

Received: 28.11.2022

Accepted: 15.12.2022

Verification of Precision Mechanical Features with Non-contact Measurement and Comparison with Coordinate Measurement Method

Mustafa ESNEMEZ¹, Özgür POYRAZ^{2*}

^{1,2}Eskişehir Technical University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, 2655, Eskişehir, Turkey

Abstract

It is common in manufacturing to produce parts that need to integrate with each other to serve a common purpose, to perform one or more operations. How these elements interact is extremely important and affects the overall functionality of an assembly. The mechanical features on the relevant parts, which are effective in mating these parts to each other, must be manufactured according to design intent and must provide a certain level of precision. Basically, measuring technique is used to control and verify the necessary accuracy of mechanical elements with plane, channel, hole and similar forms. Since classical measurement methods could not keep up with the rapid manufacturing processes that emerged with the developing industry, the use of coordinate measuring machines (CMM) has become widespread in the measurement of these forms or features. In addition, non-contact measurement methods, which have become more preferable in recent years, are also promising in terms of accelerating verification processes. However, non-contact measurement methods have been mostly used in the measurement of free-form surfaces and reverse engineering applications until today, and studies on the verification of mechanical features with these methods have remained in the background. In this article, a part with mechanical features in different axial directions is designed and made of aluminum alloy. The manufacturing of the part was carried out by the milling method and all the features of the part were verified with both non-contact measurement method and coordinate measuring machines. As a result of the measurements made for a total of 62 different features, the two methods used were compared.

Keywords: Geometric dimensioning and tolerancing, metrology, coordinate measuring machines, non-contact measurement methods, three dimensional scanners

Hassas Mekanik Unsurların Temassız Ölçüm Yöntemleri ile Doğrulanması ve Koordinat Ölçme Yöntemi ile Karşılaştırılması

Mustafa ESNEMEZ¹, Özgür POYRAZ^{2*}

Özet

Ortak bir amaca hizmet etmek, bir veya daha fazla işlemi gerçekleştirmek için birbiriyle entegre olması gereken parçaların üretilmesi imalatta yaygındır. Bu öğelerin nasıl etkileşime girdiği son derece önemlidir ve bir montajın genel işlevselliğini etkilemektedir. Söz konusu parçaların üzerinde bulunan ve parçaların birbirine bağlanmasında etkili olan mekanik unsurların tasarım amacına yönelik olarak imal edilmesi ve yine kullanım yerine göre belirli seviyede hassasiyeti sağlaması gerekmektedir. Temelde düzlem, kanal, delik ve benzeri formlara sahip olan mekanik unsurların gerekli hassasiyeti sağlama durumunu kontrol etmek ve doğrulamak için ölçme tekniğinden faydalanılır. Klasik ölçüm yöntemleri gelişen endüstri ile beraber ortaya çıkan hızlı imalat süreçlerine yetişemediği için söz

*Corresponding Author, e- mail: ozgurpoyraz@eskisehir.edu.tr

konusu unsurların ölçümünde koordinat ölçme makinelerinin (CMM) kullanımını yaygınlaştırmıştır. Buna ilaveten son yıllarda tercih edilirlilikleri artan temassız ölçüm yöntemleri de doğrulama süreçlerinin hızlandırılması açısından umut vadetmektedir. Fakat temassız ölçüm yöntemleri günümüze kadar çoğunlukla serbest yüzeylerin ölçümünde ve tersine mühendislik uygulamalarında kullanılmış, mekanik unsurların bu yöntemlerle doğrulanmasına yönelik çalışmalar ikinci planda kalmıştır. Bu makalede farklı aksenal yönlerde mekanik unsurlara sahip olan bir parça tasarlanmış ve söz konusu parça alüminyum alaşımından imal edilmiştir. Parçanın imalatı frezeleme yöntemi ile gerçekleştirilmiş ve parçaya ait tüm unsurlar hem temassız ölçüm yöntemi hem de koordinat ölçme makineleri ile doğrulanmıştır. Toplam 62 farklı unsur için yapılan ölçümlerin sonucunda kullanılan iki yöntem karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Geometrik Ölçülendirme ve Toleranslar, Metroloji, Koordinat Ölçme Makineleri, Temassız Ölçüm Yöntemleri, Üç Boyutlu Tarayıcılar

