

KÜRESEL PARÇALARDA HATA ANALİZİ

Önder MAVİ¹, Dr.H.Selçuk HALKACI²

¹Fatih. Mah. Panel Sok. Devran Apt. Kat 3 No 15 Konya TÜRKİYE
Tel: 0544 381 79 42 E-Mail: ondermavitr@yahoo.com

²Selçuk Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Makine Müh. Bölümü Konya TÜRKİYE
Tel: 0332 223 1913 E-Mail: shalkaci@selcuk.edu.tr

ÖZET

Bir küre üzerindeki bütün noktaların ölçülmesi ekonomik ve pratik olmayan bir işlemdir. Bu nedenle, küre üzerinden lokal ölçümler alınarak kürenin tamamı üzerinde bir yargıya varılmaya çalışılır. Yazarların bir önceki çalışmasında küre ölçmede kullanılan yöntemler incelenerek, sistematik ve rasgele mil hatalarını asıl dairesellik hatalarından ayırma teknikleri hakkında bilgi verilmiştir. Küre yüzeyinden alınan iki veya üç adet 2D ekvatorial planlar yada üç boyutlu koordinat ölçen makinelerle alınan lokal koordinat verileri, bütün küre yüzeyini temsil eden küresellik hatalarını belirlemekte tek başlarına yeterli olmazlar. Bu veriler çeşitli algoritmalarda işlenerek kürenin tamamını temsil eden küresellik hataları hesaplanabilir. Bu çalışmada, söz konusu algoritmaların bazıları hakkında temel bilgiler verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Küresellik hatası, minimum bölge metodu, en küçük kareler metodu, maksimum iç küre, minimum dış küre

1. GİRİŞ

Endüstride sıkça kullanılan küresel parçaların ölçülmesinin gerekliliği tartışılmaz bir olgudur. Küresel parçaların ölçülmesi ve hataların güvenilir olarak bulunması için önce parçanın üç boyutlu koordinat ölçme makinesi (CMMs) gibi aletlerle ölçülmesi gerekir. Sonra alınan koordinat verileri kullanılarak uygun bilgisayar algoritmalarından faydalanılarak küresellikten sapmaların hesaplanması gerekir. Kabul edilebilir sonuçların elde edilebilmesi için bu algoritmaların hızlı ve güvenilir olmaları gerekir.

2D ölçme olarak adlandırılan, esasında dairesellik ölçülmesine dayandırılan bu hesaplama normalde 3D olan küresel hataya ulaşmada yetersizdir. Küresellik hatasını hesaplamak için, ISO 1101 standardında belirtilen şekil toleransı kavramı, küresel şekilleri kapsayacak biçimde genişletilmelidir [1].

Küresellik hatasını hesaplamak için bazı araştırmacılar tarafından çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Bunların en önemlileri aşağıda ele alınacak ve daha sonraki bölümlerde hesap yöntemleri özetlenecektir. Giardini ve Ha, 1994'te yaptıkları çalışmada, 2D ölçümleri yaparak küresel koordinatları kullanarak hacim hesaplamışlardır [2]. Kanada, non-linear optimizasyon tekniğini kullanarak, minimum dış küre ve maksimum iç küreyi bulup üç boyutlu küresellik hatasını hesaplamıştır [3]. Yazar en küçük kareler metodu ve minimum bölge metodunu anlatarak CMMs'den alınan gerçek veriler yerine laplas küresel fonksiyonu ile bilgisayarda küre yüzeyini oluşturarak, bundan elde edilen verilerle yüzeylerin küresellik hatalarını incelemiştir [4]. Jung ve arkadaşları çalışmalarında üç boyutlu koordinat ölçme aleti ile alınmış hassas ölçümleri kullanarak beş farklı algoritmayı özetlemiş ve bunları kıyaslayarak en uygun olanını seçmişlerdir. Bu algoritmalar; linear, lineer olmayan en küçük kareler metodu, minimum bölge metodu, dört nokta metodu ve hata eğri analizi ile küre uydurma algoritmalarıdır [5].

3D küresellik hatalarının bulunmasında küre yüzeyindeki bütün noktaların ölçülmesi pratik olarak mümkün değildir. Bunun yerine birkaç tane 2D ölçme yapılarak elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirilmesi tercih edilir.

