

## **Eklmeli İmalatta Üretim Yönünün Parça Üretimine Etkileri**

Erkan BAHÇE<sup>1\*</sup>, Sarkis BOYACI<sup>2</sup>, Mehmet Sami GÜLER<sup>3</sup>

### **Öz**

Eklmeli imalat, geleneksel imalat yöntemleri ile üretimi mümkün olmayan ya da çok zor ve maliyetli tasarımların üretimi için son on yılda giderek yaygınlaşmıştır. Eklmeli imalat parçanın üretim yönü doğrultusunda katman katman eklenmesi ile edilir. Parçaların üretiminde kullanılan destek yapılar, eklmeli imalatın bir bileşenidir. Bu yapılar parçanın taban plakasını oluşturmada, termal deformasyonları azaltmada ve yüzeylerde oluşabilecek sarkmalara destek sağlamaktadır. Bu nedenle bir parçanın üretim yönü nesnenin kalitesini, maliyetini ve diğer özelliklerini etkilemektedir. Bu çalışmada düz, eğri ve açısız yüzeylerden oluşacak şekilde tasarlanan bir parça üzerinde üretim yönünün parça bütünlüğü, geometrik hassasiyeti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu doğrultuda üretilen numunelerin üst yüzeyinden pürüzlülük ölçümleri yapılmış ve hassas terazi ile destek yapılarının ağırlık üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca üretilen numunelerin görüntüleri CAD ortamına aktararak geometrik doğruluğu araştırılmıştır. Taban plakasının dengeli ve katmanların yeterli sürede soğuması parçanın yüzey kalitesini ve geometrik doğruluğun elde edilmesini sağlamıştır. Taban plakada homojen olmayan termal gerilme ise parçanın nominal ölçüden sapmasını artırmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Eklmeli imalat, Geometrik hassasiyet, Yüzey pürüzlülüğü.

## **The Effects of the Production Direction on the Part in Additive Manufacturing**

### **Abstract**

Additive manufacturing has become increasingly common in the last ten years for the production of designs that cannot be produced with traditional manufacturing methods or are very difficult and costly. Additive manufacturing is done by adding layer by layer in line with the production direction of the part. Support structures used in the manufacture of parts are a component of additive manufacturing. These structures form the base plate of the part, reduce thermal deformations and provide support for sagging that may occur on the surfaces. Therefore, the production direction of a part affects the quality, cost and other properties of the object. In this study, the effects of production direction on part integrity, geometric precision and surface roughness were investigated on a part designed to consist of flat, curved and angular surfaces. In this direction, roughness measurements were made from the upper surface of the samples produced and the effects of precision balance and support structures on the weight were examined. In addition, the images of the produced samples were transferred to the CAD environment and their geometric accuracy was investigated. The stability of the base plate and the sufficient cooling of the layers ensured the surface quality and geometric accuracy of the part. Inhomogeneous thermal stress on the base plate increases the deviation of the part from the nominal size.

**Keywords:** Additive manufacturing, Geometric precision, Surface roughness.

<sup>1</sup>Inönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, erkan.bahce@inonu.edu.tr

<sup>2</sup>Inönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, boyacisarkis@gmail.com

<sup>3</sup>Ordu Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ordu, Türkiye, mehmetmehmetguler@yandex.com

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-5389-5571>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-8373-7889>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-0414-7707>

## 1. Giriş

Eklemeli imalat, üretimi zor veya klasik yöntemler ile üretilmesi imkânsız geometrilerin üretimini kolaylaştırmaktadır. Bunun yanında birçok farklı tasarım stratejisinin oluşturulmasını sağlayarak yüksek kaliteli ve toleranslar dahilinde parçaların ekonomik olarak üretilmesine olanak vermektedir(Hopkinson ve Dickens, 2003). Ayrıca eklemeli imalat ile belirtilen bir alan içerisinde, sınır şartları dahilinde yapısal optimizasyon teknikleri ile malzeme israfı azaltılırken, yüksek özgül sertliğe ve mukavemete sahip tasarımlar da gerçekleştirilmektedir. Ancak eklemeli imalat için tasarım ve üretim yapılırken belirli faktörleri dikkate almak gereklidir. Bunlar destek yapıları, tasarımı yapılmış parçanın geometrisi, parçanın üretim yönü, açılabilir sınır, duvar kalınlığı, delik toleransı ve boyutsal doğruluğu gibi parametrelerdir (Cheng ve ark., 2019; Tatar ve ark., 2021)

