

KÜRESEL PARÇALAR İÇİN FORM ÖLÇME METOTLARI

Makine Müh. 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

Mekanik parçaların şekil ve boyut toleranslarının istenen düzeyde olması, sistemlerin fonksiyonları üzerinde dikkate değer bir etkiye sahiptir. Endüstride kullanılan temas problemleri, rulmanlı yataklardaki bilyeler ve benzeri hassas ürünlerde kullanılan küresel elamanların fonksiyonel performanslarını yüksek tutabilmek için boyut ve şekil toleranslarının çok düşük tutulması gerekir. 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. Bu çalışmada küre ölçmede kullanılan yöntemlerin en yaygın olanları incelenerek, sistematik ve rasgele mil hatalarını asıl dairesellik hatalarından ayırma teknikleri hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Dairesellik ölçmeleri, küre ölçme, hata ayırma teknikleri, mil hatası, CMM, temaslı ölçme, temassız ölçme, lazerle ölçme

1. GİRİŞ

Endüstride kullanılan kontrol aletlerindeki temas probu, rulmanlı yataklardaki bilyeler ve benzeri hassas ürünlerde küresel elemanlar kullanılır. Bu parçaların fonksiyonel performanslarını yüksek seviyelerde tutabilmek için boyut ve şekil toleranslarının çok düşük tutulması gerekir. Yüzey pürüzlülüğü, dalgalanması ve şekil hataları gibi geometrik bozukluklar bu tip parçaların performansında belirgin bir etkiye sahiptir. Bu bozukluklar motorlarda, türbinlerde bilyeli yataklar gibi ağır yükler altında çalışan elemanların çalışma ömrünün azalmasına ve yüksek miktarda ısının oluşmasına yol açar. Ayrıca, Jireskop ve 3D ölçme aletlerinde kullanılan küresel uçlardaki bozukluklar hatalı bilgiye yol açar.

ISO 3290 standardı, rulmanlı yatakların bilyeleri ile ilgili bir standarttır. Bu standart "Küresel şekilden sapmayı" küre merkezinden geçen bir radyal kesitteki gerçek yüzey ile "minimum dış küre" arasındaki en büyük radyal uzaklık olarak tanımlar. Bu radyal kesitler ekvatorial plan olarak adlandırılır.

Rulmanlı yataklar endüstrisindeki uygulamalarda, bilye profilleri iki boyutta dairesellik ölçen bir aletin kullanılmasıyla, küre merkezinden geçen ve birbirine dik olan iki veya üç düzlemde ölçülen iki boyutlu profillerden faydalanarak küresellik ve hataları bulunmaya çalışılır. Küresellik hatalarının bulunmasında kullanılan algoritmaların tanıtıldığı çalışmaların daha iyi anlaşılabilmesi için, bu çalışmada lazerle ölçüm yöntemlerini de kapsayacak şekilde, en yaygın küre ölçme metotları tanıtılacaktır.

2. KÜRE ÖLÇME METOTLARI

Fiziksel bilimlerde ve özellikle mühendislikte, silindirik ve küresel iş parçaları üzerinden alınan lokal ölçüm verilerinin kullanılmasıyla, üretim veya kullanım sırasında iş parçasında oluşan şekil hataları sebebiyle, bir daire veya kürenin yarıçapından sapmaların hesaplanması problemiyle sık sık karşılaşılır. Bir küre üzerindeki bütün noktaların ölçülmesi ekonomik olmayan, pratik olarak mümkün olmayan ve çok zaman alıcı bir işlemdir. Bu nedenle küre üzerinde lokal ölçümler alarak kürenin tamamı üzerinde bir yargıya varılmaya çalışılır. Lokal ölçümlerin çok hassas olarak ölçülmesi ve değerlendirilmesi gerekir. Bu ölçümlerin yapılabilmesi için birkaç farklı metot kullanılmaktadır.