1. Giriş

Günümüz dünyasında yaşanan küreselleşme hareketi ile birlikte farklı ülkeler arasında ürün alışverişi ve ticaret yapmak mümkün hale gelmiştir. Buna ek olarak tasarım ve üretim gibi faaliyetler de farklı ülkeler arasında paylaşılmış ve bu sayede kaynak ve iş gücünün uygun olduğu ülkeler tarafından piyasaya ucuz ürün arzı sağlanmıştır. Fakat bu değişim aynı zamanda ürüne ait bilginin ve teknik resimlerin belirsizliğe sebep olmayacak en doğru şekilde aktarılabilmesi ihtiyacını doğurmuştur [1]. Özellikle yüksek kalite gereksinimine sahip olan havacılık ve otomotiv gibi sektörlerde, ürün için tanımlanacak olan geometrik özellikler ve toleranslar, üretimin doğasında olan ve ürün yaşam döngüsü boyunca zaman içerisinde fonksiyonel unsurlarda oluşacak olan sapmaları ve hataları da göz önünde bulunduracak şekilde belirlenmiştir [2]. Tasarım aşamasında belirlenen söz konusu özelliklerin üretim aşamasında sağlanması ve ölçüm ile doğrulanması temel gerekliliklerdir. Genellikle üretim alanındaki her on ölçüm işleminden dokuz tanesi doğrudan iş parçasının boyutsal ve geometrik ölçümleri ile alakalıdır. Ayrıca şekil, konum, boyutsal ve geometrik özelliklerin kontrolü yanında yüzey pürüzlülüğü ölçümleri de önemli boyutsal ölçümler arasında sayılabilir [3]. Üretim için oldukça önemli olan ölçüm işlemlerinin temel faydaları arasında parça, malzeme ya da bileşenler için tanımlı gerekliliklerin sağlanması, bileşenlerin kendi içinde değiştirilebilirliğin garanti altına alınması, üretimdeki problemlerin tespit edilmesi, daha kaliteli ürünlerin üretilmesi için makine, cihaz ve malzeme gibi ihtiyaçların belirlenmesine yardımcı olması, hurda maliyetlerinin azaltılması, yeniden işleme ve tamir için gerekli verilerin sağlanması gibi pek çok fayda sayılabilir [4].

İlk paragrafta aktarıldığı üzere çok sayıda faydası olan ölçüm işlemleri önceki yüzyılda kumpas, mikrometre, komparatör ve mihengir gibi klasik ölçüm aletleri ile gerçekleştirilmiş ve fakat modern dünyada bu aletlerin yerini gelişmiş sistemler almıştır. Öncül olarak geliştirilen koordinat ölçme makineleri (İngilizce: Coordinate Measuring Machines, Kısaltma: CMM), prob olarak anılan uçlarla parçaların yüzeyindeki noktalara dokunarak onları algılayan, ve ölçme mühendisi (tekniker veya teknisyen de olabilir) tarafından yapılan bir programa göre teknik resimde ölçümü istenen tüm noktalara dokunmak sureti ile kontrolü gerçekleştiren sistemlerdir [5, 6]. Bu ölçüm sistemleri, farklı geometrik unsurları klasik ölçüm aletlerine göre daha kısa sürede, daha az kullanıcı müdahalesi ile ve güvenilirliği daha yüksek olarak ölçebilirler [7]. Fakat CMM sistemleri ile yapılan ölçümler için programlama gereksinimi olması sebebi ile ön işlem süreleri uzundur. Buna ek olarak CMM probu ile taranacak yüzeylerin uzaması ve/veya genişlemesi de probun kat edeceği yolu artırmakta ölçüm sürelerinin uzamasına neden olmaktadır.

