

# LABORATUVAR TİPİ BİR FIRININ TASARLANMASI VE LVDT (Yer Değiştirme Transdüseri) KULLANARAK METALLERİN TERMAL GENLEŞME ÖLÇÜM DÜZENİĞİNİN HAZIRLANMASI

Arş. Gör. H. KORKMAZ Prof. Dr. B. CAN Yrd. Doç. Dr. H. KURT Arş. Gör. K.TOKER  
hkorkmaz@marun.edu.tr  
Marmara Üniversitesi Marmara Üniversitesi Marmara Üniversitesi Marmara Üniversitesi  
Teknik Eğt. Fak. Teknik Eğt. Fakültesi Teknik Eğt. Fak. Teknik Eğt. Fak.  
Elektronik-Bilgr. Eğt. Böl. Elektronik-Bilgr. Eğt. Böl. Metal Eğt. Böl. Elektronik-Bilgr. Eğt. Böl.  
81040 Göztepe/İSTANBUL

## Özet

Bu çalışmada vakum oranı ve ortam sıcaklığı kontrol edilebilen laboratuvar tipi bir fırın tasarlanmıştır ve fırına yardımcı başka donanımlar eklenerek bir sistem oluşturulmuştur. Daha sonra sistem, içine yerleştirilen denek metallerin termal genleşmesinin ölçümü için uygun hale getirilmiştir. Böylelikle sistemde faklı transdüserler kullanarak fırın içi sıcaklık ölçümü, genleşme ölçümü (yer değiştirme ölçümü), ortamın vakum oranı ölçümü gibi değişik ölçümler yapılabilecek bir ortam oluşturulmuş ve iyi bir deney düzeneği kurulmuştur.

Sisteme metallerin termal genleşme miktarını ölçmek için özel bir LVDT\* yerleştirilmiştir. Söz konusu LVDT sürekli olarak 600°C'ye veya ani olarak ise 800°C'ye kadar ısınmış ortama dayanabilen özel malzemelerden üretilmiştir. LVDT transdüserlerinin diğer yer değiştirme ölçen sensörler ile karşılaştırıldığında, sağlam ve güvenilirliklerinden ötürü büyük bir avantaja sahip olduğu gözükmemektedir. Ölçme prensibi manyetik transfer ilkesine dayanmaktadır. Transdüser çıkışının uygulanacağı işaret şartlandırıcı devresinin özelliklerine bağlı olarak çok küçük hareketler dahi bu tarz transdüserler tarafından algılanabilmektedir. Deneylerdeki doğruluk ve tekrar edilebilirlik özellikleri bu transdüserin yer değiştirme ölçümünde önümüzdeki süreçte ne kadar önemli hale geleceğini garanti etmektedir. Algılayıcı eleman ile direkt fiziksel bir temas söz konusu olmadığından algılayıcının aşınması gibi bir durum da oluşmamaktadır. Ayrıca LVDT'ler çalışmaları çok güç koşullara dahi uygun şekilde tasarlanabilirler. Örneğin su geçirmez veya yüksek sıcaklığa dayanabilen çeşitleri mevcuttur.