Eklemeli imalat biriktirme, eritme ve katılma döngüsü parça tamamen üretilinceye kadar devam eden bir süreçtir. Katmanların oluşturulmasında sürekli olarak ani ısınma ve soğumalardan kaynaklı artık gerilmeler meydana gelebilmektedir (Di Angelo ve ark., 2020). Katman sayısı arttıkça gerilmeler artacağından hata miktarının da artması kaçınılmazdır. Bu nedenle parçanın üretiminde ilk katman ve destek yapılar önem teşkil etmektedir. Destek yapılar parçanın üretimine birçok yönden katkı sağlamaktadır. Örneğin, destek yapıları, üretim ilerledikçe yerçekiminin neden olduğu deformasyona ve çökmeye karşı da destek olmak, parçanın belirli bölgelerinin ana gövdeye bağlanmasına yardımcı olmak, üretim esnasında termal gradyan ve katılmanın neden olduğu büzülme azaltmak gibi faydaları vardır(Jiang ve ark., 2018). Ancak destek yapılarının tek seferlik kullanılması, üretim sonrası kaldırılması, yaygın olarak desteklerin temizlenmesi için manuel işçilik olması ve atık ürün olması nedeniyle optimize edilmesi gerekir. Bunun yanında destek yapıların optimize edilmesi parça üzerinde çatlama, kıvrılma, sarkma ve katmanlarda ayrılma gibi sorunların da önüne geçmektedir(Cheng ve ark., 2019; Leuders ve ark., 2013; Olakanmi ve ark., 2015). Bu nedenle eklemeli imalat alanında yapılan çalışmaların bir bölümü bu alanda yoğunlaşmıştır.

Bu kapsamda, Calignano (2014) parçaların üretiminde kullanılan destek yapıların optimizasyonunu yaparak parçanın üretimine etkilerini araştırmıştır. Deney sonucunda destek yapılarının kullanımını azaltarak parça sarkmalarının önüne geçmiş, üretim zamanını ve maliyeti azaltmıştır. Strano ve ark. (2013)parçanın üretiminde destekleri kafes yapılar kullanarak üretebilen yeni bir model önermişlerdir. Bu kapsamda parçanın üretimi için optimal kafes yapı belirlenmiş ve desteklerde %45 e varan malzeme tasarrufu yaptığını vurgulamışlardır. Gao ve ark. (2015) standart bir 3D yazıcıya yeni eksenler ekleyerek parçanın üretiminde destek yapısı kullanmadan üretim yapmayı araştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda kullanılan malzeme miktarını azaltmışlar ve aynı zamanda destek yapılar için yeni modeller geliştirmişlerdir. Cheng ve ark. (2019) eklemeli imalatla oluşan artık gerilmeleri azaltmak için destek yapılarına topoloji optimizasyonu yöntemini

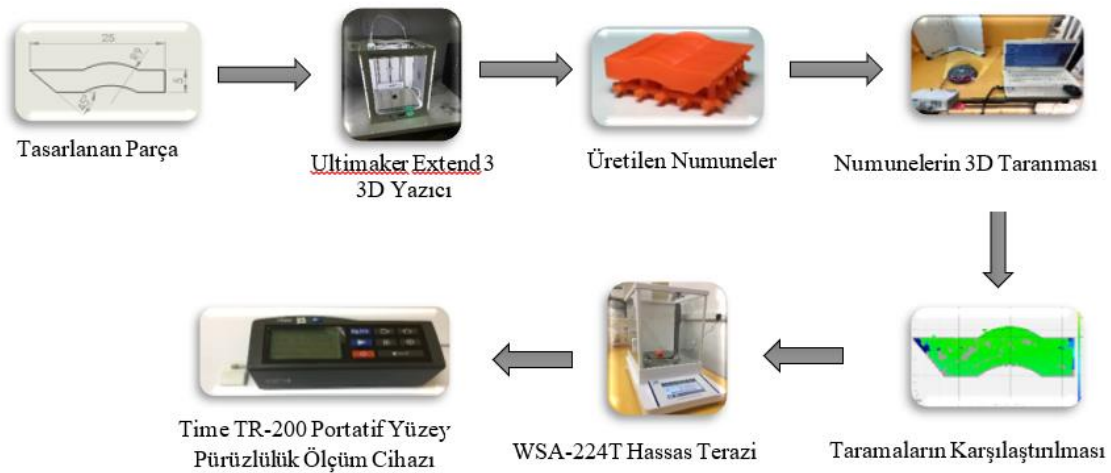
kullanmışlardır. Bu yöntemle ürettikleri parçalarda, çatlamların ve gerilme kaynaklı şekil bozulmalarının azaldığını belirlemişlerdir. Huang ve ark. (2009) STL modellerine dayalı bir destek algoritması geliştirmişler ve bunu standart destek yapıları ile karşılaştırmışlardır. Tasarlanmış destek yapılarının kullanılan malzeme miktarını ve imalat süresini %30 azalttığını tespit etmişlerdir. Yang ve ark. (2003) eklemeli imalatta destek yapılarını en aza indirmek için MOD yöntemini önermişlerdir. Hussein ve ark. (2013) kafes yapılarını destek olarak kullanmışlar ve böylece hem kullanılan malzeme miktarını hem de imalat süresinin azaldığını belirtmişlerdi. Mercelis ve Kruth (2006) eklemeli imalat sırasında eritmenin ardından hızlı bir katılma olması sebebiyle artık gerilmelerin oluştuğunu ve artık gerilmelerin yapı üzerinde çatlama, çarpılma gibi istenmeyen etkilere sebep olduğunu açıklamışlardır. Vaidya ve Anand, (2016) eklemeli imalatta kullanılan destek yapılarının optimizasyonu ile hem kullanılan destek hacmini hem de kullanılan malzeme miktarını azaltmışlardır.