2. 1. CMM İle Ölçme

Mühendislikte, üretim endüstrisinde ve fiziksel bilimlerde bir kürenin küreselliğinin hesaplanmasında gerekli olan

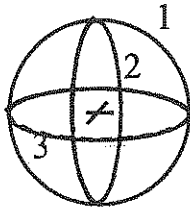
verilerin üç boyutlu koordinat ölçme makinesiyle elde edilmesi genel bir uygulamadır. Mekaniksel parçaların koordinat ölçme makinesi kullanılarak ölçülmesi, farklı boyutlarda bir veya birkaç prob vasıtasıyla yapılmaktadır. Probların hareketi programlanabilir yada bir manevra kolu kullanarak el ile yapılabilir ve parça üzerindeki istenen noktaların koordinatlarının bulunması mümkündür [1]. Bu yöntemle küresel parçaların ölçülmesinde küre yüzeyinden rasgele alınan birkaç koordinat verilerinin çeşitli algoritmalarla değerlendirilmesi ile küresellik ve hataları bulunur.

2. 2. Problarla Ölçme

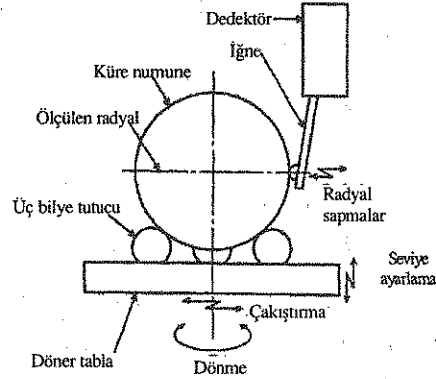
ISO 3290 standardında küresel şekilden sapmaların ölçülmesi için iki metot öngörülmektedir. Bunlardan birincisi, Şekil 1’de gösterildiği gibi birbirleri arasında 90° açı olan ve küre merkezinden geçen iki veya üç kesitte elde edilen verilerden bilge profilinin nümerik olarak değerlendirilmesidir [2]. İkincisinde ise bir V Blok üzerinde döndürülen küreden alınan veriler kullanılır [3].

2. 2. 1. İğne (Stylus) Temaslı Ölçme

Küresel yüzeylerin daireselliklerinin ölçülmesinde “İğne Temaslı Ölçme Sistemi” yaygın olarak kullanılır. Temel olarak silindir üzerindeki dairesellik ölçülmesine benzeyen bu sistemde, dönen bir kürenin kesit profili, radyal metot kullanılarak ölçülür. Radyal profil 70 mN luk bir kuvvetle, ölçülen parçaya temas eden bir iğnenin konumunun ölçülmesiyle belirlenmektedir. Şekil 2’de dönen bir tabla üzerindeki bir kürenin iğne kullanılarak ölçülmesine ait bir ölçme sistemi örneği görülmektedir. Bu sistemde kullanılan iğne genellikle elmas yada yakuttan imal edilmiş olup, ölçülen küresel yüzeyle kayar temas halindedir. İğnenin uç çapı 1,6 mm dir. Metale bağlı olarak temas bir veya birkaç mm genişliğinin-



Şekil 1. Küresel bir numune üzerinde ölçülen ekvatorial planlar [2]

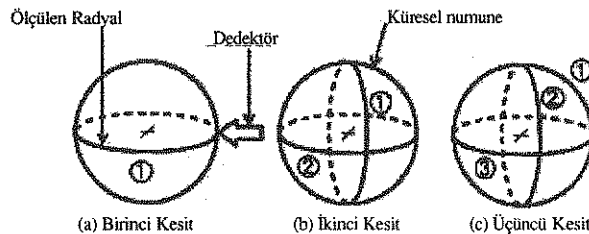


Şekil 2. İğne temaslı ölçme sistemi için bir örnek [2]

de ve 1/10 mm derinliğinde kazımaya sebep olabilir. Bu büyüklükler bazı uygulamalarda tolere edilemeyecek büyüklüklerdir.

İlk olarak numune küre, dönen bir tabla üzerine monte edilmiş üç bilye üzerine yerleştirilir. Sonra radyal kesit profilleri Şekil 3’de gösterilen birbirlerine dik 1, 2 ve 3 ekvatorial planlarında ölçülür. Plan 1 rasgele seçilirken plan 2 ve 3 buna bağlı olarak değişir. Bu durumda istenilen sayıda ölçüm grubu alınabilir. Pratikte bu planlar arasındaki açının tam 90° olduğu garanti edilemez.

İğne tarafından alınan bu ölçüm verileri, döner tablayı döndüren mildeki engellenmesi mümkün olmayan sistematik dönme hatalarını da içerir. Konvansiyonel ölçme sistemlerinde kaçınılmaz olan bu hatalar literatürde “mil hataları” olarak adlandırılmaktadır ve dairesellik hataları ile benzer karakterdedirler. Bu nedenle, küredeki gerçek hataların bulunabilmesi için, iğne tarafından ölçülen hata değerinden mil hatalarının ayıklanması gerekir.