**Anahtar Kelimeler:** Yer Değiştirme Transdüseri, İşaret Şartlandırıcı, LVDT

## 1. Sistemin Tanıtılması

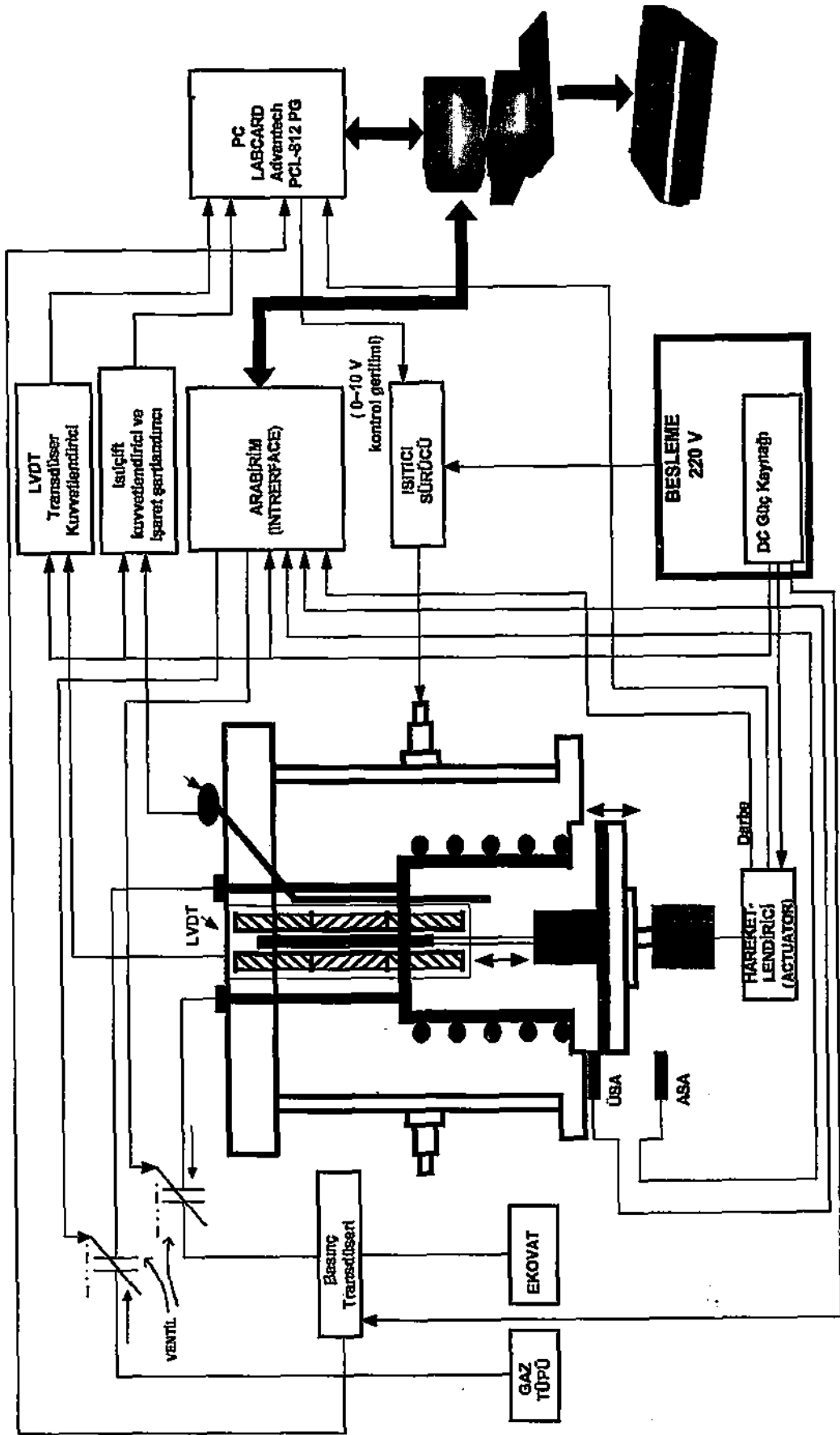
Şekil 1'den görüldüğü gibi sistemde laboratuvar tipi bir fırın ve bunun içine yerleştirilmiş sıcaklık sensörü ile fırın içine yerleştirilecek denek metallerin termal genleşme miktarını algılayan LVDT

bulunmaktadır. Sıcaklık sensörü olarak, K tipi bir ısılıft kullanılmıştır. Ayrıca ısılıft çıkışı, AD595 entegresi kullanılarak tasarlanmış bir işaret şartlandırıcı devreye uygulanmaktadır. Devre çıkışında 10mV/°C'lik lineerleştirilmiş ve kuvvetlendirilmiş bir işaret elde edilmiştir. Genleşme miktarını algılayan LVDT çıkışı ise yine bir işaret şartlandırıcı devreye uygulanmakta, bu devrede genlik ve faz bilgileri birleştirilerek mesafe mm cinsinden ölçülebilmektedir. Ayrıca fırın kapağını açıp kapamaya yaran 4 uçlu bir hareketlendirici (actuator) vardır. İki uç besleme ve diğer iki uç ise kapağın konum bilgisini sisteme geri besleme olarak veren darbe ucu olarak ayrılmıştır. Ayrıca fırın içindeki havayı boşaltmak için bir ekovat ve yine fırın içindeki vakum seviyesini gösteren ±1 bar aralığında çalışan bir basınç sensörü de bulunmaktadır.