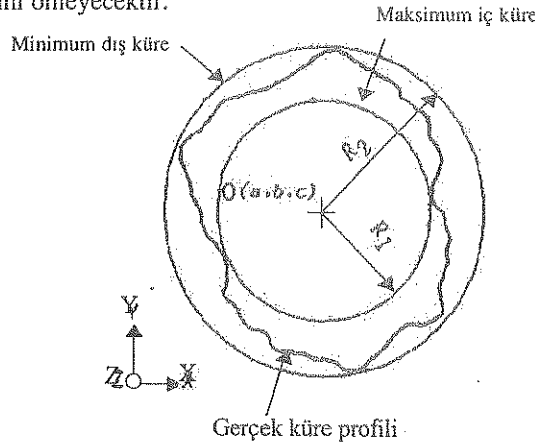
*2D; İki boyutlu

** CMM ; Üç boyutlu koordinat ölçme makinesi

Hataları istenen düzeye indirmek için ne kadar ölçüm yapılacağını inceleyen çalışmalar da mevcuttur [6].

Son zamanlarda, geometrik problemlerin çözümünde bilgisayar destekli geometrik teknikler kullanılmaya başlanmıştır. Küresellik hatalarının bulunmasında da bu tekniklerin ana algoritmaları kullanılabilir. Samuel ve arkadaşları bu teknikleri minimum dış küre ve maksimum iç küre arasında kalan bölgeyi minimum yapmak üzere "minimum bölge" metoduna uygulamışlardır [1].

Gerek tesadüfi kaçınılmaz hatalar, gerekse ölçme tekniklerindeki toleranslardan dolayı ideal bir küre üretmek mümkün değildir. Bunun yerine eş merkezli ideal iki küre arasında kalacak bir küre profilinin üretilmesi hedeflenir (Şekil 1). Küresellik ve küresellik hatalarının daha iyi anlaşılabilmesi için sıkça kullanılacak aşağıdaki terimlerin tanımlanması kavram kargaşasını önleyecektir.



Şekil 1. Maksimum İç Küre ve Minimum Dış Küre [3]

Minimum Dış Küre (Circumscribing Sphere) : Üretilen küre profilini içine alabilecek en küçük küre.

Maksimum İç Küre (Inscribing Sphere) : Üretilen küre profilinin içine sığacak en büyük küre.

Minimum Bölge Metodu: Minimum dış küre ve maksimum iç küreler ancak eş merkezli olurlarsa bir anlam ifade ederler. Bu iki küre için eş merkezliliği sağlayacak birçok alternatif vardır. Minimum Bölge Metodunun hedefi küreler arasındaki hacmi minimum yapan orijini bulmaktır.

Küresellik Hatası: Şekil 1'deki eşmerkezli küre yarıçapları arasındaki radyal fark Küresellik Hatası olarak tanımlanır.

$$f_{MZ} = R_2 - R_1 \quad (1)$$

Minimum Hacimli Küresellik Hatası: Minimum bölge metoduyla hesaplanan eş merkezli küreler arasında kalan minimum hacimdir.

Elektro erozyonla işlemede (EDM; Electrical Discharge Machining) genel amaçlı yarı küresel uçların kullanılabilirliğinin araştırılmasını yapan yazarlar, küresel elektrotların aşınmalarının kabul edilebilir düzeyde tutulabilmesi için küresel şekil hatalarının hesaplanmasına gerek duymuşlardır. Bu çalışmada en uygun küreyi ve küresellik hatasını bulacak algoritmalar tanıtılmıştır.

2. KÜRESELLİĞİN HESAPLANMASI İÇİN KULLANILAN METODLAR

En genel durumda merkez koordinatları $a_j = (a_1, a_2, a_3)$ ve yarı çapı r_j olan bir küreyi tanımlamak için kullanılan fonksiyon aşağıdaki denklemde belirtildiği gibidir.

$$r_j(x_i, y_i, z_i, a_j) = \left[(x_i - a_1)^2 + (y_i - a_2)^2 + (z_i - a_3)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

