

# ENDÜSTRİYEL ÖLÇÜMLERDE 3-BOYUTLU ÖLÇÜM CİHAZLARI (CMM) İÇİN BELİRSİZLİK HESAPLAMALARINDA YENİ ÇALIŞMA VE GELİŞMELER

Okhan GANİOĞLU  
İlker MERAL  
Muharrem AŞAR  
Murat AKSULU

## ÖZET

Gelişen ve hızlanan imalat ve üretim süreçlerinde, imal edilen parçalar için kabul veya ret kararlarının hızlı alınabilme ihtiyacı gün geçtikçe artmıştır. Hem imalat sektöründe, hem kalite kontrol alanlarında hızlı ölçüm yapabilmek için, 3 Boyutlu Ölçüm Cihazı (Koordinat Ölçüm Cihazı: CMM) kullanımı yaygınlaşmıştır. Parçalar için, hızlı ölçümler kadar hızlı karar alabilmekte önemlidir. Bu değerlendirmeler için standartlaştırılmış kurallar mevcuttur (EN ISO 14253-1, ISO / TR 14253-6). Değerlendirme sırasında ölçüm belirsizliğini de göz önüne almak gerekmektedir. Ne yazık ki, koordinat ölçümlerindeki belirsizlik hesaplanması teknik olarak çok zordur ve uluslararası alanda çok az rehber doküman vardır. Belirsizlik hesaplama çalışması zor ve zaman alıcı bir çalışma olmasından dolayı çoğu şirket rutin incelemelerinde belirsizlik değerini göz ardı etmektedir. Göz ardı edilen veya olması gerekenden yüksek hesaplanan belirsizlikler, karar verme sürecini olumsuz etkilemekte ve bazı parçaların hatalı kabulü ile bazı parçaların gereksiz olarak atılmasına sebep olmaktadır. Ayrıca hatalı kararlar, fonksiyonel arızası ciddi hasar ile sonuçlanabilecek kritik parçalar için önemli bir tehlikedir. EN ISO 15530 standardı serisi [7-10] koordinat ölçümlerinde belirsizlik hesaplamaları için yazılmış standart olmasına rağmen, uygulamaya açık yöntemlere sahip olmaması ve pratikte uygulanması imkânsız metotlara (eksik önkoşul tanımlamaları) sahip olması sebebiyle endüstriyel ölçümlerde kullanılması mümkün değildir. EN ISO 14253-2 [1-6] standardı belirsizlik hesaplamalarında boyutsal ölçümlere yönelmiş olmasına rağmen koordinat ölçümlerini kapsamamaktadır. Bu yüzden koordinat ölçümündeki belirsizlik hesapları için kolay uygulanabilir ve standartlaştırılmış yeni yöntemlere ihtiyaç vardır. Bu yöntemler sayesinde üretim sırasındaki incelemeler ve karar süreçleri daha güvenilir hale gelecektir ve daha kaliteli ürünlere ulaşılacaktır.

Mevcut yöntemleri inceleyerek, yeni, uygulanabilir yöntemler geliştirmek için İtalya Ulusal Metroloji Enstitüsü (INRIM) Avrupa Birliği (AB) Metroloji Araştırma ve İnovasyon Programına (EMPIR) TÜBİTAK UME'nin de ortağı olduğu çok uluslu bir ortak proje önerisi sunmuştur. Proje 2017'de kabul edilmiş ve Haziran 2018'de başlamıştır.

Toplam 12 proje ortağı ülkenin katıldığı, 18NRM03 EUCoM kısa isimli proje ile 2 farklı belirsizlik hesaplama yöntemi çıkartılacak, uygulanabilirliği ve performansı test edilecektir. Çıktıları arasında EURAMET (Avrupa Metroloji Birliği) rehber dokümanlarının yazılması olan proje sonunda, geliştirilen yöntemler ve proje çıktıları 10 farklı ülkede düzenlenecek olan seminerler ile paylaşılacaktır.

Makalede, belirsizlik hesaplama konularında mevcut kullanılan yöntemler ve bu yöntemlerin dayandığı standartlar hakkında bilgi verildikten sonra, önerilen yeni yöntemlerin avantajları, nasıl gerçekleştirileceği ve proje hakkında bilgilendirmeler yapılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Koordinat Ölçümleri, CMM, Belirsizlik Hesaplamaları, Kalibrasyon, Üretim toleransları

## ABSTRACT

In developing and accelerating manufacturing and production processes, the need for fast decisions of acceptance or rejection for manufactured parts has increased day by day. In order to make rapid measurements both in the manufacturing sector and in the areas of quality control, the use of 3 Dimensional Measurement Device (CMM) has become widespread. For parts, it is as important to be able to make decisions as performing fast measurements. Standardized rules exist for these assessments (EN ISO 14253-1, ISO / TR 14253-6). Measurement uncertainty should also be considered during the assessment. Unfortunately, the uncertainty in coordinate measurements is technically very difficult to calculate and there are very few international guidance documents. Since uncertainty calculation is difficult and time consuming, most companies ignore the uncertainty value in their routine investigations. Uncertainties that are overlooked or calculated higher than necessary have a negative impact on the decision-making process and cause some parts to be rejected unnecessarily or discarded as junk. In addition, faulty decisions are an important hazard for critical parts whose functional failure can result in serious damage. Although the EN ISO 15530 standard series [7-10] is the standard for uncertainty calculations in coordinate measurements, it is not possible to use it in industrial measurements because it does not have practical methods and has impractical methods (incomplete prerequisite definitions). Although EN ISO 14253-2 [1-6] is directed to dimensional measurements in uncertainty calculations, it does not include coordinate measurements. Therefore, there is a need for new methods that are easy to apply and standardized for calculating uncertainty in coordinate measurement. Through these methods, the inspections and decision processes during production will become more reliable and higher quality products will be achieved.

In order to develop new, applicable methods by examining existing ones, the National Metrology Institute of Italy (INRIM) has proposed a multinational joint project to the European Union (EU) Metrology Research and Innovation Program (EMPIR), in which TUBITAK UME is a partner. The project was accepted in 2017 and started in June 2018.