Yapılan literatür çalışmalarının büyük bir bölümünün destek yapılarının optimizasyonu üzerine odaklanıldığı dikkat çekmektedir. Bu çalışmada tasarlanan bir parçanın farklı yönlerde üretilmesinin parçanın geometrik doğruluğuna ve yüzey kalitesine etkileri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Organizasyon Şeması

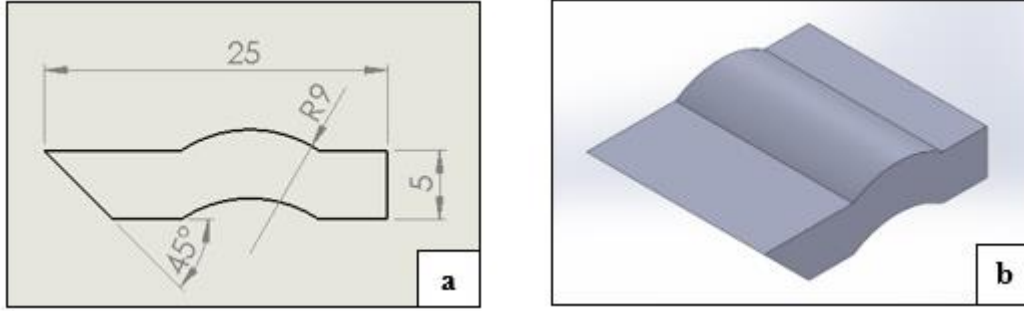
Çalışma kapsamında yapılan adımların özet şeması Şekil 1’de verildi.



Şekil 1. Çalışmanın organizasyon şeması.

## 2.2. Deney Numunesi Tasarımı

Deneylerde üretilecek numuneler üzerinde destek yapıların etkisini gözlemlemek amacı ile düz, eğri ve açısız yüzeyler içerecek şekilde CAD ortamında tasarım gerçekleştirildi. Bu parçaya ait ölçü ve CAD modeli Şekil 2’de verildi.



Şekil 2. Tasarlanan parçanın; a) geometrik ölçüleri, b) CAD modeli görüntüleri (kalınlık 20 mm).

## 2.3. Deney Numunelerinin İmalatı

Deneylerde kullanılacak numunelerin üretiminde diğer filamentlere kıyasla daha kolay basılabilir ve daha dayanıklı olduğu için PLA (polilaktik asit) kullanıldı. PLA’nın termal özellikleri Tablo 1’de, mekanik özellikleri ise Tablo 2’de gösterilmiştir.

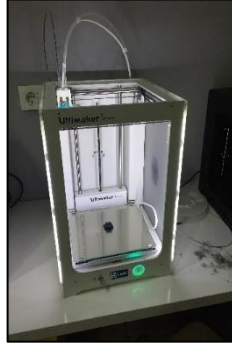
**Tablo 1.** PLA filamentin termal özellikleri.

Özellik	Değer
Kırılma Sıcaklığı (°C)	60 – 65
Gevşeme Sıcaklığı (°C)	70 – 80
Erime Sıcaklığı (°C)	160 – 190
Basım Sıcaklığı (°C)	190 – 220

**Tablo 2.** PLA filamentinin mekanik özellikleri.

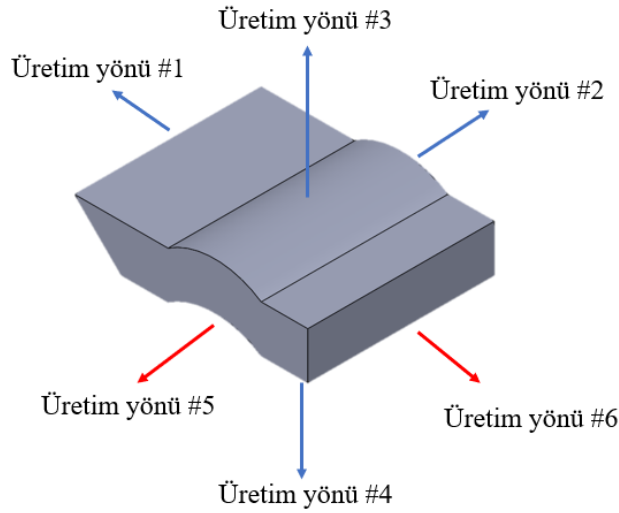
Özellik	Değer
Gerilme Kuvveti (MPa)	65
Çekme Dayanımı (MPa)	97
Çekme Modülü (MPa)	3600