Küresellik hatalarının hesaplanması için bir çok metot geliştirilmiştir. Bunlardan bazılarına giriş bölümünde değinilmişti, birkaçı da aşağıda ele alınmıştır. Uygulamada küresel yüzeylerin şekil hatalarının ölçülmesi ile elde edilen veriler genellikle lineer bir fonksiyon olarak ifade edilemez. Bu şekilde lineer olmayan fonksiyonlar bir amaç fonksiyon olarak tanımlanır. Burada ele alınan metotlardan bazılarında küresellik hatası hesabı için, böyle amaç fonksiyonları tanımlanarak, bu fonksiyonların optimizasyonu yapılarak sonuca ulaşılabacaktır. Böyle lineer olmayan fonksiyonların çözümü için, bir lineer olmayan optimizasyon tekniği olan "Downhill Simpleks Metodu" yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu metot diğer optimizasyon tekniklerine kıyasla basit olması ve amaç fonksiyonu için diferensiyel hesaplar gerek-

tirmemesi sebebiyle tercih edilmektedir. Genellikle bilgisayar yazılımı kütüphanelerinde hazır olarak bulunabilecek [3, 4] bu teknik hakkında burada daha detaylı bilgi verilmeyecektir.

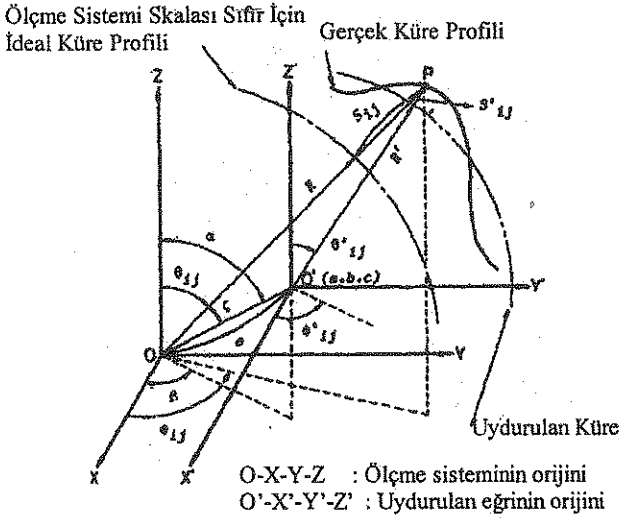
Bu bölümde "Maksimum İç Küre ve Minimum Dış Küre Metodu", "Minimum Bölge Metodu", problemi lineerleştiren "En Küçük Kareler Metodu" ve küresel hataların istenen hassasiyette hesaplanmasını sağlamak için en az kaç adet 2D dairesellik ölçümü yapılması gerektiğini bulan "İstatistiksel Tahmin Metodu" kısaca anlatılacaktır.

2.1. İteratif En Küçük Kareler Metodu

Ölçme koordinat sisteminin orijini ile uydurulan eğriye ait koordinat sisteminin orijini arasındaki kaçıklığı elimine etmek için, iteratif en küçük kareler metodu, ölçülen verilerin uydurulan eğriden sapmalarının karelerinin toplamını minimize eden parametreleri belirler. Ayrıca bu durumda geometrik özel transformasyonlar da uygulanır. Bu metotla ilgili detaylı bilgiler Kanada tarafından Tsukada'ya atıfta bulunularak verilmiştir [4]. İteratif en küçük kareler metodunun temellerini anlamak için Şekil 2'de görülen büyüklük ve parametreler aşağıda tanımlanacaktır. En küçük kareler metodu ile uydurulan küre, literatürde "en küçük kareler küresi" olarak da adlandırılmaktadır. İteratif en küçük kareler metodu; ölçme sisteminin orijini ile en küçük kareler küresi için hesaplanan orijin arasındaki OO' mesafesini ihmal edilebilir değerler arasında tutmayı amaçlar.

Şekil 2'de görüldüğü gibi $S_{ij} \ll R$ olduğu için aşağıdaki yaklaşık bağıntı yazılabilir.

$$S'_{ij} \cong S_{ij} - (R' - R + a * \sin \theta_{ij} * \cos \Phi_{ij} + b * \sin \theta_{ij} * \sin \Phi_{ij} + c * \cos \theta_{ij}) \quad (3)$$



- O : Ölçme sisteminin orijini. Örneğin CMMs' de kabaca sıfır kabul edilen nokta
- O' : Uydurulan eğrinin orijini
- a, b, c : O' nün O ya göre koordinatları
- R : İdeal küre yarıçapı
- R' : Uydurulan küre yarıçapı
- P : Gerçek küre profili üzerindeki nokta
- Sij : Profilin ideal küreden sapması
- S'ij : Profil ile uydurulan küre arasındaki radyal sapma

