



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## FDM Yöntemiyle Üretilen Evolvent Profilli Silindirik Dişli Çarkların Yüzey Kalitesi ve Görüntü İşleme Tekniği ile Geometrik Analizi

 Nafiz YAŞAR<sup>a\*</sup>,  Hakan YILMAZ<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Raylı Sistemler Makine Teknolojisi, Yenice Meslek Yüksekokulu, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

<sup>b</sup>Tıp Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

\*nafizyasar@karabuk.edu.tr

DOI : 10.29130/dubited.553199

### ÖZET

Üretim süreçlerinde karşılaşılan problemlerin çözümünde 3B yazıcılar önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu çalışmada, ergiyik yığıma modelleme (EYM) yöntemi ile 3B yazıcıda üretilen ABS esaslı dişli çarkların yüzey kalitesi ve boyutsal kontrolü üzerine odaklanılmıştır. Bu amaçla, 3B yazıcı ile sabit sıcaklıkta üç farklı katman kalınlığı (90, 190 ve 290µm) kullanarak dişli çark numuneleri hazırlanmıştır. Deney numunelerinin boyutsal kontrolü morfolojik görüntü işleme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiş olup yüzey kalitesi ise Mahr marka Marsurf M300 portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile elde edilen ortalama sonuçlar üzerinden değerlendirilmiştir. Ürünlerin kamera-mikroskop düzeneği ile siyah arka plan üzerinden üst görünüşlerinin fotoğrafları alınmıştır. Alınan renkli görseller griye çevrilerek elde edilen gri görseller üzerinde eşik değeri 60 olacak şekilde eşikleme uygulanmıştır. Böylece ürünlerin beyaz, arka planın ise siyah olarak kaldığı 2 bit'lik görüntüler elde edilmiştir. Bu görüntülere sırasıyla aşındırma ve çıkarma uygulanarak dişli çarkların dış sınırları elde edilmiştir. Çizim programından elde edilen sınırlar ile görsellerden elde edilen sınırlar karşılaştırılarak aradaki sapmalar hesaplanmıştır. Sonuç olarak, boyutsal kontrol ve yüzey kalitesi açısından en iyi performans en düşük katman kalınlığı kullanılarak üretilen ABS esaslı numunelerde elde edilmiştir. Ancak kaynak tüketimi ve zaman açısından değerlendirme yapıldığında 290 mikron hassasiyet ile üretimin tercih edilebileceği anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** EYM, Evolvent profilli dişli çark, Görüntü işleme

## Surface Quality Analysis and Geometric Analysis with Image Processing Technique of Evolvent Profiled Cylindrical Gear Wheels Produced by FDM Method

### ABSTRACT

3D printers offer important opportunities to solve problems encountered in production processes. This study focused on the surface quality and dimensional control of the ABS based gear wheels produced in 3D printer by Fused Deposition Modelling (FDM) method. For this purpose, the gear samples using three different layer thicknesses (90, 190 ve 290µm) were prepared at a constant temperature with the 3D printer. The dimensional control of the test specimens was performed by using morphological image processing methods and the surface

1744

quality was evaluated by means of average surface roughness measurements. Photographs of the products were taken from a black background with a camera-microscope system. The gray images obtained by converting the color images to gray were applied threshold ( $T=60$ ). Thus, 2-bit images were obtained in which the products remained white and the background was black. Erosion and subtraction were applied to these images respectively to obtain the contours of the gear wheels. The boundaries obtained from the drawing program and the boundaries obtained from the manufactured gear wheel visuals were overlaid and the deviations between them were calculated. As a result, best performance in terms of dimensional control and surface quality was obtained in ABS based samples produced using the lowest layer thickness. However, it is understood that it can be preferred to produce with 290 micron precision when compared with resource consumption.

*Keywords: FDM, Evolvent profiled gear, image processing*

## I. GİRİŞ

**D**işli çarklar, güç ve hareket iletiminde tartışmasız en önemli rolü oynayan makine elemanları arasında olup, küçük çapta saatlerden başlayıp, uçaklara hatta uzay teknolojisine kadar geniş kullanım alanına sahiptir [1]. Başlangıçta döküm yöntemiyle üretilmekte olan dişli çarklar o zamanın ihtiyacına cevap verebilmekteydi. Ancak, yaygınlaşan kullanım alanları, yüksek güç, hız vb. ihtiyaçların karşılanması zorunlu hale gelmiş olup gerek dişli çarkların üretim yöntemlerinde gerekse malzeme seçiminde gelişmelere ihtiyaç duyulmuştur [2]. Son zamanlarda (3B) yazıcıların kullanımı farklı ve hızlı prototipleme teknolojisinin gibi üretim yöntemleri arasında giderek yaygınlaşmaktadır [3]. Bu teknoloji tasarımların bir ön prototipini kolay ve hızlı bir şekilde üretilmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır. 3B yazıcılar, otomotiv, uzay ve havacılık teknolojileri, mimari yapılar, medikal cihaz ve ürünler gibi birçok alanın yanı sıra tıp ve sağlık alanında kişiye ve ihtiyaca özel organ, doku ve implant uygulamalarında giderek artan bir kullanım alanına sahiptir [4,5].