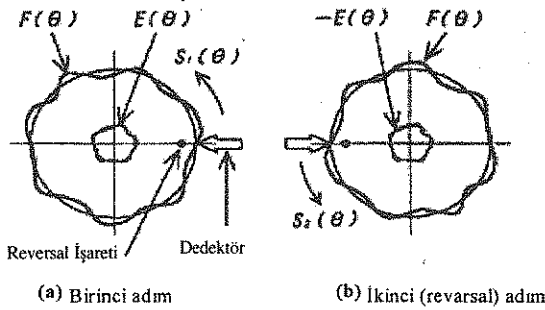
Şekil 3. Radyal kesit ölçümleri için bir düzenleme [2]

Şekil 4'te şematik resmi gösterilen yöntem kullanılarak mil hatalarının ve bu hatalar ayıklanarak ta dairesellik hatalarının nasıl bulunacağı anlatılacaktır. Kanada'nın önerdiği bu metotta dönme hatalarını ölçmek için camdan yapılan bir küre master kullanılmaktadır. Parçanın saat yönünün tersine çevrilmesi ile elde edilen iğnedeki sapma, $S_1(\theta)$ olarak gösterilir ve Şekil 4 (a)'da görüldüğü gibi elde edilir [2]. Şekil 4 (b)'de görüldüğü gibi küre ve detektörün pozisyonunun 180° C değiştirilmesi ile de sapma verisi $S_2(\theta)$ elde edilir. Dönme hatası $E(\theta)$ ve dairesellik hatası $F(\theta)$ ise $S_1(\theta)$ ve $S_2(\theta)$ cinsinden aşağıdaki gibi elde edilir.

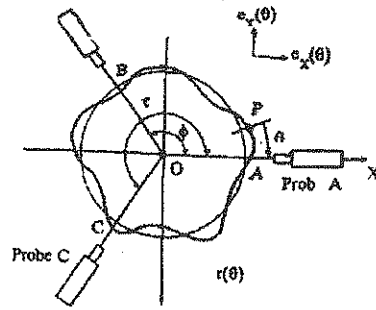
$$E(\theta) = [S_1(\theta) - S_2(\theta)]/2 \quad (1)$$

$$F(\theta) = [S_1(\theta) + S_2(\theta)]/2 \quad (2)$$

Mil hatalarının ayıklanması konusunda literatürde birçok çalışma yapılmıştır [4, 5, 6, 7]. Sistemik mil hatalarını ayıklamak için "çok yerleştirmeli" (Multi Orientation) metot, rasgele mil hatalarını ayıklamak için de "çok problu" metotları geliştirilmiştir. Çok problu metotlar içerisinde en yaygın olanı "üç problu" metodu olarak adlandırılır. Şekil 5'de örnek bir ölçme sistemi görülen bu metot ta dairesellik ve mil hatalarının eş zamanlı tespiti için aralarında farklı açılar bulunan üç adet deplasman probu kullanılır. Ancak bu metotlarda problemin yerleştirilmesi hassasiyeti etkilediği gibi, problemin dinamik cevap sürelerinden dolayı da, yüksek frekanslarda ölçmeler yapabilmek mümkün değildir. Bu tip olumsuzlukları aşmak için yeni bazı ölçme metotları geliştirilmiştir. Bunlar arasında "karma metot" [5] ve "dört problu metodu" [6] sayılabilir. $F(\theta) = [S_1(\theta) + S_2(\theta)]/2$



Şekil 4. Dönme hatalarının belirlenmesi için Reversal Metot [2]

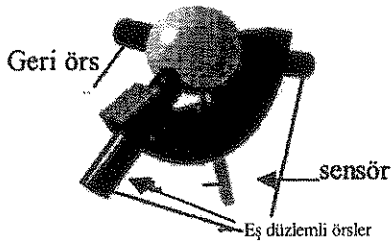


Şekil 5. Üç problu metodunun prensibi [5]