Şekil 2. En küçük kareler metodunun geometrik ifadesi [4]

Burada $DR = R' - R$, a, b ve c parametreleri $\sum \sum S_{ij}$ yi minimize edecek şekilde belirlenebilir. Sonuç olarak da en küçük kareler metodu ile küresellik hatası (S_{LSQ}) ve uydurulan kürenin şekil hatalarının standart sapması aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$S_{LSQ} = \text{MAX}_{i,j} \langle S'_{ij} \rangle - \text{MIN}_{i,j} \langle S'_{ij} \rangle \quad (4)$$

$$\sigma = \left\{ \left[S'_{1,1} + S'_{N+1,1} + \sum_{i=2}^N \sum_{j=1}^M S'_{ij} \right] / [(N-1) * M + 2] \right\}^{1/2} \quad (5)$$

2.2. Minimum Dış Küre Metodu

ISO 3290 küresellik hatalarını minimum dış kürenin belirlenmesi olarak tanımladığı gibi, bu metotda da üç boyutlu küresellik hataları, şekil hatalarını dıştan sınırlayan ve merkez koordinatları (a_{MC} , b_{MC} , c_{MC}) olan minimum yarıçaplı

geometrik küre (R_{MC}), ile yarıçapı R_1 olan eş merkezli iç sınır küre arasındaki radyal mesafe olarak tanımlanır.

Amaç fonksiyonu olarak $f_{MC}(a,b,c)$, minimum dış sınır küre arasındaki küresellik hataları S_{MC} ile sembolize edilirse; Şekil 1 ve aşağıdaki denklemler göz önüne alınarak

$$R_1 = \text{MIN}_{i,j} [(x_{ij} - a)^2 + (y_{ij} - b)^2 + (z_{ij} - c)^2]^{1/2} \quad (6)$$

$$R_2 = \text{MAX}_{i,j} [(x_{ij} - a)^2 + (y_{ij} - b)^2 + (z_{ij} - c)^2]^{1/2} \quad (7)$$

R_1 ve R_2 sembolleri ile tanımlanan değerler, amaç fonksiyonu f_{MC} yi minimum yapacak bir dış kürenin merkez koordinatları olan (a_{MC}, b_{MC}, c_{MC}) Downhill Simpleks Metodu kullanılarak belirlenir. Bu metotla hesaplanan amaç fonksiyonu f_{MC} nin minimum değeri bulunduktan sonra küresellik hataları olan S_{MC} aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$f_{MC}(a, b, c) = R_2 \quad (8)$$

$$S_{MC} = R_{MC} - R_1(a_{MC}, b_{MC}, c_{MC}) = \text{Min}_{(a,b,c)} \{f_{MC}(a, b, c)\} - R_1(a_{MC}, b_{MC}, c_{MC}) \quad (9)$$

2.3. Maksimum İç Küre Metodu

Bu metot ile bir önceki metot birbirine çok benzerdir. Birinde minimum dış küre ile eş merkezli sınır iç küre arasındaki fark küresellik hatası olarak tanımlanırken, diğesinde maksimum iç küre belirlenip bununla eş merkezli sınır dış küre arasındaki fark tanımlanır. Burada amaç fonksiyonu olarak $f_{MI}(a, b, c)$ alınır ve maksimum iç küresellik hataları, şekil hatalarını içten sınırlayan ve merkez koordinatları (a_{MI}, b_{MI}, c_{MI}) olan maksimum yarıçaplı geometrik küre ile eş merkezli dış sınır küre arasındaki radyal farktır ve S_{MI} ile gösterilir. Denklem (6)-(7) kullanılarak;

$$f_{MI}(a, b, c) = -R_1 \quad (10)$$

$$S_{MI} = R_2(a_{MI}, b_{MI}, c_{MI}) - R_{MI} = R_2(a_{MI}, b_{MI}, c_{MI}) + \text{Min}_{(a,b,c)} \{f_{MI}(a, b, c)\} \quad (11)$$

olur. f_{MI} yi maksimum yapmak $-f_{MI}$ yi minimum yapmak ile aynıdır. Bu yüzden denklem (10) da $-R_1$ yazılmıştır. Sonuç olarak downhill simplex metodu kullanılarak, $-f_{MI}$ nin minimum değeri bulunduktan sonra S_{MI} hesaplanır.