Üretim aşamasında PLA kullanılarak Ultimaker Extend 3 3D yazıcı vasıtasıyla deney numunelerinin üretimi gerçekleştirildi. Bu cihazın görseli Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Ultimaker Extend 3D yazıcı.

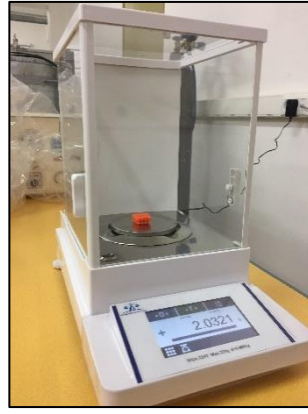
Tasarlanan parça, imalat yönünün gerçek geometri ile nominal geometri arasındaki farka etkisini belirlemek amacıyla, dört farklı yönde üretildi (Şekil 4). Üretim yönü #5 doğrultusu, üretim yönü #2 ile simetri olması nedeniyle o doğrultuda katmanlı biriktirme uygulanmadı. Ayrıca Üretim yönü #6 doğrultusunda en fazla destek yapısına ihtiyaç duyulması ve destek yapısının dengesiz olması nedeniyle bu doğrultuda üretim yapılmadı.



Şekil 4. Parçanın üretiminde katman biriktirme doğrultuları.

#### 2.4. Destek Yapılarının İmalata Etkilerinin Araştırılması

CAD ortamında tasarlanan deney numunesinin 3D yazıcı ile üretilmesi sonrası ağırlık farkı özellikle kütlesele denge ile çalışan sistemler için önemli olması nedeniyle bu çalışmada da ağırlıklar incelendi. Deney numuneleri arasındaki destek yapıların kütle farklılıklarına etkisini belirlemek için WSA-224T hassas terazi kullanılarak 0,0001 hassasiyet ile tartımları gerçekleştirildi (Şekil 5).



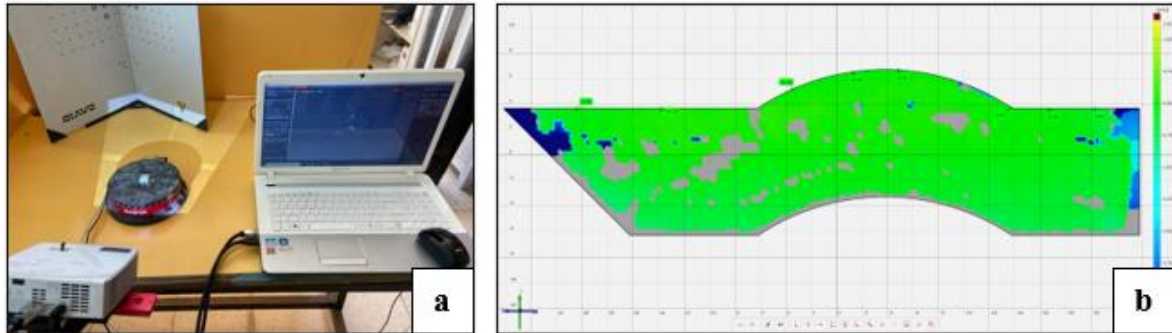
Şekil 5. Üretim sonrası parçaların tartımı.

Yüzey kalitesi temel olarak üretilen parçanın kalitesini gösterdiği için yüzey kalitesinin belirlenmesinde önemlidir. Bu yüzden bu çalışmada Time TR-200 marka Portatif Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı kullanılarak, imalat yönünün yüzey pürüzlülüklerine etkileri ölçüldü (Şekil 6). Ayrıca pürüzlülük ölçümü ile merdiven basamağının etkileri de incelendi.



Şekil 6. Parça üzerinden yüzey pürüzlüğü ölçümü.

Parçaların montajında geometrik ve boyut toleransları önem arz ettiği için destek yapılarının toleransa etkilerini belirlemek amacıyla üretilen parçalar 3D taramacı ile tarandı. Bu işlemin ardından gerçek değer ile nominal değerlerin karşılaştırılması Şekil 7'de gösterildiği gibi yapıldı.