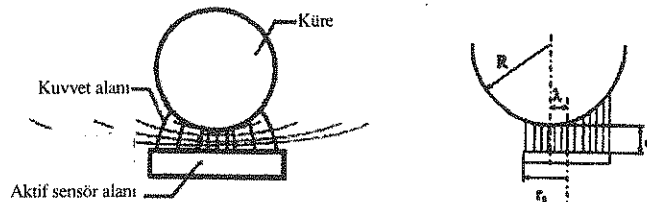
2. 2. 2. Temassız Ölçme

Konvansiyonel ölçme sistemlerinin neden olduğu mil hatalarını elimine etmek hem zaman kaybına yol açmakta hem de meydana gelen hataların tekrarlanabilir nitelikte olması gerekmektedir. Bu dezavantajları ortadan kaldırmak için üç nokta metoduyla ölçülen numunenin kendisini referans olarak kullanma çözümü geliştirilmiştir [8].

Şekil 6'da üç nokta metodunun küre ölçmede uygulanmasına ait bir örnek ölçme sistemi görülmektedir. Burada bir sensör ve iki tutucu örs aynı düzlem üzerine, geri örs olarak adlandırılacak bir tutucu uç da bu düzleme dik olarak yerleştirilmiştir. Örsler sensör sinyali üzerinde direkt olarak bir etkiye sahip değildir. Ölçme sırasında kazımaları önlemek için küre bir miktar kaldırılarak ölçme düzleminde adım adım döndürülür. Her bir döndürmeden sonra sensör sinyali okunur. Yüksek hassaslık ve basit dizaynından dolayı ölçme aleti olarak bir kapasitif transistör kullanılabilir. Sensör, kendisi kapasitif bir tabaka olan küre yüzeyi boyunca direkt ölçüm yapar. Ölçme ucu yüzeyden 3 ila 8 µm mesafede çalışır ve 4 mv/nm hassasiyete sahiptir. Küre yüzeyine dik kapasitif alan çizgileri, Şekil 7'deki gibi basitleştirilerek gösterilebilir. Aktif sensörün boyutları küre çapından küçük olması sebebiyle (0,8mm/25,4mm) bu uygun bir kabuldür.



Şekil 6. Üç nokta metodu ile küre ölçme sistemi [8]



Şekil 7. Kapasitif alan ve basitleştirilmiş model [8]

Biraz daha basitleştirerek kapasitans C, mesafe d, küre yarıçapı R, sensör yarıçapı r ve küre merkezi ile sensör eksenindeki eksantriklik λ ile gösterilirse, aşağıdaki fonksiyon yazılabilir.

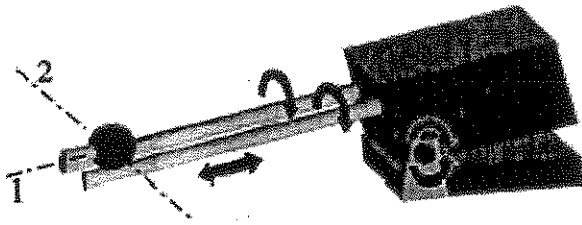
$$C = \int \frac{e^* dA}{d(r)} = e^* \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{r}{d + R\sqrt{R^2 - [r^* \sin(\varphi)^2 - [\lambda - r^* \cos(\varphi)]^2}} dr d\varphi \quad (3)$$

Bu integral nümerik olarak çözülür. Ölçülen şekil için kapasitif sensörün bir avantajı da, kürenin pürüzlülük gibi mikro düzeyde değişimlerinin ortalamasını almasıdır. Yani sinyal için bir filtre gibi davranır.

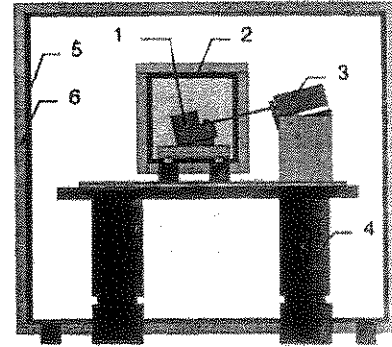
İstenilen hassasiyet aletlerin basit ve rijit dizaynı ile sağlanmaktadır. Ölçme düzlemindeki iki örs elmas başlıklı tungsten karbitten oluşmaktadır. Küre yüzeyi için mekanik referans sağlayan bu başlıklar Ra= 0,3 nm gibi mükemmel bir yüzey kalitesine sahiptirler. Ölçme düzlemine dik olan geri örs ise, kapasitör için iyi elektrik iletkenliğine sahip lehimlenmiş bir altın kontaklıdır. Sensör, esnek bağlantılarla iki yönde ayarlanabilir taşıyıcıya, mengene ile sıkıştırılmaktadır. Ana gövde ise yüksek termal iletkenlik ve iyi işlenebilirlik özelliklerinden dolayı alüminyum seçilmiştir.