In this project, named 18NRM03 EUCoM in short and a total of 12 project partner countries participating, 2 different uncertainty calculation methods will be prepared and its applicability and performance will be tested. As well as the writing of EURAMET (European Metrology Association) guidance documents, the project outputs and the methods developed will be shared with the seminars to be held in 10 different countries at the end of the project.

In this article, after giving information about the current methods used in uncertainty calculation and the standards on which these methods are based, the advantages of the proposed new methods, how they will be realized and information about the project will be given.

**Key Words:** Coordinate Measurement, CMM, Uncertainty evaluation, Calibration, Product tolerances.

## 1. GİRİŞ

Metroloji dünyasına 70 'li yıllarda giren ölçüm belirsizliği parametresi, her geçen gün imalat ve üretilen parça toleranslarının biraz daha aşağıya çekildiği günümüzde daha da önem kazanmıştır. Düşük toleranslar ile hatasız ve hızlı üretim yapmaya çalışan üreticiler, üretilen parçaların kontrolünü ve kabulünü yapan aracı firmalar ile kullanıcıların en önemli değerlendirme parametrelerinden birisi olmuştur. Üretilen parçaların "Kabul" ve "Ret" kıstaslarını belirleyen standartlardan bir tanesi ISO 14253 serisidir [1-6]. Bu standartlara göre kabul kıstaslarını sınırlayan parametre ise ölçüm belirsizliğidir. İmalat sanayinin ve üretilen parçaları kontrol eden veya kullanan kişilerin ihtiyaç duydukları parametre ise güvenilirliği yüksek şekilde hesaplanmış düşük belirsizlik verileridir. Düşük ve güvenilir belirsizlik demek belirsizliğe etki eden parametrelerin net ve doğru bir şekilde belirlenmesiyle elde edilmesi demektir. Bu parametrelerin doğru belirlenmemesi belirsizlik hesaplarındaki güvenilirliği zedelemekte bu güvensizlik firmalara, olması gereken değerden daha yüksek belirsizlik değerinin kullanımını mecbur kılmakta veya belirsizlik değerini göz ardı ederek değerlendirme yapmalarına sebep olmaktadır. Tolerans bantlarını daraltan, yüksek belirsizlik veya göz ardı edilen belirsizlik

değerleri parça kabulünde veya ret edilmesinde, hem üretici hem de kullanıcı adına riskleri artırmaktadır.

Hızlı parça imalatı ve kontrol edilme gerekliliği 3 Boyutlu Ölçüm Cihazlarının (CMM) kullanımını yaygınlaştırmıştır. Cihazlardaki otomatik kullanım ve kullanım kolaylığı, boyut sınırlamasının azlığı ve üretim bantlarına takılabilirliği sebebiyle popülerliği gittikçe artmaktadır. Otuz yıldan daha fazla süredir kullanılmasına ve geliştirilmesine rağmen CMM cihazlarında hala tam olarak bilinmeyen ve netleştirilmemiş hatalar ve belirsizlik katkıları bulunmaktadır. Bu yüzden kullanıcılar belirsizlik hesaplarını, doğruluğu tam teyit edilmemiş olmasına rağmen, konunun uzmanlarının tavsiye ettiği şekilde gereğinden yüksek hesaplamakta veya yukarıda bahsedildiği gibi değerlendirme kıstası olarak riski göze alıp göz ardı etmektedir. CMM belirsizlik hesaplarını standartlaştırmak amacı ile hazırlanmış olan ISO 15530 [7-10] serisi standartlar tam olarak tamamlanmamıştır. Mevcut olan kısımlarda tavsiye edilen yöntemler zaman alıcı ve her ölçüm alanı (büyüklüğü) için uygulaması mümkün değildir. Bu yüzden kullanıcılar tarafından tam olarak benimsenememiştir.

Bu açığı kapatmak adına 12 farklı ülkenin katılımı ile bir konsorsium kurulmuş ve İtalya Ulusal Metroloji Enstitüsü (INRIM) koordinatörlüğünde Avrupa Birliği (AB) Metroloji Araştırma ve İnovasyon Programına sunmak üzere 18NRM03 EUCoM kısa isimli proje hazırlanmış, 2017'de desteklenmesi kabul edilmiş ve Haziran 2018'de proje çalışmalarına başlanmıştır. Projenin amacı CMM belirsizlik hesaplamaları konusunda mevcut yöntemleri inceleyerek, yeni, uygulanabilir farklı yöntemler geliştirmek ve bu yöntemlerin doğruluğunu teyit etmek ve validasyonu yapılan yöntemleri mevcut standartların geliştirilmesi ve değiştirilmesi için önermektir.

## 2. ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİNİN PARÇA KABUL VE RET KRİTERLERİNDEKİ ÖNEMİ

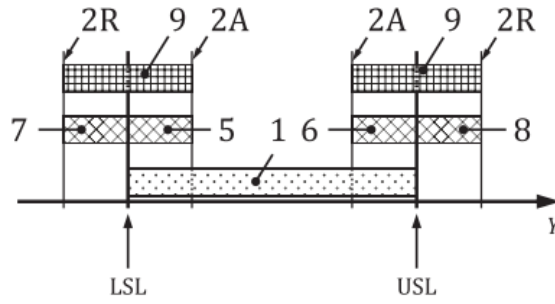
Ölçüm belirsizliği değerinin parça kabulünde veya ret edilmesindeki rolünden bahsettiğimizde iki dokümanın ön plana çıktığını görürüz. Biri ISO 14253-1 [1], diğeri ise ISO GUM dokümanının uzantısı olan ve Uluslar Arası Ölçüler Ağırlıklar Ofisi (BIPM) tarafından yayımlanan JGCM 106 [10] dokümanıdır.

ISO 14253 Part-1 [1] genel olarak uygunluk onayı veya uygunsuzluk onayı değerlendirmeleri ve yöntemlerini anlatırken, ölçüm belirsizliğinin hesaba nasıl katılacağını, her iki seçenek için, tarif etmektedir. Önemli olan nokta ise her iki durumda da ölçüm belirsizliğinin, test edilen parça için tanımlanan tolerans aralığını daraltmasıdır. Kısacası ölçüm belirsizliği ne kadar düşük hesaplanır ise hem üretici, hem de tüketici için karar verme aşamasındaki güvenli aralık genişleyecektir (Şekil1.).

