

## Farklı Yöntemlerle Elde Edilen Parça Bulut Verilerinden Çıkarılan Modellemelerin Mukayesesi

Kaan BİRO<sup>1</sup>, Muammer NALBANT<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4146-4229

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, ORCID:  
0000-0002-1105-806X

Sorumlu yazar: [nalbant@gazi.edu.tr](mailto:nalbant@gazi.edu.tr)

Geliş tarihi:01.12.2022

Kabul tarihi:14.12.2022

### Özet

Bu çalışmanın amacı, bilgisayar destekli koordinat ölçüm tezgâhlarına (CMM) alternatif bulmak için 3 farklı teknolojiye sahip 3 boyutlu tarama cihazı ölçümleri ile CMM ölçümleri arasındaki farkı araştırmaktır. Çalışma için lazer 3B tarama, beyaz ışık teknoloji ve mavi ışık teknoloji optik 3B tarama cihazları seçilmiştir. Tüm tarama cihazları temassız olarak tarama işlemini gerçekleştirmektedir ancak yüzeyden veri toplama teknolojileri farklılık göstermektedir. Bu farklılığı karşılaştırılması için tasarım verisi mevcut olan menteşe parçasının CMM ve 3 boyutlu tarama cihazları ile boyutsal ve geometrik boyutlandırma toleransı kıyaslaması gerçekleştirildi. Elde edilen verilerle tersine mühendislik uygulaması yapılarak gerçek tasarım arasındaki farklılık karşılaştırılmıştır. 3 boyutlu tarama cihazlarının kullanım kolaylığı, tüm parça üzerinden ölçüm kabiliyeti ve CMM ölçümlerine göre sapma miktarı sunulmuştur. Cihaz tarama kalitesi 2 boyutlu ölçü ve geometrik boyutlandırma toleransı için önemlidir. Tarama cihazları, boyut toleransı ölçümlerinde CMM ölçüm sonucuna daha yakın ölçüm sonuçları bulunmuşken, geometrik boyutlandırma toleransı ölçülerinde daha yüksek ölçüm farklılığı bulunmuştur. Tüm tarama cihazları tersine mühendislik için gerekli verileri sağlamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Lazer Tarayıcı, Optik Tarayıcı, Tersine Mühendislik

### Comparison of Models Extracted From Part Cloud Data Obtained by Different Methods

#### Abstract

The aim of this study is to investigate the difference between 3D scanning device measurements with 3 different technologies and Coordinate Measurement Machine (CMM) measurements in order to find an alternative to CMM. Laser 3D scanning, optical 3D scanning devices with white light technology and blue light technology were selected for the study. All scanning devices perform contactless scanning, but surface data collection technologies differ. In order to compare this difference, a dimensional and geometric dimensioning tolerance comparison of the part with design data was performed with CMM and 3D scanning devices. The difference between the actual design was compared by performing reverse engineering application with the obtained data. The ease of use of 3D scanning devices, the ability to measure over the whole part and the amount of deviation according to CMM measurements are presented. Device scan quality is important for 2D measurement and geometric dimensioning tolerance. While the measurement results were closer to the CMM measurement result in the 2-dimensional measurements of the scanning devices, a higher measurement difference was found in the geometric dimensioning tolerance measurements. Provides useful information for manufacturing engineers dealing with 3D part measurements. It helps to select the appropriate device for 3D measurement control and remodeling of the parts.

**Keywords:** Laser Scanner, Optical Scanner, Reverse Engineering

## 1. GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte üretim sektörü gün geçtikçe kendini yenilemektedir. Üretilen parçalar karmaşıklaşmakta ve kullanımına göre kritik görev almaktadır. Bağlantı elemanları kullanılarak birden fazla parçanın birleşimi ile yapılan işleri, ileri teknoloji üretim şekilleriyle tek parça üzerinde birleştirilmesine olanak vermektedir. Bu da maliyet ve zaman bakımından tasarruf edilmesini sağlamaktadır. Ancak teknolojinin bu şekilde ilerlemesi ve karmaşık geometrik tasarımların üretilmesi, geleneksel ölçüm aletleri ile kontrolünü zorlaştırmaktadır. Kontrolün sağlanması için yeni ölçüm aletleri ve cihazlara gereksinim duyulmaktadır.

Geometrik toleransların daha aktif şekilde kullanılması, istenilen hassasiyetin artması ve yüzey formları gibi nedenlerle ölçüm gereksinimleri koordinat ölçüm tezgâhları ve 3B tarama cihazlarının kullanımını yaygınlaştırmıştır. Koordinat ölçüm tezgâhları (CMM), uzun süredir sanayide kullanılmakta olup kendini kanıtlamış bir teknolojidir. 3B tarama cihazları nispeten daha yeni bir teknolojidir. Ancak zaman geçtikçe veri hassasiyeti ve tüm parça kontrol özelliği sayesinde koordinat ölçüm tezgâhlarına alternatif oluşturmaktadır.

CMM, 3B tarama cihazı vb. ölçüm cihazları kullanılarak birçok ölçüm ve karşılaştırma çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalarda ölçüm farklılıkları ve modelleme konuları ele alınmıştır. Lazarević ve diğer araştırmacılar (2019) 3B optik tarama cihazları kullanarak boyutsal ve geometrik doğruluklarını karşılaştırdı. CMM ölçümlerini referans olarak tarayıcılar arasındaki ölçüm farklılıkları belirtilmiştir [1]. Tóth ve Živčák (2014) kendi tasarladıkları parçanın lazer ve mavi ışık teknolojili optik 3B tarayıcılar ile ölçüm işlemini gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri ölçüm verilerini kullanarak tasarım ile kıyaslamışlardır ve ölçüm farklılıklarını sunmuşlardır [2]. Iuliano ve Minetola (2005) tasarımı mevcut olmayan bir heykelin lazer ve optik 3B tarama cihazı kullanarak tarama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri nokta bulutlarını kullanarak modellerini oluşturmuşlardır. Modellerine göre heykellerin kopyalarını üretmişlerdir [3]. Mahboubkha ve diğer araştırmacılar (2018) bir türbin kanadının CMM ve lazer 3B tarama cihazları kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Hazırladıkları modelle göre taramaların ve ölçümlerin kesit geometrisindeki ölçüm farklılıklarını sunmuşlardır [4]. Haleem ve diğer araştırmacılar (2021) 3B optik tarayıcı kullanarak bir karbüratörü çalışmalarını kullanmıştır. Bilgisayar ortamına taşıdıkları bu nokta bulutundan yardım olarak karbüratörün modelini oluşturmuşlardır [5]. Fourie ve diğer araştırmacılar (2011) çalışmalarında antropometri çalışmaları için kadavra kafasını 3 farklı 3B tarama cihazı ile tarama işlemi gerçekleştirmiştir. Normal şartlarda kumpas kullanılarak ölçüm alınmaktadır. Yaptıkları çalışmada kumpas ölçümlerine göre kıyaslamışlardır ve ölçümlerin hepsi kabul edilebilir ölçüde sonuçlanmıştır. Temassız ölçüm cihazlarının parça yüzeyinin dokusundan etkilenmediğine vurgu yapılmıştır [6]. Hruby ve diğer araştırmacılar (2019) mevcut kontrollü optik segment üzerindeki dış açısının CMM, optik 3B tarayıcı ve mikroskop kullanarak ölçümü sağlanmıştır. Dış üzerindeki açılar 3 farklı cihaz ile karşılaştırılmıştır [7]. Elizondo ve Reinert (2019) çalışmalarında eski bir uçak kanadı tutucusunun tasarım verisini ulaştırmışlardır. Optik 3B tarama cihazı kullanılarak parça taraması gerçekleştirilmiştir. Elde ettikleri nokta bulutu ile modelleme işlemi gerçekleştirmişlerdir ve tasarım verisini elde etmişlerdir [8]. Wi ve diğer araştırmacılar (2020) hazırladıkları çalışmada 3B kil yazıcı ile ürettikleri ürünü 3B optik tarama cihazı kullanarak kontrolünü sağlamışlardır. Tasarım ile ürün arasındaki farkı tarama verisine göre kıyaslamışlardır [9]. Bağcı (2009) çalışmasında kırılmış ve yıpranmış parçaların tersine mühendislik ile tasarım verilerini elde etmeyi ve tekrardan üretmeyi sağlamıştır. Çalışmasında 3 farklı olayı incelemiştir. CMM ölçülerinden aldığı nokta bulutlarıyla modelleme esnasında yüzeye müdahale ederek tasarım verisine ulaşmıştır [10].