CMM sistemlerinin önceki paragrafta aktarılan dezavantajları özellikle düşük adette üretilen büyük boyutlu parçalar için daha hissedilir olmaktadır. Bu sebeple düşük adette üretilen büyük boyutlu parçalar için 2000’li yıllardan sonra gelişim hızı artan temassız ölçüm sistemlerine yönelim olmuştur. Farklı yöntemlerle 3-boyutlu (3B) ölçümleri temassız olarak gerçekleştiren tarayıcıların kullandığı teknikler arasında stereo görüntüleme (İngilizce: Stereoscopic Vision), yapısal ışık (İngilizce: Structured Light), uçuş süresi (İngilizce: Time of Flight) ve lazer algılama ve derecelendirme (Laser Detection and Ranging) bulunmaktadır [8]. Bu tekniklerle elde edilen veriler nokta bulutu veya stl dosya formatına çevrildikten sonra gerek ölçme ve karşılaştırma yazılımlarında raporlama ve gerekse tersine mühendislik yazılımlarında yeniden yüzey oluşturma için kullanılabilir [9]. Temassız ölçme tekniklerinin türbin paleleri gibi serbest yüzeylere uygulanması aynı yüzey üzerinde CMM ile ölçüm yapmaya kıyasla çeşitli avantaj ve dezavantajlar ortaya çıkarmaktadır. Söz konusu avantajlara örnek olarak birkaç açıdan görüntü alma ile serbest karmaşık yüzeylerin üzerinde milyonlarca noktanın hızlıca elde edilmesi örnek verilebilir [9]. Bu örnek benzeri bir uygulamada CMM kullanılması, CMM probunun saatlerce yüzeyi taramasını gerektirecektir. Dezavantajlara verilecek örneklerin başında ise hassasiyet problemleri gelmektedir. Metal yüzeyinin parladığı, görüntü açısı projeksiyonunun parçanın farklı bölgelerini engellediği veya parça yüzeyinde ışık-gölge dengesizliklerinin olduğu durumlarda ölçülen yüzey ve kenarlardaki veride boşluklar ve süreksizlikler oluşmaktadır [10]. Bu tip bir dezavantaj her ne kadar sprej şeklinde kaplamalarla giderilmeye çalışılsa da bu kaplamanın parçadan temizlenmeme riski havacılık gibi sektörlerde kabul görmemektedir. Temizlenmeyi kolaylaştırmak için geliştirilen ve içinde mat beyaz katkı olan solvent bazlı kaplamalar ise kendi kalınlıkları sebebi ile belirli bir detaydan daha küçük bölgelere uygulanmamakta ve uygulanırsa ölçüm hassasiyetini etkilemektedir [11]. Bu durum da uygulayıcıların temassız ölçüm yöntemlerini serbest yüzey, büyük ölçekli parça veya düşük hassasiyet gereksinimlerinde tercih etmelerine neden olmaktadır [12-16].

Bu makalede, literatürdeki eksikliği gidermek amacı ile araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Makalenin literatüre katkıları arasında öne çıkan yönü temassız ölçüm yöntemlerinin boyutu küçük, hassasiyeti yüksek ve mekanik amaçlı kullanılan unsurlara sahip bir örnek parçaya uygulanması, elde edilen sonuçların yorumlanması ve benzer amaçla seçilen CMM ölçümleri ile karşılaştırılmasına yer verilmesidir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda daha sonraki zamanlarda söz konusu yöntemleri uygulama ihtiyacı duyabilecek araştırmacı ve mühendisler farklı yöntemlerin kabiliyetleri ve kısıtlamaları açısından ön bilgiler sağlanmıştır. Makalenin ilerleyen bölümlerinde materyal ve yöntem ile elde edilen bulgular sunulmakta ve tartışılmaktadır.