Bir ürünün hem üretim süresini hem de maliyetini düşürmek için oldukça mükemmel bir potansiyele sahip üç boyutlu baskı (katmanlı imalat), katman oluşturarak materyallerin birleştirilmesi sürecidir. Bu süreç için en çok kullanılan uygulamalar arasında, ergiyik yığıma modelleme (Fused deposition Modeling\_FDM), Seçici lazer sinterleme (Selective Laser Sintering\_SLS), dijital ışık işleme (Digital Light Processing\_DLP) ve stereolithography (SLA) teknolojileri yer almaktadır [6,7]. Ürün kalitesini ve malzeme gibi özellikleri etkileyen çok sayıda parametreye sahip EYM teknolojisinde ısı ile şekil alabilen termoplastik (PLA, ABS, KIPS vb.) malzemeler kullanılmaktadır [8-10]. EYM teknolojisinde kullanılan işlem parametrelerinin (katman kalınlığı, tarama açısı, tarama genişliği, hava boşluğu, dolgu yoğunluğu, baskı yönü ve besleme hızı) baskı parçalarının kalitesi ve performansında önemli bir etkisi vardır [11,12].

Görüntü işleme, görüntünün yakalanması ile başlayan, amaca yönelik farklı tekniklerin uygulanması ile devam eden, içerisinde bilgisayar-matematik bilimini barındıran bir dizi sürecin tamamıdır [13]. Günümüzde görüntü işleme, tıp, imalat, elektronik, güvenlik, tasarım, mimari, astronomi gibi birçok alanda kullanılmaktadır ve kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. [14]. Modern endüstriyel otomasyon uygulamaları giderek görüntü işleme tekniklerine güvenmektedir. Görüntü boyutları arasında geçiş yapılabilmesi bu tekniklerin seçiminde önemli rol oynamaktadır [15,16]. Üretilen ürünlerin ölçülmesi ve değerlerin doğrulanması için farklı gereçler kullanılmaktadır. Ancak bu

gereçlerin maliyeti yüksektir. Görüntü işleme bu alanda kullanılarak düşük maliyetli bir çözüm sunmaktadır [17,18]. Görüntü işleme yöntemiyle ölçüm yapmanın bir diğer faydası da uzaktan ölçüm yapmayı kolaylaştırmasıdır. Gerekli kalibrasyonlar yapıldıktan sonra nesneye dokunmadan ölçüm yapmaya imkân tanımaktadır. Sunoj vd. yaptıkları çalışmada ayçiçeğinin boyutlarını görüntü işleme teknikleriyle bulmuşlardır. Ayçiçeğinin kafa kısmına ait görüntüyü işleyerek merkezi ve çiçekler çıkarıldığında elde edilecek disk görünümünü %90 doğruluk üzerinde tespit etmişlerdir [19]. Wen vd. kabarcık hacminin ve yüzey alanının belirlenmesi için görüntü işleme kullanmışlardır. Özellikle büyük ve ciddi derecede deforme olmuş kabarcıkların hacmini ve yüzey alanını ölçmek için bir teknik açıklamaktadırlar [20]. Masad vd. insan omurgasında önemli bir yer tutan lomber lordozun ölçümü için karar ağacı sınıflandırıcısı ve morfolojik görüntü işleme yöntemlerini kullanarak otomatik bir ölçüm yöntemi geliştirmeyi amaçlamışlardır. MR görüntülerinden elde edilen omurga görüntülerine önce karar ağacı sınıflandırıcısı uygulanmış, daha sonra da lordotik açının ölçümü morfolojik yöntemlerle sağlanmıştır. Çalışma sonunda %93,2 başarı elde edilmiştir [21]. Derafshpour vd. lastik yüzeyinin yere temas alanının dinamik olarak ölçülmesi için görüntü işleme tekniklerine dayalı bir çalışma yapmışlardır. Oluşturulan deney setinde cam yüzey alanına beyaz bir sıvı dökülmüş ve lastiğin alandan geçişi sürekli kamera ile izlenmiştir. Alınan görüntülere uygun yöntemler uygulandıktan sonra temas bölgeleri ölçülmüştür [22]. Pieniazek, yaptığı çalışmada hava alanındaki işaretçilerin gerçek koordinatlarından faydalanarak uçakların konumlarını ve yavaşma ölçümlerini görüntü işleme teknikleriyle yapmıştır [23]. Fatih çalışmasında, servo motor kontrollü bir sistem ile hareket ettirilen dişli çarkın kamera sistemi kullanarak aldığı görüntüleri kendi geliştirdiği bir yazılım ile boyutsal kontrolünü incelemiştir. Kamera eksenini ve parça ekseninin çakıştırılmamasının yanı sıra çözünürlük imkanlarının kısıtlı olması ve nedeniyle Evolvent hata değerlerini nispeten yüksek değerlerde elde etmişlerdir [24]. Bravo vd. plastik dişli çarkların hasar problemleri üzerine odaklanarak sonlu elemanlar yöntemi ile dişlilerin temas derecesi ve yükler arası dağılımın önemine vurgu yapmışlardır. Ayrıca dişli çarkların davranışını doğru şekilde tahmin eden bir Matlab yazılımı geliştirmişlerdir [25]. Batsch vd. Tek bir hareket çizgisine sahip iç de dış dişli çiftlerinin diş temas analizi için matematiksel model uygulayarak modelin doğruluğunu gerçek anlamda bir deney gerçekleştirilerek teorik ve deneysel ortalama sapma değerini çok düşük bulmuşlardır [26].