Bu çalışmanın amacı, CMM ölçüm raporuna göre onay alan parçanın, Koordinat Ölçme Tezğâhına (CMM) alternatif olabilecek 3B tarama cihazlarını tespit etmektir. Bu amaçla lazer, beyaz optik teknolojili ve mavi optik teknolojili 3B tarama cihazları kullanılarak tarama ve ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. 3B tarama cihazlarının ölçüm performanslarını kıyaslayabilmek için CMM ölçümleri referans ölçüm olarak kabul edilmiş ve kalite kontrol değerlendirilmesi, bu ölçümler üzerinden yapılmıştır. 3B tarama cihazları tüm parça üzerinden kontrol yapılmasına imkân sağladığından tarama verileri ile tasarım karşılaştırılarak parça renk haritası oluşturulmuştur. 3B tarama cihazlarının tersine mühendislik performansını görmek için taramalardan elde edilen veri kullanılarak model tekrar oluşturulmuş ve tasarım ile kıyaslaması yapılmıştır. Şekil 1'de 3 boyutlu tarama işlemi ve sonrasındaki süreçler gösterilmiştir.



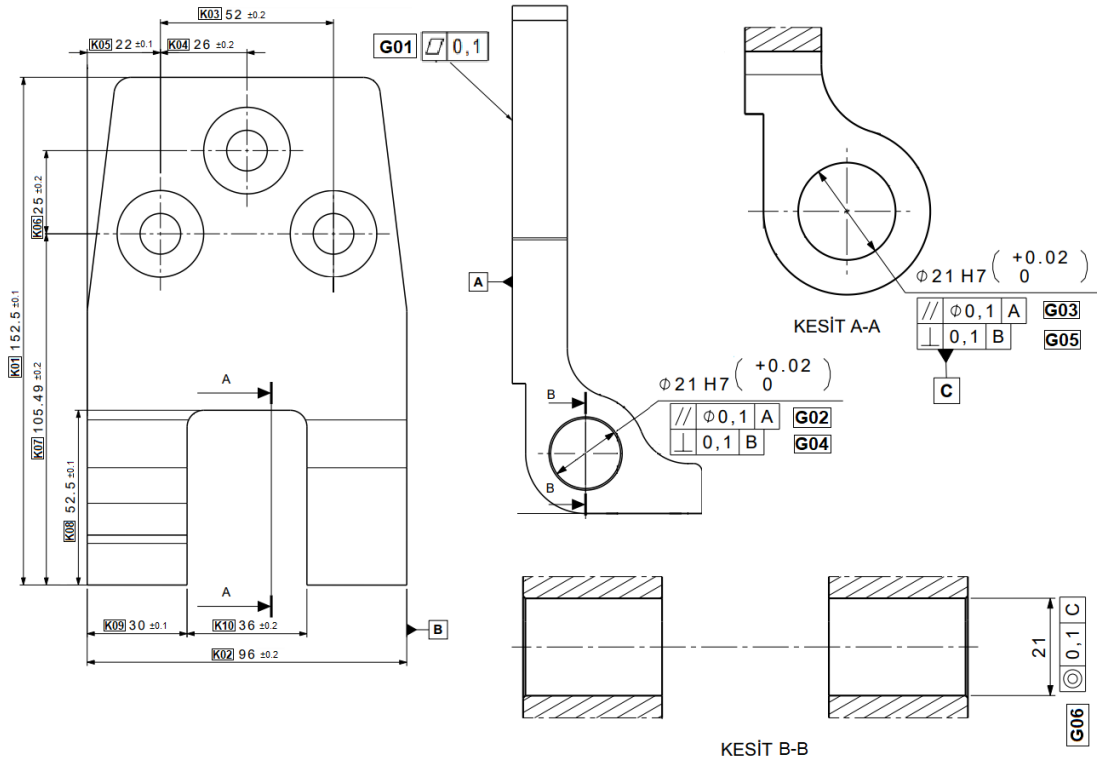
Şekil 1. Tarama işlemi ile kalite kontrol ve tersine mühendislik süreçleri [11]

## 2. MATERYAL VE METOD

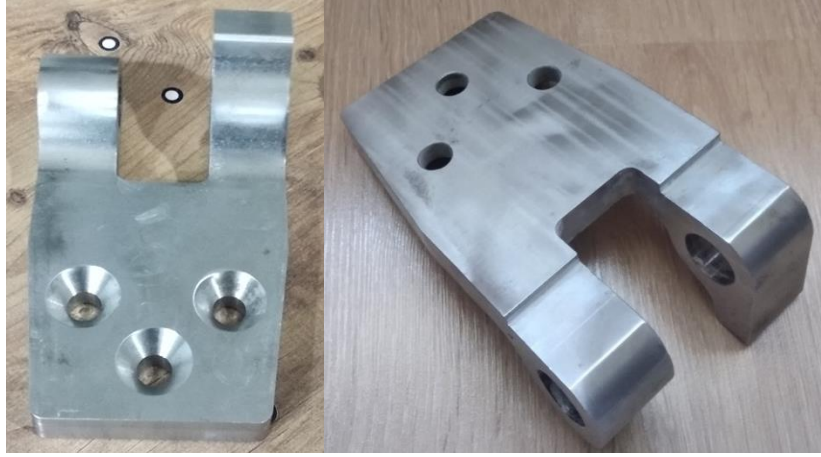
Deneyde, CMM ölçüm raporuna göre doğruluğu onaylanan bir parçanın lazer, beyaz ışık teknolojili optik ve mavi ışık teknolojili optik 3B tarama cihazlarıyla tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. 3B tarama verileri üzerinden ölçüm almak için GOM Inspect programı kullanılmıştır. Program içerisine tasarım verisi eklenmiş ve ölçüm toleransları işlenmiştir. Taramalar Şekil 2’de belirtilen ölçülere göre raporlanmıştır. Elde edilen ölçümler CMM raporuna göre farkları incelenmiştir. Ayrıca bu ürünün tasarım verisi elinde olmayan biri tarafından tekrardan üretilmesi durumu için, 3 tarama verisi kullanılmış ve tekrardan model oluşturulup ana tasarım ile kıyaslanmıştır.

### 2.1. Malzeme ve Teçhizatlar

Deney için kullanılan parça, zırlı personel taşıyıcı kapı kilit mekanizmasına ait menteşe parçası kullanılmıştır. ST 52-3N çelik malzeme bloğundan tüm yüzeyleri işlenerek üretilmiştir. Parçanın teknik resmi Şekil 2’de, imalat sonrasında ait görseller ise Şekil 3’te sunulmuştur.



Şekil 2. Menteşe parçası teknik resmi



Şekil 3. Mentеше parçası imalat sonrası resmi

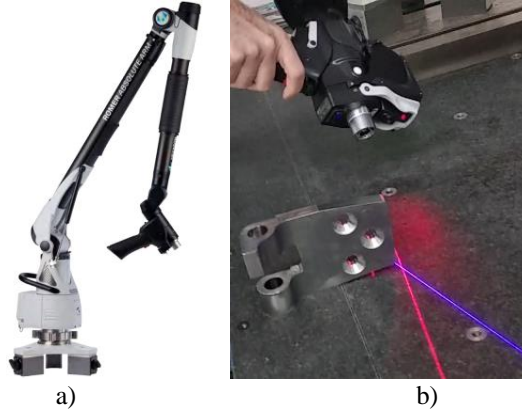
Menteşe parçası teknik resminde belirtildiği gibi boyutsal ölçüm ve geometrik boyutlandırma toleransı ölçüleri mevcuttur. Bu sayede parça üzerinde boyutsal ve 3 boyutlu ölçümler yapılmasına olanak vermektedir. Parçanın tüm yüzeylerinin işlenmiş olması sayesinde cihazların talaşlı imalat sanayindeki ölçüm hazırlık aşaması gözlemlenmesi hedeflenmektedir.

