

KÜÇÜK AÇI ÜRETİCİLERİNİN İMALATI

Nuray KARABÖCE¹, Dr. Tanfer YANDAYAN², Bülent ÖZGÜR³, Orhan YAMAN⁴

^{1,2,3,4}TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) - Boyutsal Laboratuvarı
P.K. 54 41470 Gebze - KOCAELİ
Tel : 0 262 6795000

e-mail : ¹nuray.karaboce@ume.tubitak.gov.tr <mailto:nuray.karaboce@ume.tubitak.gov.tr> ,
²tanfer.yandayan@ume.tubitak.gov.tr <mailto:tanfer.yandayan@ume.tubitak.gov.tr> ,

ÖZET

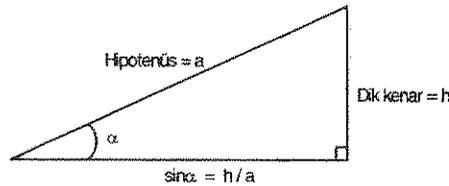
Boyutsal ölçümlerin önemli bir birimi olan açı ölçümlerinde, referans açı iki farklı yöntemle elde edilebilir. Birinci yöntemde dairenin hassas bir şekilde bölünmesiyle, ikinci yöntemde ise iki kenar uzunluğunun matematiksel (trigonometrik) işleme tabi tutulmasıyla oluşturulabilir. SI birimlerinde düzlem açı (plane angle) birimi olarak radyan tanımlanır. Radyan, yarıçapa eşit yay uzunluğunun yarıçapa oranıdır. Kullanım alanları dikkate alınarak SV1, SV2 ve SV3 kodlarıyla UME'de üç tip küçük açı üreticisi imal edilmiştir. Birinci tip küçük açı üreticisi SV1, su terazisi kalibrasyonlarını gerçekleştirmek amacıyla imal edilmiştir ve 1µm çözünürlüğe sahip mikrometre ve 1000mm uzunluğundaki granit çubuktan oluşmaktadır. Çalışma aralığı ±1000" (arc saniye) dir ve doğruluğu ±1" olarak bulunmuştur. İkinci tip küçük açı üreticisi SV2, ise analog, dijital otokolimatörler ve elektronik level metre kalibrasyonlarını gerçekleştirmek amacıyla imal edilmiştir ve 0.05µm çözünürlüğe sahip elektronik göstergeli prob ve 500 mm uzunluğundaki granit çubuktan oluşmaktadır. Ayarlanabilir alt tablası ile endüstrideki laboratuvarlarda kullanıma elverişli şekilde getirilmiştir. SV2'nin çalışma aralığı ±100" dir ve doğruluğu ±0.2" olarak bulunmuştur. Üçüncü tip küçük açı üreticisi SV3, diğer ikisinden farklı olarak yatay düzlemde çalışmaktadır ve yüksek doğruluklu otokolimatör kalibrasyonlarını gerçekleştirmek için imal edilmiştir. 0.1nm çözünürlüğe ve ±7.8" ölçme aralığına sahip nanosensör ile birlikte çalışmaktadır. Küçük açı üreticileri yardımı ile alınan veriler özel olarak hazırlanan yazılım sayesinde değerlendirilmektedir. Bu çalışmanın amacı farklı çözünürlükte ve doğrulukta referans açı üreticileri imal ederek, açı ölçme cihazlarının[1] kalibrasyonlarını yapabilmek ve endüstrinin bu alandaki kalibrasyonlarını kendi bünyesinde yapabileceği ekipmanları sağlamaktır.

Bu bildiride üç tip küçük açı üreticisinin kullanım alanları ve teknik özellikleri hakkında bilgi verilecektir.

