

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HVAC (İKLİMLENDİRME) SİSTEMLERİNDE
AKIŞKAN BORULARDAKİ GERİNİM ÖLÇÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk. Elctr. Müh. Ahmet KILIÇ

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU**

Nisan 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HVAC (İKLİMLENDİRME) SİSTEMLERİNDE
AKIŞKAN BORULARDAKİ GERİNİM ÖLÇÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk. Elctr. Müh. Ahmet KILIÇ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK

Bu tez 28 / 04 /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU
Jüri Başkanı

Prof.Dr.Etem KÖKLÜKAYA
Üye

Yrd.Doç.Dr. Kürsat AYAN
Üye

ÖN SÖZ

HVAC İngilizce Heating – Ventilating - Air Conditioning (Isıtma - Havalandırma – İklimlendirme) kelimelerinin baş harflerinden oluşturulmuş bir kısaltmadır. Isıl iletkenliğinin yüksekliği, üretilebilirliğinin kolay olması, fiyatının uygun olması ve öz kütlelerinin düşük olması gibi nedenlerle bakır borular HVAC sistemlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada HVAC sektörünün altında günümüzde çok yaygın olarak kullanılan ürün olan klima üzerinde yoğunlaşmıştır.

Ticari değer taşıyan tüm ürünler gibi HVAC sınıfındaki ürünlerde tüketiciye sunulmadan önce bir seri testlerden geçirilirler. Bu testler ürün çeşitlerine göre farklı şekillerde yapılmakla birlikte performans testleri, güvenlik testleri ve güvenilirlik testleri olarak adlandırılırlar. Performans testleri, ürünlerin normal çalışma ve aşırı yükte çalışma durumlarında ürünün kapasite ve veriminin ölçüldüğü deneylerdir. Güvenlik testleri, ürünün müşteri kullanımı esnasında insan sağlığına zarar vermemesini garanti altına almak için yapılan deneylerdir. Güvenilirlik deneyleri, ürünün tüm bileşenlerinin en uzun süre çalışmasını garanti altına almak için yapılan deneylerdir. Bu deneylerden en önemlilerinden biri bakır boru gerinim [:strain] ölçüm deneyidir. Bu deneyin yapılmasındaki amaç bakır borunun belli şartlar altında çalışarak, yıllar boyu çatlamaması, kırılmaması ve bunların sonucu olarak ürünün içerisindeki soğutucu gazın sızmasını garanti altına almaktır. Bu çalışmada öncelikle ölçüm için bilinmesi gerekli teknik bilgiler verilmiş, ardından bu amaç için hazırlanan ölçüm sistemi anlatılmıştır.

Bu çalışmada bana yol gösteren değerli hocam Prof. Dr.Uğur Arifoğlu'na, maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme, eşim Hülya Kılıç'a, arkadaşlarım Ahmet Küçüker, Burhan Baraklı'ya ve çalışmalarım boyunca her türlü konuda yardımını esirgemeyen kıymetli kardeşim Nurullah Kılıç'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

| | |
|------------------------|-----|
| ÖN SÖZ | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | vii |
| TABLolar LİSTESİ | ix |
| ÖZET | x |
| SUMMARY | xi |

BÖLÜM 1.

| | |
|--|---|
| GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Veri Toplamının ve Kontrolünün Tanımı | 2 |
| 1.2. Ölçüm Sisteminin Temel Kavramları | 2 |

BÖLÜM 2.

| | |
|---|----|
| ENSTRÜMANTASYON KARAKTERİSTLİKLERİ | 5 |
| 2.1. Basit Aygıt Modeli | 5 |
| 2.1.1. Pasif ve aktif sensörler | 7 |
| 2.1.2. Kalibrasyon | 8 |
| 2.1.3. Modifiye eden ve bozan girdiler | 9 |
| 2.1.4. Doğruluk ve hata | 10 |
| 2.1.5. Sistematik hata kaynakları (Sapma) | 11 |
| 2.1.6. Rastgele hata kaynakları (Gürültü) | 12 |
| 2.1.7. Sensör birleştirme | 15 |
| 2.1.8. Tahmin | 15 |