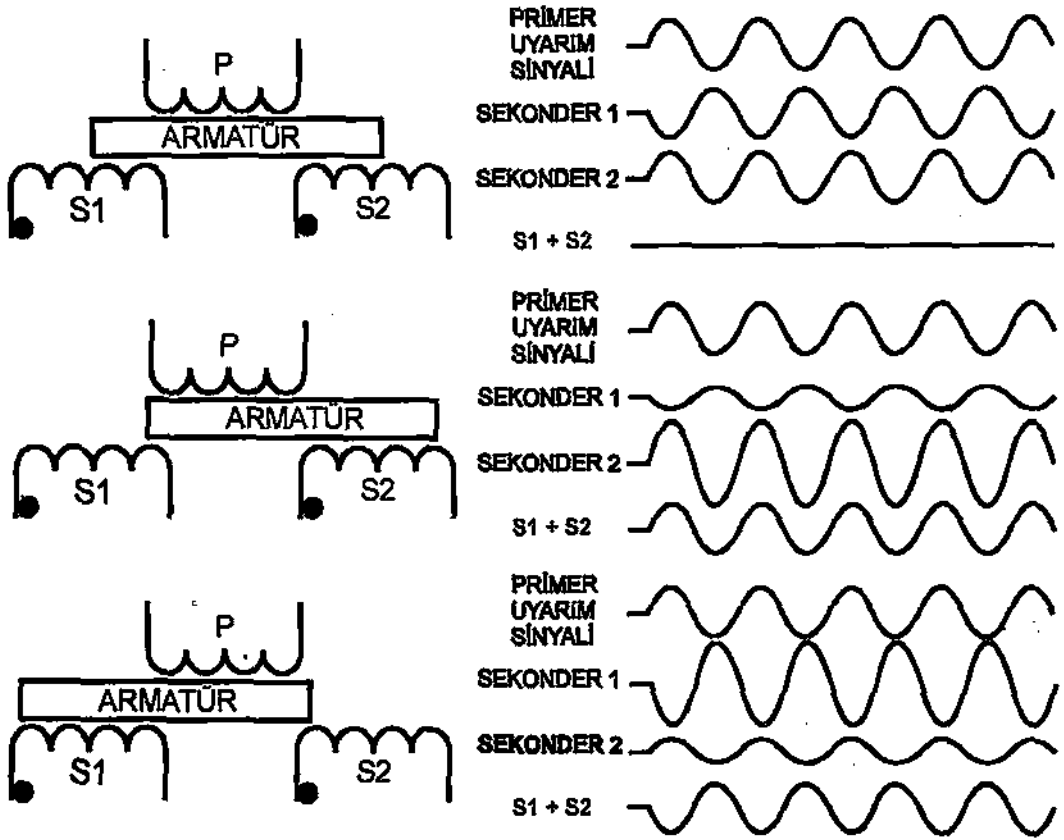
## 2. LVDT ile Yer Değiştirme Ölçümü

### 2.1 LVDT'nin Çalışma Prensibi

Bir LVDT 3 bobinden oluşmaktadır. Birinci bobin yani Primer bobini AC işaret (genelde 1 ile 20 KHz arasında 0.5 ile 5 Vrms) tarafından uyarılan kısımdır. Diğer iki bobin ise sekonder bobindir. Bu iki bobin, transdüserin içinde hareket eden manyetik malzemeden yapılmış armatür tam merkez konumunda iken veya başka bir deyişle her iki bobini de eşit miktarda kesiyor olduğu konumda iken, her iki bobin üzerinde de aynı gerilim indüklenerek şekilde sarılmıştır. Ancak, sekonder bobinleri birbirlerine ters yönde bağlandığından, bu durumda her iki bobin çıkışındaki gerilim aynı büyüklükte ve ters fazda olacaktır. Dolayısıyla birbirlerini yok edeceklerdir. (Şekil-2) LVDT'nin çıkışı bir AC dalga şeklindedir. Dolayısıyla çıkışın polaritesi yoktur. Transdüser çıkışındaki işaretin büyüklüğü elektriksel olarak ayarlanmış sıfır noktası referansına göre, hareketin yönü ne olursa olsun sürekli artmaktadır. Armatürün ne yönde hareket ettiğini belirleyebilmek için, çıkışın büyüklüğünün yanısıra fazının da bilinmesi gerekmektedir. Çıkış işaretinin fazı uyarım işaretinin fazı ile karşılaştırıldıktan sonra, yön bilgisi ortaya çıkmaktadır. Çıkış işaretinin fazı, uyarım işaretinin fazı ile aynı



Şekil - 1 Lab. Tipi Bir Firm ve Yardımcı Donanımları da İçine Alan Tüm Sisteme Ait Blok Şema