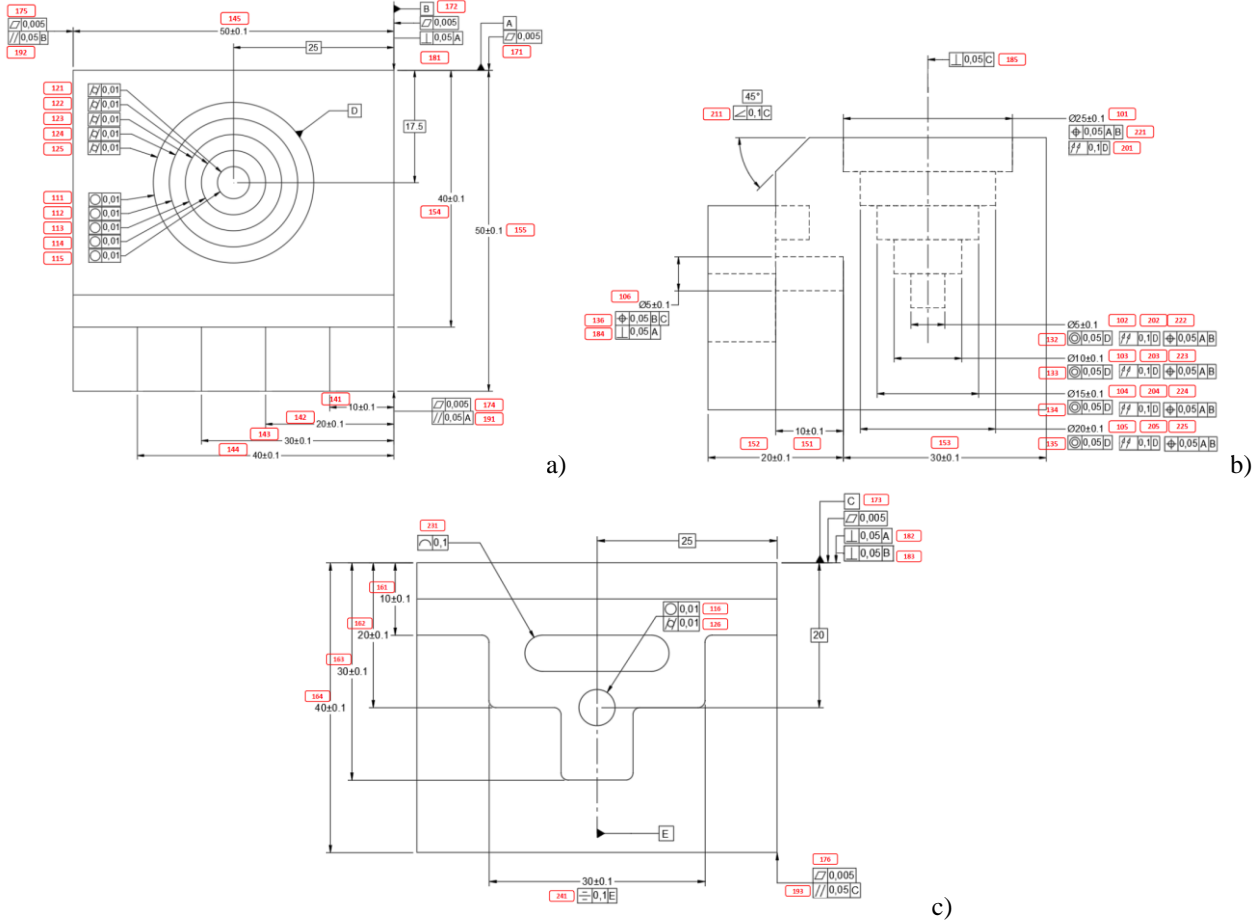
2. Materyal ve Metot

Makalenin materyal ve metot bölümünde önce örnek parça tasarımı, daha sonra imalatı ve sonrasında da CMM ve temassız yöntemle ölçümlerine ait detaylar anlatılmaktadır.

2.1. Örnek Parça Tasarımı

Makalede kullanılan örnek parça tasarımında, deneysel süreçleri kolaylaştırmak ve maliyetleri azaltmak adına göreceli olarak küçük olan 70mmx70mmx70mm’lik dış boyutlar seçilmiştir. Bloktan

boşaltılmak üzere tasarlanan parçaya mekanik bağlantılar için en sık kullanılan unsurlar olan delik ve kanallar eklenmiştir. Eklenen deliklere çap, silindiriklik ve dairesellik gibi toleranslar tanımlanmış ve deliklerin iç içe tasarlanması ile bunlara eşmerkezlilik de ilave edilmiştir. Bunların dışında blok ve kanal düz yüzeylerine düzlemsellik ve paralellik ile bunlarla delik merkez çizgileri arasında diklik atanmıştır. Son olarak açıl durumları da görmek adına tasarıma açılı bir yüzey dahil edilmiştir. Şekil 1’de parça tasarımı ölçüleri ile beraber farklı görünümünden verilmektedir.



Şekil 1.Örnek parça tasarımı, ölçüleri ve toleransları.

2.2. Örnek Parça İmalatı

Tasarlanan parça Travis VH-3 marka freze tezgahında, mengene arasına sabitlenerek 3003 serisi alüminyum malzemeden işlenmiştir. Parçanın işleme anı Şekil 2’de ve parçaya ait işleme parametreleri ile takım çapları Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1.Takım çapları ve işleme parametreleri.

Operasyon	Takım Çapı (mm)	İş Mili Devri (rpm)	Tabla İlerlemesi (mm/s)
Blok dış düzlemlerinin frezelenmesi	50	800	5
Kaba profil işleme	15	800	5
Profil, kanal ve pahların hassas işlenmesi	5	800	1.5
Deliklerin işlenmesi	25, 20, 15, 10, 5	800	1.5