Yüksek hassasiyette kürelerin üretimden sonra hızlı ve güvenilir bir şekilde kontrol edilebilmesi için küreyi iki ekseninde döndürme kabiliyetine sahip "Pc Kontrollü Manipülasyon" kullanılmıştır (Şekil-8.). Bu manipülasyon küreyi elmas başlıktan 0,5 mm ayırmak için ve bir dahaki ölçüm pozisyonuna getirmek için iki ekseninde döndürme görevi yapmaktadır. İki shaftın aynı yönde döndürülmesi ile gerçekleştirilen bir numaralı ekseninde döndürme işlemi tek enine kesitte dairesellik ölçümü sağlamaktadır. Küre indirildikten sonra kısa bir zamanda (0,2 s) sensör sinyali (0,5 s) yazılır ve küre 11,25 ila 1,4 derece açısallık değerleri arasından seçilen açı ile tekrar döndürülür. Bu işlem bir ölçüm sırasında 32 ila 256 kez uygulanmaktadır. İki numaralı ekseninde döndürme işlemi kürenin ölçme düzlemini değiştirmede kullanılmaktadır. Üç enine kesit ölçümünün tamamı otomatik olarak yapılır. İki numaralı eksenindeki dönme işlemi, küre geri örs yumuşak bir şekilde dayanırken shaftların doğrusal hareketi ile gerçekleştirilmektedir. Manipülasyonun hareketi, sensör sinyalinin okunması, ölçüm sonuçlarına analizlerin uygulanması bir pc ile kontrol edilebilir. Bu portatif sistem bir kürenin üç dikey kesitte tüm kontrollerini otomatik olarak 15 dakikadan az bir sürede yapar.

Bu sistemde yüksek çözünürlüklü ve hassasiyetli ölçümler için sistemin sıcaklık, gürültü, titreşim ve elektromanyetik gürültüler gibi çevresel etkilerden izolasyonu önemlidir. Sistemin özellikle ölçme sırasındaki sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesi için Şekil 9'da görüldüğü gibi iç içe iki ayrı kutu içerisinde izolasyon sağlanmıştır.



Şekil 8. Manipülasyonun Prensibi [8]



Şekil 9. Çevresel yalıtım için iç içe iki ayrı kutu dizaynı [8]

Alınan sonuçlar umut verici olmasına rağmen, sunulan dizaynda bazı sınırlamalar vardır. Birinci sınırlama malzeme iletken olmak zorundadır. Bu örneğin, seramik kürelerin ölçülmesini şu anda olanaksızlaştırmıştır. Ayrıca sadece sınırlı boyut oranlarında uygun olması ve boyut değiştiğinde bir hayli ayarlama işi gerektirmesi dezavantaj olarak sayılabilir. Bir diğer sınırlama bazı yüksek yüzey harmoniklerine duyarsız olmasıdır.

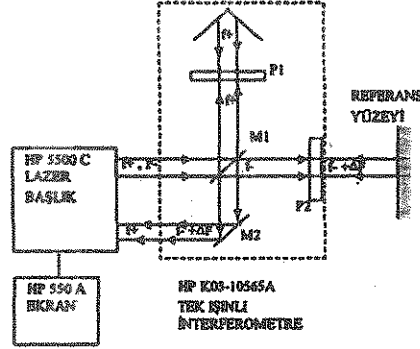
2. 3. Lazerle ölçme

Lazer interferometre kullanılması ile küre ve prob arasında bir fiziksel temasın olmadığı ölçme tekniği olarak tanımlanan bu metotla, dönme eksenini ile küre merkezinin hassas olarak çakıştırılması ve kürenin daireselliğinin ölçülmesi mümkündür. Bu teknikte küre merkezinin bulunması için kürenin 1/4 devir döndürülmesi bile yeterli olabilmektedir.

Dolayısıyla kürenin tam devrini engelleyen fiziksel sınırlamalar olduğu uygulamalar için de elverişlidir [6].