Benzer olarak JGCM 106 [10] dokümanı incelendiğinde (ISO 14253'e atıf yapılarak) yukarıda bahsedilen durumun detaylı bir şekilde açıklandığı görülmektedir. Bu dokümanda diğerinden farklı olarak uygunluk onayına tüketici riski tanımlaması yaparken, uygunsuzluk onayına üretici riski tanımlaması yapılmıştır.

Her ne şekilde tanımlama yapılır ise yapılsın ölçüm belirsizliği değerinin kabul edilebilir toleransı düşürdüğü gerçeğini değiştirmemektedir.

Yapılan ölçümde belirsizliğe katkı eden parametrelerin bulunmasındaki kesinlik arttıkça belirsizlik hesabındaki güveni artıracak ve belirsizlik değerini düşürecektir. Böylece parça değerlendirilmesinde daha geniş toleranslara ulaşılabilecektir.



|     |  |
|-----|--|
| 1   | Özellik /Tanımlama Bölgesi   |
| 2A  | Uygunluğu doğrulamak için kabul limitleri                              |
| 2R  | Uygunsuzluğun doğrulanması için kabul limitleri                        |
| 5   | Güvenlik bandı uygunluğun doğrulanması için alt tanımlama sınırında    |
| 6   | Güvenlik bandı uygunluğun doğrulanması için üst tanımlama sınırında    |
| 7   | Güvenlik bandı uygunsuzluğun doğrulanması için alt tanımlama sınırında |
| 8   | Güvenlik bandı uygunsuzluğun doğrulanması için üst tanımlama sınırında |
| 9   | Belirsizlik bölgesi  |
| LSL | Alt özellik/tanımlama limiti   |
| USL | Üst özellik/tanımlama limiti   |

Şekil 1. ISO 14253 Part-1' e [1] göre üst ve alt limitlerin belirlenmesi ve Belirsizlik Bölgesi.

### 3. KOORDİNAT ÖLÇÜMLERİ BELİRSİZLİK HESABINDA KULLANILAN YÖNTEMLER VE İLGİLİ STANDARTLAR

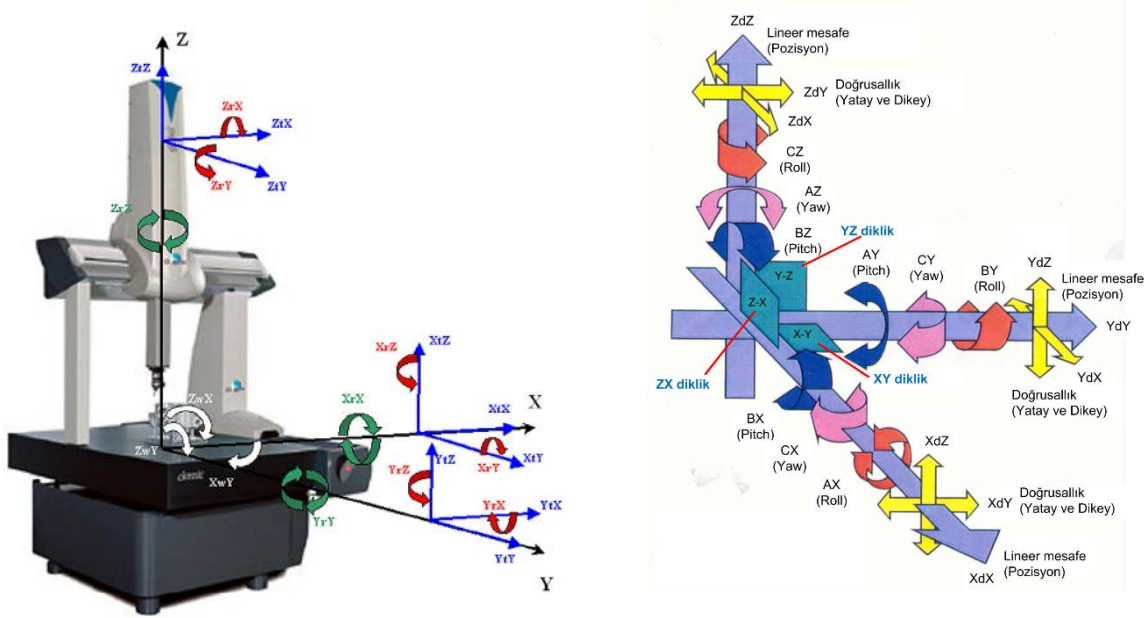
Belirsizlik hesapları konuşulduğunda ilk akla gelecek olan referans doküman ISO/IEC Guide 98-3:2008'dir [12] (JCGM 100:2008 [11]). Genel olarak belirsizlik ile ilgili genel tanımlamalar ve belirsizlik hesaplarının anlatıldığı, genel kuralların olduğu dokümandır. Özel olarak bir alana değil bütün ölçüm alanlarına hitap etmektedir. Bu dokümana ek olarak zaman içerisinde yayımlanmış olan ve özel bazı alanlara yönelik örnek ve çalışmaları içeren dokümanlarda mevcuttur. Bunlar içerisinde yaygın olarak kullanılanlar ise EA-4/02 M: 2013 [13] ve UKAS M3003 ver.3 (2012) [14] dokümanlarıdır. Her iki dokümanda ISO GUM dokümanının kısa bir özeti gibidir, ek olarak bazı ölçümler için örnek belirsizlik bütçeleri ve hesaplama yöntemlerini içermektedirler. Bunlara ek olarak ISO 14253-5 [4] dokümanından bahsedebiliriz. Bu dokümanda da yine belirsizlik hesaplama yöntemleri aktarılmaktadır. Ayrıca yaygın olarak yapılan boyutsal ölçümler ile ilgili birçok örnek uygulamayı içermektedir. Fakat bu dokümanların hiç birinde koordinat ölçümlerine yönelik özel bir çalışma ve örnek uygulama mevcut değildir.