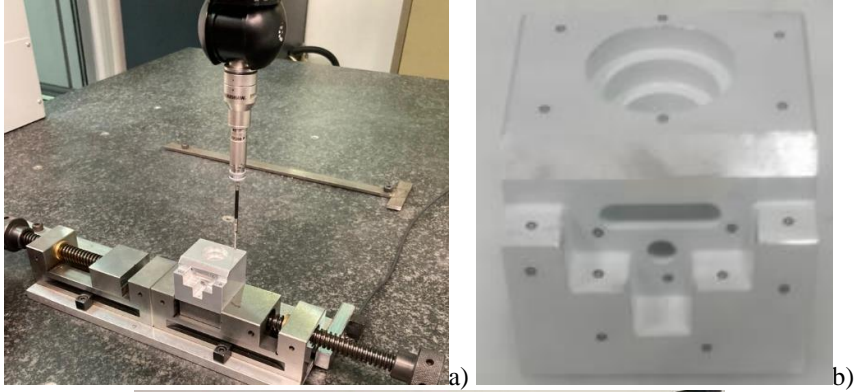


Şekil 2.Örnek parça imalatı

2.3. Örnek Parça Ölçümü

CMM ölçümleri Hexagon-Dea Global Advantage Silver bir sistem üzerinde, Renishaw-PH10MQ kafa ve TP200 modülüne bağlı 2mm çapında yakut prob ile gerçekleştirilmiştir. İzin verilen en yüksek hata oranı $2.1+L/333$ olan CMM ile gerçekleştirilen ölçümlerde ortam sıcaklığı 23.7°C değerinde ve nem %39 oranında sabit tutulmuştur. Ölçüm çözünürlüğü 0.0001 değerindedir. CMM ölçümleri Şekil 3-a'da verilmektedir.

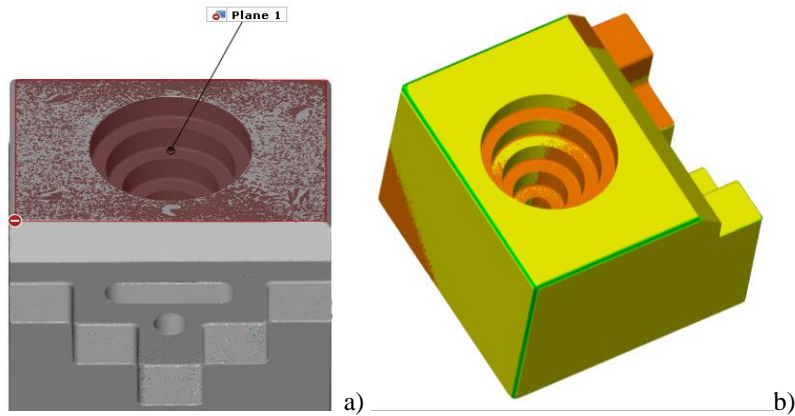
Temassız ölçümler 8MP'lik GOM-ATOS Q8 marka model bir yapısal ışık esaslı tarayıcı ile gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon değerlerine göre 0.005'ten küçük hata veren ölçüm sistemi ile gerçekleştirilen ölçümlerde iki nokta arası mesafe 0.04mm-0.15mm'dir. Gerçekleştirilen ölçümlerde ortam sıcaklığı 20.8°C değerinde ve nem %44 oranında sabit tutulmuştur ve parça yüzeyine kalınlığı 2-10 μm olan kaplama sprey uygulanmıştır. Temassız ölçümler Şekil 3-b'de verilmektedir.



Şekil 3.a) CMM ölçümü, b) Kaplanmış parça, c) Temassız ölçüm.

3. Bulgular ve Tartışmalar

CMM ile ölçüm öncesinde program yapılmıştır ve programa ölçüm aşamasında temas edilecek noktalar, nominal ölçüler, nominal ölçüler ile karşılaştırma ve değerlendirme aşamaları eklenmiştir. Bu sayede CMM ile ölçüm sonrası değerlendirmede parçanın gerçek ölçüleri ve nominal tasarım ölçüsüne farkları otomatik olarak raporlanmıştır. Temassız ölçüm yöntemi öncesinde program yapılmadığı için GOM Software yazılımında parça hizalaması yapılmış, unsurlar tanımlanmış ve nihayetinde farklar elde edilmiştir. GOM Software yazılımında gerçekleştirilen hizalama ve sonrasında elde edilen ölçüm görüntüleri Şekil 4’te verilmektedir.



Şekil 4. a) GOM Software’de hizalama, b) Raporlama.

Düzlem olarak tasarlanan ve isimleri A1, B1, C1 olan #171-#173 numaralı unsurlara ait CMM ve temassız ölçüm sonuçları Tablo 2’de, dik olarak tasarlanan ve isimleri A1, B1, C1 olan #181-#183 numaralı unsurlara ait CMM ve temassız ölçüm sonuçları Tablo 3’te, ve açılı tasarlanan ve ismi ANGRTY olan #211 numaralı unsura ait CMM ve temassız ölçüm sonuçları Tablo 4’te verilmektedir.

Tablo 2. Ölçüm sonuçları: #171-#173 düzlemler.