Anahtar sözcükler : Küçük açı üreticisi (small angle generator), radyan

1. GİRİŞ

Bir dik üçgende karşı dik kenarın hipotenüse oranı $\sin\alpha$ 'yı verir (Şekil1). Bu temel trigonometrik prensip kullanılarak, referans açıları oluşturan cihazlar imal edilmiştir. SV1 ve SV2 küçük açı üreticilerinin çalışma şekli aynıdır, dik kenar h'yi oluşturan mikrometre dikey yönde hareket etmektedir. SV1 ve SV2 küçük açı üreticileri için hipotenüsü, granit çubuğa monte edilen küreli ayaklar arasındaki mesafe oluşturmaktadır. Dik kenarın ölçümü, SV1'de dijital mikrometreden, SV2'de ise mikrometrenin üzerinde yer alan ölçme probunun gösterge ünitesinden yapılmıştır. Burada hipotenüs yani küçük açı üreticisinin boyu sabit kalmaktadır.



Şekil 1. Sinüs teoremi

SV1 ve SV2 küçük açı üreticilerinde, ölçme aralığı 1000" yani 0.28 derece'dir. 0.28 derece ve altındaki küçük açıları ölçen cihazların kalibrasyonları düşünülmelidir.

SV3 küçük açı üreticisi ise yatay düzlemde çalışmaktadır ve dik kenarın ölçümü yatayda piezoelektrik nanosensör ile yapılmaktadır. Bu tip küçük açı üreticilerinde oluşturulan referans açılarının izlenebilirliği, uzunluğa bağlı olarak sağlanmaktadır.

Küçük açı üreticilerini üç grupta toplayabiliriz:

SV1 (Versiyon 1) Sadece su terazisi kalibrasyonu amacına yönelik küçük açı üreticisi imalatı.

SV2 (Versiyon 2) Level metrelerin ve otokolimatörlerin kalibrasyonu amacına yönelik küçük açı üreticisi imalatı.

SV3 (Versiyon 3) Hassas otokolimatörlerin kalibrasyonu amacına yönelik küçük açı üreticisi imalatı.

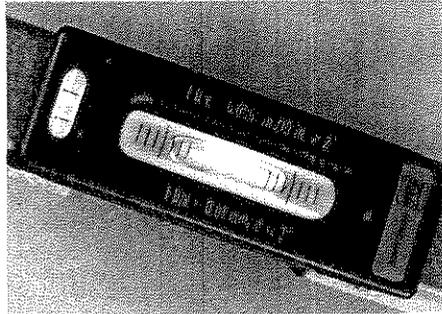
Tablo 1'de özet olarak küçük açı üreticilerinin teknik özellikleri ve kullanım alanları bulunmaktadır.

TABLO1. Küçük Açı Üreticilerinin Karşılaştırma Tablosu

KüçükAçı Üreticisi	Çözünürlük (arc saniye)	Ölçme Aralığı (arc saniye)	Kullanım Alanı	Not
SV1	0,20"	± 1000"	Su Terazileri	Endüstride bulunan en iyi su terazisinin çözünürlüğü 2" ve ölçme aralığı 36" dir.
SV2	0,020"	± 1000"	Analog,dijital Otokolimatörler ve Level Metreler	Analog otokolimatörlerin çözünürlüğü 0,1" ve ölçme aralığı ±1000" dir. Level Metrelerin çözünürlüğü 0.1" ve ölçme aralığı ±600" dir.
SV3	0.0001"	±7.8"	Yüksek Doğruluklu Otokolimatörler	Hassas otokolimatör çözünürlüğü 0.005" ve ölçme aralığı ±150" dir. Düşük belirsizlikle kalibrasyonda kullanılan otokolimatör ölçme aralığı ise ±5" dir.

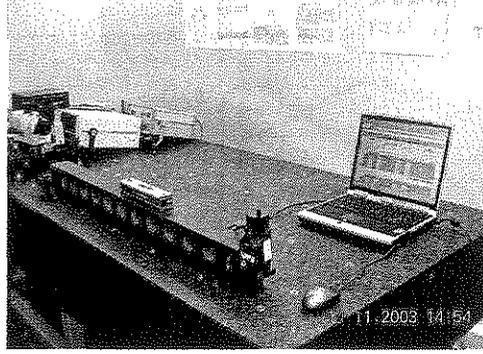
2. SV1 KÜÇÜK AÇI ÜRETİCİSİ

SV1 Küçük açı üreticisi, su terazilerinin kalibrasyonunu yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 2'de görülen su terazisinde, iki çizgi arası 2" açı sapmasını göstermektedir. SV1 Küçük açı üreticisinde oluşturulan referans açılarla, su terazisinin çizgileri arasındaki açı sapmaları karşılaştırılarak su terazisinin kalibrasyonu yapılmaktadır[2].



