturing) Technologies And Digital Industry, 1388-1395.
- Sürmen, H. K. (2019). Eklemeli İmalat (3b Baskı): Teknolojiler ve Uygulamalar. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, **24(2)**, 373-392.
<https://doi.org/10.17482/uumfd.519147>
- Sürmen, H. K., 2022. Fotogrametri ile Üç Boyutlu Tarama – 3B Fotogrametri, Mühendislik Alanında Uluslararası Araştırmalar-I, Serüven Yayınevi, 173-196
- Tahamiler, R., Işıldak, H., & Çanakçıoğlu, S. (2007). Rinitli Hastalarda Burun Tıkanıklığının Objektif Ölçümü İçin Rinomanometri. *Cerrahpaşa Tıp Dergisi*, **38(1)**, 11-15.
- Ulfberg, J., & Fenton, G. (1997). Effect Of Breathe Right Nasal Strips On Snoring. *Rhinology*, **35**, 50-52.
- Uslu, A., & Uysal, M. (2021). Kitle kaynaklı fotoğraflar kullanılarak kültürel mirasın üç boyutlu modellenmesi ve web tabanlı görselleştirilmesi: Afrodisias-Tetrapylon örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **21(3)**, 632-639.
<https://doi.org/10.35414/akufemubid.889211>
- Varolüneş, A. (2010). Horlama ve Obstrüktif Sleep Apne Sendromu Hastalarında Damak Radyofrekans Uygulanması Etkinliğinin Değerlendirilmesi, Uzmanlık Tezi, Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi, Diyarbakır, 45.
- Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2021). Tarihi Eserlerin 3B Modellenmesi ve Artırılmış Gerçeklik ile Görselleştirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **8(2)**, 1032-1043.
<https://doi.org/10.35193/bseufbd.1011064>
- Yüksel, H., & Bulut, M. O. (2019). Üç Boyutlu Tarama Sistemleri. *Tekstil ve Mühendis*, **26(116)**, 406-414.
<https://doi.org/10.7216/1300759920192611612>
- Zigon, J., Kariz, M., & Pavlic, M. (2020). Surface finishing of 3D-printed polymers with selected coatings. *Polymers*, **12(12)**, 2797.
<https://doi.org/10.3390/polym12122797>
- Zuniga, J. M., Dimitrios, K., Peck, J. L., Srivastava, R., Pierce, J. E., Dudley, D. R., ... & Knarr, B. A. (2018). Coactivation index of children with congenital upper limb reduction deficiencies before and after using a wrist-driven 3D printed partial hand prosthesis. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, **15(1)**, 1-11.
<https://doi.org/10.1186/s12984-018-0392-9>