CMM ölçümleri Hexagon DEA 092008 Global Classic ile yapılmıştır (Şekil 4). Tezgah ölçüm aralığı 900 mm x 2000 mm ve yükseklik 800 mm kadar izin vermektedir. Ölçüm probunu parça üzerine dokundurarak ölçüm alınmasını sağlamaktadır. Ayrıca tasarım verisi eklenerek ölçüm alınmasına izin vermektedir.



Şekil 4. Hexagon DEA 092008 Global Classic CMM [12]

Lazer tarama işleminde Hexagon RS5 lazer tarayıcı ve tarama kolu olarak Hexagon Absolute Arm 85 kullanılmıştır (Şekil 5). Ortalama lazer tarama çizgisi genişliği 115 mm'dir. Tarama çizgisi parça üzerinde hareket ettirilerek eş zamanlı olarak tarama gerçekleştirilir. Eş zamanlı çalışması sayesinde tarama sırasında bekleme yapmadan anlık olarak tarama verisi oluşturulmasına olanak sağlar.



Şekil 5. a) Hexagon RS5 lazer tarayıcı [13] b) Lazer B tarama işlemi

Beyaz ışık optik 3B tarama işlemi için Breuckmann Smartscan 3D HE kullanılmıştır (Şekil 6). Projeksiyon cihazından beyaz ışık kullanıldığından dış ortam ışıkları ve parça yüzey parlaklığı tarama kalitesini etkilemektedir. Cihaz ölçüm alanı tek çekim de aldığı tarama alanı temsil etmektedir. Kamera mercekları değiştirilerek cihaz ölçüm alanı ayarlanmaktadır. 30 mm ile 1500 mm arasında ölçüm alınabilmektedir. Taranacak parçaya göre ölçüm alanı seçilmektedir. Beyaz ışığın en büyük artısı taramaların renkli çıktı olarak alınmasına olanak sağlamasıdır. 3B tarama cihazları birçok farklı sektör ve işlevde kullanıldığından renkli tarama çıktıları analizlerde ve ürün tanımlarında aktif olarak kullanılmaktadır.



Şekil 6. Breuckmann Smartscan 3D HE beyaz ışık teknoloji 3B tarama işlemi

Mavi ışık optik 3B tarama işleminde Atos Compact Scan 12MP kullanılmıştır (Şekil 7). Mavi ışık teknolojisi sayesinde dış ortam ışıklarından çok daha az etkilenmektedir. Cihaz ölçüm alanı alınan tek çekimde tarayabileceği alanı temsil etmektedir. Kamera mercekları değiştirilerek cihaz ölçüm alanı ayarlanmaktadır. 45 mm x 35 mm dikdörtgen ile 1200 mm x 1000 mm dikdörtgen arasından mercekları değiştirilerek ölçüm alanı değiştirilebilir. Taranacak parçaya göre kullanılacak ölçüm alanı seçilir. Tarama alanı arttıkça ölçüm sapması artmaktadır.



Şekil  
Scan  
mavi

teknolojili optik 3B tarama işlemi

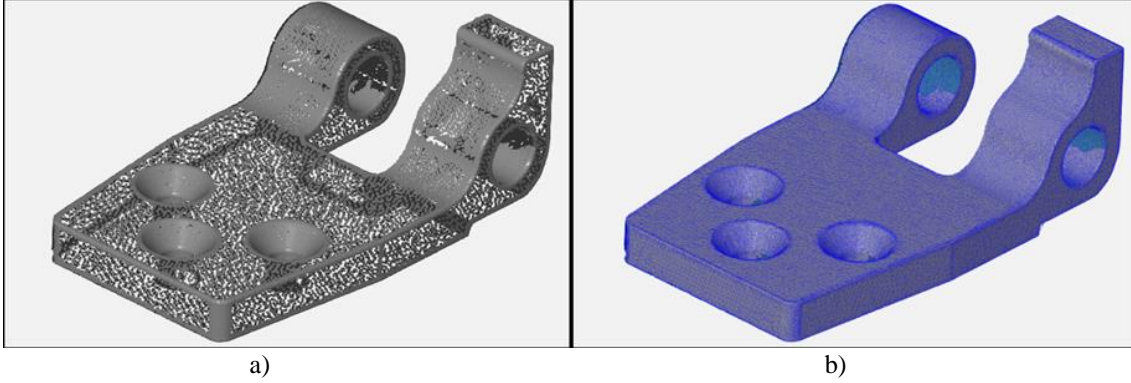
7. Atos  
Compact  
12MP  
ışık

Tarama cihazı hareketli stantta monte edilerek cihazın hareket etmesi sağlanır. Genellikle küçük parçalarda

cihaz sabitlenir ve parça döndürülerek tarama işlemi gerçekleştirilir. Ancak büyük parçalarda bu mümkün olmadığından cihaz hareket ettirilir. Stant kullanılarak yukarı aşağı, kol hareketi sayesinde ileri geri hareket sağlanır. Cihazlarda tarama işlemini gerçekleştirebilmek için merceğe göre farklı mesafeden ölçüm alınması gerekmektedir. Cihazların parça yüzeyine olan mesafeyi ayarlayabilmek için stantlar kullanılmaktadır.

## 2.2. 3B Tarama İşlemi

Lazer tarama işleminde, menteşe parçası işlenmiş parlak yüzeylerden oluşmasından dolayı deneme taramaları alınmıştır. Deneme taramalarında parlak yüzeylerde tarama yapılabilmesine rağmen ölçüm kontrolü için yüzey kalitesi düşük olmuştur. Deney çalışmasında yüzey parlaklığını engelleyecek kadar beyaz çatlak tespit spreyi ile yüzeysel kaplanmıştır. Parçanın ön ve arka yüzeylerini birleştirilmiş şekilde taranması için referans noktası kullanılmamıştır. Lazer tarama işleminde elde edilen nokta bulutu ve mesh yapı Şekil 8'de sunulmuştur.



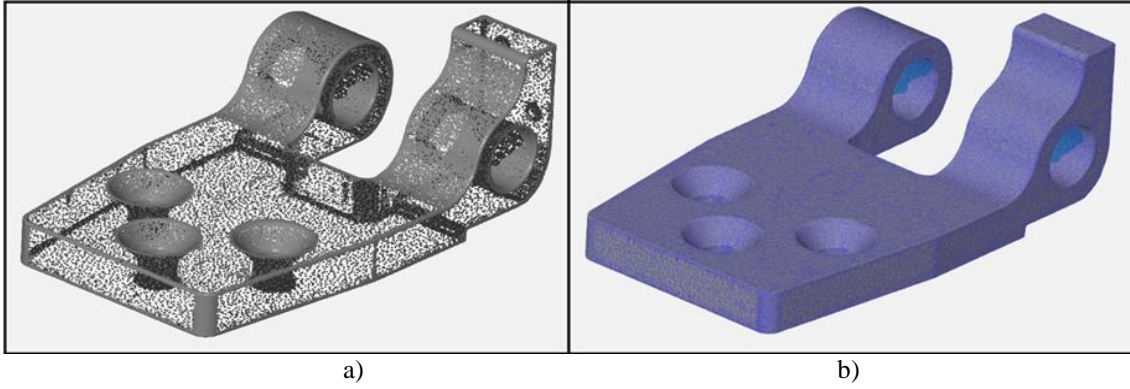
Şekil 8. a) Lazer 3B tarama verisi nokta bulutu görseli b) Lazer 3B tarama verisi mesh yapı görseli

Lazer 3B tarayıcılar, tarama yaparken gerçek zamanlı çalıştığından dolayı tarama işlemi 10 dakika sürmüştür. Tarama verisi 7,8 mb (.stl dosyası) ve 81 928 noktadan oluşmaktadır.

Beyaz ve mavi ışık teknolojili optik 3B tarama işleminde, menteşe parçası işlenmiş yüzeylerden oluştuğu için parlama yapmıştır. Alınan deneme taramalarında yüzey kalitesi kötü olduğundan deney taramasında matlık sağlayacak kadar beyaz çatlak tespit spreyi yüzeysel uygulanmıştır. Ön ve arka yüzeylerin birleştirilmiş tarama verisini alabilmek için parça üzerine referans noktaları yerleştirilmiştir.