Literatür değerlendirmesi sonucunda, görüntü işleme ve dişli çarklar üzerinde çalışmaların olduğu, ancak dişli çarkların görüntü işleme tekniği ile boyutsal analizi üzerine çalışmanın olmadığı görülmektedir. Bu çalışmada, ergiyik yığıma modelleme (EYM) yöntemi ile 3B yazıcıda üretilen Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) esaslı evolvent profilli silindirik dişli çarkların yüzey kalitesi ve boyutsal kontrolü araştırılmıştır. Çizim programından elde edilen katı modelin 2B görünümü kaynak görüntü olarak kullanılmış olup kameralı mikroskop ile çekilen görüntüler toplanarak dişli çarkların farklı katman kalınlıkları için analizi gerçekleştirilmiştir.

## II. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, boyutsal kontrolü incelenen dişli çark numuneleri Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) malzemeden 3B yazıcı kullanılarak üretilmiştir. ABS malzemeler, endüstride ve prototip yapımında mükemmel estetik ve pürüzsüz yüzey gibi özellikler istenildiğinde diğer malzemelere nazaran daha çok tercih edilmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan ABS filament Zortrax firması tarafından üretilen ticari ürün olup 1,75 mm çapındadır Ergiyik yığıma modelleme (EYM) yöntemi ile kullanıma uygun olan bu filamente ait mekanik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** ABS filamentin özellikleri

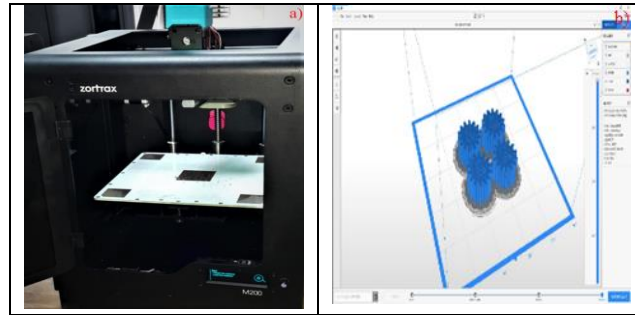
Baskı sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma uzaması (%)	Eğme dayanımı (MPa)	Darbe dayanımı (kJ/m <sup>2</sup> )
107,89	1,195	30,46	25,89	63	8,93

ABS esaslı dişli çark numuneleri Zortrax M200 3B yazıcı kullanılarak üretilmiştir. Dişli çark genişliği 25 mm olup numunelerin 3B yazıcı tablası üzerine yerleşimleri tüm üretim aşamalarında aynı tutulmuştur (Şekil 1). 3B yazıcı, 0.4 mm nozul çapına sahip olup, hassas otomatik hizalama özelliği ile kolay kalibre edilebilir bir cihazdır. Ayrıca, profesyonel 3B yazıcı materyallerine göre maliyet açısından oldukça büyük avantaja (yaklaşık 5'te 1) sahiptir. Bu amaçla, ilgili numune katı modelleri Solidworks yazılımında oluşturularak 3B yazıcı için uygun formata dönüştürülerek üretime hazır hale getirilmiştir.