BÖLÜM 3.

| | |
|--|----|
| ENSTRÜMANTASYONUN ÇALIŞMA MODLARI | 17 |
| 3.1. Sıfır Aygıtı..... | 17 |
| 3.2. Sapma Aygıtı | 19 |
| 3.3. Analog ve Dijital Sensörler | 21 |
| 3.4. Analog ve Dijital Çıktı Okuma Aygıtları | 23 |
| 3.5. Girdi Empedansı..... | 25 |

BÖLÜM 4.

| | |
|--|----|
| ÖLÇÜM STANDARTLARI..... | 27 |
| 4.1. Tarihsel Bakış | 27 |
| 4.2. Standartlar..... | 29 |
| 4.2.1. Uygulama standartları (Protokol standartları) | 30 |
| 4.2.2. Yasal ölçü birimi..... | 30 |
| 4.2.3. Adli ölçü birimi..... | 31 |
| 4.2.4. Standart referans maddeleri | 31 |
| 4.3. Ölçümlerin Kurumsal Temeli | 32 |
| 4.4. Standart İhtiyacı..... | 33 |
| 4.5. Standart Çeşitleri | 33 |
| 4.5.1. Temel ve ana standartlar | 33 |
| 4.5.2. Türetilmiş standartlar | 34 |
| 4.5.3. Ölçüm teminat sistemi | 34 |
| 4.6. Sayılar, Boyutlar ve Birimler..... | 35 |
| 4.7. Çoğalım Çarpanı..... | 36 |

BÖLÜM 5.

| | |
|--|----|
| GERİNİM ÖLÇME (STRAIN GAGE) | 37 |
| 5.1. Gerilme (Stress) ve Gerinim (Strain)..... | 37 |
| 5.1.1. Gerinim | 38 |
| 5.1.2. Kayma gerinimi – deformasyon (Shearing strain)..... | 39 |
| 5.1.3. Çapraz – yanal gerinim (Poisson strain) | 39 |
| 5.1.4. Normal gerilme (Stress)..... | 40 |
| 5.1.5. Kayma gerilmesi (Shear stress) | 41 |

| | |
|--|----|
| 5.1.6. Ana eksenler (Principal axes) | 42 |
| 5.1.7. Gerinim – gerilme ilişkileri..... | 43 |
| 5.2. Gerinim Ölçülmesi | 45 |
| 5.2.1. Ölçüm boyu (Gage length) | 46 |
| 5.2.2. Mekanik aletler | 47 |
| 5.2.3. Optik metodlar | 47 |
| 5.2.4. Gevrek kaplama | 47 |
| 5.2.5. Elektrikli aletler | 48 |
| 5.3. Bağlanmış Dirençli Gerinim Ölçer..... | 49 |
| 5.3.1. Ölçüm çarpanı (Gage factor) | 50 |
| 5.3.2. Çapraz hassasiyet (Transverse sensitivity) | 51 |
| 5.3.3. Sıcaklık etkileri | 52 |
| 5.3.4. Ölçüm..... | 53 |
| 5.4. Ölçüm Metodları..... | 54 |
| 5.4.1. Wheatstone köprüsü devresi | 54 |
| 5.4.2. Dengelenmiş köprü gerinim ölçer ölçümleri | 55 |
| 5.4.3. Dengelenmemiş köprü gerinim ölçer ölçümleri | 56 |
| 5.5. Potansiyel Hata Kaynakları | 59 |

BÖLÜM 6.