2.4. Minimum Bölge Metodu

Minimum dış küre ile maksimum iç küre metotları küresellik hatasının minimum olduğunu garanti etmez. Minimum bölge metodu ise küresellik hatasını minimum yapmayı amaçlar. Küresel bir şekil kutupsal koordinatlarda tanımlanabildiği gibi, dikkörtgensel koordinat sisteminde kutupsal koordinatların bileşenleri cinsinden de aşağıdaki biçimde tanımlanabilir.

$$\begin{aligned} x_{ij} &= r_{ij} * \sin \theta_{ij} * \cos \phi_{ij} \\ y_{ij} &= r_{ij} * \sin \theta_{ij} * \sin \phi_{ij} \\ z_{ij} &= r_{ij} * \sin \theta_{ij} \end{aligned} \quad (12)$$

Burada r_{ij} iteratif en küçük kareler metodu ile hesaplanan en küçük kareler küresinin yarıçapıdır. Önceki iki metottan farklı olarak bu metotta amaç Şekil 1'de gösterilen R_1 ve R_2 yarıçaplı küreler arasındaki hacmi minimum yapmaktır. Bu nedenle minimum bölge metodunda amaç fonksiyonu $f(a,b,c)$ denklem (13) deki gibi seçilir. Amaç fonksiyonunun değerini minimum yapan (a, b, c) bulunur. Bunun için üç boyutlu Downhill Simplex metot kullanılır. Bu yöntemle belirlenen minimum amaç fonksiyonu $f(a_0, b_0, c_0)$ nin değeri de bulunduktan sonra "minimum bölge küresellik hataları" S_{MZ} , (6) ve (7) denklemlerinden yararlanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$f(a, b, c) = R_2 - R_1 \quad (13)$$

$$S_{MZ} = \text{MIN}_{a,b,c} [f(a, b, c) = f(a_0, b_0, c_0)] \quad (14)$$

2.5. İstatistiksel Tahmin Metodu

İki boyutlu ölçme metotlarından elde edilen, üç boyutlu küresellik hatalarının hesaplanması için kullanılan, veriler tüm küre yüzeyini temsil etmemektedir [6]. Bu önemli bir problemdir. Eğer ölçülen numuneden çok sayıda profil

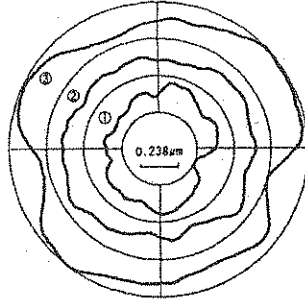
ölçümü alınabilirse numunenin bütün küresel yüzeyini temsil eden küresellik hataları elde edilebilir. Ancak farklı pozisyonlarda bir çok profil almak çok zordur. Bu yüzden sadece birkaç profil ölçümleri kullanılarak küresellik hatalarını yeterli hassasiyette hesaplamak amaçlanır. Yeterli hassasiyette küresellik hata değerleri istatistiksel yöntem kullanılarak elde edilebilir. Bu yöntem güvenli bir aralıkta tahmin tekniğidir. Kanada bu çalışmasında küresellik hatalarını istatistiksel tahmin yöntemini kullanarak hesaplamış ve bu hataların yeterli hassasiyette hesaplanabilmesi için kaç adet 2D ölçümü alınması gerektiğini saptamıştır. Aşağıda bu yöntem hakkında kısaca bilgi verilecektir.

2.5.1. Küresellik Hatasının Hesaplanması

Bu yöntemde standartlara uygun olarak alınan profil verilerinden mil hataları ayıklanarak ele alınan profil için minimum dış daire bulunur. 2D ölçme yöntemlerinden herhangi biri kullanılarak 60 adet radyal kesit profili ölçülür. Bunlar aralarında dik açı olan üçerli gruplar halinde (1,2,3), (4,5,6),..., (58,59,60) gibi ayrılır. Şekil 3'de bir grup profillere ait örnek veriler görülmektedir. Burada (1), (2), (3) numaralarının her biri birbirine dik bir ölçüm profilini gösterir. Dairesellik değerleri R_i ($i=1,2,3,4...59,60$)'in birbirinden bağımsız profillerden elde edildiğini ve bunların normal dağıldığı, R_m populasyon ortalaması ve σ_m^2 populasyon varyansı olmak üzere, normal dağılım parametreleri $N(R_m, \sigma_m^2)$ olduğu varsayılırsa, alınan örneklem ortalaması R_s , örnek sayısı n olan $N(R_m, \sigma_m^2/n)$ normal dağılıma sahiptir. Güvenilirlik katsayısı $(1-\alpha)$ olan populasyon ortalaması R_m aşağıdaki gibi bir güvenilir aralıkta tanımlanır.