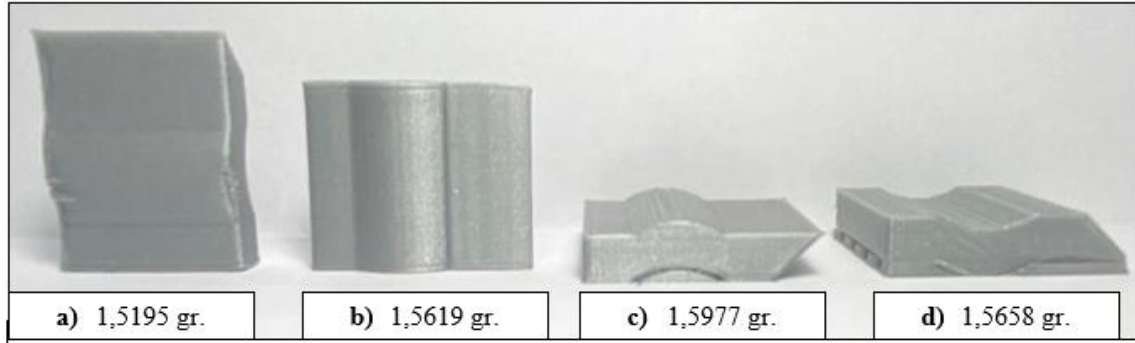


Şekil 7. Geometrik hassasiyet ölçümü; a) üretilen parçanın 3D taranması, b) parçanın CAD çizimi ile karşılaştırılması.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Üretim Yönünün Parça Ağırlığına Etkisi

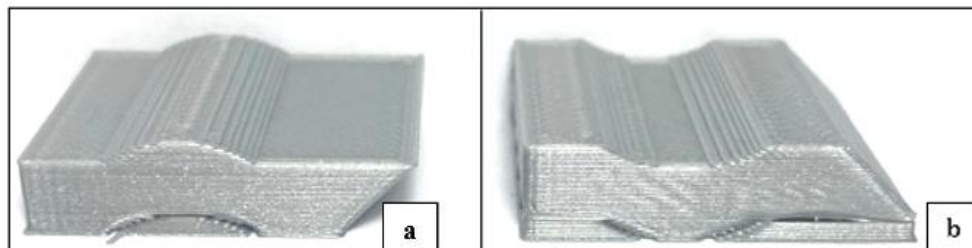
Parça farklı doğrultularda üretildikten sonra hassas terazi ile yapılan ölçümlerin sonuçları Şekil 8’de verilmiştir.



**Şekil 8.** Parçanın farklı doğrultulara göre ağırlıkları (a) Üretim Yönü #1, b) Üretim Yönü #2, c) Üretim Yönü #3, d) Üretim Yönü #4.

Şekil 8’den görüldüğü üzere parça aynı olmasına rağmen üretim yönlerinin değişimi ağırlık üzerinde etkili olmuştur. Buna göre en ağır parça üretim yönü #3 de elde edilmiştir. Bunu sırasıyla üretim yönü #4, üretim yönü #2 ve üretim yönü #1 takip etmiştir. Bu sonuç üretim yönünün ağırlığı %5 oranında etkilediğini göstermektedir.

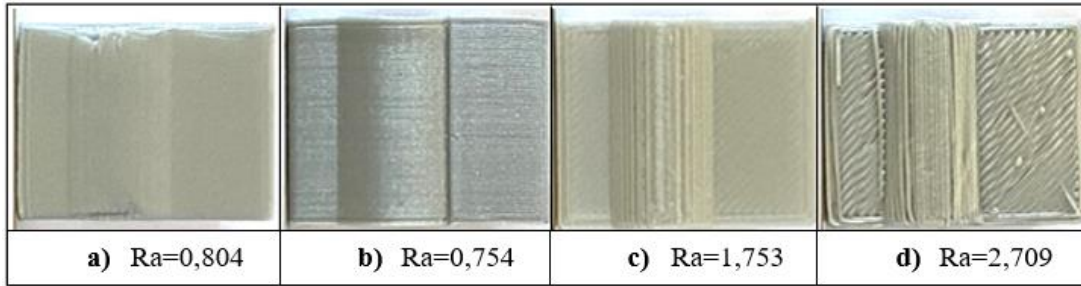
Üretim yönü #3 ün diğerlerine göre ağırlığının fazla çıkması, parçanın üretim yönünde destek yapıları kullanılması ihtiyacıdır. Bu desteklerin temizlenmesi sonrası gerek yüzey kalitesi etkilenmiş gerekse de desteğe ait parçaların kalması ağırlığın artmasına sebebiyet vermiştir. Nitekim buna benzer durum olan üretim yönü #4 yapısında da benzer durum ile karşılaşmıştır. Ancak bu yöntemde kullanılan destek yapısı üretim yönü #3 ‘e göre daha az olması nedeniyle ağırlığı düşük çıkmıştır (Şekil 9). Ayrıca destek yoğunluğunun artması sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen stres dağılımını etkileyebilmektedir (Patterson ve ark., 2017). Bu durum geometrinin yapısına göre döşeme katmanının önceki katmanlara göre fazla olmasına neden olabilir. Bunun sonucunda da kullanılan malzeme miktarını dolayısıyla ağırlığı etkilemektedir.