Şekil 2. Çözünürlüğü 2" (0.01mm/m) olan su terazisi

SV1 Küçük açı üreticisini, dijital mikrometre ve 70x1000 mm referans yüzeye sahip granit çubuk oluşturmaktadır. Şekil 3'te görüldüğü gibi su terazisi granit çubuğun üzerine yerleştirilir ve su terazisinin açılarını SV1 Küçük açı üreticisinin referans açılarıyla karşılaştırılır. Yazılım yardımıyla su terazisinin çizgileri arasındaki açı hataları bulunur.



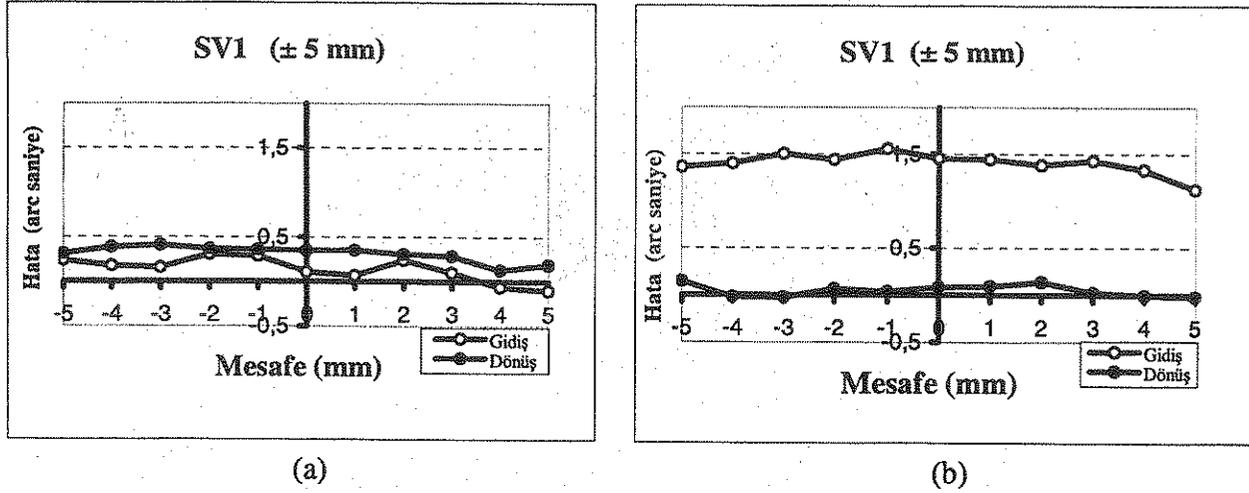
Şekil 3. SV1 Sin Çubuğu ile su terazisi kalibrasyonu

SV1 Küçük açı üreticisinin kalibrasyonu lazer interferometre açı optikleri referans alınarak karşılaştırma metodu ile yapılmıştır. SV1 Küçük açı üreticisi mikrometresinin $\pm 5\text{mm}$ ($\pm 1024.66''$), $\pm 2.5\text{mm}$ ($\pm 512.33''$), $\pm 1\text{mm}$ ($\pm 204.93''$) ve $\pm 0.26\text{mm}$ ($\pm 53.28''$) ölçüm aralıklarında kalibrasyonları yapılmıştır.