Yukarıda sayılan dokümanların tamamı aslında belirsizlik hesaplamalarında kullanılan klasik yöntemleri ihtiva etmektedir. Bunlara ek olarak daha sonra geliştirilen yöntemler ile ilgili ek dokümanlar yayımlanmıştır. JCGM 101:2008 [16] dokümanında anlatıldığı gibi belirsizlik hesaplarında Monte Carlo yönteminin uygulanması buna bir örnek olarak verilebilir. Bu yöntemin uygulanması zaman alıcı olmasının yanında pahalı yazılımlar gerekmektedir.

CMM ölçümleri ile ilgili hesaplama yöntemlerinin anlatıldığı standartlar ise ISO 15530 Serisi [6-9] standartlardır. Temel olarak koordinat ölçümlerinde belirsizlik kaynaklarının tanımladığı ve bunların hesap yöntemlerinin aktarıldığı standartlardır.

CMM'ler çok amaçlı cihazlardır. CMM cihazları hemen hemen boyutsal ölçümlerin tamamını yapabilmektedirler. Ayrıca yapıları gereği çoklu eksene sahiptirler, bu yüzden ölçümlere etki eden belirsizlik kaynakları çoktur. Bu kaynakların tamamının tespit edilmesi ve belirsizliğe ne kadar katkılarının olduğunun bulunması neredeyse imkânsızdır.

CMM'ler üzerine yapılan çalışmalardan elde edilmiş 21 adet geometri hatası vardır, bu hatalar Şekil 2. de gösterilmektedir. Her bir eksen, pozisyon hatasının yanı sıra, eksen boyunca yatay ve dikey yönde doğrusallık, pitch-yaw-roll açısıl hataları olmak üzere 6 çeşit hataya sahiptir. Böylece CMM cihazları çalışma sırasında, üç eksen (X, Y, Z),  $3 \times 6 = 18$  hataya sahipken, 3 eksenin arasında ortaya çıkan 3 adet diklik hatası ile toplamda  $18 + 3 = 21$  adet hataya sahiptir.



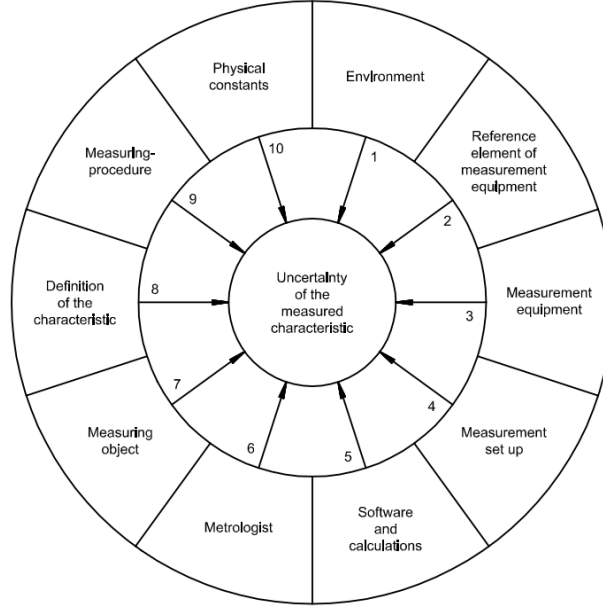
ISO 15530-1'de [6] genel bir yaklaşım ile sadece CMM cihazından kaynaklı değil genel olarak ölçüm sürecinin tamamını kaplayacak şekilde potansiyel belirsizlik kaynakları tanımlanmış ve olası nedenleri sıralanmıştır. Standartta göre belirsizlik sebepleri üç temel kaynaktan gelmektedir;

1. Cihaz Kaynaklı
2. Ölçüm Planı Kaynaklı
3. Dış Etkenler Kaynaklı

Cihaz kaynaklı belirsizlikler kullanılan cihazdan kaynaklanan bütün etkileri kapsamaktadır. Cihazın yapısından kaynaklanan geometrik hatalar, ölçüm öncesi parça yükleme, dinamik etkiler ve hatta çevresel etkiler de buna dahildir. En önemli hatalardan bir tanesi prob sisteminden kaynaklanan ve ayrıca diğer sensörlerden (örneğin; sıcaklık sensörleri) kaynaklanan hatalar olarak sıralanabilir. Bunların dışında cihaz için üretici tarafından belirlenen yazılım algoritma ve matematik hesaplardan kaynaklanan hatalar da sıralanabilir. Bunların tamamı aslında üretici tarafından kurulum sırasında kısmen giderilebilir veya etkisi azaltılabilen hatalardır. Bu hataları minimize etmek için üreticiler cihazın en iyi performans verdiği ortamda kullanılmasını tavsiye etmektedirler.

Ölçüm planı kaynaklı hatalar, ölçüm için seçilen süreçten kaynaklanan hataları kapsar. Ölçülecek parçanın cihaz üzerindeki konumu, oryantasyonu, prob tercihi ve nokta ölçümü sırasında örnekleme stratejisi gibi katkılar buna dahil edilebilir. Bunlara ek olarak ölçülen büyüklüğün tanımlanmasında/değerlendirilmesinde kullanılacak metodun da etkileri sayılabilir. Örnek olarak silindirikde yuvarlaklık ölçümünde LSC (Least square circle), MZC (Minimum zone circles), MIC (Maximum inscribe circle) ve MCC (Minimum circumscribe circle) değerlendirme yöntemlerinin seçilebilir olması verilebilir. Yine silindiriklik parametresinin ölçümünde LSCyl (Least square cylinder) ve MZCyl (Minimum zone cylinders) örnek olarak gösterilebilir.

Dış etkenlerden kaynaklı belirsizlik katkıları ise CMM üreticileri ve kullanıcıların kontrolünün dışında olan etkilidir. Bu etkilere kaçınmak mümkün değildir. Parça geometri hataları örneğin form, yüzey pürüzlülüğü, doğrusalık, termal özelliği vb. ve hatta test parçası bağlama problemleri kısaca bu hatalara örnek olarak verilebilir. Bağlama esnasında tutturma kuvvetinin parçanın nötr ekseninden uygulanmaması, veya bağlama kuvvetinin aşırı olması; 3-lob hatası vb. bu hatalara örnektir.