**Şekil 9.** Kullanılan destekler; a) Üretim Yönü #3, b) Üretim Yönü #4.

### 3.2. Üretim Yönünün Yüzey Kalitesine Etkisi

Farklı üretim yönlerinin yüzey kalitesine etkilerini belirlemek için üretim sonrası numunelerin üst yüzeylerinden ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümleri gerçekleştirildi. Şekil 10 'da görüldüğü üzere parçanın üst görünüşlerinden alınan resimlerde yüzey kalitesi üretim yönlerine göre farklılık göstermiştir. Ayrıca bu bölgelerden alınan yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçlarının ortalaması yine Şekil 10'da verilmiştir.



**Şekil 10.** Yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları; a) Üretim Yönü #1, b) Üretim Yönü #2, c) Üretim Yönü #3, d) Üretim Yönü #4.

Yüzey kalitelerinin değişmesinin önemli sebebi eklemeli imalatta her katmanın ısıya ve ekstrüzyon süresine bağlı olarak oluşan merdiven basamağı etkisidir. Düz yüzeylerin, eğri yüzeylere göre yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonucu düşük bir sapma ile daha iyi çıkmıştır, ancak önemli bir farkın olmadığı görülmüştür. Destek yapıları kullanılarak üretilen parçaların (üretim yönü #3, #4) yüzey pürüzlülükleri daha yüksek ölçülmüştür. Bunun nedeni destek yapıların parça yapısına göre daha ince yapılardan oluşması sebebiyle, parçanın üretimi esnasında sıcaklığa bağlı termal gerilmeden etkilenmesidir.

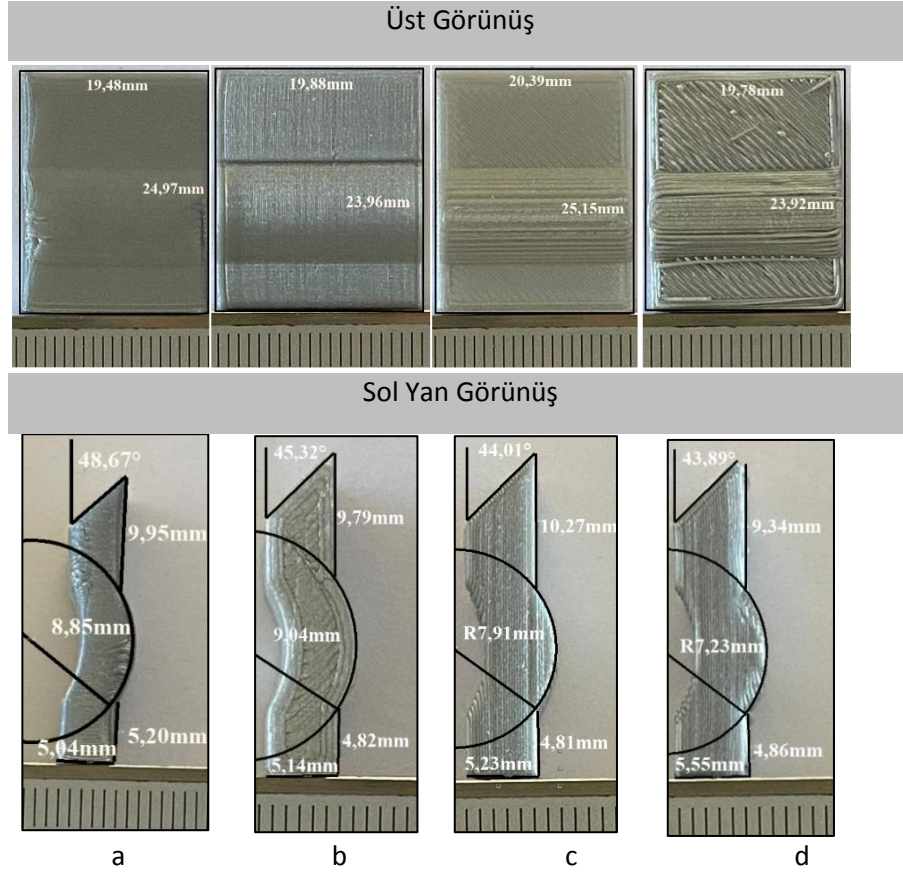
Destek yapılar üretildikten sonra üzerine oturtulan ince katman bir sonraki katman serilinceye kadar soğumaya başlayarak çekme yapmakta ve bu durum bir sonraki katmanı etkileyerek eğimli veya sarkan yüzeylerin oluşmasına sebebiyet vermektedir (Di Angelo ve ark., 2020). Oluşan bu yüzeyler bir sonraki katmanında düzgün olarak birleşmesini engelleyip üretilen parçanın en üst katmanına kadar yüzey yapısını değiştirmektedir. Katmanların bu şekilde düzgün birleşmemesi üretilen parçanın en üst seviyesinde yüzey pürüzlülüğünü olumsuz olarak etkilemektedir.