| | |
|---|----|
| GERİNİM ÖLÇÜM TEST SİSTEMİ VE YAZILIMI..... | 60 |
| 6.1. Testin Amacı..... | 60 |
| 6.2. Test Sisteminin Tanıtılması | 61 |
| 6.2.1. Algılayıcılar | 62 |
| 6.2.2. Köprü devresi ve yükselticiler | 63 |
| 6.2.3. Analog/dijital dönüştürücüler | 64 |
| 6.2.4. Bilgisayar | 65 |
| 6.2.5. Bilgisayar yazılımı | 65 |
| 6.3. Algılayıcı (Starin Gage) Yerleşimi..... | 67 |
| 6.3.1. Yapıştırılacak yüzeyin ve algılayıcının hazırlanması | 68 |
| 6.3.2. Algılayıcının yüzeye yapıştırılması | 69 |

| | |
|---|----|
| 6.4. Starin Gage Ölçüm Programı Kullanımı | 70 |
| 6.4.1. Programın çalıştırılması | 70 |
| 6.5. Veri Değerlendirilmesi | 77 |
| BÖLÜM 7. | |
| SONUÇ | 79 |
| KAYNAKLAR | 81 |
| ÖZGEÇMİŞ | 83 |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | | |
|------------|---|----|
| Şekil 1.1. | PC'ye dayalı veri edinim sistemine ilişkin fonksiyonel diyagram | 3 |
| Şekil 2.1. | Basit aygıt modeli | 6 |
| Şekil 2.2. | Yükselteç ,analog-sayısal çevirici ve bilgisayar çıktısıyla aygıt modeli | 7 |
| Şekil 2.3. | Kalibrasyon eğrisi örneği | 9 |
| Şekil 2.4. | Bozan girdiler..... | 9 |
| Şekil 2.5. | Modifiye eden girdinin kalibrasyon eğrisi üzerindeki etkilerinin gösterimi | 10 |
| Şekil 2.6. | Ölçüm doğruluğu için hedef benzetmesi | 11 |
| Şekil 2.7. | Gauss dağılımı örneği | 13 |
| Şekil 2.8. | Gürültü kaynakları ile cihaz modeli..... | 14 |
| Şekil 2.9. | Sensör birleştirme | 15 |
| Şekil 3.1. | Bir sıfır aygıtında dengede olan ölçülen ve bilinen değerler | 18 |
| Şekil 3.2. | Sıfır aygıt karşılaştırma için iki kaynaktan girdisi gösterimi..... | 19 |
| Şekil 3.3. | Sapma aygıtları bir kaynaktan yükleme gereksinimi ve yükleme hatası gösterimi | 21 |
| Şekil 3.4. | Sapma aygıtı lojik akış şeması..... | 21 |
| Şekil 3.5. | Isıl çift süreç için bir analog sinyal temini..... | 22 |
| Şekil 3.6. | Döner mil devir sayıcı İle dijital sinyal üretimi | 23 |
| Şekil 3.7. | 0' dan 9'a kadar sayıları gösterebilir Yedi-parçalı gösterge çipi | 24 |
| Şekil 3.8. | Eşdeğer devre cihazın çıkış terminallerine ölçme aleti bağlanması | 25 |
| Şekil 4.1. | Uygulama standartları..... | 30 |
| Şekil 4.2. | Kaliteye ulaşmak için uyulması gereken hiyerarşi | 32 |
| Şekil 4.3. | Dünyadaki değişik standart kategorileri arasındaki bağlantılar..... | 35 |
| Şekil 5.1. | Tek ekseninde uygulanan kuvvet..... | 37 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Şekil 5.2. | Esnetilmiş konsol | 38 |
| Şekil 5.3. | Kayma geriniminin canlandırılması..... | 39 |
| Şekil 5.4. | Çapraz-yanal gerinim..... | 40 |
| Şekil 5.5. | Normal gerilme | 41 |
| Şekil 5.6. | Kayma gerilmesi | 41 |
| Şekil 5.7. | Yumuşak çelik için gerinim-gerilme diyagramı | 43 |
| Şekil 5.8. | Burulma ve gerilmedeki mil | 44 |
| Şekil 5.9. | X-Y eksenindeki ve esas eksenindeki element | 45 |
| Şekil 5.10. | Gerinim ve gerilimin yüksek olduğu bölge | 47 |
| Şekil 5.11. | Wheatstone köprü devresi..... | 54 |
| Şekil 5.12. | Köprüyü dengelemeye uygun köprü devresi | 55 |
| Şekil 5.13. | Dengesiz köprü strain ölçümü için cihaz | 58 |
| Şekil 6.1. | Klima içerisinde kullanılan bakır boruların genel görüntüsü | 61 |
| Şekil 6.2. | Strain gage ölçme sistemi akış şeması..... | 62 |
| Şekil 6.3. | Örnek bir strain gage görüntüsü..... | 63 |
| Şekil 6.4. | Omega OM2 serisi sinyal koşullayıcı | 64 |
| Şekil 6.5. | U2352A modüler çok fonksiyonlu veri toplama cihazı..... | 65 |
| Şekil 6.6. | Strain gage ölçüm programı kaynak kodu oluşturma ekranı örnek görüntüsü..... | 67 |
| Şekil 6.7. | Strain gage ölçüm programı kaynak kodu oluşturma ekranı örnek görüntüsü..... | 67 |
| Şekil 6.8. | Strain gage yerleşim noktaları | 68 |
| Şekil 6.9. | Giriş paneli..... | 70 |
| Şekil 6.10. | Test ekran görüntüsü..... | 71 |
| Şekil 6.11. | Uyarı penceresi | 71 |
| Şekil 6.12. | Test bilgi ekranı | 72 |
| Şekil 6.13. | Kalibrasyon ve ayar ekranı | 73 |
| Şekil 6.14. | Test ve ölçüm ekranı..... | 76 |
| Şekil 6.15. | Test bitti rapor ekranı..... | 77 |