**Şekil 3.** ISO 15530-1'e göre Bilinen belirsizlik katkıları [6].

Şekil 3. de görüldüğü gibi yukarıda örneklerini sıraladığımız belirsizlik katkılarına daha fazlası eklenebilir. Ayrıca Şekildeki her bir madde en az 2, en fazla 10 adet daha belirsizlik katkısı içermektedir (Bkz. ISO 15530-1 Annex B)

Yukarıda üç ana başlıkta sıralanan ölçüme özel belirsizlik katkılarının birleştirilmesi için tavsiye edilen yöntemler ise ISO/IEC Guide 98-3:2008'de [12] tanımlanmıştır. Bu adımlar takip edilerek ölçüme özel belirsizlik değerleri hesaplanabilecektir.

ISO 15530-3'de [8] kalibrasyonu yapılmış ek parça kullanılarak ölçüme özel belirsizlik katkılarının hesaplanması anlatılmaktadır ve kullanıcı için belirsizliğin hesaplanmasını kolaylaştırmak amaçlanmıştır. Standartta anlatılan yöntem deneysel yerine-koyma metodu olarak da tanımlanmaktadır. Uygulama prensibi, gerçek ölçüm ile aynı şartlarda ve aynı yöntemle ölçüm almak fakat farklı olarak daha önce kalibrasyonu yapılmış, büyüklükleri bilinen ve ölçümü hedeflenen parça ile benzer bir parçayı ölçmektir. Elde edilen sonuç ile parçanın kalibrasyon değeri arasındaki fark belirsizlik hesabında kullanılmaktadır. Oldukça etkili bir uygulama olmasına rağmen, ölçümü yapılacak her parça için benzer ve kalibreli bir referans bulma zorunluluğu vardır. Bu yöntemin uygulaması için hem referans olarak kullanılan parça hem de ölçümü yapılacak parça aynı ölçüm strateji ile tekrarlı ölçümler ile ölçülmektedir. Tavsiye edilen, ölçümü yapılacak parçada uygulanan prosedürün (prob hareketleri dahil) uygulanarak, en az 10 turda, toplamda 20 ölçüm alınmasıdır. Test ve ölçümde kullanılacak referansın ölçüm yüzeyleri, malzemeleri aynı olmalı fakat boyutsal karakterlerinden açı değerleri  $\pm 5^\circ$  kadar değişim gösterebilirken, boyut değerleri 250 mm üstünde olanlarda %10, 250 mm altında olanlarda 25 mm farklı parçalar kabul edilebilmektedir. Ayrıca belirsizlik hesabında kullanılan katkılar bu parçanın kalibrasyonunu yapan laboratuvara bağlı olacaktır. Bu yüzden kalibrasyonu yapacak olan laboratuvarın beyan ettiği belirsizlik değerinin, hedeflenen ölçümü gerçekleştirmeye yetecek kadar düşük olması istenmektedir. Bu yöntem ile cihazdan ve ölçüm planından kaynaklanan belirsizlik katkıları hesaplanabilirken dış etkenlerden kaynaklanan katkılar tam olarak bulunamamaktadır. Bu yüzden bu katkılar dışardan hesaplanarak katılmalıdır. Bu yöntem, basit parçalara kolay uygulanabilirken daha kompleks parçalarda tam olarak uygulanamamaktadır. Ayrıca uygulamanın zaman

alması sebebiyle birçok işletme tarafından tercih edilmemektedir. Belirsizlik hesabı yapıldıktan sonra belirli aralıklarla (örneğin tavsiye edilen haftada bir) referans parça ölçülerek, ölçülen değer ile kalibrasyon değeri arasındaki farkın belirlenen belirsizliğin altında olup olmadığının kontrol edilmesi (ara kontrol yapılması) tavsiye edilmektedir. Bulunan değer beklenenden fazla çıkması durumunda belirsizlik hesabının tekrarlanması gerekmektedir. Bu standardın uygulanabilir olmadığı durumlar (Örneğin: Referans numune olmadığı zaman) için ise herhangi bir yardımcı rehber doküman mevcut değildir.

ISO 15530-4'de [9] belirsizlik hesaplamasında simülatör kullanımı tarif edilmektedir. Aslında simülatör kullanılması sanal olarak yerine-koyma metodunun uygulanmasıdır. Bilgisayar kullanılması sihirli değnek gibi gözükse de, başarılı sonuç alabilmek için, hesaplamadan önce bilgisayara bütün belirsizlik kaynaklarının ve dağılımlarının tanıtılması gerekmektedir. Ayrıca bu metod ölçüm işleminin matematik modelinin tam olarak bilindiği ölçümlerde işe yaramaktadır ve belirsizlik kaynaklarının iyi bilindiği fakat aralarındaki ilişkinin kompleks olduğu durumlarda kullanışlıdır. Klasik yöntemde tam olarak çıkartılamayan korelasyon ve belirsizlik katkıları arasındaki ilişki daha kompleks olarak işlenebilmektedir. Hesaplama sırasında istenildiği kadar farklı senaryo istenildiği kadar tekrar ile yapılabilmesi, hesaplanan verinin güvenilirliğini artırmaktadır. Fakat ölçüm yönteminden kaynaklanan ve kolay belirlenemeyen özel ölçüm hatalarını bulmak için oldukça fazla hesaplama döngüsü yapılması gerekmektedir.