2.1 SV1 Küçük Açı Üreticisi Ölçüm Sonuçları

$\pm 5\text{mm}$ ($\pm 1024.66''$) ölçüm aralığında toplam maksimum sapma $0.512''$ bulunmuştur. Mikrometrenin hep aynı yönden çevrilmesine dikkat edilmelidir. Aksi takdirde mikrometrenin boşluk hatası referans açı değerlerine de yansiyacaktır. Şekil 4'te mikrometrenin boşluk hatasının etkisi gösterilmiştir.

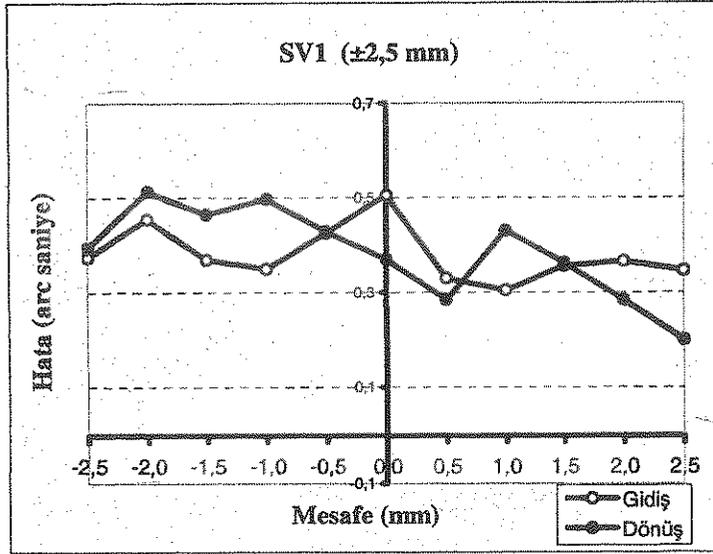
Tablo-1 $\pm 5\text{ mm}$ 'lik ölçme aralığı kalibrasyon sonuçları



Şekil 4. SV1 Küçük açı üreticisinde mikrometreyi aynı yönde kullanmanın ölçümlere etkisi

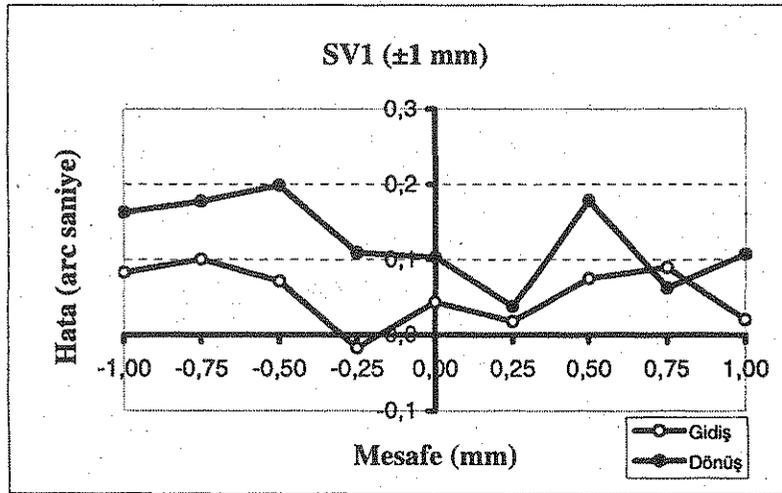
Şekil 4(a)'daki grafikte ölçümler yapılırken gidiş ve dönüşte mikrometre hep aynı yönde çevrilerek ölçümler yapılmıştır. Şekil 4(b)'de ise gidiş ölçümlerinde mikrometre (+) yönde çevrilirken, dönüş ölçümlerinde (-) yönde çevrilmiştir. Mikrometreden kaynaklanan boşluk hatası $1.5''$ olarak bulunmuştur. SV1 ile yapılan tüm ölçümlerde mikrometre aynı yönden çevrilerek kullanılmıştır.

Mikrometrenin ($\pm 511.98''$) ölçme aralığında elde edilen toplam maksimum açı hatası $0.313''$ olarak bulunmuştur. Şekil 5'teki grafikte SV1 küçük açı üreticisinin $\pm 2.5\text{mm}$ ölçme aralığındaki hatası görülmektedir. Ölçümler gidiş ve dönüş olarak üçer kez tekrar edilmiştir.