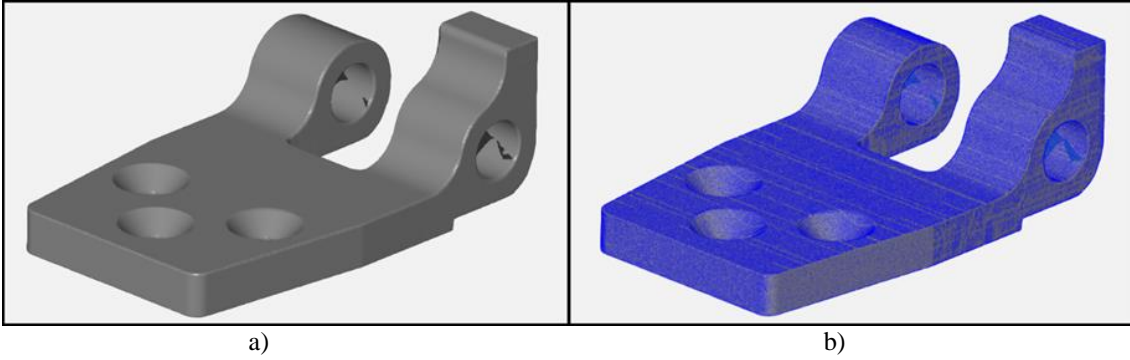
Optik 3B tarayıcılar, çekimler sırasında parça ve cihaz hareket ettirilmeden tarama işlemini gerçekleştirmektedir. Her çekimden sonra cihaz bilgisayara verileri yollamaktadır ve verilerin işlenmesi beklenmektedir. Bu sebepten dolayı duraklayarak tarama yapılmasına izin verir.

Beyaz ışık teknolojili optik 3B tarayıcı ile tarama işlemi 20 dakika sürmüştür. Alınan tarama verisi 15,4 mb (.stl) ve 157 756 noktadan oluşmaktadır. Beyaz ışık teknolojili optik tarama verisine ait nokta bulutu ve mesh yapı Şekil 9'da sunulmuştur.



**Şekil 9.** a) Beyaz ışık teknolojili 3B optik tarama verisi nokta bulutu görseli b) Beyaz ışık teknolojili 3B optik tarama verisi mesh yapısı görseli

Mavi ışık teknolojili 3B tarama işlemi 15 dakika sürmüştür. Alınan tarama verisi 113,7 mb (.stl) ve 1 164 695 noktadan oluşmaktadır. Mavi ışık teknolojili optik tarama verisine ait nokta bulutu ve mesh yapısı Şekil 10'da sunulmuştur.

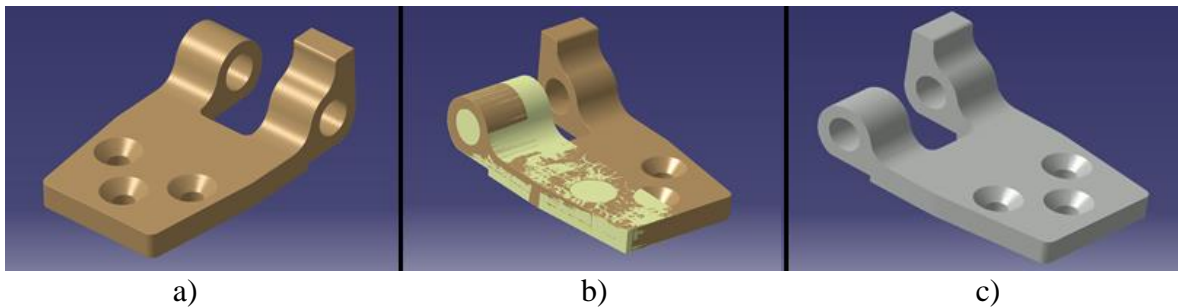


**Şekil 10.** a) Mavi ışık teknolojili 3B optik tarama verisi nokta bulutu görseli b) Mavi ışık teknolojili 3B optik tarama verisi mesh yapısı görseli

### 2.3. Modelleme İşlemi

Alınan tarama verilerinde yüzey örme işlemleri için tek tip modelleme yolu izlenmiştir. Tüm taramalar bu yola göre modelleri hazırlanmıştır. Modelleme işlemi için CATIA v5 yazılımı kullanılmıştır.

Tarama sırasında nokta bulutları uzay ortamında rasgele bir konumdan eksen atıldığından dolayı modelleme işlemine başlanmadan önce taramalar aynı eksen takımı üzerine yerleştirilmiştir. Mentese parçası üzerindeki eğimli yüzeylerden veri kaybı yaşamamak için bölgesel olarak çalışılmıştır. İşlem adımları ve referans yüzeyler sabit tutularak yüzey örme işlemi gerçekleştirilmiş ve katı modelleri oluşturulmuştur. Eksen takımına yerleştirilmiş tarama verisi, tarama verisinde yüzey örme işlemi ve elde edilen katı model Şekil 11'de gösterilmiştir.

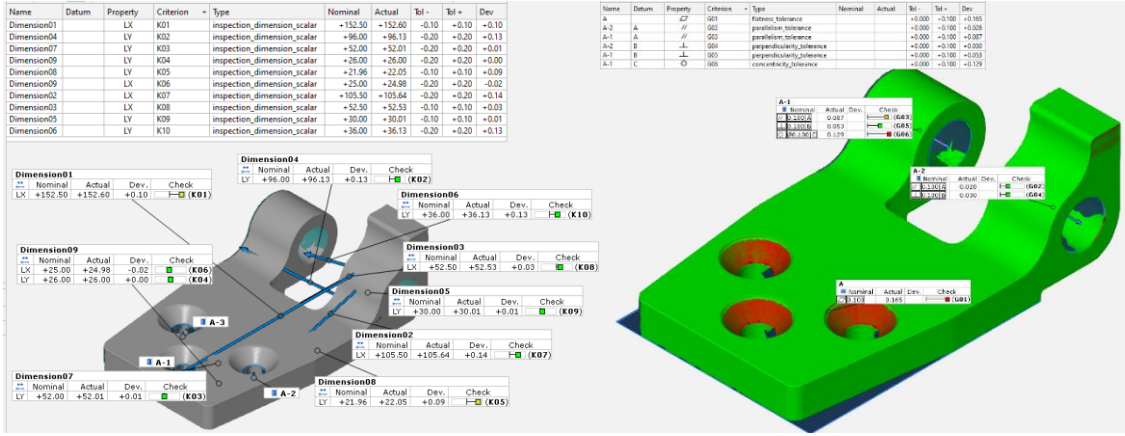


**Şekil 11.** a) Eksen takımına yerleştirilmiş tarama verisi b) Tarama verisinden yüzey örme işlemi c) Tarama verisinden elde edilen katı model

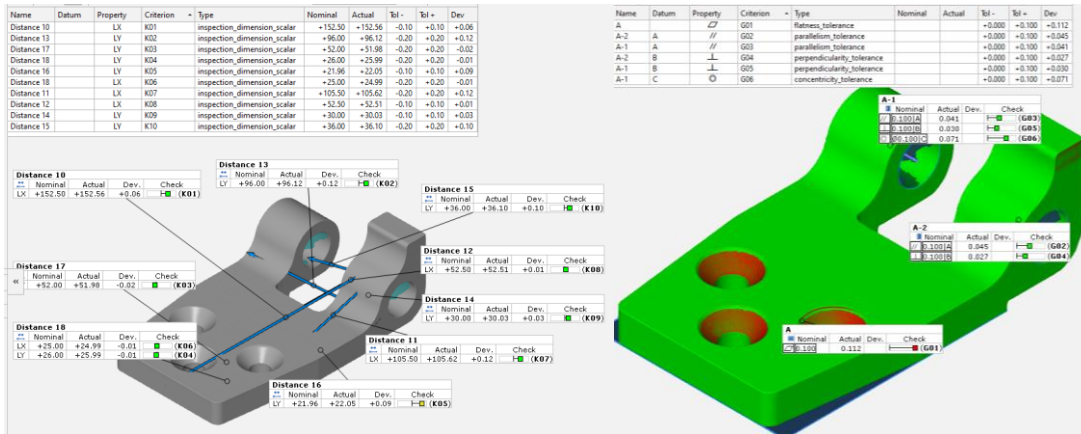
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Elde Edilen Deneysel Verilere Göre Kalite Kontrol Çalışması