ABS yöntemi ile imal edilen numunelerin mekanik özellikleri işlem parametrelerinin seçimleriyle ilgilidir. Bu bağlamda, sabit doluluk oranı ve tipi belirlenmiş olup üç farklı katman kalınlığı seçilerek 107,89 °C baskı sıcaklığı kullanılarak dişli çark numuneleri basılmıştır. Deney numuneleri Poligon Mühendislik Ürün Geliştirme ve İmalat Teknolojileri firmasından temin edilmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan tüm işlem parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

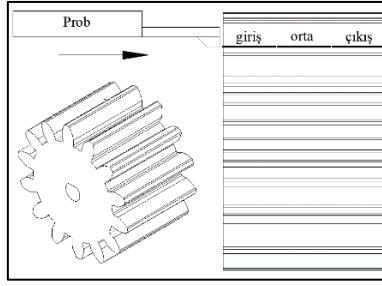
**Tablo 2.** Numune işlem parametreleri

İşlem parametreleri	Değer
Erime sıcaklığı (°C)	107,89
Doluluk oranı (%)	40
Katman kalınlığı (µm)	90, 190, 290
Doluluk tipi	Baklava
Nozul çapı (mm)	0,4
Çalışma sıcaklığı (°C)	26
Duvar kalınlığı (mm)	Min 0,4



**Şekil 1.** a) 3B yazıcı, b) Ürün yerleşimi

Dişli çark numunesinin yüzey pürüzlülük değerleri Mahr marka MarSurf M 300 tipi yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür. Ölçümler, her bir diş profili için aynı mesafeden (giriş, orta ve çıkış) alınarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Ölçüm uzunluğu 5,6 mm alınarak her bir diş profili için üç ölçüm yapılmış ve ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

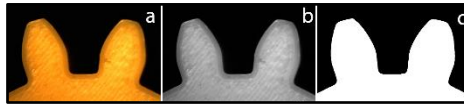


**Şekil 2.** Pürüzlülük ölçümü

Görüntü işleme yöntemiyle yapılan ölçümlerde, 0,67X büyütme kullanılarak kameralı mikroskop (Nikon SMZ 7445T) ile elde edilen dişli çark kesitleri kullanılmıştır. Çekimler yapılırken kamera distorsiyon düzeltmeleri ihmal edilmiştir. Her farklı katman kalınlığı için rasgele çekilen görüntüler toplanarak analize hazırlanmıştır. Dişli çark görüntüleri 2040x1532 boyutlarında ve 24 bit renkli olarak elde edilmiştir. Çizim programından elde edilen katı modelin 2B görünümü ise kaynak görüntüyü oluşturmaktadır. Analizlerin görüntü işleme yöntemiyle yapılabilmesi için C# programlama dili ve Visual Studio 2017 Community platformu tercih edilmiştir.

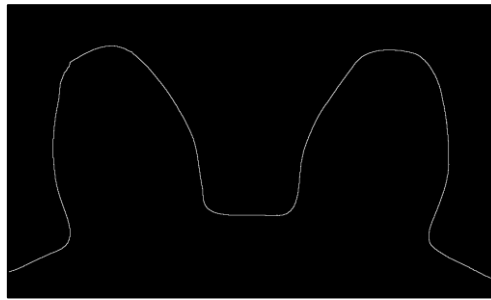
Görüntüler üzerinde yer alan gereksiz alanların temizlenmesi için kırpma işlemi yapılmış ve görüntüler 897x560 çözünürlüğünde olacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Kırpma işlemi sırasında dişli çarkın merkezinde yer alan büyük alanların çıkarılarak çark dişlerine ait görüntünün elde edilmesi amaçlanmıştır. 24 bit olarak alınan renkli görüntüler önce 8 bit gri tonlu görüntülere döndürülmüştür. Daha sonra Eş. 1 kullanılarak eşikleme yapılmış ve 2 bitlik siyah-beyaz görüntülere dönüştürülerek arka plan ve ön plan ortaya çıkarılmıştır (Şekil 3).