Şekil 5. $\pm 2,5$ mm ölçüm aralığında SV1'in doğruluk grafiği

Mikrometrenin ± 1 mm ($\pm 204,79''$) ölçme aralığında elde edilen toplam maksimum açı hatası $0,181''$ olarak bulunmuştur. Şekil 6'daki grafikte ± 1 mm ölçme aralığında açı hatası görülmektedir.



Şekil 6. ± 1 mm ölçüm aralığında SV1'in doğruluk grafiği

Tablo2'de SV1'in ölçüm sonuçları özet olarak verilmiştir.

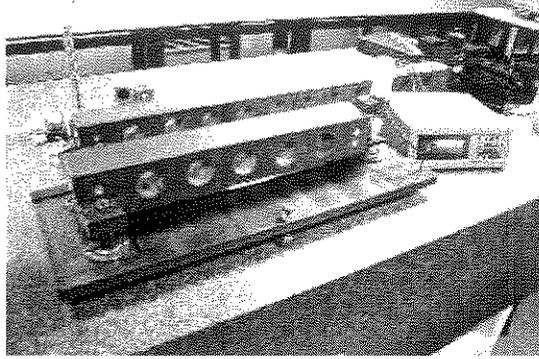
TABLO2. SV1 Küçük açı üreticisi Ölçüm Sonuçları

SV1-Küçük açı üreticisi Ölçme Aralığı (mm)	(arc saniye)	Toplam Maksimum Sapma (arc saniye)
$\pm 5,00$	$\pm 1024,66$	0,512
$\pm 2,50$	$\pm 511,98$	0,313
$\pm 1,00$	$\pm 204,79$	0,181

Ölçümler yapılırken bir değer tekrar edilmesi gerektiğinde mikrometre ile ölçüm alınan noktadan oldukça uzaklaşıp tekrar o değere gelinmiştir ki mikrometrenin dişli yapısının sebep olduğu hata en aza indirilebilsin.

3. SV2 KÜÇÜK AÇI ÜRETİCİSİ

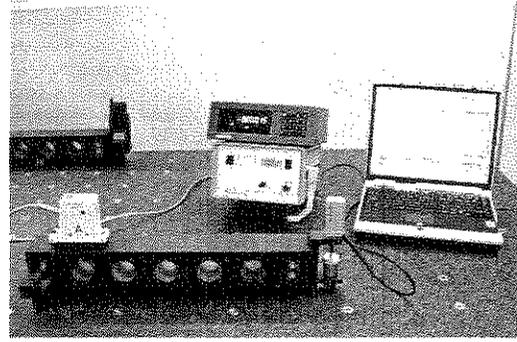
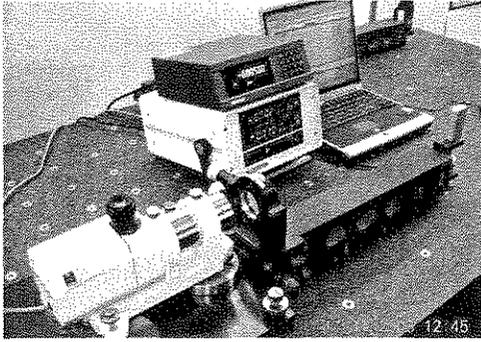
Otokolimatör ve level metrelerin kalibrasyonlarını gerçekleştirmek amacı ile üretilen SV2 küçük açı üreticisinde çözünürlüğü 0.05µm olan heidenhein prob kullanılmıştır, açı değerleri probun dijital göstere ünitesinden okunmuştur. Heidenhein prob mikrometre üzerine yerleştirilmiştir. Şekil 7'de SV2 Küçük açı üreticisi görülmektedir.