Şekil -2 LVDT'de Armatürün Hareketine Göre Sekonder Sargılarındaki İşaretlerin Değişimi [1]

veya ters olabilir. LVDT çıkışına bağladığımız bir elektronik devre yardımıyla genlik ve faz olmak üzere iki bilgi birleştirilmekte ve yön böylelikle ortaya çıkmaktadır. Seçilen yönde ilerlendiğinde devre çıkışındaki dc gerilim pozitif yönde artmakta; aksi konumda ilerlenirse, dc gerilim bu defa da negatif yönde artmaktadır.

Sekonder sargılarında akım indüklenmesini, armatürün hareketi sağlamaktadır. Armatür, özel bir manyetik malzemeden yapılmıştır ve çoğunlukla manyetik malzemeden yapılmamış bir itme çubuğuna bağlanarak kullanılır. İtme çubuğu, armatürün dış dünya ile bağlantısını gerçekleştirir.

Armatür tam merkez konumunda ise Sekonder1 ve Sekonder2 sargılarında eşit gerilimler oluşacaktır. Ancak sargıların ters sarılmış olmalarından ötürü, toplamları 0 olacaktır. (Şekil 2, ilk pozisyon)

Eğer armatür Sekonder2 sargısına doğru hareket ederse, toplam çıkış gerilimi 2. sargının lehine oluşacak ve dolayısıyla uyarım gerilimi ile çıkış arasında faz farkı olmayacaktır. (Şekil 2, ikinci pozisyon)

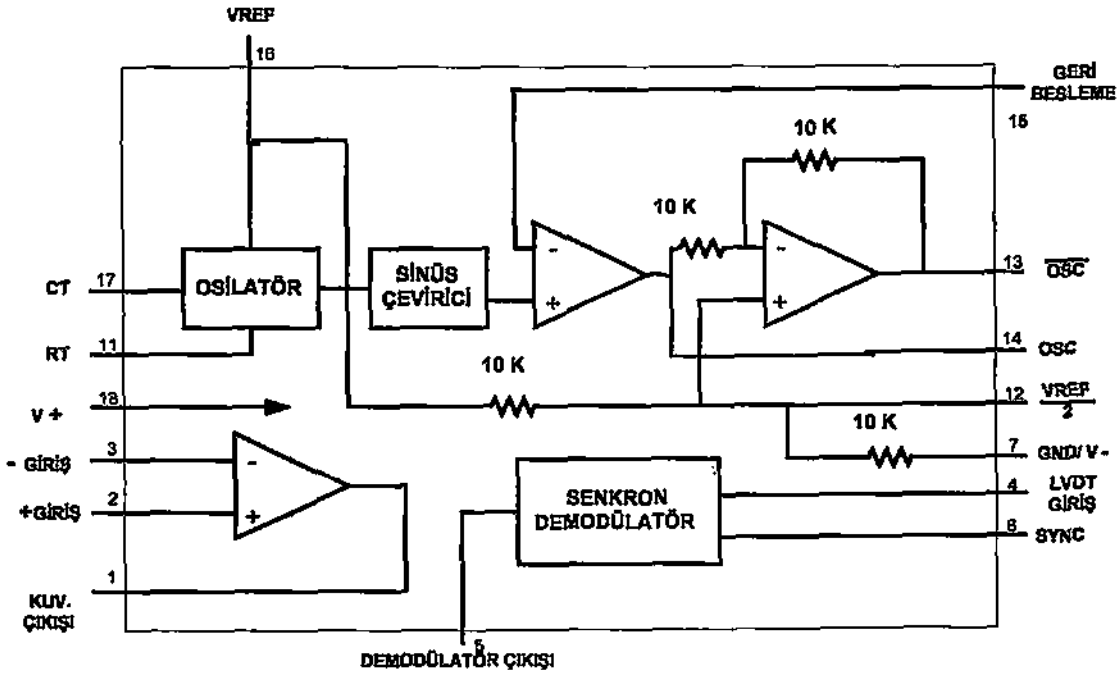
Tam tersi armatür Sekonder1 sargısının yönünde hareket ederse, sonuçta her iki çıkışın toplamı Sekonder1 daha baskın çıkacağından Sekonder 1'in gerilimi ile aynı fazda, uyarım geriliminin fazı ile ters fazda olacaktır. (Şekil 2, üçüncü pozisyon)