2. 3. 1. Sistemin çalışma prensibi ve kalibrasyonu

Şekil 10'da şematik olarak gösterilen Lazer interferometrik sistem bir H-P 5500 C lazer başlık, H-P model K03-10565A tek ışınlı interferometre ve H-P model 5505 A görüntüleyici içeren, yer değiştirmeleri hassas olarak ölçen bir sistemdir. Bu sistemin çalışma prensibi Şekil 10'daki gibi düzlemsel bir yüzeyin ölçümüyle daha iyi kavranabilir. Lazer başlığında düşük güçlü He-Ne lazer ışığı çok az farklı frekanslarda iki bileşene ayrılır. Bu esnada çok küçük miktarda enerji sapar ve geriye kalan referans olarak kullanılan ışın tek ışınlı iterferometreye girer. P1, P2 dalga plakaları ve özel kaplanmış M1, M2 aynalarının hareketleri vasıtasıyla, frekans bileşenlerinden biri M1 aynası vasıtasıyla yansıtılır ve referans yüzeyine çarpmadan tekrar geri döner. Diğer bileşen M1 tarafından geçirilerek referans yüzeyine çarpar ve yansıma yaparak birinci bileşenle birleşmek için geri döner. H P sistemi bu iki bileşenin frekansındaki farklılığı görüntüler. Referans yüzeyi inerferometreden uzaklaştırıldığında girişim çizgilerinin gidişi DC dalga şekli yerine AC dalga şeklin-



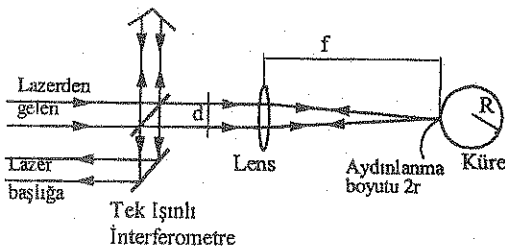
Şekil 10. HP lazer ölçme sisteminin referans yüzeyi ile kalibrasyonu [9]

de devam eder. H P devre sistemi sayıcısı optiksel yol uzaklığının değişimini $0,01 \mu\text{m}$ hassasiyetinde ölçer ve ölçümleri bir ekranda görüntüler. Referans yüzeyi uzaklaştırıldığında frekanstaki ölçülen kaymalar mesafeye göre değişir ve bir ekranda görüntülenir. Şekil 10'daki düzlemsel yansıtıcı için teknik özellikler, ışın tarafından aydınlatılan bölge $0,25 \mu\text{m}$ düzlem olmalı ve yüzey kalitesi $0,0025$ ila $0,0076 \mu\text{m}$ aritmetik ortalamasında olmalıdır.

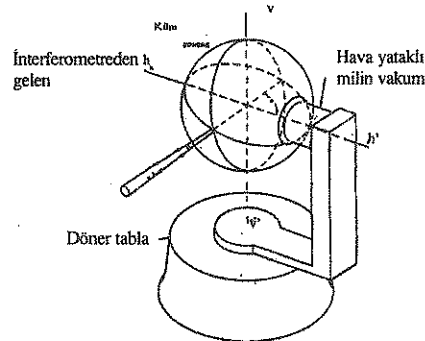
2. 3. 1. Küresel bir yüzeyde interferometrenin kullanılması için optiksel düzenleme

Çıkan ışınlar arasındaki paralellik yaklaşık $7,6 \text{ mm}$ dir. Eğer lazer ışını dışbükey küresel bir yüzeye çaptırılırsa yansıyan ışın hızla sapacak ve interferometreye çok küçük bir lazer enerjisi geri dönecektir. Bu nedenle küresel yüzeye uygun bir ışın göndermek için lens kullanılır. Bu tip ölçümlerin birkaç farklı düzenleme ile yapılması mümkündür. Şekil 11'deki düzenlemede ışınların odağı küre yüzeyindedir. Aydınlanan bölgenin çapı, olabilecek minimum boyutta tutulur [9].