Şekil 7. SV2 Küçük açı üreticisi

SV2 alt ayarlanabilir tabla ile kullanılmaktadır. Ayarlanabilir alt tabla referans granit masanın olmadığı ortamlarda kullanım kolaylığı sağlayacaktır. SV2 Küçük açı üreticisinin kalibrasyonu lazer açı optikleri referans alınarak yapılmıştır. SV2 Küçük açı üreticisinde oluşturulan referans açılar, lazer açı optiklerinde okunan açı değerleriyle karşılaştırılarak SV2 Küçük açı üreticisinin kalibrasyonu yapılmıştır.

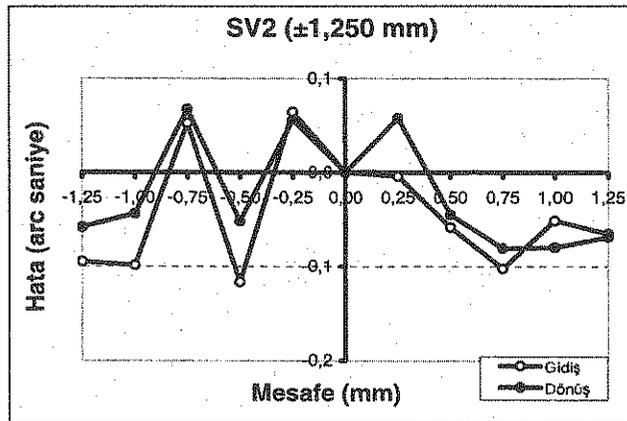
Şekil 9'da SV2 küçük açı üreticisinin referans olarak kullanılması ile yapılan otokolimatör ve level metre kalibrasyonları düzenekleri gösterilmiştir.



Şekil 8. SV2 Küçük açı üreticisinin kullanım alanları; otokolimatör ve level metre kalibrasyonları

3.1 SV2 Küçük Açı Üreticisi Ölçüm Sonuçları

Mikrometrenin ± 1.250 mm (± 498.42 ") ölçme aralığında elde edilen ölçüm sonuçları grafiği şekil 9'da verilmiştir. Toplam maksimum açı hatası 0.184" olarak bulunmuştur.

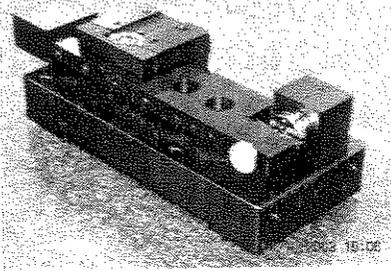


Şekil 9. SV2 Küçük açı üreticisi $\pm 1,250$ mm' de bulunan hata grafiği

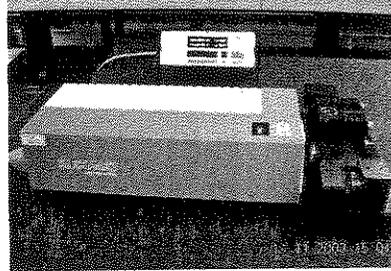
± 3 mm(1197.02) ve ± 0.250 mm(498.75) ölçme aralıklarındaki sonuçlar istenildiği kadar iyi bulunamamıştır. İyileştirme ve revizyon çalışmaları devam etmektedir.

4. SV3 KÜÇÜK AÇI ÜRETİCİSİ

Şekil 10'da görülen SV3 küçük açı üreticisi hassas otokolimatör kalibrasyonlarında kullanılabilen araştırma kapsamlı bir çalışmadır[3]. Piezoelektrik (PZT) nanosensör ile ilerleme sağlanmaktadır. 200mm uzunluğunda çelik gövde ve alt tabandan oluşmaktadır. Dönme eksenine "flexural pivot" yerleştirilmiştir. 25 mm çapında düz ayna çubuğun üzerine monte edilmiştir. SV3 Küçük açı üreticisi $\pm 7.8''$ ölçme aralığında, 0.0001" çözünürlükle çalışmaktadır. Poligon, açı mas-tar bloğu gibi referans açı ekipmanlarının kalibrasyonlarında kullanılan şekil 11'de görülen hassas otokolimatörlerin, $\pm 5''$ ölçme aralığı kullanılmaktadır. Dolayısıyla SV3 küçük açı üreticisi hassas otokolimatörlerin kalibrasyonunda yeterlidir.