## 2.2 LVDT İşaret Şartlandırıcı Devresi

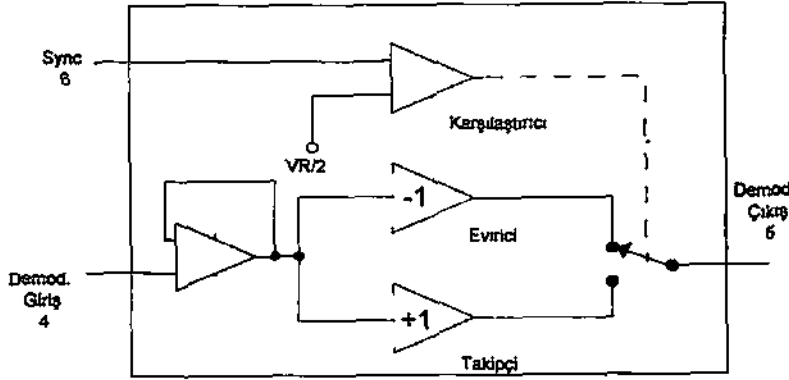
LVDT, giriş bilgisi olarak içerisinde bulunan nüvenin mekanik yer değiştirme miktarını algılar ve buna karşılık çıkışında elektromanyetik işaret üretir. Transdüser çıkışı aşağıda Şekil 3'te gösterilen bir elektronik devreye uygulanır. Söz konusu devre 3 ana bölümden oluşmaktadır: Frekansı ayarlanabilen bir osilatör, Senkron demodülatör ve çıkışta yer alan ek bir kuvvetlendiriciden meydana gelmektedir.

Osilatör,  $V_R^*$  referans gerilimi tarafından belirlenen RMS değerinde sabit bir sinüs dalga üretir. Osilatör çıkışı yüksek kazançlı, düşük offset özelliğine sahip iki adet tampon görevi yapan OPAMP devresinden geçerek entegrenin 13. ve 14. bacaklarında osilatör işareti olarak elde edilir. 14. bacak Osilatör işaretinin kendisi, 13. bacak ise  $180^\circ$  faz farklısı yani osilatör işaretinin evriğidir. Bu iki işaret LVDT'nin primerini ayrı olarak uyarımda kullanılmaktadır. Devreye harici olarak bağlanan RT direnci ile içeride yer alan zamanlama kondansatörü CT, osilatörün frekansını belirlemektedir. RT direnci,  $18\text{ K}\Omega$ 'luk sabit bir değere sahiptir. Osilatör frekans, aşağıda yer alan formülle hesaplanabilir [3]:

\* Entegrenin 16. bacağına uygulanan Osilatör ve Sinüs Çevirici için referans gerilimidir. Ancak kararlı olmalı ve besleme gerilimi  $+V'$ 'yi aşmamalıdır.