$$T' = \begin{cases} 1, T > 60 \\ 0, T \leq 60 \end{cases} \quad (1)$$



**Şekil 3.** a) Mikroskoptan alınan orijinal görüntü, b) griye dönüştürülen görüntü, c) 2 bitlik görüntü

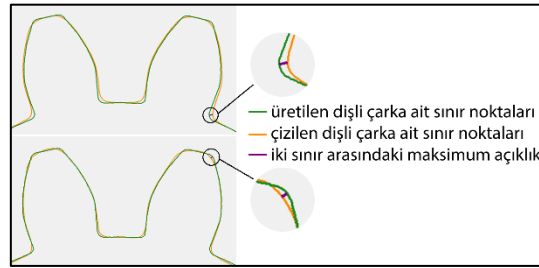
2 bitlik görüntülere erozyon uygulanarak sınırlarından bir piksel yok edilmiştir. Orijinal 2 bitlik görüntülerden erozyona uğratılmış görüntüler çıkarılarak sınırlar bulunmuş ve bu sınırlara ait noktalar (a noktaları) (X, Y) düzleminde elde edilmiştir (Şekil 4).



**Şekil 4.** Sınırları çıkarılmış dişli çark kesiti

Çizim programından elde edilen görüntü üzerinde de aynı işlemler uygulanarak çizilen modele ait sınırlar bulunmuş ve bu sınırlara ait noktalar (b noktaları) (X, Y) düzleminde elde edilmiştir. Daha sonra iki görüntü çakıştırılarak aralarındaki farklar hesaplanmıştır. Üretilen dişli çark ve çizim programından elde edilen dişli çark sınırlarına ait tüm noktalar (X, Y) düzleminde çıkarılarak (her bir a noktasından her bir b noktası çıkarılmıştır) noktalar arasındaki minimum uzaklıklar Eşit. 2'ye göre hesaplanmıştır. Bu uzaklıkların en büyük değeri bulunarak çizim programında elde edilen geometri ile dişli çark numuneleri arasındaki sapmalar ortaya çıkarılmıştır (Şekil 5).

$$uzaklık = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2} \quad (2)$$



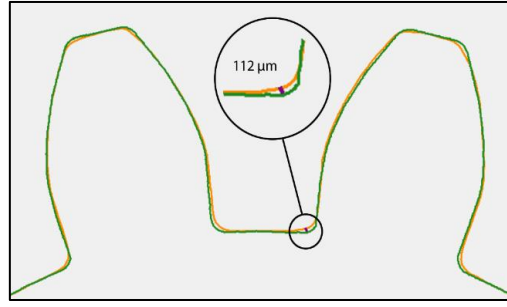
Şekil 5. Sınırlar arasında bulunan maksimum açıklık.

### III. BULGULAR

Yapılan analizler sonucunda 3 farklı üretim hassasiyeti için maksimum açıklık, ortalama açıklık ve medyan açıklık değerleri hesaplanmıştır (Tablo 3). Bu sonuçlar, en düşük boşluk değerinin 90 µm katman kalınlığı ile elde edilen numunelerde elde edildiğini, 290 µm katman kalınlığı kullanılarak üretilen numunelerinde bu değere yakın olduğunu göstermektedir. 190 µm katman kalınlığı için ise en yüksek değerde maksimum açıklık gözlemlenmektedir (Şekil 6). Ölçümler sonucunda ortalama ve medyan açıklık değerlerinin birbirine yakın çıktığı görülmüştür. Bu durum çizim programından elde edilen 2B dişli çark görüntüsü ile 3B yazıcı ile üretilen dişli çarklara ait görüntülerin başarıyla çakıştırıldığı anlamına gelmektedir.

Tablo 3. Boşluk ölçümleri

Örnek	Maksimum açıklık (µ)	Ortalama açıklık (µ)	Medyan açıklık (µ)
290ABS	134	35	33
190 ABS	222	58	50
90ABS	112	30	24
Genel ortalama	156	41	36