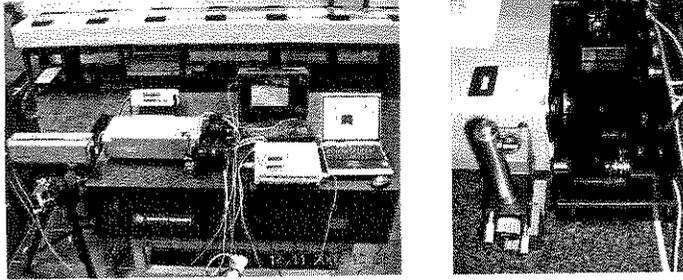


Şekil 10. SV3 Hassas Küçük açı üreticisi



Şekil 11. Hassas Otokolimatör Kalibrasyonu

SV3 Küçük açı üreticisinde kullanılan Pzt Nanosensör NPS-Z-15 A ve NPS 3330 ünitesi ile birlikte kullanılmaktadır [4]. SV3 Küçük açı üreticisinin test ölçümleri lazer ve "plane mirror interferometre" [5] kullanılarak yapılmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. SV3 Küçük açı üreticisi test ölçümleri düzeneği

Yapılan ölçümler ulaşılmaması gereken doğruluğun sağlanabileceğini göstermektedir. Kullanılan pzt nanosensörün izlenebilirliği lazer üzerinden sağlanabilmektedir. Bu çalışma araştırma kapsamlı olduğu için ölçümleri devam etmektedir. Sadece Ulusal Metroloji Enstitülerinin ihtiyaç duyabileceği bir referans küçük açı üreticisi olacaktır.

5. SONUÇ

SV1 Küçük açı üreticisi 1" doğrulukla su terazilerinin kalibrasyonunda ve SV2 Küçük açı üreticisi 0.18_ doğrulukla otokolimatörler ve level metrelerin kalibrasyonlarında kullanılabilir. Eşdeğer küçük açı üreticilerinin fiyatları oldukça yüksektir (Wyler, Brunson) [6][7]. İlgili açı ekipmanlarının kalibrasyonlarında, uygun bir seçenek olarak endüstrinin ihtiyacını karşılayabilecek doğrulukta imal edilmişlerdir. SV2 küçük açı üreticisinde bazı revizyonlar ve iyileştirme çalışmaları yapılabilir. Ancak elde edilen bu ölçüm sonuçları referans olarak kullanılmalarda yeterli olacaktır.

SV3 küçük açı üreticisi diğer ikisinden farklı bir çalışmadır. Pzt nanosensörler, nanometre düzeyinde çok hassas olarak mesafeyi ölçebildiğimiz kapasitif sensörlerdir. Çelik yerine invar malzeme kullanılarak sıcaklığın değişimiyle boyun ölçümlere etkisinden gelen hataların azaltılmasıyla bu küçük açı üreticisinin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalarımız devam etmektedir.

6. KAYNAKLAR

- 1- BOY3 Eğitim Dokümanı, "Açı Ölçümleri ve Açı Referansları Kalibrasyonları ve Belirsizlik Hesapları" (Revizyon tarihi Mayıs 2005)
- 2- BS 958 "Specification for Spirit Levels for use in Precision Engineering", 1968
- 3- Rudolf Thalman, Metas Length-Angle web site, <http://www.metas.ch>
- 4- T Rhicks & P D Atherton "The Nanopositioning Book", Queensgate Instruments
- 5- Laser and Optics User's Manual, Chapter 7C, Plane Mirror Interferometer, Agilent
- 6- General Metrology Catalogue 1996/97, TSB Metrology LTD, Precision Level Calibrator
- 7- Technical Manual, "Angle Generators, Brunson Instrument Co. 470 and 470A" Navair 17-20ML-30, 1 Ağustos 1996