Numara	İsim	CMM (mm)	Temassız (mm)	Mutlak Hata (mm)
#171	A1	0.001	0.075	0.074
#172	B1	0.002	0.024	0.022
#173	C1	0.003	0.045	0.042

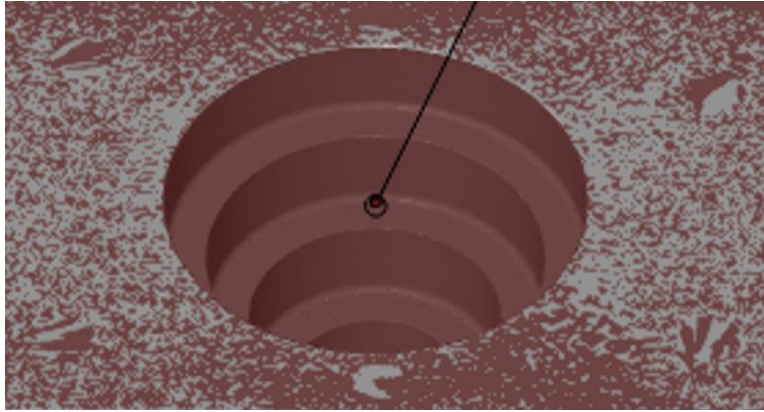
Tablo 3. Ölçüm sonuçları: #181-#183 diklikler.

Numara	İsim	CMM (mm)	Temassız (mm)	Mutlak Hata (mm)
#181	PERPA1	0.050	0.120	0.050
#182	PERPB1	0.058	0.082	0.058
#183	PERPC1	0.045	0.080	0.045

Tablo 4. Ölçüm sonuçları: #211 açılı yüzey.

Numara	İsim	CMM (mm)	Temassız (mm)	Mutlak Hata (mm)
#211	ANGRTY	0.001	0.075	0.074

Tablo 2 ve Tablo 3’de A1-C1 isimli unsurların düzlemselliği ve de bunların ilgili unsura dikliği üzerine yapılan karşılaştırmalar görülmektedir. Hem düzlemsellik hem de diklik açısından iki tablo incelendiğinde CMM ile yapılan ölçümlerin temassız ölçümlere kıyasla nominal değere daha yakın bulgu verdiği gözlemlenmektedir. Özellikle Tablo 2’deki CMM ile elde edilen düzlemsellik sonuçları nominal değere çok yakındır ve neredeyse ideal bir düzlem formunu yansıtmaktadır. Buna kıyasla temassız ölçüm sonuçları nominalden yüksek farklar göstermektedir. Örneğin Şekil 4-a’da genel görüntüsü ve aşağıda Şekil 5’te yakın görüntüsü verilen #173 numaralı C1 düzlemi dikkate alındığında, temassız ölçümün düzlemin tamamını dikkate alarak fark hesapladığı ve bu sebeple topografik dalgalanmaların ideal bir düzleme kıyasla bazı noktalarda fark oluşturduğu anlaşılabilir. CMM ölçümlerinde ise genellikle az sayıda noktadan bir düzlem geçirilmektedir ve bu farkın az çıkmasına sebep olabilir.



Şekil 5. Temassız ölçüm ile düzlem kontrolü (Gri renk ölçülen noktalar, kiremit rengi oturtulan düzlem).

Son olarak Tablo 4’teki #211 numaralı ve ANGRTY isimli açı ölçümünde de düzlem ve dikliklere benzer bir sonuç dikkat çekmektedir. Bu noktada sonucun benzer olması şaşırtıcı değildir. Çünkü açının ölçüldüğü iki yüzey hem CMM hem de temassız ölçüm sonuçlarında öncelikle düzlem olarak tanımlanmış ve daha sonra aralarındaki açı hesaplanmıştır. Bu da düzlemlere benzer sonuç vermesini açıklamaktadır.

Nominal mesafeleri 10mm-50mm arasında değişen, #141-#145 numaralı basamaklara ait CMM ve temassız ölçüm sonuçları Tablo 5’te verilmektedir.

Tablo 5. Ölçüm sonuçları: #141-#145 basamaklar.

Numara	Nominal Çap (mm)	CMM (mm)	Temassız (mm)	Mutlak Hata (mm)
#141	10	9.931	9.881	0.050
#142	20	19.860	19.809	0.051
#143	30	29.912	29.879	0.033
#144	40	39.998	39.948	0.050
#145	50	49.774	49.757	0.017

Tablo 5’te sunulan ve Şekil 1-a’daki basamakların mesafe ölçülerinin doğrulandığı sonuçlara göre temassız ölçüm ile elde edilen değerlerin beşte dördü CMM ile elde edilen değerlerden dikkat çekici şekilde düşük çıkmıştır. Ortaya çıkan bu sonuç beklenmedik bir duruma işaret etmemektedir. Çünkü materyal ve yöntem bölümünde de aktarıldığı üzere temassız ölçüm öncesinde parça yüzeyine kalınlığı 2-10µm olan kaplama sprey uygulanmıştır ve iç unsur yüzeylerinin üzerini kaplayan bu malzeme o bölgelerdeki mesafelerin daha dar olarak tespit edilmesine sebep olmuştur.