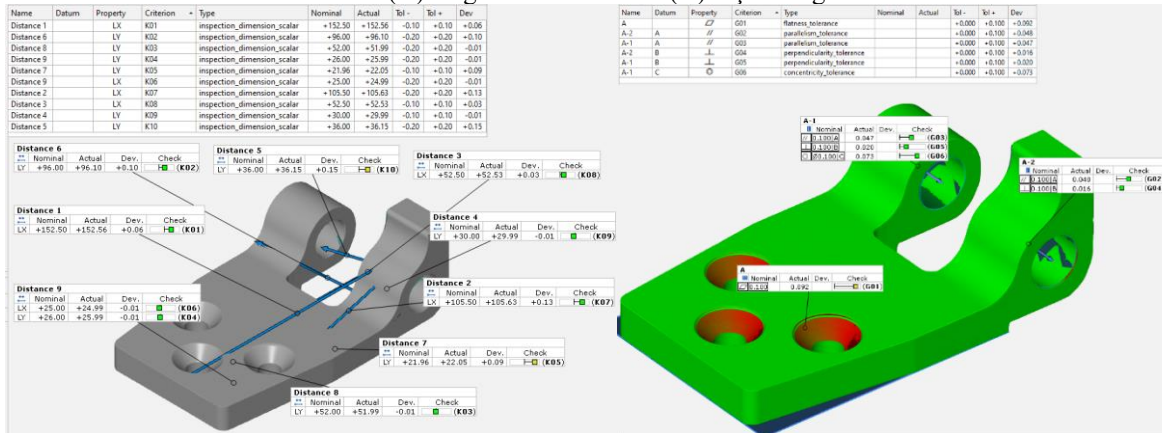
Teknik resimde belirtilen boyut toleransı (K), geometrik tolerans (G) ve geçme toleransı değerlerine göre taramalardan ölçümler alınmıştır. Tarama verilerinden alınan ölçüm değerleri ve tasarım verisine göre karşılaştırılması gösterilmiştir (Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14).



Şekil 12. Hexagon RS5 lazer 3B tarama verilerinden elde edilen boyut toleransı (K) ve geometrik tolerans (G) ölçüm değerleri



Şekil 13. Breuckmann Smartscan 3D HE beyaz ışık teknolojili optik 3B tarama verilerinden elde edilen boyut toleransı (K) ve geometrik tolerans (G) ölçüm değerleri



Şekil 14. Atos Compact Scan 12MP mavi ışık teknolojili optik 3B tarama verilerinden elde edilen boyut toleransı (K) ve geometrik tolerans (G) ölçüm değerleri

CMM ve 3B tarama cihazları boyut toleransı ölçümleri (K) Tablo 1'de, geometrik boyut toleransı (G) Tablo 2'de sunulmuştur.



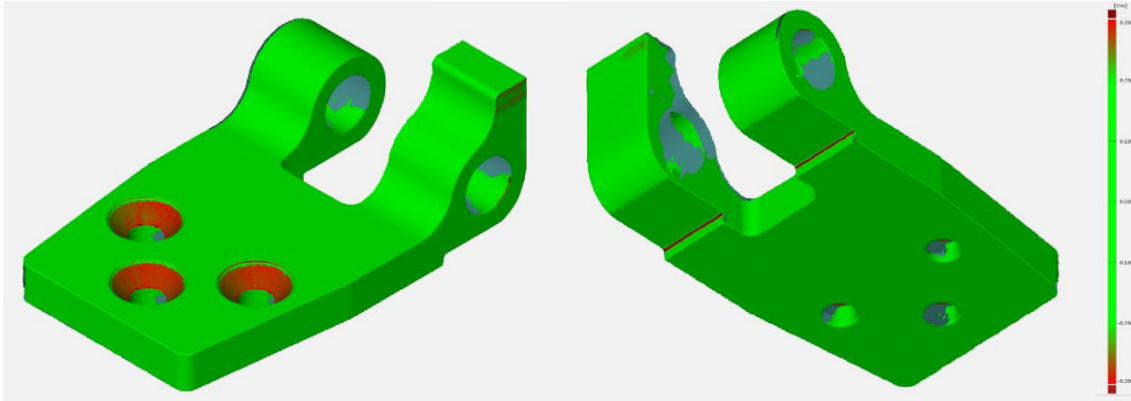
**Tablo 1.** Ölçüm cihazlarından alınan boyut toleransı (K) ölçüm değerleri

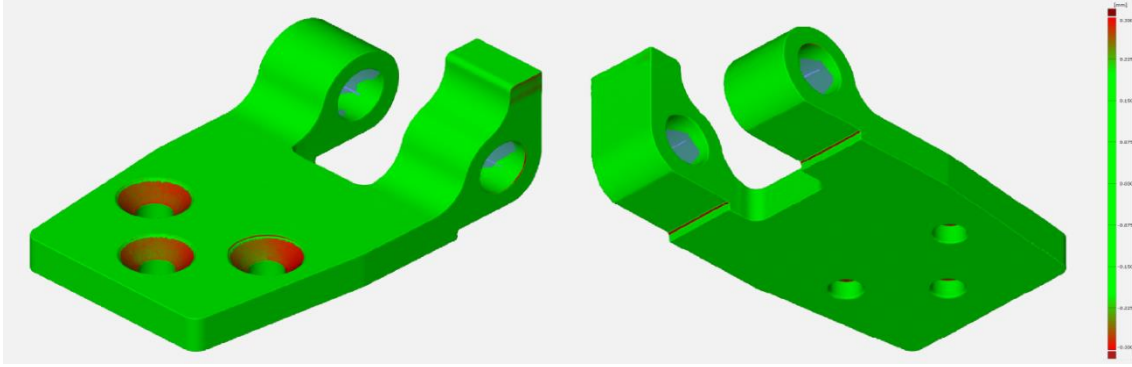
	K01 (mm)	K02 (mm)	K03 (mm)	K04 (mm)	K05 (mm)	K06 (mm)	K07 (mm)	K08 (mm)	K09 (mm)	K10 (mm)
Tasarım Kontrol Ölçüsü	152,50 ±0,1	96,00 ±0,2	52,00 ±0,2	26,00 ±0,2	22,00 ±0,1	25,00 ±0,2	105,49 ±0,2	52,50 ±0,1	30,00 ±0,1	36,00 ±0,2
CMM Hexagon DEA 092008	152,59	96,10	52,02	26,03	22,01	25,05	105,60	52,51	30,01	36,10
Hexagon RS5	152,60	96,13	52,01	26,00	22,05	24,98	105,64	52,53	30,01	36,13
Breuckmann Smartscan 3D	152,56	96,12	51,98	25,99	22,05	24,99	105,62	52,51	30,03	36,10
Atos Compact Scan	152,56	96,10	51,99	25,99	22,05	24,99	105,63	52,53	29,99	36,15

**Tablo 2.** Ölçüm cihazlarından alınan geometrik boyutlandırma toleransı (G) ölçüm değerleri

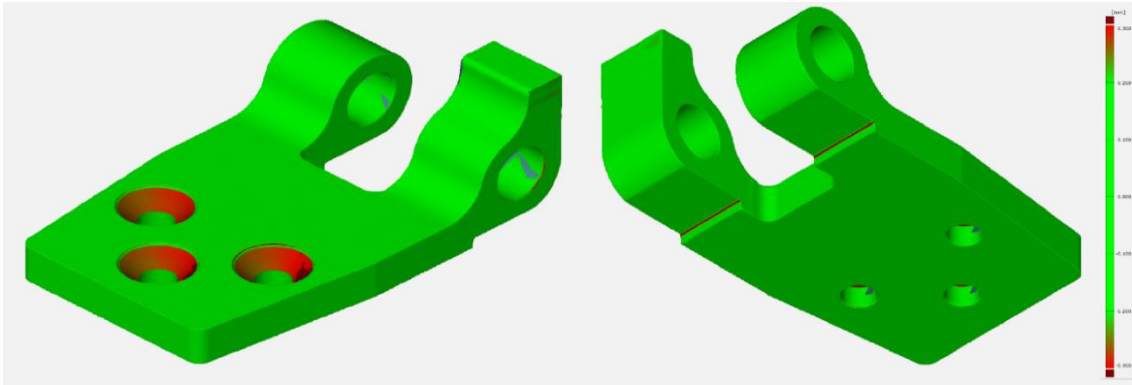
	G01 (mm) □	G02 (mm) //	G03 (mm) //	G04 (mm) ⊥	G05 (mm) ⊥	G06 (mm) ◎
Tasarım Kontrol Ölçüsü	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
CMM Hexagon DEA 092008	0,095	0,011	0,016	0,044	0,041	0,032
Hexagon RS5	0,165	0,028	0,087	0,030	0,053	0,129
Breuckmann Smartscan 3D HE	0,112	0,045	0,041	0,027	0,030	0,071
Atos Compact Scan	0,092	0,048	0,047	0,016	0,020	0,073

Elde edilen nokta bulutları, gerçek tasarım verisine göre karşılaştırılmıştır. Bu sayede parçanın tüm yüzeylerinin ölçüm farklılığı renk haritası olarak elde edilmiştir (Şekil 15, Şekil 16, Şekil 17).