TABLolar LİSTESİ

| | | |
|------------|--|----|
| Tablo 2.1. | Fiziksel ve sinyal değişkenleri..... | 6 |
| Tablo 4.1. | SI birim sisteminde tanımlanan temel ve tamamlayıcı birimler.. | 34 |
| Tablo 5.1. | Bazı çok bilinen malzemelerin termal genişleme katsayısı için sıcaklık kompanzasyonlu strain-gage'ler mevcuttur..... | 52 |
| Tablo 6.1. | Kalibrasyon dirençleri..... | 75 |

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Gerilim-Gerinim Ölçümü, Enstrümantasyon

Bugünün ürün sorumluluğu ve enerji verimliliğine olan vurgusuyla, tasarımların sadece daha hafif ve daha güçlü olması yeterli değil, aynı zamanda öncekinden daha çok ayrıntılarıyla test edilmeleri gerekiyor. Bu gereksinim, deneysel gerilme analizi ve gerinim ölçümü tekniklerine yeni bir önem getiriyor. Çalışmanın ana konusu, gerinin ölçümlerinde bağlanmış rezistans gerinim ölçerleri kullanılmasını hedeflemektedir. Çalışmamızda ölçümün doğruluğunu etkileyen etkenler tanıtılmakta ve bu doğruluğu geliştirmek için prosedürler sunulmaktadır. Ayrıca, bilgisayar kontrollü enstrümantasyonu vurgulanarak, gerinim ölçer ölçümlerinin pratik etkenlerinin altı çizilmektedir.

STRAIN MEASUREMENT OF COPPER PIPES IN HVAC SYSTEMS

SUMMARY

Key Words: Strain Stress Measurement, Instrumentation

With today's emphasis on product liability and energy efficiency, designs must not only be lighter and stronger, but also more thoroughly tested than ever before. This places new importance on the subject of experimental stress analysis and the techniques for measuring strain. The main theme of this study is aimed at strain measurements using bonded resistance strain gages. This study introduces considerations that affect the accuracy of this measurement and suggest procedures for improving it. This study also emphasizes the practical considerations of the strain gage measurement, with an emphasis on computer controlled instrumentation.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Uluslar arası düzeyde rekabet edebilmenin, dünya pazarlarına girebilmenin yolu, kaliteli malı ucuza mal edebilmektir. Bunu sağlamanın yolu, kalite kontrolün etkinliğini artırmak ve kalite seviyesini sürekli yükseltmekten geçer. Bunu gerçekleştirmek için uluslar arası standartlara uymak ve gereksiz malzeme maliyetlerinden kaçınmak gerekir. Uygun fiyatlı ve kaliteli ürünü üretebilmenin yolu standartlarca tanımlanan gerekli bütün testleri doğru ve tekrarlı olarak yapmaktır.