Nominal çapları 5mm-25mm arasında değişen, #101-#105 numaralı deliklere ait CMM ve temassız ölçüm sonuçları Tablo 6'da, silindir olarak tasarlanan ve isimleri CLYN05-CLYN25 olan #121-#125 numaralı deliklere ait CMM ve temassız ölçüm sonuçları Tablo 7'de, ve konsantrik tasarlanan ve isimleri CON05-CON20 olan #132-#135 numaralı deliklere ait CMM ve temassız ölçüm sonuçları Tablo 8'de verilmektedir.

Tablo 6. Ölçüm sonuçları: #101-#105 delik çapları.

Numara	Nominal Çap (mm)	CMM (mm)	Temassız (mm)	Mutlak Hata (mm)
#101	25	24.995	25.002	0.007
#102	20	19.977	20.003	0.026
#103	15	14.977	15.004	0.027
#104	10	9.977	10.003	0.026
#105	5	4.970	4.995	0.025

Tablo 7. Ölçüm sonuçları: #121-#125 deliklerde silindiriklik.

Numara	İsim	CMM (mm)	Temassız (mm)	Mutlak Hata (mm)
#121	CLYN05	0.024	0.046	0.022
#122	CLYN10	0.011	0.018	0.007
#123	CLYN15	0.011	0.103	0.092
#124	CLYN20	0.011	0.057	0.046
#125	CLYN25	0.023	0.065	0.042

Tablo 8. Ölçüm sonuçları: #132-#135 deliklerde konsantriklik.

Numara	İsim	CMM (mm)	Temassız (mm)	Mutlak Hata (mm)
#132	CONC05	0.049	0.140	0.091
#133	CONC10	0.055	0.112	0.057
#134	CONC15	0.065	0.084	0.019
#135	CONC20	0.073	0.054	0.019

Tablo 6'da sunulan delik ölçüm sonuçlarının tamamı incelendiğinde CMM ile ölçülen delik çaplarının nominal değerlerden küçük olduğu görülmektedir. Temassız ölçüm ile elde edilen değerlerde ise bazıları nominalden küçük diğerleri ise büyüktür. Bununla beraber aynı delikler için gerçekleştirilmiş olan ve Tablo 7'de sunulan silindiriklik ölçümlerinin de dikkate alınması faydalıdır. Tablo 7'de verilen silindiriklik ölçümlerine bakıldığında CMM ile elde edilen verilerde nominal geometriye kabul edilebilir ölçüde yakınsama gözlemlenmektedir. Bunun yanında temassız ölçümlerle elde edilen değerler nominalden oldukça uzaktır. Burada bir örnek vermek gerekirse nominal çapı 15mm olan delik için Tablo 6 #103'te 15.003mm gibi çok yakın bir değere ulaşılsa dahi aynı delik için Tablo 7 #123'teki 0.103mm'lik silindiriklikten sapma tutarsızlık yaratmaktadır. Bu durum ölçüm yönteminden kaynaklanabileceği gibi ölçüm sonrasında GOM Software yazılımında operatör tarafından yürütülen unsur algılama ve tanımlama işlemlerinden de kaynaklanabilir.

Tablo 8 incelendiğinde Tablo 6 ve Tablo 7'ye konu olan deliklerin birbirlerine göre konsantrikliklerindeki sonuçlar görülmektedir. Sonuçlardan da fark edileceği üzere Tablo 8'deki eğilim genel hatları ile Tablo 7'ye benzerdir. Ölçümlere bakıldığında CMM ile elde edilen verilerde nominal geometriye kabul edilebilir ölçüde yakınsama gözlemlenmektedir. Bunun yanında temassız

ölçümlerle elde edilen değerler nominalden oldukça uzaktır. Bu anlamda silindiriklik ölçümündeki durumu ortaya çıkaran kök nedenin konsantriklik ölçümüne de yansıdığı düşünülmektedir.

4. Sonuçlar

Bu makalede, literatürdeki eksikliği gidermek amacı ile temassız ölçüm yöntemlerinin boyutu küçük, hassasiyeti yüksek ve mekanik amaçlı kullanılan unsurlara sahip bir örnek parçaya uygulanması, elde edilen sonuçların yorumlanması ve benzer amaçla seçilen CMM ölçümleri ile karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

Sonuçlarda ilk dikkat çeken konu temassız ölçümlerin iç unsurlarda CMM ölçümlerine kıyasla daha düşük değerler ortaya koymasındır ve bu durum ölçüm için uygulanan kaplamanın iç açıklıkları daraltması olarak yorumlanmıştır.