#### 4. YENİ ÇALIŞMA ve GELİŞMELER (PROJE ÇALIŞMA DETAYLARI)

CMM ölçümlerinde belirsizlik hesaplamalarını kolaylaştırmak ve uygulanabilir daha basit yöntemler geliştirmek adına 12 farklı ülkenin katılımı ile bir konsorsium kurulmuş ve İtalya Ulusal Metroloji Enstitüsü (INRIM) koordinatörlüğünde Avrupa Birliği (AB) Metroloji Araştırma ve İnovasyon Programına 18NRM03 EUCoM [17] kısa isimli proje hazırlanmıştır. Proje, mevcut standartlara katkı sağlamak ve bulguların tüm kullanıcılara açık ve yayımlanabilir olması amacıyla Normativ (Mevcut standartların revizyonu, genişletilmesi veya yeni standart yayımlanmasına katkı sağlamayı amaçlayan projeler için açılmış başvuru kapsamı/başlığı) kapsamında hazırlanmıştır. Projenin 2017 yılında desteklenmesi kabul edilmiş ve Haziran 2018'de proje başlamıştır.

Projenin temel amacı CMM belirsizlik hesaplamaları konusunda mevcut yöntemleri inceleyerek, yeni, uygulanabilir, iki farklı yöntem geliştirmek. Geliştirilen yöntemlerin doğruluğunu teyit etmek ve ayrıca validasyonu yapılan bu yöntemleri, mevcut standartların geliştirilmesi veya değiştirilmesi için önermektir. Ayrıca tamamlanması ve basımı destek bulamamış olan ve bu yüzden eksik kalan yayımlanmamış ISO 15530 Serisi Bölüm 2 ve Bölüm 5'in yayımlanmasına katkıda bulunmaktadır.

##### 1. Yöntem: İzlenebilir standartlaştırılmış yöntem geliştirmek (Posteriori Type-A)

Ölçüm belirsizliği hesabı gibi zor bir işi, genellikle derin bilgiye sahip olmayan uygulayıcılar yapmaktadır. Bazen hesaplamanın kendisi konunun uzmanı tarafından bile yapılamayacak kadar zordur.

Bu tip durumlarda, tüm belirsizlik kaynaklarının tam olarak anlaşılmasına gerek olmadan hesaplamada yardımcı olan posteriori bilgisine dayanan A Tipi yöntemler ön plana çıkar. Bu yöntem ile önceden tanımlanmış bir prosedür kullanılarak yapılan ölçümlerden elde edilen veriler kullanılır. A tipi yöntem zaman alıcı bir yöntem olmasına rağmen, alternatif bir yöntem olmaması sebebiyle üretimin sonunda seri tekrarlar ile uygulanır.

A tipi yöntemin uygulaması ISO 15530-3 [8] tarif edilmiştir. Bu yöntemin uygulanması için ölçülecek parça ile benzer kalibreli bir parçaya ihtiyaç vardır. Fakat bu yöntemin ana kısıtı kalibrasyonlu parçanın kendisidir. Problemlenilen nokta ise her zaman ölçümü yapılması hedeflenen parçaya benzer parça bulunamaması veya referans olarak kullanılacak parça kalibrasyonunun yapılamamasıdır. Ayrıca A tipi yöntem kompleks üç boyutlu parçalarda uygulanamayabilir. Bu yöntem ile elde edilen belirsizlik hesabının, parçayı kalibre eden laboratuvara bağlı olması ise yöntemin diğer bir kısıtıdır.

Proje içerisinde geliştirilmesi planlanan yeni yöntem ile bu kısıtlamanın ortadan kaldırılması planlanmaktadır. Ayrıca geliştirilen uygulamanın geniş bir ölçüm alanını (boyut ve açı ayrıca referansa bağlı veya bağlı olmayan büyüklükler) ve probleme seçeneğini (nokta bulutu veya yüzey tarama) kapsaması hedeflenmektedir. Ölçüm stratejisi olarak, ölçülecek parçaya benzer kalibreli bir referansa ihtiyaç duyulmadan, tekrarlı ve tersine mühendislik yöntem kullanılması hedeflenmektedir. Çalışma sonunda yayımlanmamış olan ISO 15530-2 [7] basımı için gerekli olan yöntem oluşturulmuş ve validasyonu yapılmış olarak hazırlanmış olacaktır.

## 2. Yöntem: Basitleştirilmiş ve onaylanmış yöntem geliştirmek (Piriori Type-B)

Maalesef ISO standartlarında, test yapmadan veya ölçüm öncesinde belirsizlik kaynaklarının tahmin edilmesi veya önlenmesi konusunda yardımcı bir rehber bulunmamaktadır. Bir yönüyle uzmanların kendi tecrübeleri ile oluşturdukları fakat tam olarak doğruluğu ispatlanmamış yöntemler kullanılması, diğer taraftan kullanıcıların kendilerinin yetersiz bilgisiyle belirsizlik kaynaklarından kurtulmaları veya etkilerinin azaltılması mümkün gözükmemektedir.

Proje sayesinde tamamen kullanıcı dostu ve bütün eksikleri kapsayıcı bir çözüm üretmek zordur. Fakat geliştirilecek yeni yöntem ile ölçüme başlamadan önce belirsizlik kaynaklarının belirlenmesi ve hesaplanmasına çalışılarak, belirsizlik katkıları ile örnek uygulamaları içeren rehberler hazırlanacaktır.

Proje ile belirsizlik hesaplamalarını aşağıda sıralanan önceki (Priori) bilgilerden yararlanarak, ölçüm yapılmadan hesaplayan bir yöntem geliştirmek amaçlanmıştır.

1. CMM kabiliyetinin, özellikle EN ISO 10360 [18-22] testleri ile elde edilen MPE (Maximum Permissible Error, maksimum izin verilen hata) değerleri, özet beyanlarını,
2. CMM'in kendine has özel (durumunun) temel modeli,
3. Benzer ölçümlerden elde edilen sonuçlar ve
4. Uzman görüşü vb.

CMM ölçümlerindeki temel prensip, bir elementin herhangi bir büyüklük ölçümünde (ör: bir silindirin yarıçap hesabında) oldukça fazla alınan koordinat nokta bulutundan, daha az sayıda özellik içeren nokta kullanılarak ölçülen büyüklük parametresine dönüştürülmesidir. Aslında hesaplanan parametrelerle ilgili belirsizlikler, ilişkili varyans matrisinde kodlandığı gibi, hesaplamada kullanılan nokta koordinatlarıyla ilgili belirsizliklere bağlı olmasıdır. Fakat hesapta kullanılan gerçek varyans matrisini hesaplamak (bulmak) zor olsa da, önceki bilgiler kullanılarak makul bir yaklaşım ile belirsizlik hesabında kullanılacak varyans matrisi tespit edilebilecektir.