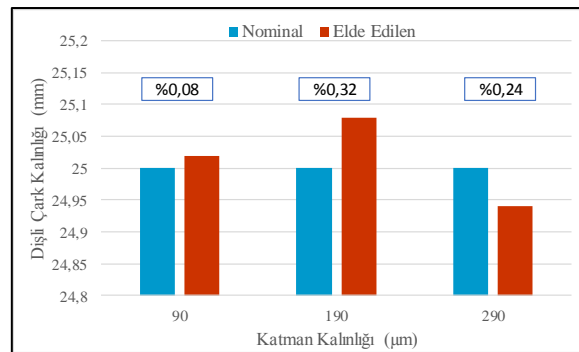


**Şekil 6.** 190 µm numune için maksimum açıklık değeri.

Katman kalınlığının üretim süreci üzerinde önemli derecede etkili olduğu ve Z ekseninde gerçekleşecek olan hassasiyeti etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle 90 µm katman kalınlığında elde edilen numunelerde nominale en yakın değer elde edilmesi beklenen bir durumdur. Ayrıca kullanılan malzeme miktarının düşük olması bu parametre ile gerçekleştirilen üretimin bir diğer avantajı olduğu söylenebilir. Ancak üretim süresi açısından değerlendirildiğinde bu durum dezavantaj olarak görülebilir (Tablo 4). Katman kalınlığının 190 µm olduğu üretim koşulunda en yüksek açıklık değeri elde edilmiş olup bu durumun artan katman kalınlığının Z eksenindeki hassasiyeti ile açıklamak mümkündür. Ayrıca kullanılan malzeme miktarının artması da (Tablo 4) toleransları etkilemektedir. Ancak artan katman kalınlığına bağlı olarak artan açıklık değerlerinin 290 µm katman kalınlığı için aynı olmadığı görülmektedir. Bu durum Tablo 4 de görülen kullanılan malzeme miktarının azalmasıyla ile açıklanabilir. Ayrıca dişli çark numuneleri nominal kalınlık (25mm) açısından incelendiğinde yakınlık değerine bağlı olduğu görülmektedir (Şekil 6). Tablo 3'te elde edilen maksimum açıklık değerlerinin, kullanılan malzeme miktarı (Tablo 4) ve nominal dişli kalınlığı (Şekil 7) ile açıklanması mümkündür.

**Tablo 4.** Numune çıktı parametreleri

Malzeme	Katman Kalınlığı (µm)	Tahmini Üretim Süresi (Saat)	Kullanılan Malzeme	
			(metre)	(gram)
ABS	90	11,23	22,52	54
	190	6,34	25,77	61
	290	4,38	24,44	58



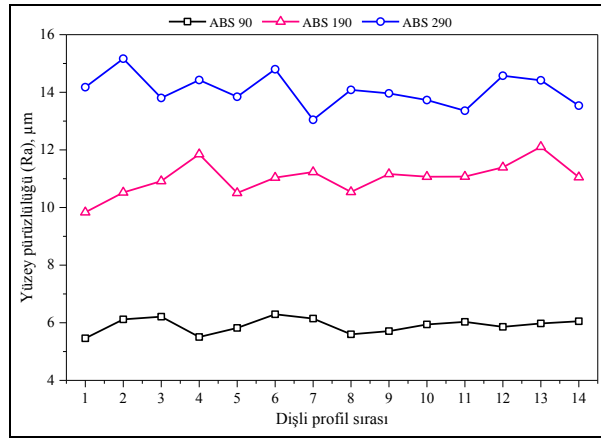
**Şekil 7.** Dişli çark numune kalınlıkları

Üretilen dişli çarklar yüzey pürüzlülüğü (Ra) açısından değerlendirildiğinde (Şekil 8.), en iyi sonuçlar en düşük katman kalınlığında (ABS90) elde edilmiştir (Tablo 5). En yüksek değerler ise ABS 290

katman kalınlığında ölçülmüştür. Katman kalınlığının 90  $\mu\text{m}$ ' dan 190  $\mu\text{m}$ ' a artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinden ortalama %85 oranında artış gözlenmiştir. Bu oran 190  $\mu\text{m}$ ' dan 290  $\mu\text{m}$ ' a olan artışta yaklaşık olarak %28 değerinde elde edilmiştir. Katman kalınlığının düşük ya da yüksek olması merdiven basamağı etkisi sergileyebileceğinden yüzey pürüzlülüğüne doğrudan etki etmektedir. Daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde etmek için düşük katman kalınlığı kullanmak gerektiğini söylemek mümkündür.