**Şekil 15.** 3B tasarım ile lazer taramanın karşılaştırılması sonucu elde edilen renk haritası



Şekil 16. 3B tasarım ile beyaz ışık teknolojiyi optik tarayıcı taramasının karşılaştırılması sonucu elde edilen renk haritası



Şekil 17. 3B tasarım ile mavi ışık teknolojiyi optik tarayıcı taramasının karşılaştırılması sonucu elde edilen renk haritası

CMM ölçümleri mutlak doğru kabul edilmiştir ve Tablo 3 ve Tablo 4’de CMM ölçümlerine göre 3B tarama cihazları arasındaki ölçüm farkları belirtilmiştir.

**Tablo 3.** CMM ölçümlerine göre 3B tarama ölçümlerinin boyut toleransı (K) ölçüm farkları

	$\Delta K01$ (mm)	$\Delta K02$ (mm)	$\Delta K03$ (mm)	$\Delta K04$ (mm)	$\Delta K05$ (mm)	$\Delta K06$ (mm)	$\Delta K07$ (mm)	$\Delta K08$ (mm)	$\Delta K09$ (mm)	$\Delta K10$ (mm)	Onay Sayısı	Red Sayısı
Hexagon RS5	0,010	0,030	-0,010	-0,030	0,040	-0,070	0,040	0,020	0,000	0,030	10	0
Breuckmann Smartsan 3D	-0,030	0,020	-0,040	-0,040	0,040	-0,060	0,020	0,000	0,020	0,000	10	0
Atos Compact Scan	-0,030	0,000	-0,030	-0,040	0,040	-0,060	0,030	0,020	-0,020	0,050	10	0

**Tablo 4.** CMM ölçümlerine göre 3B tarama ölçümlerinin geometrik tolerans (G) ölçüm farkları

	G01 (mm) □	G02 (mm) //	G03 (mm) //	G04 (mm) ⊥	G05 (mm) ⊥	G06 (mm) ◎	Onay Sayısı	Red Sayısı
Hexagon RS5	0,070	0,017	0,071	-0,014	0,012	0,097	4	2
Breuckmann Smartsan 3D HE	0,017	0,034	0,025	-0,017	-0,011	0,039	5	1
Atos Compact Scan	-0,003	0,037	0,031	-0,028	-0,021	0,041	6	0

Boyut toleransları farklılıkları Tablo 3’e göre incelendiğinde CMM ile 3B tarama cihazları ölçümleri arasında -0,070 ile 0,050 mm’lik ölçüm farklılığı bulunmaktadır.

Geometrik toleranslar arasındaki farklılık, Tablo 4’de incelenmiştir. CMM ile 3B tarama cihazları ölçümleri arasında -0,028 ile 0,097’lik ölçüm farklılığı bulunduğu görülmüştür.

Parça kontrollü, CMM ölçümleri yerine 3B tarama ölçümlerine ile yapıldığında; Hexagon RS5 lazer 3B tarama ölçümleri incelendiğinde, düzlemsellik ve eş merkezlik değerleri tolerans dışı kalmıştır. Breuckmann Smartsan 3D HE beyaz ışık teknolojili 3B tarama ölçümleri incelendiğinde, düzlemsellik değerleri tolerans dışı kalmıştır. Atos Compact Scan mavi ışık teknolojili 3B tarama ölçümleri incelendiğinde, boyut ve geometrik tolerans değerleri, tolerans sınırları içerisindedir.

Aradaki fark, kontrol edildiğinde lazer 3B tarama cihazı ve beyaz ışık teknolojili 3B tarama cihazında boyut toleransı (K) ölçümleri, model parçanın tolerans değerleri içerisindedir ancak geometrik boyutlandırma toleransından dolayı parçanın onay alamayacağı sonucu çıkmaktadır. Mavi ışık teknolojili 3B optik tarama sonuçları K ölçümleri ve geometrik boyutlandırma toleransında tasarıma göre tolerans içinde kaldığından parça üretim onayı alabileceği sonucu çıkmaktadır.

CMM cihazları operatörün belirlediği belli kesit veya kesitlerden alınan noktalara göre raporlanmaktadır. 3B tarama cihazları ilgili yüzeyin tümünde işlem yapmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ve tarama kalitesi bu değerlerin farklılığına sebep olmaktadır.

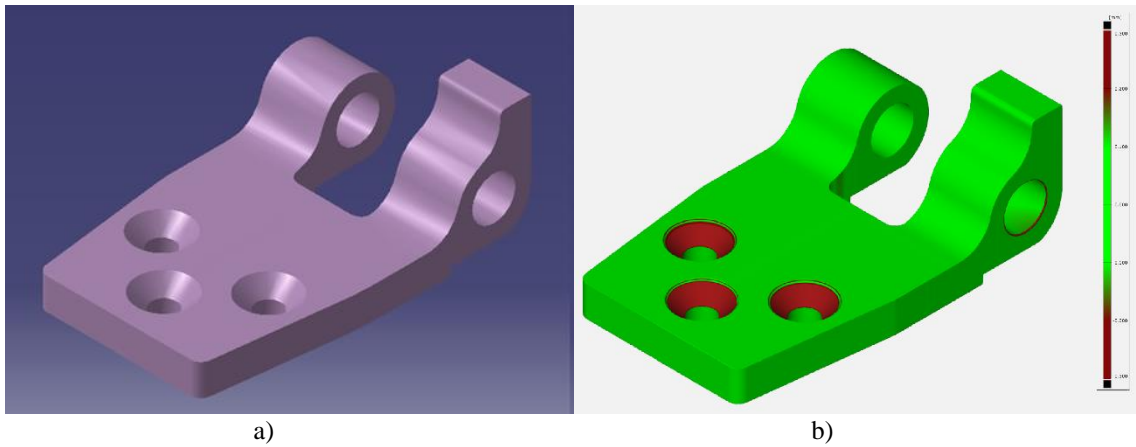
Geçme toleransı kontrolünde tüm cihazlar CMM ölçümüne yakın değerler elde etmiştir ve menteşe parçası onayı için kabul edilebilir değerler bulunmuştur. Tablo 5’de CMM ve taramaların ölçüm sonuçları sunulmuştur. Ancak tarama cihazları kamera verilerine göre işlem yaptığından delik derinliği arttıkça tarama kalitesi azalmakta ve ölçüm sapmaları meydana gelmektedir.