1981 yılında, IBM, ilk kişisel bilgisayarını (PC) piyasaya sunduğunda, açık sistem tasarımı, bağımsız üçüncü taraf geliştiricileri tarafından geniş bir uyumlu eklenti ürün çeşitliliğinin gelişmesini destekledi. İlave olarak, açık sistem tasarımı, PC'lerin hızında ve gücündeki hızlı bir artışla sonuçlanan, IBM uyumlu PC'lerin, piyasa sınırları için rekabet eden rekabetçiler olarak, piyasada hızla çoğalmasını da beraberinde getirdi.

Yazılımdaki hızlı büyüme ve maliyetteki önemli düşüşün eşlik ettiği ve işlemcinin artırılmış gücünden yararlanan PC, sayısal sinyal işleme, görüntü işleme, veri toplama [data acquisition] ve endüstriyel kontrol ile haberleşme uygulamaları için, günümüzde, en geniş çapta kullanılan platformdur. Birçok uygulamada, özellikle veri toplama ve süreç kontrolü için, PC'nin gücü ve esnekliği, her birinin ayrı avantajı olacak biçimde birçok şekilde konfigüre edilmesine imkan sağlar. PC'nin sonuç verici kullanımının anahtarı, özel bir veri toplama uygulamasının belirli şartlarının mevcut yazılım ve donanımla dikkatli bir şekilde uyumlaştırılmasıdır [1].

Tasarım, gözlem ve deney bilimsel çalışmaların ve araştırmaların temelini oluşturan kavramlardır. Ancak laboratuvar çalışmalarında deneyin rolünün çok büyük olduğu bir gerçektir. Laboratuvarlarda elektrik elektronik ve optik ölçme araçları ile, insanın zihinsel faaliyetini artıran bilgisayarlardan geniş ölçüde yararlanılmaktadır [2].

Bilgisayarlar veri toplama ve kontrolü için en yaygın kullanılan platformdur. Bilgisayara dayalı teknolojinin popüler olmasının temel sebepleri, düşük maliyet, esneklik, kullanım kolaylığı ve en az diğerleri kadar önemli olan performans özelliğidir. Bu sağlam ve güvenilir özellik, “kullanıma hazır” bileşenlerin kullanılması sayesinde. PC ile veri edinimi, basınç, akış, sıcaklık, yer değiştirme, nem, gerinim vb. çeşitli gerçek dünya sinyallerinin görüntülenmesine, günlüğünün tutulmasına ve kontrol edilmesine imkan verir. Bu yeteneğin çeşitli bağımsız cihazlarla kolayca ara yüz kurma yeteneği ile birleşmesi, sistemleri daha da kullanışlı bir hale getirmektedir [1].

1.1. Veri Toplamanın ve Kontrolünün Tanımı

Veri toplama, gerçek dünyadaki fiziksel fenomenlerin, bir bilgisayar tarafından işlenmesi, analiz edilmesi ve saklanması için ölçülen ve sayısal bir biçime dönüştürülen elektrik sinyallerine dönüştürüldüğü süreçtir [1]. Veri toplama sistemleri elektronik sistemleri kullanarak sıcaklık, basınç, debi, gerinim, pozisyon ve hız gibi fiziksel ölçümler yapar [3].

Uygulamaların büyük çoğunluğunda, veri toplama (DAQ) sistemi, sadece veri elde etmek için değil ayrıca üzerinde çalışmak için tasarlanır. DAQ sistemlerinin tanımlanmasında, toplam sistemin kontrol kısmının kapsanması için bu tanımın genişletilmesi, bu yüzden yararlıdır. Kontrol, sistem donanımından gelen sayısal kontrol sinyallerinin, hareketlendirici cihazlar [actuator] ya da röleler gibi kontrol cihazları tarafından kullanılmak üzere, bir sinyal biçimine toplandığı süreçtir. Bir sisteme, bir veri toplama sistemi ya da DAQ sistemi olarak atıf yapılırsa, kontrol fonksiyonlarını da içermesi pekâlâ mümkündür [1].