**Tablo 5.** Dişli çark numuneleri için Ra değerleri

	ABS 90				ABS 190				ABS 290			
	Giriş	Orta	Çıkış	Ortalama	Giriş	Orta	Çıkış	Ortalama	Giriş	Orta	Çıkış	Ortalama
1	5,263	5,63	5,487	5,46	9,829	9,904	9,765	9,83	13,97	14,34	14,22	14,18
2	5,909	6,208	6,221	6,11	10,17	10,62	10,78	10,52	14,62	15,16	15,69	15,16
3	6,439	6,002	6,201	6,21	10,96	10,59	11,2	10,93	13,76	14,11	13,54	13,80
4	5,106	5,257	6,15	5,50	12,24	11,79	11,51	11,85	14,48	14,22	14,58	14,43
5	5,602	5,651	6,211	5,82	10,68	10,38	10,46	10,51	13,57	13,71	14,25	13,84
6	6,443	5,525	6,914	6,29	11,17	10,59	11,34	11,03	14,92	14,7	14,78	14,80
7	5,61	5,745	7,079	6,14	10,91	11,28	11,49	11,23	12,94	12,98	13,21	13,04
8	5,601	5,65	5,514	5,59	10,95	9,843	10,83	10,54	14,22	13,65	14,38	14,08
9	6,281	5,591	5,261	5,71	11,03	11,17	11,29	11,16	12,97	14,86	14,06	13,96
10	5,69	6,109	6,029	5,94	11,35	10,49	11,37	11,07	13,63	13,2	14,36	13,73
11	6,183	5,903	6,006	6,03	11,14	11,01	11,17	11,11	14,47	13,21	12,4	13,36
12	5,79	5,821	5,962	5,86	11,77	11,18	11,23	11,39	14,27	14,82	14,63	14,57
13	5,99	5,777	6,163	5,98	11,82	11,64	12,83	12,10	15,49	13,68	14,08	14,42
14	5,972	5,894	6,287	6,05	10,91	11,34	10,91	11,05	13,75	13,48	13,38	13,54



**Şekil 8.** Dişli çark numuneleri için Ra değerleri

#### IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ABS malzemedan 3B yazıcı kullanılarak üretilen dişli çark numunelerde, katman kalınlığının evolvent eğrisi üzerindeki etkisi görüntü işleme yöntemiyle incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Evolvent eğrisine bağlı olarak yapılan görüntü işleme yönteminde en düşük tolerans 90  $\mu\text{m}$  katman kalınlığında elde edilmiştir. 90 ve 290  $\mu\text{m}$  katman kalınlığı için açıklık değerleri



birbirine oldukça yakındır. Üretim zamanının maliyetler üzerindeki etkisi düşünüldüğünde 290 µm katman kalınlığı kullanılarak üretim yapılabilir.

- Kullanılan malzeme miktarı açısından en düşük değer 90 µm katman kalınlığı kullanılarak üretilen dişli çarklarda elde edilmiş olup üretim süresine bağlı olarak değerlendirildiğinde ihmal edilebilir.
- Ortalama ve medyan açıklık değerlerinin birbirine yakın olması dişli çarkların ölçümlerinde bu yöntemin düşük maliyetli bir alternatif olarak kullanılabileceğini göstermektedir.
- Baskı hassasiyeti azaldıkça geometrik sapmaların artması beklenirken 290 µm katman kalınlığında bunun yaşanmadığı görülmüştür.
- En iyi yüzey pürüzlülük değeri 90 µm katman kalınlığında elde edilmiştir. Düşük katman kalınlığı kullanılmasının daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmesinde etkili olduğunu söylemek mümkündür.

Öneriler;

Ayrıca, kullanılan görüntü işleme yöntemi dişli çark ölçümlerinde kullanılan ölçüm cihazlarının sonuçları ile kıyaslanabilir ve maliyet açısından da değerlendirme yapılabilir. Metal ve plastik olmak üzere farklı yöntem ve değişkenler kullanılarak üretilen dişli çarklar boyutsal olarak analiz edilebileceği daha sonra yapılacak çalışmalar için önerilmektedir.

## V. KAYNAKLAR

- [1] G. Kayımoğlu, “Sonlu Elemanlar Metodu İle Evolvent Düz Dişli Çarkların Diş Kökü Gerilmelerinin İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [2] S. Senthilvelan, R. Gnanamoorthy, “Wear characteristics of injection-moulded unfilled and glass filled nylon 6 spur gears,” *Journal of Engineering Tribology*, vol. 218, no. 6, pp. 495-502, 2004.
- [3] J.R.C. Dizon, A.H. Espera, Q. Chen, R.C. Advincula, “Mechanical characterization of 3D-printed polymers,” *Additive Manufacturing*, vol. 20, pp. 44–67, 2018.
- [4] Q. Yan, H. Dong, J. Su, J. Han, B. Song, Q. Wei, Y. Shi, “A Review of 3D printing technology for medical applications,” *Engineering*, vol.4, no.5, pp. 729-742, 2018.
- [5] T. Topkaya, “Dental implant destekli protezlerde implant sayısının ve yerleşim şeklinin sonlu elemanlar metoduyla analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Diş Hekimliği Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2013.
- [6] J.Y. Lee, J. An, C.K. Chua, “Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials,” *Applied Materials Today*, vol. 7, pp. 120–133, 2017.
- [7] B.N. Turner, R. Strong, S.A. Gold, “A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. process design and modeling,” *Rapid Prototyping Journal*, vol. 20, no. 3, pp. 192-204, 2014.