**Tablo 5.** CMM ve 3B tarama cihazlarından elde edilen geçme toleransı değerleri

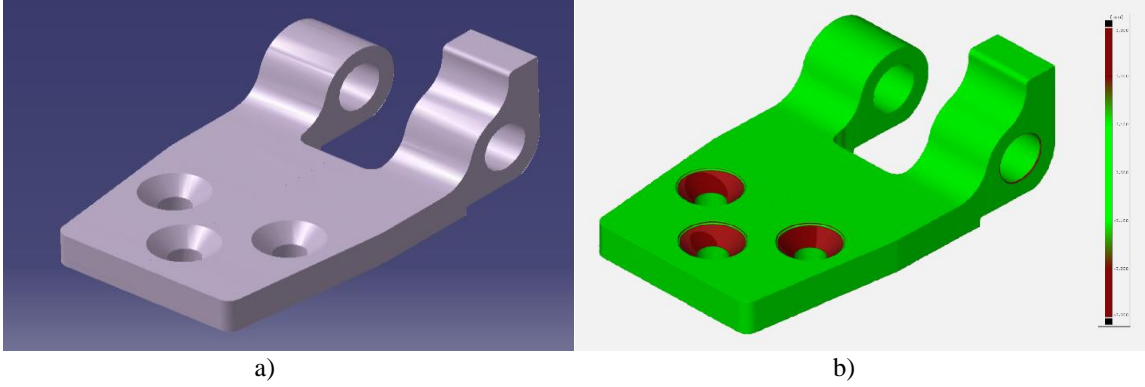
	Geçme Toleransı	Onay Sayısı	Red Sayısı
Tasarım Kontrol Ölçüsü	21,000 +0,020	-	-
CMM Hexagon DEA 092008	21,011	2	0
Hexagon RS5	21,013	2	0
Breuckmann Smartsan 3D HE	21,004	2	0
Atos Compact Scan	21,020	2	0

### 3.2. Elde Edilen Deneysel Verilere Göre Tersine Mühendislik Çalışması

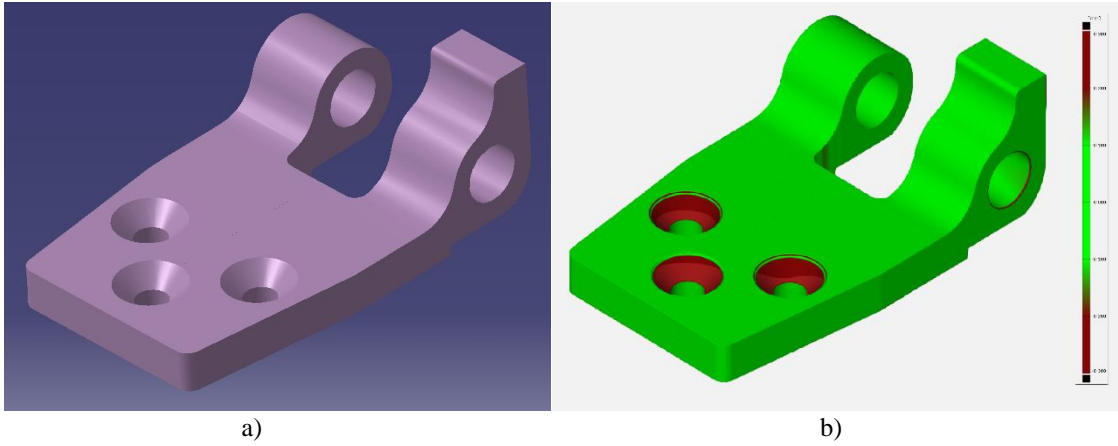
Tersine mühendislik açısından CMM cihazları sadece sayısal değer verebilir. Ancak 3B tarama cihazları parçanın birebir ölçeğinde nokta bulutundan ve mesh yapıdan oluşan veri dosyası verir. Bu sayede nokta bulutundan istenilen ölçüler elde edilebilir ve yapılan modellemenin parçadan farklılığı tüm taramaya yüzeyine göre gözlemlenebilir. Tarama verilerinden oluşturulan katı modeller ve tasarım ile arasındaki farkı gösteren renk haritası sunulmuştur (Şekil 18, Şekil 19, Şekil 20). Parça renk haritasında tasarım ile model arasındaki farkı yeşil bölge  $\pm 0,1$  mm, kırmızı bölge  $\pm 0,2$  mm, koyu kırmızı bölge  $\pm 0,3$  ve siyah bölgeler  $\pm 0,3$ 'ün üzerindeki ölçüm farklılığını belirtmektedir.



**Şekil 18.** a) Lazer tarama verisi ile elde edilen katı model b) Tasarım ile oluşturulan katı model arasındaki farkı belirten renk haritası



Şekil 19. a) Beyaz ışık teknolojili optik tarama verisi ile elde edilen katı model b) Tasarım ile oluşturulan katı model arasındaki farkı belirten renk haritası



Şekil 20. a) Mavi ışık teknolojili optik tarama verisi ile elde edilen katı model b) Tasarım ile oluşturulan katı model arasındaki farkı belirten renk haritası

Çıkarılan modeller kalite kontrol için ele alındığında konik havşa deliklerinde 0,2 ile 0,3 arası ölçüm farklılığı olduğu görülmektedir. Referans noktası üretilen parçanın tarama verisi olduğundan ürün tasarımındaki tam değerler, birebir çıkmamaktadır. Bu durum modelleme aşamasında göz önünde bulundurulmalı ve bilinen işlevsel geometriler (havşa deliği, mil kanalı vb.) uygun merkeze göre modellenmelidir.

Tüm tarama cihazları tersine mühendislik için gerekli verileri sağlamıştır. Modelleme işlemi eldeki parçanın hasar durumuna ve yıpranmışlığına göre ele alınmalıdır. Cihazlar taramaya göre birebir model çıkarılmasına izin verse de tersine mühendislik uygulanırken parçanın bağlantılı olduğu parçalar ile ilişkisine ve gerekli üretim toleranslarına da karar verilmelidir.

### 3.3. Bulguların Yorumlanması

Deney sonuçları kalite kontrol açısından incelendiğinde, tüm cihazlar CMM ölçülerine göre yakın değerlere sahip olmasına rağmen sadece mavi ışık teknolojili 3B optik tarayıcının ölçümleri menteşe parçasının üretim onayı alınmasını sağlamaktadır. 3B tarama cihazların ölçümleri kontrol edildiğinde dış gövde ölçülerinin (K01, K02, K07, K08, K09, K10) CMM ölçümlerine göre -0,030 mm ile 0,050 mm arasında ölçüm farkı olduğu, delik merkezi konum ölçülerinde (K03, K04, K05, K06) -0,070 mm ile 0,040 mm arasında ölçüm farklılığı olduğu gözlemlenmiştir. Geometrik boyutlandırma ölçülerinde, düzlemsellik kontrolünde (G01) -0,003 mm ile 0,070 mm, paralellik kontrolünde (G02, G03) 0,017 mm ile 0,071 mm, diklik kontrolünde (G04, G05) -0,028 mm ile 0,012 mm, eş merkezlilik kontrolünde 0,039 ile 0,097 mm CMM ölçüsüne göre fark oluşmuştur. Bunun en büyük sebebi tarama yüzeyi kalitesi ve CMM ölçümünde alınan ölçüm noktalarının yerlerinden kaynaklanmıştır. Ölçüm kontrolü için cihaz tercihi yapılması durumunda ilgili sektöre, malzeme boyutuna, ölçüm toleransına ve cihazın kullanılacağı ortama göre tarama cihazı seçimi yapılmalıdır.

Tersine mühendislik açısından incelendiğinde, tüm cihazlar modelleme yapılmasını sağlayacak veriyi elde etmiştir. Oluşturulan modeller gerçek tasarım ile kıyaslandığında parça üretim toleransı içinde kabul edilebilirdir. Ancak ulaşılan model sadece ana tasarım modelidir. Modele göre üretime geçilebilmesi için bağlantılı olduğu parçalara göre toleransları tanımlanmalı ve birbirleri ile olan ilişkisi göz önüne alınmalıdır.

Cihazlar işlevsellik olarak birbirlerine üstün geldikleri konular mevcuttur. Tablo 6’de cihazların birbirleri ile karşılaştırması yapılmıştır.