1.2. Ölçüm Sisteminin Temel Kavramları

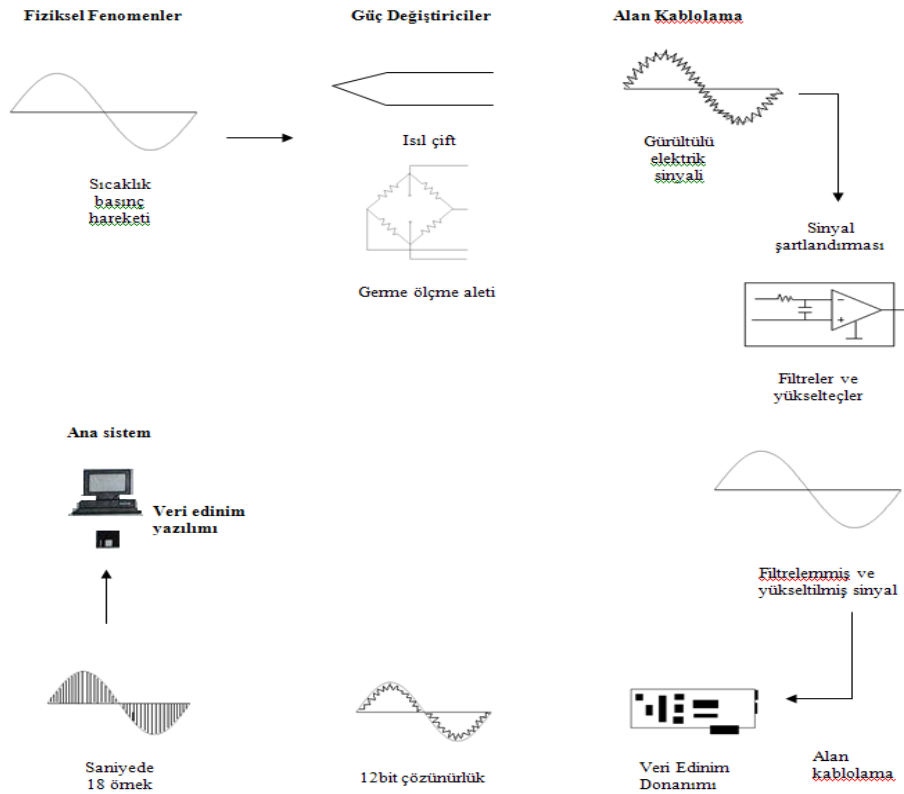
PC'nin gücü ve esnekliği üzerine kurulmuş olan bir veri toplama veya kontrol sistemi, farklı cihaz imalatçılarından çeşitli donanım inşa bloklarının geniş çeşitliliğinden oluşabilir. Bu ayrı bileşenleri tam bir çalışma sistemi haline sokmak üzere bir araya getirmek, sistem tümleştiricisinin [integrator] görevidir.

Şekil 1.1.'in fonksiyonel diyagramında gösterildiği üzere, bir veri toplama sisteminin temel elemanları, aşağıdaki gibidir:

Algılayıcılar [sensor] ve güç dönüştürücüler/transdüserler [transducer]

- Alan kablolama
- Sinyal şartlandırma
- Veri toplama donanımı
- PC (işletim sistemi)
- Veri toplama yazılımı

Toplam sistemin her bir elemanı, izlenmekte olan süreçten veya fiziksel fenomenlerden veri toplanması ve doğru ölçüm için önemlidir [1].