Şekil 12'de şematik olarak gösterilen bir vakumlu torna aynası küreyi iki ekseninde $0,05 \mu\text{m}$ hassasiyetinde döndürecek şekilde yerleştirmek için kullanılır. Ayna küreyi yatay hh' ekseninde döndürebilmek için bir "hava yatağı", vv' ekseninde döndürebilmesi için de döner tabla üzerine monte edilmiştir. Küre merkezinin hh' eksenine hassas olarak yerleştirile-



Şekil 11. Küresel yüzeylerin ölçülmesi için muhtemel düzenleme [9]



Şekil 12. Kesişen iki dik ekseninde döndürülmesi için bir kürenin yerleştirilmesinin şematik resmi [9]

bilmesi için kürenin düşey düzlemde küçük miktarlarda hareketini sağlayan bir mekanizma vardır. vv' dönme eksenini de hava yatağı ve küre yatay düzlemde bir bütün olarak hareket ettirilerek hassas olarak ayarlanabilir. Yatay hh' ekseninde küre tam 360° döndürülebilirken, sistemin fiziksel engelleri düşey vv' ekseninde ancak 90° açı ile döndürmeye olanak tanır. Bu sistem, kürenin hh' eksenini etrafında döndürülmesi ile, dairesellik hatasını 0,31-10 µm hassasiyette ölçülebilir.

Döner tabla Şekil 12'deki gibi yerleştirildiği zaman hh' eksenini lazer ışını eksenine diktir. Her bir küre hava yatağının vakumlu torna aynasına sırayla bağlanır ve küre merkezi hh' eksenini üzerine mümkün olduğu kadar çakıştırılır. Küre bir tam devir yaptığında lazer interferometrede okunan maksimum değişim, hh' eksenine dik bir düzlemde, küre üzerinde en büyük dairenin dairesellik hatasını verir. Gerçekte bu değer sadece kürenin maksimum daireselinin dairesellikten sapmasını değil aynı zamanda küre merkezinin dönme eksenini merkezinden kaçıklığını da içerir. Ancak küre merkezi dönme eksenini üzerine hassas olarak yerleştirilirse bu sakınca ortadan kaldırılabilir. Lazer interferometre ile ölçülen, kürenin iki boyutta ki en büyük daireselinin dairesellikten sapma değerleri iğne uçlu temaslı ölçme yönteminden elde edilen değerlerle bir birine son derece yakındır [9].

4. 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.

Konvansiyonel küre ölçme yöntemlerinden bazılarında parçayı döndüren mildeki dönme hatalarını yok etmek mümkün değildir. Bu hataların küresellik hatalarından ayıklanması için, gerekli hata ayırma yöntemlerinden "çok yerleştirmeli" ve "çok problu" teknikleri kullanılmalıdır.

REFERANSLAR

- [1] ZHAO, YI., FANG, KAI-TAI, 2001, "Orthogonal Exact Desings On A Sphere, A Spherical Cap, Or A Spherical Belt.", *Journal Of Statistical Planning And Inference* 98: , 279-285.
- [2] KANADA, T., 1997, "Estimation Of Sphericity By Means Of Statistical Processing For Roundness Of Spherical Parts.", *J. Precision Engineering* 20, 117-122..
- [3] KANADA, T., 1996, "Computation Of Sphericity From Minimum Circumscribing And Maximum Inscribing Centers By Means Of Simulation Data And Downhill Simplex Method.", *Int. J. Japan Soc. Prec. Eng.*, Vol. 30: 253-258.
- [4] CHETWYND, D. G., SIDDALL, G. J., 1976, "Improving The Accuracy Of Roundness Measurement.", *Journal Of Physics E: Sci. Instrum.* Vol. 9: 537-544.
- [5] GAO, W., KIYONO, S., NOMURA, T., 1996, "A New Multiprobe Method Of Roundness Measurements", *J. Precision Engineering* 19: 37-45.
- [6] TU, J. F., BOSSMANN, B., HUNGT, C. C., 1997, "Modeling And Error Analysis For Assessing Spindle Radial Error Motions", *J. Precision Engineering* 21: 90-101.
- [7] WHITEHOUSE, D. J., 1976, "Some Theoretical Aspects Of Error Separation Techniques In Surface Metrology", *Journal Of Physics E: Sci. Instrum.* Vol. 9: 537-544.
- [8] GLEASON, E., SCHWENKET, H., 1998, "A Spindleless Instrument For The Roundness Measurement Of Precision Spheres", *J. Precision Engineering* 22: 37-42.
- [9] KLINGSPORN, P. E., 1979, "Use Of A Laser Interferometric Displacement-Measuring System For Noncontact Positioning Of A Sphere On A Rotation Axis Through Its Center And For Measuring The Spherical Contour" *Applied Optics* Vol.18, No.16: 2281-2890.

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.