**Tablo 6.** Ölçüm cihazlarının kullanımlarının karşılaştırılması

	CMM Hexagon DEA 092008	Hexagon RS5	Breuckmann Smartscan 3D HE	Atos Compact Scan 12MP
Boyut toleransı ölçüm kontrolünde en büyük ölçüm farkı değeri (mm)	-	-0,070	-0,060	-0,060
Geometrik boyutlandırma toleransı ölçüm kontrolünde en büyük ölçüm farkı değeri (mm)	-	0,097	0,039	0,041
Geçme toleransı ölçüm kontrolünde en büyük ölçüm farkı değeri (mm)	-	0,002	-0,007	0,009
Parça hazırlığı (dk)	15	5	5	5
Ölçüm süresi (dk)	40	10	20	15
Toplam ölçüm süresi (dk)	55	15	25	20
Tarama yüzeyi kalitesi	-	Orta	Orta	İyi
Parça yüzey parlaklığına duyarlılık	-	Orta	Orta	Orta

#### 4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında CMM ile ölçüm kontrolü yapılan menteşe parçasının lazer 3B tarama, beyaz ışık teknoloji ve mavi ışık teknoloji optik 3B tarama cihazları ile ölçüm kontrolü yapılmıştır. Deneyin ilk aşamasında menteşe parçasının tasarıma göre kalite kontrolü yapılmıştır ve CMM ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneyin ikinci aşamasında alınan tarama verilerine göre tekrardan modellenmiş ve tasarıma ulaşılmıştır. Koordinat ölçüm tezgâhlarına (CMM) alternatif ölçüm cihazı bulunması hedeflenmiştir. Deney bulguları incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Menteşe parçasına ait dış gövde ölçüleri (K01, K02, K07, K08, K09, K10) kıyaslandığında, lazer 3B tarama ölçümlerinde en fazla 0,040 mm, beyaz ışık teknoloji optik 3B tarama cihazı ölçümlerinde -0,030 mm, mavi ışık teknoloji optik 3B tarama cihazı ölçümlerinde 0,050 mm CMM ölçümüne göre fark gözlemlenmiştir.
- Menteşe parçasına ait delik merkezi konum ölçüleri (K03, K04, K05, K06) kıyaslandığında, lazer 3B tarama ölçümlerinde en fazla -0,070 mm, beyaz ışık teknoloji optik 3B tarama cihazı ölçümlerinde -0,060 mm, mavi ışık teknoloji optik 3B tarama cihazı ölçümlerinde -0,060 mm CMM ölçümüne göre fark gözlemlenmiştir.
- Menteşe parçasına ait geçme toleransı kıyaslandığında, lazer 3B tarama ölçümlerinde en fazla 0,002 mm, beyaz ışık teknoloji optik 3B tarama cihazı ölçümlerinde -0,007 mm, mavi ışık teknoloji optik 3B tarama cihazı ölçümlerinde 0,009 mm CMM ölçümüne göre fark gözlemlenmiştir.
- Menteşe parçasına ait düzlemsellik toleransı ölçüsü (G01) kıyaslandığında, lazer 3B tarama ölçümlerinde en fazla 0,070 mm, beyaz ışık teknoloji optik 3B tarama cihazı ölçümlerinde 0,017 mm, mavi ışık teknoloji optik 3B tarama cihazı ölçümlerinde -0,003 mm CMM ölçümüne göre fark gözlemlenmiştir.
- Menteşe parçasına ait paralellik toleransı ölçüsü (G02, G03) kıyaslandığında, lazer 3B tarama ölçümlerinde en fazla 0,071 mm, beyaz ışık teknoloji optik 3B tarama cihazı ölçümlerinde 0,034 mm, mavi ışık teknoloji optik 3B tarama cihazı ölçümlerinde 0,037 mm CMM ölçümüne göre fark gözlemlenmiştir.
- Menteşe parçasına ait diklik toleransı ölçüsü (G04, G05) kıyaslandığında, lazer 3B tarama ölçümlerinde en fazla -0,014 mm, beyaz ışık teknoloji optik 3B tarama cihazı ölçümlerinde -0,017 mm, mavi ışık teknoloji optik 3B tarama cihazı ölçümlerinde -0,028 mm CMM ölçümüne göre fark gözlemlenmiştir.
- Menteşe parçasına ait eş merkezlik ölçüsü (G06) kıyaslandığında, lazer 3B tarama ölçümlerinde en fazla 0,097mm, beyaz ışık teknoloji optik 3B tarama cihazı ölçümlerinde 0,039 mm, mavi ışık teknoloji optik 3B tarama cihazı ölçümlerinde 0,041 mm CMM ölçümüne göre fark gözlemlenmiştir.
- Teknik resme göre menteşe parçasının ölçüm kontrolü yapıldığında, lazer 3B tarama ölçümlerinde düzlemsellik ve eş merkezlik, beyaz ışık teknoloji optik 3B tarama cihazı ölçümlerinde düzlemsellik toleransı ölçümleri tasarım toleransı dışında kalmaktadır.

- Tersine mühendislik uygulamalarında tarama üzerinde örme yapılacağı için ilgili parçanın tüm yüzeylerinden referans oluşturması için tarama alınması istenir. Kullanılan tüm 3B tarama cihazları menteşe parçasına ait bütün yüzeylerden modellemeye yapılabilecek tarama verisini oluşturmuşlardır.
- Menteşe parçasının ölçüm hızları kıyaslandığında lazer 3B tarayıcı, mavi ışık teknolojili optik taramaya göre %33, beyaz ışık teknolojili optik taramaya göre %66 daha hızlı tarama verisi almaktadır.
- 3B tarama cihazları tarama parçası üzerinden kamera yardımıyla veri aldığından dolayı parça yüzey parlaklığından etkilenmiştir. CMM'ler ölçüm prob teması ile ölçüm alındığından dolayı yüzey parlaklığından etkilenmemiştir.
- Alınan 3B tarama nokta bulutları incelendiğinde, lazer 3B tarama verisi 81 928 noktadan, beyaz ışık teknolojili optik 3B tarama cihazı verisi 157 756 noktadan, mavi ışık teknolojili optik 3B tarama cihazı verisi 1 164 695 noktadan oluşmaktadır. Nokta bulutu sayısı arttıkça yüzey kusurları ve ölçüm kalitesi artmaktadır.

Bu çalışmada dâhil edilmeyen röntgen cihazları ve CMM destekli 3B tarama cihazları ile benzer yaklaşımlar uygulanarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması ileride yapılacak çalışmalar olarak önerilebilir.

## KAYNAKÇA

1. Lazarević, D., Nedić, B., Jović, S., Šarkoćević, Ž., & Blagojević, M. Optical inspection of cutting parts by 3D scanning. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 531:121583, 1-11, 2019.
2. Tóth, T., & Živčák, J. A comparison of the outputs of 3D scanners. *Procedia Engineering*, 69, 393-401, 2014.
3. Iuliano, L., & Minetola, P. Rapid manufacturing of sculptures replicas: a comparison between 3D optical scanners. In *CIPA 2005 XX international symposium (Vol. 26)*, 384-389, 2005.
4. Mahboubkhan, M., Aliakbari, M., & Burvill, C. An investigation on measurement accuracy of digitizing methods in turbine blade reverse engineering. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 232(9), 1653-1671, 2018.
5. Haleem, A., Gupta, P., Bahl, S., Javaid, M., & Kumar, L. 3D scanning of a carburetor body using COMET 3D scanner supported by COLIN 3D software: Issues and solutions. *Materials Today: Proceedings*, 39, 331-337, 2021.
6. Fourie, Z., Damstra, J., Gerrits, P. O., & Ren, Y. Evaluation of anthropometric accuracy and reliability using different three-dimensional scanning systems. *Forensic science international*, 207(1-3), 127-134, 2011.
7. Hruby, R., Cepova, L., Čep, R., Mizera, O., & Zelinka, J. Measurement of Small Complex Shapes. *Transportation Research Procedia*, 40, 251-258, 2019.
8. Elizondo, A., & Reinert, F. Limits and hurdles of Reverse Engineering for the replication of parts by Additive Manufacturing (Selective Laser Melting). *Procedia Manufacturing*, 41, 1009-1016, 2019.
9. Wi, K., Suresh, V., Wang, K., Li, B., & Qin, H. Quantifying quality of 3D printed clay objects using a 3D structured light scanning system. *Additive Manufacturing*, 32:100987, 1-13, 2020.
10. Bagci, E. Reverse engineering applications for recovery of broken or worn parts and re-manufacturing: Three case studies. *Advances in Engineering Software*, 40(6), 407-418, 2009.
11. İnternet: Tarama işlemi ile kalite kontrol ve tersine mühendislik süreçleri URL: <https://blog.tekyaz.com/tersine-muhendislik>, Son Erişim Tarihi: 13.10.2022.
12. İnternet: Hexagon DEA 092008 Global Classic CMM URL: <https://hexagon.com/products/global-advantage>, Son Erişim Tarihi: 13.10.2022.
13. İnternet: Hexagon RS5 lazer tarayıcı URL: <https://www.pesmetrology.com/hire/hire-the-romer-scan-arm/>, Son Erişim Tarihi: 13.10.2022.