$$\begin{aligned} R_{\min} &\leq R_m \leq R_{\max} \\ R_{\min} &= R_s - t_{\alpha/2}(n-1) * \sigma_s / n^{1/2} \\ R_{\max} &= R_s + t_{\alpha/2}(n-1) * \sigma_s / n^{1/2} \\ R_s &= \sum R_i / n \\ \sigma_s &= \{ \sum (R_i - R_s)^2 / (n-1) \}^{1/2} \end{aligned} \quad (15)$$

burada $t_{\alpha/2}(n-1)$, güvenilirlik katsayısı $(1-\alpha)$ ve serbestlik derecesi $(n-1)$ olduğunda t -dağılım yüzdelik noktasıdır. Bundan başka $(1-\alpha)$ güvenilirlik katsayısında populasyon varyansının σ_m^2 'in güvenilir aralığı aşağıdaki gibidir.

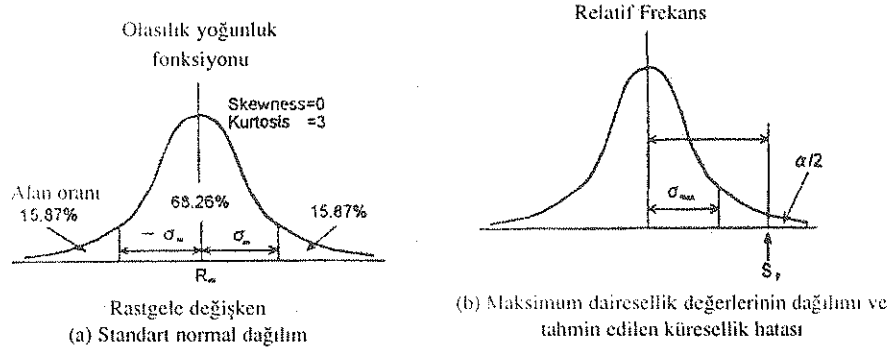


Şekil 3. Ölçülen profillerin bir düzenlemesi için örnek [6]

$$\begin{aligned} \sigma_{\min}^2 &\leq \sigma_m^2 \leq \sigma_{\max}^2 \\ \sigma_{\min}^2 &= (n-1) * \sigma_s^2 / X_{\alpha/2}^2(n-1) \\ \sigma_{\max}^2 &= (n-1) * \sigma_s^2 / X_{1-\alpha/2}^2(n-1) \end{aligned} \quad (16)$$

burada $X_{\alpha/2}^2(n-1)$ ve $X_{1-\alpha/2}^2(n-1)$ güvenilirlik katsayısı $(1-\alpha)$ ve serbestlik derecesi $(n-1)$ olduğunda χ^2 -dağılımının yüzdelik noktasıdır.

Şekil 4(a)'daki populasyon ortalaması ve populasyon varyansı gibi yığın parametreleri, birkaç dairesel profil kullanılmasıyla istatistiksel yöntem vasıtasıyla keyfi bir güvenilirlik katsayısı için tahmin edilebilir. Birkaç radyal kesitten elde edilen dairesellik dağılımında, küresellik hataları, üst olasılık değeri α^2 olduğu zaman rastgele değişkenin değeri



Şekil 4. Normal Dağılım ve Küresellik Hatalarının Tahmini [6]

olarak tanımlanır. Üst olasılık değeri α^2 olduğu zaman güvenilirlik katsayısı $(1-\alpha)$ olur. Eğer dairesellik değerleri normal dağılıma sahipse bu tanımlama geçerlidir. Büyük bir dairesellik dağılımına sahip radyal kesitin küresel hata değerine baskın bir etki yapacağı düşünülebilir. Bu yüzden küresellik hataları $(1-\alpha)$ olan güvenilirlik katsayısı kullanılarak hesaplanacaktır.