Şekil – 3 NE5521 Entegresi kullanılarak Yapılmış LVDT İşaret Şartlandırıcı Devresi Blok Şeması [2]



Şekil – 4 Demodülatör Devresi [3]

$$f_{osc} = \frac{V_R - 1.3 V}{V_R(R_T + 1.5 K\Omega)C_T}$$

İşaret şartlandırıcı devresinde senkron demodülatör bloğu yardımıyla, transdüser içinde hareket eden nüveden pozisyon ve faz bilgisi elde edilir. Senkron demodülatör bloğu sadece transdüser çıkışını anlamlı bir bilgi haline getirmekten öte, transdüser çıkışında yüksek empedans oluşturarak başka bir görevi de yerine getirmektedir. Şekil 4'te demodülatör devresinin nasıl çalıştığı gösterilmektedir. Transdüserin primerini süren osilatör sinyali, aynı zamanda demodülatörün senkron giriş ucuna da birleştirilir. Entegrenin OSC bacağı ile transdüser çıkışı (Demodülatör giriş ucu)  $\frac{V_R}{2}$  referans

değerine çekilmiştir. Senkronizasyon işareti,  $\frac{V_R}{2}$  değeri ile karşılaştırılır. İlk yarı alternansta, senkronizasyon işareti referans değerinin üzerine çıkar ve demodülatör bir evirici olarak çalışır. Bundan dolayı demodülatör girişi çıkışta ters olarak elde edilir. Ancak ikinci yarı alternansta, senkronizasyon işareti referans değerinin ( $\frac{V_R}{2}$ ) altına düşer ve bu anda demodülatör bir izleyici (follower) olarak çalışır. Dolayısıyla demodülatör girişi, bu bloğun çıkışında birim kazanca sahip olarak oluşur. Böylelikle primer sürücü sinyali ile senkron bir şekilde tam dalga doğrulama oluşur. Doğrultulmuş sinyalin genliği bize nüvenin pozisyonunu; sinyalin polaritesi de bize belirlenen sıfır konumuna göre nüvenin hangi yönde hareket ettiğini gösterir.

Tüm ölçme cihazları DC girişli olduğundan, demodülatör çıkışındaki AC sinyal filtrelenmiş bir DC işarete dönüştürülmek zorundadır. Bu yüzden demodülatör çıkışındaki işaret, entegrenin kendi içinde bulunan ve kazancı ayarlanabilen aktif bir filtreden geçirilmektedir. Aynı zamanda bu filtre demodülatör çıkışındaki işareten, taşıyıcı frekansı ve yüksek seviyeli harmonikleri de ayırmakta; böylelikle düzgün bir DC çıkış elde edilmektedir.