Geliştirilmesi planlanan yöntem uzman görüşlerine dayalı belirsizlik hesaplama yöntemi olacak ve yayımlanmamış olan ISO 15530-5 için gerekli olan yöntem valide edilmiş olarak hazırlanmış olacaktır.

Bu iki yöntemin validasyonu farklı çalışma (laboratuvar, endüstri) ortamlarında ve farklı CMM'ler ile test edilerek yapılacaktır. Bulunan sonuçlar on farklı ülkede gerçekleştirilecek çalıştaylar ile tanıtılması planlanmaktadır. Ayrıca çalışma grupları vasıtasıyla ISO 15530 Serisi [6-9] standartların güncelleme ve yayımlanmamış bölümlerin (bölüm 2 ve bölüm 5) yazımı için gerekli bilgi kaynağı sağlanacaktır. Yayımlanmamış olan ISO 14253-5 standardının revizyonu için standardın eksik parçaları olan CMM alanındaki uygulamalı belirsizlik hesabı hazırlanmış olacak. Belirsizlik hesaplamaları için ISO 15530 Serisi [6-9] standartların uygulanabilir olmadığı durumları da kapsayacak şekilde çözüm üretilmeye çalışılacaktır.

CMM belirsizlik hesaplarındaki bilinmezlerin ortadan kaldırılması ile daha güvenilir ölçüm belirsizliğini hesaplayacak yöntemlerin geliştirilmesi mümkün olacak, böylece yanlış karar verme riskini (yanlış kabul: tüketici riski, yanlış ret: üretici riski) düşüreceği için parça kontrolleri yapan ölçüm laboratuvarları ve üretilen cihazın güvenilirliğini artırdığı için CMM üreticileri de fayda sağlayacaklardır.

Seri şekilde üretim yapılan durumlarda, üretimin sonunda bir sefere mahsus zaman harcayarak belirsizlik hesaplanabilir ve bütün üretim boyunca kullanılabilir. Bu tip durumlarda Posteriori (type-A) yöntemi uygun olabilir. Fakat her ürüne özel kontrol ve üretim yapılması durumunda veya üretime göre kontrol mekanizması oluşturulması gerektiğinde veya alternatif yöntemler arandığında ve hızlı bir şekilde belirsizlik hesabına ihtiyaç duyulduğunda, deneysel yöntemin uygulanmasının imkânsız veya çok maliyetli olacağı için, Priori (Type-B) yöntemin kullanılması uygun olacaktır.



## SONUÇ

Standartların, CMM alanında farklı belirsizlik yöntemleri ve uygulamalarıyla tamamlanması CMM kullanıcılarına daha geniş uygulama alanında daha geniş imkânlar sağlayacaktır. Endüstri için daha uygulanabilir ve kolay belirsizlik hesabı aşağıdaki faydaları sağlayacaktır.

Ölçümleri kabul veya ret için karar verme platformu olarak kullanan üreticiler için, uluslararası standartlar ile tanımlanmış güvenilir ve uygulanabilir belirsizlik hesabı yöntemlerini kullanmak, hatalı karar verme riskini düşürerek daha güvenilir karar almalarını sağlayacaktır. Böylece katma değeri yüksek parça imal eden ve satış sırasında müşterisine parça kalitesini ispatlamaya ve müşterisinin kabulünü almaya çalışan firmaların işleri de kolaylaşacaktır. Gerçekçi hesaplama yöntemi müşterinin güvenini sağlayacaktır.

Genel uygulamada olduğu gibi bazen ölçümler ve kabul kararı, müşteri tarafından yapılan ölçümlere dayanmaktadır. Benzer bir durumda parça kabulünde yaşanacak riskler de azaltılmış olacaktır. Aynı şekilde bazen müşteri ve üretici/tedarikçi arasındaki anlaşmazlıkların çözümünde aracı firma ve ölçüm laboratuvarları devreye girmektedir. Uluslararası alanda kabul görmüş standartlara ve rehber dokümanlara dayalı ölçüm ve hesaplamaların yapılması anlaşmazlıkların çözümünde delil niteliğinde olacaktır ve çözümü kolaylaştıracaktır.

Ölçüm cihazlarını ürün olarak satan ve üreten firmalar için ise daha güvenilir ve uygulaması daha kolay belirsizlik hesabı, ürünlerinin gerçek performanslarının anlaşılmasına ve anlatılmasına destek verecektir. Müşteriler için ise yanlış cihaz tercihi azalırken, amaca uygun cihaz seçiminde kolaylık sağlanmış olacaktır.

Günümüzde küçük değişim ve katkıların büyük etkileri olduğu unutulmamalı. Bu alanda yapılacak en küçük iyileştirme dahi atık malzemenin azalmasına ve geri dönüşüm maliyetlerinin düşürülmesine sebep olacaktır. Bu durumda çevre için elde edilen en küçük yarar sadece endüstri için değil bütün toplum için olacaktır. Ayrıca atık malzeme ve geri dönüşüm maliyetlerinin aşağı çekilmesi ülke ekonomilerine katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] BS EN ISO 14253-1 Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 1: Decision rules for verifying conformity or nonconformity with specifications (ISO/FDIS 14253-1:2017; approved, awaiting publication)
- [2] EN ISO 14253-2:2011 Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 2: Guidance for the estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification (ISO 14253-2:2011)
- [3] EN ISO 14253-3:2011 Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 3: Guidelines for achieving agreements on measurement uncertainty statements (ISO 14253-3:2011)
- [4] EN ISO 14253-5:2015 Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 5: Uncertainty in verification testing of indicating measuring instruments (ISO 14253-5:2015)
- [5] ISO/TR 14253-6:2012 Geometrical product specifications (GPS) -- Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment -- Part 6: Generalized decision rules for the acceptance and rejection of instruments and workpieces
- [6] CEN ISO/TS 15530-1:2013 Geometrical product specifications (GPS) – Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement – Part 1: Overview and metrological characteristics (ISO/TS 15530-1:2013)
- [7] ISO/DTS 15530-2 Geometrical Product Specifications (GPS) – Coordinate measuring machines (CMMs): Techniques for evaluation of the uncertainty of measurement – Part 2: Use of multiple