Küresellik hataları S_p için denklem (15) ve (16) daki R_{maks} ve σ_{maks} değerleri kullanılarak denklem (17) yazılabilir. Burada Q normal dağılımın üst olasılık değeri α^2 olan rasgele değişkenin değeridir. R_{maks} , σ_{maks} , Q , S_p ve α arasındaki ilişki şekil 4(b)'de verilmiştir.

$$S_p = R_{maks} - Q * \sigma_{maks} \quad (17)$$

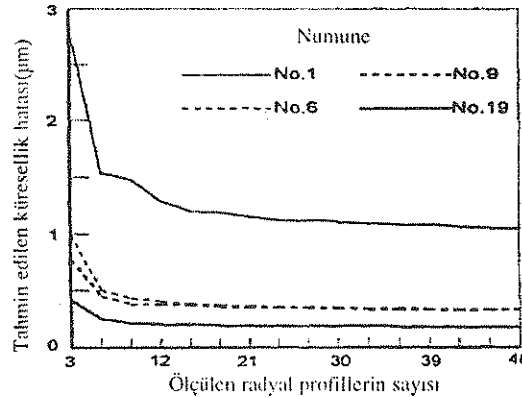
2.5.2. Gerekli Ölçüm Sayısının Hesaplanması

Küresellik hatalarının yeterli hassasiyette hesaplanması için gerekli olan 2D radyal kesit profillerinin sayısını belirlemek önemlidir. Kanada ölçüm sayısını belirlemek için birkaç numune üzerinden her biri için 60 adet radyal kesit profili olarak bir çalışma yapmıştır [6]. Numune üzerinden ne kadar çok sayıda radyal kesit profili ölçülürse numune için o kadar çok bilgi elde edilir. Ancak bu çok fazla zaman ve emek alır. Kanada'nın söz konusu çalışmasında 60 radyal kesit profilinin dışında olası "n" (n= alınan radyal kesit profillerinin sayısı 3,6,9, 51,54,57 gibi) profil sayıları göz önüne alınırsa Tablo 2'deki gibi rasgele seçilen radyal kesit profillerinin kombinasyonları için örnekler elde edilebilir.

Tablo 2 n=3,6,9,...,57 için rasgele seçilen kesit sayısı kombinasyonlarına örnek [6]

n değerleri	Seçilen kesit sayılarının kombinasyonu
3	(1,2,3) (1,4,17) (1,25,28) (2,45,60) (3,5,9) (3,9,33) (4,49,55) (4,51,56)
6	(1,5,9,12,37,49) (2,5,16,39,45,59)
57	(1,2,3, ...,55,56,57)

Örneğin n=3 için radyal kesit profillerinin olası kombinasyonu (1,4,17) dir. Bu durumda R_p , σ_s üç dairesellik değeri R_1 , R_4 , R_{17} için denklem (15) ve (16) kullanarak hesaplanır. Sonra R_{maks} ve σ_{maks} değerleri 0,95 ($\alpha=0.5$) güvenilirlik katsayısı kullanılarak tahmin edilir. Daha sonra küresellik hatası S_{pj} ($j=1,2,3, \dots,20$) denklem (17) kullanılarak hesaplanır. Her bir numune için n değerlerine karşılık gelen tahmin edilen 20 küresel sapma değerlerinin ortalaması S_{pj} Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 5'deki grafiğin eğiliminden görüldüğü gibi 11/16-1,5 inç e kadar (ISO 3290 daki 16 grade den 40 grade kadar) 9 tane radyal kesit profili yeterlidir. Çünkü 9 kesit profilinden sonra ki ölçümler için eğri yaklaşık aynı seviyede kalmaktadır.



Şekil 5. Ölçülen radyal kesit profillerinin sayısı ve tahmin edilen küresellik hataları arasındaki ilişki [6]

gerekmektedir. Bir önceki kısım ve bu kısım için Kanada'nın yapmış olduğu çalışmada gerekli olan "n" değerleri ve güvenilirlik katsayıları gibi diğer parametrelerin değerleri ilgili kaynakta tablo halinde özetlenmiştir. Bütün bunlardan sonra, küresellik hatalarının; birkaç dairesellik hatası ölçümü ile, istatistiksel yöntem kullanılarak tahmin edilebileceği söylenebilir.