Üretim yönün değişmesi eritilip serilen filamentin soğumasına gerekli zamanın verilmesinin de önemli olduğu görüldü. Serilen katmanın yeteri kadar soğumadan diğer katmanın serilmesi parçadaki sıcaklığı arttırarak ısıl gerilmeleri arttıracak ve bozulmalar daha da artacaktır. Buna bağlı olarak üretim yönü #2 de ısı transfer yüzey alanın fazla olması yüzey kalitesinin daha iyi oluşmasına sebebiyet vermiştir. Nitekim parçanın geometrik şeklinin ve ısının uygulama yönünün gerilmeyi etkilediği belirtilmiştir (Arslan ve Haskul, 2015; Haskul, 2020)



### 3.3. Destek Yapısının Geometrik Doğruluğa Etkisi

Üretim sonrası yapılan ölçümler sonucu üretim yönünün geometrik doğruluğu etkilediği görüldü. Şekil 11’de üretim yönüne göre üretilen parçaların üst ve sol yan görünüşe göre yapılan ölçüm sonuçlarının değişimi verilmiştir.



Şekil 11 Geometrik doğruluk ölçümleri a) Üretim Yönü #1, b) Üretim Yönü #2, c) Üretim Yönü #3, d) Üretim Yönü #4.

Üst görünüşler değerlendirildiğinde destek kullanılmadan yapılan üretilen, üretim yönü #1, #2 ve #4 nominal ölçünün altında kalmıştır. Üretim yönü #3 ise nominal ölçünün üstünde çıkmıştır. Bunun muhtemel sebebi PLA malzemesinin ısıtılma sonrası büzülmesinden kaynaklanmaktadır. Üretim yönü #1 ve #2 sabit kesit alanında üretim yapılması büzülme payını etkileyerek nominal ölçüden sapmaya neden olmuştur. Üretim yönü #3 de üst görünüşte ideal ölçüye yakın çıkmasının sebebi üretim kesitinin giderek artmasıdır. Bir katman serildikten sonra bir sonraki katman serilinceye kadar, mevcut katmanın soğuma süresinin artması çekme payını azaltmıştır. Nitekim bu durumun tersi olan üretim yönü #4 için kesit alanın giderek azalması nominal ölçüden sapmaya neden olmuştur.

Parçaların sol yan görünüşleri değerlendirildiğinde ise nominal ölçüye en yakın değeri üretim yönü #2 ‘de elde edilmiştir. Bunun en önemli sebebi de eğrilik yönünde parçanın üretilmesi ve eğrilik

yüzeyinin zemin üzerinde katmanları oluşturması parçanın o doğrultudaki çekme payını en aza indirmiştir. Buna en yakın benzer özellik gösteren üretim yönü #2 de nominal ölçüye yaklaşmıştır. Diğer yönlerde ise eğrilik yarıçapının destekler üzerinden üretilmesi nominal ölçüden sapmayı artırmıştır. Uç açısı  $45^\circ$  ve parça kalınlığı 5 mm içinde benzer sonuçları göstermesi, bu durumu desteklemektedir.

#### **4. Sonuçlar ve Öneriler**

Eklemeli imalatta üretim yönünün parça üretiminin bir bileşeni olduğu, buna bağlı olarak ağırlığını, yüzey kalitesini ve geometrik doğruluğu etkilediği görülmüştür. Parça üretiminde desteksiz yapıların yüzey kalitesi destekli yapılara göre daha iyi elde edilmiştir. Parça üretiminde destek yapılarının simetrik denge de olması yüzey kalitesi açısından önemli bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Parçanın ağırlığı da üretim yönünden etkilenmiştir destek yapısının dengesiz olmasının da toplam kütle üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında üretim yönü bir katman serildikten sonra bir sonraki katman serilinceye kadar, mevcut katmanın soğuma süresini etkileyerek PLA malzemesinin çekme payını etkileyerek boyut hassasiyeti üzerinde de etkili olduğu ölçülmüştür.