- measurement strategies in measurements of artefacts (2008, unpublished; see documents ISO/TC213/WG10 N727-1, ISO/TC213/WG10 N727-2, ISO/TC213/WG10 N727-3)
- [8] EN ISO 15530-3:2011 Geometrical product specifications (GPS) – Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement - Part 3: Use of calibrated workpieces or measurement standards (ISO 15530-3:2011)
- [9] ISO/TS 15530-4:2008 Geometrical Product Specifications (GPS) – Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement – Part 4: Evaluating task-specific measurement uncertainty using simulation
- [10] [JCGM 106:2012](#) Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment
- [11] [JCGM 100:2008](#) Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM 1995 with minor corrections)
- [12] ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
- [13] EA-4/02 M: 2013: Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration
- [14] UKAS M3003 ver.3 (2012): The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement
- [15] ISO/IEC Guide 98-4:2012 Uncertainty of measurement – Part 4: Role of measurement uncertainty in conformity assessment
- [16] JCGM 101:2008: Evaluation of measurement data -Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” - Propagation of distributions using a Monte Carlo method
- [17] EURAMET EMPIR Project 18NRM03 EUCom: “Standards for the evaluation of the uncertainty of coordinate measurements in industry”; <http://eucom-empir.eu/>
- [18] EN ISO 10360-1:2000 Geometrical Product Specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) – Part 1: Vocabulary (ISO 10360-1:2000)
- [19] EN ISO 10360-2:2009 Geometrical product specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) – Part 2: CMMs used for measuring linear dimensions (ISO 10360-2:2009)
- [20] EN ISO 10360-5:2010 Geometrical product specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) – Part 5: CMMs using single and multiple stylus contacting probing systems (ISO 10360-5:2010)
- [21] EN ISO 10360-6:2001 Geometrical Product Specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) – Part 6: Estimation of errors in computing Gaussian associated features (ISO 10360-6:2001)
- [22] EN ISO 10360-8:2012 Geometrical product specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring systems (CMS) – Part 8: CMMs with optical distance sensors (ISO 10360-8:2013)

## ÖZGEÇMİŞ

### Okhan GANIÖĞLU

1969 yılı İstanbul doğumludur. 1993 yılında ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1996 yılında Yüksek Lisans derecesi almıştır. 1996-1997 yılları arasında özel bir firmada Arazi Ölçüm Cihazları konusunda teknik servis personeli olarak çalışmıştır. 1997 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Boyutsal Laboratuvarında araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır.

1999-2012 Yılları arasında Laboratuvar sorumlu vekili olarak görev yapmıştır. 2012 - 2016 yılları arasında Boyutsal Laboratuvarı sorumlusu olarak görev yapmıştır. 2005 yılında uzman araştırmacı, 2012 yılında başuzman araştırmacı unvanını almıştır. 2009 - 2011 yılları arasında TURKAK Ölçme Tekniği ve Kalibrasyon Sektör Komitesi'nde görev almıştır. 2012 - 2016 yılları arasında EURAMET Uzunluk Teknik Komitesinde (TC-L) ve Uzunluk Danışmanlar Komitesi (CCL) Boyutsal Çalışma Gruplarında (WGDM) ülkemizi temsil etmiştir. 2000 yılından beri aktif olarak TURKAK akreditasyon denetimlerinde görev almaktadır. Eylül 2019 tarihi itibarı ile TÜBİTAK-UME'den emekli olarak ayrılmıştır. Şuan serbest danışman ve eğitmen olarak çalışmaya devam etmektedir.

**İlker MERAL**

1995 yılında ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. -1996 Yılları arasında MKE Mühimatsız A.Ş.'de kalite güvence mühendisi olarak çalışmıştır. 1997 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Boyutsal Laboratuvarında araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. Ünlversal ölçümler, koordinat metrolojisi ve form ölçümleri konularında çalışmaktadır. UME Boyutsal Laboratuvarı tarafından açılan Ulusal karşılaştırmalarda yürütücü olarak görev almaktadır. TÜRKAK adına denetçilik yapmaktadır.

**Muharrem AŞAR**

1996 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden mezun olmuştur. 1996-1997 yılları arasında Abant İzzet Baysal Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak çalıştı. 1997 yılında Milli Eğitim Bakanlığı yurt dışı yüksek öğrenim bursunu kazanmış, 1999 yılında Güney Kaliforniya Üniversitesi Fizik Bölümü'nde yüksek lisansını tamamlamıştır. 2005 yılında Kuzey Karolina Devlet Üniversitesi Fizik Bölümü'nde "Epitaksiyel Büyümenin Gerçek Zamanlı Optik Kontrolünde Anizotropi Etkileri ve İlgili Metroloji Cihazları" tezi ile doktorasını tamamladıktan sonra mecburi hizmetini yapmak üzere TÜBİTAK UME'de çalışmaya başlamıştır. TÜBİTAK UME Boyutsal Ölçümler Laboratuvarında yüzey pürüzlülüğü ve nanometroloji konularında çalışmalarını sürdürmektedir.

**Murat AKSULU**

1990 yılında İTÜ Makine Mühendisliğinden mezun olmuştur. Aynı Üniversiteden 1993 yılında Yüksek Lisans derecesi, 2008 yılında Doktora derecesi almıştır. 1996 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Boyutsal Laboratuvarında araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. 2008 yılında uzman araştırmacı, 2013 yılında başuzman araştırmacı unvanını almıştır. Ana çalışma konusu Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ve Form ölçümleridir. Boyutsal metroloji alanında çeşitli Avrupa birliği projelerinde, TÜBİTAK 1001 projesinde ve TÜBİTAK iç projelerinde çalışmıştır. Halen boyutsal laboratuvarında başuzman araştırmacı olarak çalışmaktadır