- [8] C. Casavola, A. Cazzato, V. Moramarco, C. Pappalettere, "Orthotropic mechanical properties of fused deposition modelling parts described by classical laminate theory," *Materials and Design*, vol. 90, pp. 453–458, 2016.
- [9] B. Rankouhi, S. Javadpour, F. Delfanian, T. Letcher, "Failure analysis and mechanical characterization of 3D printed ABS respect to later thickness and orientation," *Journal of Failure Analysis and Prevention*, vol. 16, no. 3, pp. 467–481, 2016.
- [10] B.M. Tymrak, M. Kreiger, J.M. Pearce, "Mechanical properties of components fabricated with open-source 3D printers under realistic environmental conditions," *Materials and Design*, vol. 58, pp. 242–246, 2014.
- [11] M. Domingo, J.M. Puigriol, A.A. Garcia, J. Lluma, S. Borros, G. Reyes, "Mechanical property characterization and simulation of fused deposition modeling polycarbonate parts," *Materials and Design*, vol. 83, pp. 670–677, 2015.
- [12] A.K. Sood, R.K. Ohdar, S.S. Mahapatra, "Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts," *Materials and Design*, vol. 31, no. 1, pp. 287–295, 2010.
- [13] S. Solak, U. Altınışık, "Detection and classification of hazelnut fruit by using image processing techniques and clustering methods," *Sakarya University Journal of Science*, vol. 22, pp. 56-65, 2018.
- [14] G. Samtaş, M. Gülesin, "Sayısal Görüntü İşleme ve Farklı Alanlardaki Uygulamaları," *Ejovoc, Electronic Journal of Vocational Colleges*, vol. 2, no. 1, pp. 85-97, 2012.
- [15] P.R.G. Kurka, A.A.D. Salazar, "Applications of Image Processing in Robotics and Instrumentation," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 124, no. 1, pp. 142-69, 2019.
- [16] H.M. Shehata, S.M. Yasser, A. Mohamed, H.A. Taher, "Depth Estimation of Steel Cracks Using Laser and Image Processing Techniques," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 57, no. 4, pp. 2713-2718, 2018
- [18] C. Fosala, C. Zet, N. Gafencu, "Distance Measurement for Traffic Safety Applications," 2018 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), Iasi, pp. 1029-1035, 2018.
- [18] N. Wanluk, C. Pintavirooj, T. Treebupachatsakul, "Image Processing for X-ray Calibration Phantom," 2018 11th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON), Chiang Mai, pp. 1-4, 2018.
- [19] S. Sunoj, S.N. Subhashree, S. Dharani, C. Igathinathane, J.G. Franco, R.E. Mallinger, J.R. Prasifka, D. Archer, "Sunflower Floral Dimension Measurements Using Digital Image Processing," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 151, pp. 403-15, 2018.
- [20] J. Wen, S. Qiunan, S. Zhongning, G. Haifeng, "An Improved Image Processing Technique for Determination of Volume and Surface Area of Rising Bubble," *International Journal of Multiphase Flow*, vol. 104, pp. 294-306, 2018.

- [21] I. S. Masad, A. Al-Fahoum, I. Abu-Qasmieh, “Automated measurements of lumbar lordosis in T2-MR images using decision tree classifier and morphological image processing,” *Engineering Science and Technology*, an International Journal, 2019.
- [22] S. Derafshpour, M. Valizadeh, A. Mardani, M. Saray, “A novel system developed based on image processing techniques for dynamical measurement of tire-surface contact area,” *Measurement*, vol.139, pp. 270-276, 2019.
- [23] J. Pieniazek, “Measurement of aircraft approach using airfield image,” *Measurement*, vol.141, pp. 396-406, 2019.
- [24] F. Köse, “Dişli çark hatalarının görüntü işleme yöntemleri ile ölçümü,” Yüksek Lisans Tezi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2005.
- [25] A. Bravo, D. Koffi, L. Toubal, F. Erchiqui, “Life and damage mode modeling applied to plastic gears,” *Engineering Failure Analysis*, vol. 58, pp. 113–133, 2015.
- [26] M. Batsch, T. Markowski, S. Legutko, G.M. Krolczyk, “Measurement and mathematical model of convexo-concave Novikov gear Mesh,” *Measurement*, vol. 125, pp. 516–525, 2018.