Pek çok sonuca etki eden diğer dikkat çekici bir konu ölçümlerde nominal ile farkın elde edilmesi amacı ile uygulanan geometrik unsur algılamalarında CMM ve temassız ölçüm yöntemi arasındaki farklardır. Temaslı bir ölçüm yöntemi olan CMM ölçüm süresini kısa tutmak amacıyla az sayıda noktadan dokunduğu unsurlar için nominale daha çok yakınsayan değerler vermektedir. Buna kıyasla temassız ölçüm yöntemi sonucunda elde edilen çok sayıda nokta ile algılanan unsurlar nominale CMM kadar yakınsayamamaktadır. Tipik örnekleri arasında düzlem, silindir ve bunlara bağlı olan diklik gibi ölçüm karakterlerinde açıkça gözlemlenen bu durumun gerçekte ne olduğunun anlaşılması için üçüncü bir yöntem ile de karşılaştırılması faydalı olabilir.

Söz konusu farkların gerçek kök nedeninin anlaşılması için faydalı olacak diğer bir konu da ilgili uluslararası standartların ölçüm prosedürlerini detaylı bir şekilde tanımlamasıdır. Günümüzde CMM ölçümleri, kalibrasyonu ve belirsizlik hesaplamaları üzerine yazılmış olan uluslar arası standartlar mevcut olsa da temassız ölçüm yöntemleri için mevcut değildir.

5. Kaynaklar

- [1] Gust P, Sersch A (2020). Geometrical Product Specifications (GPS): A Review of Teaching Approaches. *Procedia CIRP*, 92: 123-128.
- [2] Dantan JY, Ballu A, Mathieu L (2008). Geometrical product specifications—model for product life cycle. *Computer-Aided Design*, 40(4): 493-501.
- [3] Pfeifer T (2015). *Production metrology*, Walter de Gruyter GmbH & Co KG, Münih, Almanya.
- [4] Raghavendra NV, Krishnamurthy L (2013). *Engineering metrology and measurements*, Oxford University Press, New Delhi, Hindistan.
- [5] Acko B (2007). Calibration of measuring instruments on a coordinate measuring machine. *Advances in Production Engineering and Management*, 2(4): 127-34.
- [6] Carmignato S, De Chiffre L (2003). A new method for thread calibration on coordinate measuring machines. *CIRP Annals*, 52(1): 447-450.
- [7] de Aquino Silva JB, Burdekin M (2002). A modular space frame for assessing the performance of co-ordinate measuring machines (CMMs). *Precision Engineering*, 26(1): 37-48.
- [8] Poyraz Ö, Kırcı B, Olcay R (2021). Benchmarking Of Low-Cost 3-Dimensional Cameras For Metrological Purposes. *International Asian Congress on Contemporary Sciences-V*, s. 973-980, Nahcivan, Azerbaycan.
- [9] Poyraz Ö, Yılmaz O, Yasa E (2014). Investigation of Free-Form Surface Reconstruction Techniques for Reverse Engineering of Worn-Out Gas Turbine Blades: A Case Study. *16th International Conference on Machine Design and Production (UMTIK)*, vol. 30, İzmir, Türkiye.

- [10] Ören S, Yasa E, Uğur E, Poyraz Ö, Akbulut G, Pilatin S (2014). Havacılık sektöründe optik ölçüm yöntemlerinin yeri ve karşılaştırmalı değerlendirilmesi üzerine bir çalışma. *Mühendis ve Makine*, 55(654): 35-60.
- [11] 3DCHIMERA, 3D Scanning Developer Spray SKD-S2 Aerosol data sheet. Available: <https://3dchimera.com/products/3d-scanning-developer-spray>
- [12] Haleem A, Javaid M (2019). 3D scanning applications in medical field: a literature-based review. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 7(2): 199-210.
- [13] Dong Z, Liang F, Yang B, Xu Y, Zang Y, Li J, Stilla U (2020). Registration of large-scale terrestrial laser scanner point clouds: A review and benchmark. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 163: 327-342.
- [14] Acemoglu A, Mattos SL (2018). Non-contact tissue ablations with high-speed laser scanning in endoscopic laser microsurgery. *40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, s. 3660-3663, Hawaii, ABD.
- [15] Kersten T, Lindstaedt M, Starosta D (2018). Comparative geometrical accuracy investigations of hand-held 3D scanning systems-An update. *ISPRS TC II Mid-term Symposium "Towards Photogrammetry 2020"*, s. 487-494, Riva del Garda, İtalya.
- [16] Zang Y, Yang B, Liang F, Xiao X (2018). Novel adaptive laser scanning method for point clouds of free-form objects. *Sensors*, 18(7): 1-28.