Şekil 1.1. PC'ye dayalı veri toplama sistemine ilişkin fonksiyonel diyagram

Bir tasarımcı veya mühendis belli bir değişkenin gözlenmesi gerektiğine karar verdiğinde bir ikilem ile yüz yüze gelir; bu iş için en iyi algılayıcı nedir? Çalışan her

algılayıcı basit bir kavrama dayanır- bir algılayıcının fiziksel özelliği harici bir elektrik sinyali ile değiştirilmelidir. Oldukça sık olarak aynı uyarıcı oldukça farklı fiziksel fenomen ve dolayısıyla farklı algılayıcılar ile ölçülebilir. Bu yüzden özel bir uygulama için en iyi algılayıcının seçimi bir mühendislik tercih problemidir. Seçim kriteri, mevcudiyet, maliyet, güç tüketimi, çevresel şartlar, vb. gibi çok faktöre bağlıdır. En iyi seçim sadece bütün değişkenler dikkate alındıktan sonra yapılabilir [4].

BÖLÜM 2. ENSTRÜMANTASYON KARAKTERİSTİKLERİ

Ölçüm problemleri ele alındığında, ölçüm işleminin kavramsal bir modelinin olması çoğunlukla yararlıdır. Bu bölümde, ölçümün bazı temel kavramları, genelleştirilmiş basit bir aygıt modeli üstünden anlatılacaktır.

Soyut terimlerde, bir aygıt ilgilenilen fiziksel değişkeni (ölçülen) kaydedilmeye müsait bir forma (ölçüm) dönüştüren bir alettir. Ölçümün daha geniş ve daha uyumlu bir anlamı olabilmesi için, bir aygıttan alınan ölçümün bir diğerinden alınanla karşılaştırılabilmesini sağlayacak bir standart birim sistemi kullanılmaktadır [5]. Teknolojik disiplinler arasındaki teknik iletişimin doğru olarak sağlandığından emin olmak için, iyi tanımlanmış birim setlerini kullanmak esastır [6].

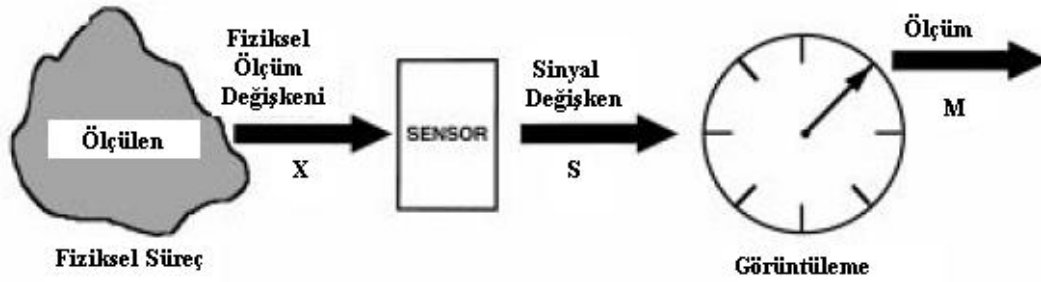
Basit bir aygıtı örnek olarak cetvel verilebilir. Bu durumda, ölçülen bir objenin uzunluğudur ve ölçüm, uzunluğu temsil eden birimlerin (metre, inç, vs...) sayısı kadardır [5].

2.1. Basit Aygıt Modeli

Şekil 2.1 genelleştirilmiş basit bir aygıtın modelini gösteriyor. Ölçülecek fiziksel işlem şeklin solunda ve ölçülen, gözlemlenebilir bir fiziksel değişken olan X ile temsil ediliyor. Gözlemlenebilir değişken X , ölçülen olmak zorunda değil ama bazı bilinen yollarla basitçe ölçülene bağlı olmak durumunda. Mesela, bir cismin kütlesi çoğunlukla bir tartma işlemiyle ölçülür ki burada ölçülen kütle fakat fiziksel ölçüm değişkeni, kütle dünyanın yerçekimi alanında uygulanan aşağı doğru olan kuvvettir. Mümkün olan birçok fiziksel ölçüm değişkeni vardır. Bunlardan bazıları Tablo 2.1'de gösterilmektedir [5].