Sonuç olarak eklemeli imalatta parçanın üretim yönü dengeli katmanlarla üretilmesi parçanın ağırlığı, yüzey kalitesini ve geometrik doğruluğu parametrelerini etkilemektedir.

#### **Teşekkür**

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde FYL-2021-2723 numaralı projedeki desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi BAP birimine teşekkürlerimizi sunarız.

#### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Arslan, E., Haskul, M. (2015). Generalized plane strain solution of a thick-walled cylindrical panel subjected to radial heating. *Acta Mech* 226, 1213–1225. <https://doi.org/10.1007/s00707-014-1248-4>
- Calignano, F. (2014). Design optimization of supports for overhanging structures in aluminum and titanium alloys by selective laser melting. *Materials and Design*, 64, 203–213. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.07.043>
- Cheng, L., Liang, X., Bai, J., Chen, Q., Lemon, J., & To, A. (2019). On utilizing topology optimization to design support structure to prevent residual stress induced build failure in laser powder bed metal additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, 27, 290–304. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.03.001>
- di Angelo, L., di Stefano, P., & Guardiani, E. (2020). Search for the optimal build direction in additive manufacturing technologies: A review. In *Journal of Manufacturing and Materials Processing* (Vol. 4, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/JMMP4030071>
- Gao, W., Zhang, Y., Nazzetta, D. C., Ramani, K., & Cipra, R. J. (2015). RevoMaker: Enabling multi directional and functionally-embedded 3D printing using a rotational cuboidal platform. *UIST 2015 - Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 437–
- Haskul, M. (2020). Yielding of functionally graded curved beam subjected to temperature. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg.* 26(4): 587-593.
- Hopkinson, N., & Dickens, P. (2003). Analysis of rapid manufacturing - Using layer manufacturing processes for production. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 217(1). <https://doi.org/10.1243/095440603762554596>
- Huang, X., Ye, C., Wu, S., Guo, K., & Mo, J. (2009). Sloping wall structure support generation for fused deposition modeling. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42(11–12), 1074–1081. <https://doi.org/10.1007/s00170-008-1675-2>
- Hussein, A., Hao, L., Yan, C., Everson, R., & Young, P. (2013). Advanced lattice support structures for metal additive manufacturing. *Journal of Materials Processing Technology*, 213(7), 1019–1026. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2013.01.020>
- Jiang, J., Xu, X., & Stringer, J. (2018). Support Structures for Additive Manufacturing: A Review. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 2(4). <https://doi.org/10.3390/jmmp2040064>
- Leuders, S., Thöne, M., Riemer, A., Niendorf, T., Tröster, T., Richard, H. A., & Maier, H. J. (2013). On the mechanical behaviour of titanium alloy TiAl6V4 manufactured by selective laser melting: Fatigue resistance and crack growth performance. *International Journal of Fatigue*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2012.11.011>
- Mercelis, P., & Kruth, J. P. (2006). Residual stresses in selective laser sintering and selective laser melting. *Rapid Prototyping Journal*, 12(5), 254–265. <https://doi.org/10.1108/13552540610707013>
- Olakanmi, E. O., Cochrane, R. F., & Dalgarno, K. W. (2015). A review on selective laser sintering/melting (SLS/SLM) of aluminium alloy powders: Processing, microstructure, and properties. In *Progress in Materials Science* (Vol. 74). <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.03.002>
- Patterson, A. E., Messimer, S. L., & Farrington, P. A. (2017). Overhanging Features and the SLM/DMLS Residual Stresses Problem: Review and Future Research Need. *Technologies*, 5(4). <https://doi.org/10.3390/technologies5020015>
- Strano, G., Hao, L., Everson, R. M., & Evans, K. E. (2013). A new approach to the design and optimisation of support structures in additive manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66(9–12), 1247–1254. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4403-x>
- Tatar, N., Tuzlali, M., & Bahçe, E. (2021). Investigation of the Lattice Production of Removable Dental Prostheses with CoCr Alloy Using Additive Manufacturing. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 30(9). <https://doi.org/10.1007/s11665-021-05972-1>
- Vaidya, R., & Anand, S. (2016). Optimum Support Structure Generation for Additive Manufacturing Using Unit Cell Structures and Support Removal Constraint. *Procedia Manufacturing*, 5, 1043–1059. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2016.08.072>
- Yang, Y., Fuh, J. Y. H., Loh, H. T., & Wong, Y. S. (2003). Multi-Orientational Deposition to Minimize Support in the Layered Manufacturing Process. In *Journal of Manufacturing Systems* h m (Vol. 22, Issue 2).