3. SONUÇ

Küresel parçaların ölçülmesi ve hatalarının güvenilir olarak bulunması için öncelikle parçanın üç boyutlu koordinat ölçme (CMMs) veya iki boyutlu dairesellik ölçme aletleri ile hassas olarak ölçülmesi gerekir.

Küresel parçalar üzerinden veriler alındıktan sonra küre yarıçapının belirlenmesi ve küresellik hatalarının bulunması için kullanılan algoritmalarından ilki, ölçülen verilerin uydurulan eğriden sapmalarının karelerinin toplamını minimize etmeyi amaçlayan en küçük kareler yöntemidir. Ancak bu yöntem, küresellik hatasının minimum olduğunu garanti etmez. Bunun yerine gerçek küreyi içine alacak minimum dış küreyi, sonrada bu küre ile eş merkezli maksimum iç sınır küreyi bulup küre yarıçapları arasındaki radyal mesafeyi küresellik hatası olarak tanımlayan minimum dış küre metoduna ait temel formüller kullanılmalıdır. Maksimum iç küre metodu da benzer yaklaşımla küresellik hatalarını bulmayı amaçlamaktadır. Her iki metotla da yaklaşık sonuçlar elde edilebilirse de bu metodlar iç ve dış sınır küreler arasındaki hacmi minimum yapmayı garanti etmezler. Dolayısıyla bu algoritmalarından daha iyi sonuçlar verecek "minimum bölge metodu" kullanılmalıdır. Uygun algoritmanın seçiminde, hesaplama zamanı, gerekli veri sayısı ve yeterli hassasiyetten başka, elde edilen verilerin karakteri de önemlidir. Küresel parçaların üzerindeki bütün noktaların ölçülmesi mümkün olmayacağı için, ölçme sisteminden bağımsız olarak, verilerin istatistiksel değerlendirilmesi yapıp kabul edilebilir yaklaşıklıkla küresel hataların bulunması ve yeterli ölçüm sayısının tespit edilmesi gerekir.

REFERANSLAR

- [1] SAMUEL, G.L., SHUNMUGAM, M.S. 2001 "Evaluation Of Sphericity From Coordinate Measurement Data Using Computational Geometric Techniques." Comput. Methods appl. mech. Engrg 190 (2001) 6765-6781.
- [2] GIARDINI, W., HA, J. 1994 "Measurement, Characterization And Volume Determination Of Approximately Spherical Objects." Measurement Science & Technology Vol. 5: 1048-1052
- [3] KANADA, T. 1996 "Computation Of Sphericity From Minimum Circumscribing And Maximum Inscribing Centers By Means Of Simulation Data And Downhill Simplex Method." J.Japan Soc. Prec. Eng. Vol. 30: 253-258.
- [4] KANADA, T. 1995 "Evaluation Of Spherical Form Errors -Computation Of Sphericity By Means Of Minimum Zone Method And Some Examinations With Using Simulated Data." J. Precision Engineering 17: 281-289.
- [5] JUNG, M., CROSS, K.J., McBride, J.W., HILL, M. 2000 "A Method For The Selection Of Algorithms For Form Characterization Of Nominally Spherical Surfaces." J. Precision Engineering 24: 127-138.
- [6] KANADA, T. 1997 "Estimation Of Sphericity By Means Of Statistical Processing For Roundness Of Spherical Parts." J. Precision Engineering 20: 117-122.

Makine Müh. Önder MAVİ

Önder MAVİ 1977 de KONYA / Karapınar'da doğdu. Osman Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirdi. İngilizce bilen Önder MAVİ Halen Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Ana Bilim Dalında "Elektro Erozyonla İşlemede Kullanılan Küresel Takım Elektrotların Ölçülmesi İçin Yeni Bir Metot Geliştirilmesi üzerine Yüksek lisans çalışması yapmaktadır.

Dr.H Selçuk HALKACI

Selçuk HALKACI 1960 da Konya'da doğdu. Konya Devlet Mühendislik Mimarlık Akademisi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirdi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde makine tasarımı ve bilgisayar kontrollü tezgah üretimi konusunda lisans üstü çalışmalar yaptı. 2001 yılında Makine Tasarımı bilim dalında doçent unvanını alan Selçuk HALKACI halen elektro erozyonla üretim konusunda çalışmaktadır. Evli ve üç çocuk babasıdır.