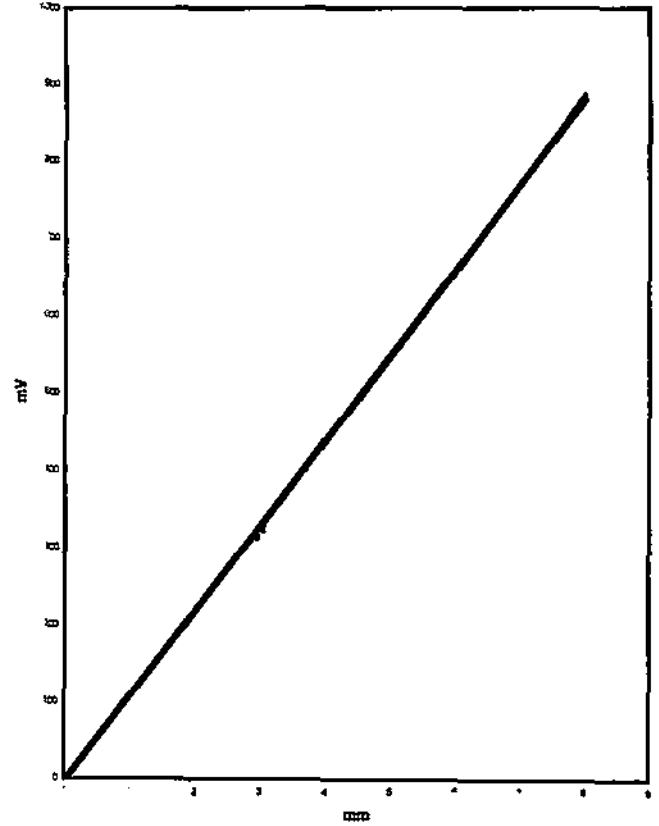
#### 4. Deney Sonuçları

Kullandığımız transdüser aite mm/mV kalibrasyon eğrisi çıkarılmıştır. Bir mikrometre LVDT'nin içerisinde hareket eden armatürle temas haline getirilmiştir. Ve her iki malzeme yatay konumda ölçeklendirilmiş bir zemin üzerinde yerleştirilerek, zemine tutturulmuştur. Böylelikle çok ufak sarsıntılardan etkilenmemesi sağlanmış ve olası hataların önüne geçilmiştir. Mikrometrenin 1mm'lik mesafeyi 100 adımda katetmesi sağlanmıştır. Belirlediğimiz başlangıç noktasında (ki bu deneyde 21. mm seçilmiştir.) işaret şartlandırıcı devre üzerindeki sıfır ayar düğmesi ile 0.06 mV elde edilmiştir. Toplam 8 mm'lik mesafe boyunca ölçüm alınmıştır. Aynı mesafe, farklı zamanlarda katedilerek deneyde tekrar edilebilme özelliğinin varlığı da ispatlanmıştır. Alınan sonuçlar, Excel'de tablolaştırılarak grafikleri elde edilmiş ve yine aynı programda oluşan eğriye  $ax + b$  cinsinden lineer bir eğri uydurulmuştur. Grafik 1 'de yatay eksen mm cinsinden yer değiştirme miktarını; dikey eksen ise yer değiştirme miktarına karşılık işaret şartlandırıcı devre çıkışındaki gerilimi mV cinsinden ifade etmektedir. Yatay eksen x, dikey eksen y ile temsil edilirse elde edilen denklem aşağıdaki gibi olacaktır:

$$y = 110,37x - 3,3647$$

veya

$$x = 0,009y + 0,0304$$



Grafik - 1 Yer Değiştirme Miktarı (mm cinsinden) Transdüser Çıkışında Gerilime Çevrilmiştir

#### 5. Sonuç

Bu çalışma sonucunda laboratuvar tipi bir fırın tasarlanmış ve bazı ek donanımlarla beraber sıcaklık, yer değiştirme miktarı ve vakum oranı ölçülebilen bir deney düzeneği şeklinde hayata geçirilmiştir. Tanıtılan bu sistemin tamamıyla fakültemiz imkanları ile hazırlanmış olması da sisteme ayrı bir özellik katmaktadır. Bu sistem, özellikle fakültemiz ders programında yer alan Ölçme ve Enstrümantasyon dersi için iyi bir laboratuvar ortamı oluşturmakla kalmayıp, diğer taraftan öğrencilerin bundan faydalanmaları sağlanarak, endüstriyel uygulama yapabilme açısından fakülte laboratuvarına da bir çeşitlilik getirmiş olmaktadır. Ayrıca bir yer değiştirme sensörünün fırın içine yerleştirilen denek metallerin termal genleşme miktarının ölçümünde kullanılması amacıyla, bu ölçme düzeneği ile ilgili olarak bir kalibrasyon eğrisi çıkarılmış ve  $ax + b$  cinsinden ifade edilmiştir. Söz konusu sensör, mm'nin % 1'ini ölçebilecek hassasiyete sahiptir.

#### Kaynaklar

- [1] RDP Electronics Firmasına ait "S7AC Transducer Amplifier" isimli teknik kullanma klavuzu
- [2] Philips Semiconductors Linear Products "NE/SA/SE5521 LVDT Signal Conditioner" ürün özellik sayfaları
- [3] Philips Semiconductors "AN1182 Using NE5521 Signal Conditioner in Multi-faced Applications" isimli Zahid Rahim tarafından yazılmış uygulama notları