Tablo 2.1. Fiziksel ve Sinyal Değişkenleri

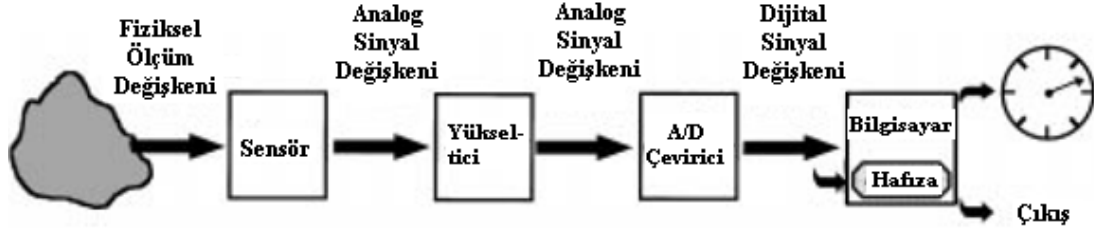
| Genel Fiziksel Değişkenler | Tipik Sinyal Değişkenler |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Kuvvet • Uzunluk • Sıcaklık • İvme • Hız • Basınç • Frekans • Kapasite • Direnç • Zaman • ... | <ul style="list-style-type: none"> • Voltaj • Yer Değişimi • Akım • Kuvvet • Basınç • Işık • Frekans |



Şekil 2.1. Basit Aygıt Modeli

Şekil 2.1.'de gösterilen cihaz modelinin, anahtar rolü oynayan elemanı sensördür, değişken fiziksel girdiyi, değişken sinyal çıktıya değiştirme işlevi vardır. Sinyal değişkenlerin, elektrik ya da mekanik devreler gibi transmisyon sistemlerinde yönlendirilebilmeleri özelliği vardır. Bu özellik sayesinde sinyal değişken, sensörden uzakta olan bir kayıt cihazına ya da çıktıya iletilebilir. Elektrik devrelerinde, voltaj genel bir sinyal değişkendir. Sinyal değişken için diğer örnekler Tablo 2.1'de verilmiştir. Sensörden çıkan sinyal çıktısı, ikinci bir sistem ya da alet için girdi değişkeni olarak kullanılabilir, ya da görüntülenebilir, kaydedilebilir. Basit bir aygıtta sinyal, ölçümlerin bir insan gözlemci tarafından okunabilmesi için bir kayıt alma ya da görüntüleme aletine iletir. Gözlemlenen çıktı, ölçüm M 'dir. Birçok

görüntüleme aleti çeşidi vardır, bunlar basit derecelerden, gelişmiş bilgisayar görüntüleme sistemlerine kadar değişir. Sinyal ayrıca aygıtın bir parçası olduğu daha büyük sistemlerde de doğruca kullanılabilir. Örnek olarak, sensörün sinyal çıktısı, kapalı devre kontrol sistemi için girdi olarak kullanılabilir [5].



Şekil 2.2. Yükselteç, Analog-Sayısal Çevirici ve Bilgisayar Çıktısıyla Aygıt Modeli

Eğer sensörden çıkan sinyal çıktısı küçükse, bazen çıktıyı Şekil 2.2’de gösterildiği gibi yükseltmek gerekir [5]. Sinyal koşullayıcılar ölçüm sistemlerinde sensörden çıkan analog sinyali ölçüm cihazının (A/D çevirici) doğru olarak ölçebileceği forma dönüştürürler. Sensör sinyali seviyesi çok düşük, çok yüksek, gürültülü ve ölçüm cihazı için uygun olmayan bir formda olabilir [1]. Kullanılan belirli ölçüm uygulamasına göre yükseltelen çıktı, görüntüleme aletine aktarılmalı ya da kaydedilmeli. Birçok durumda, aygıt için sayısal sinyal çıktısı sağlamak gereklidir, böylece bir iletişim sistemine ya da bilgisayar-bazlı bir veri toplama sistemine bağlanabilir. Eğer sensör sayısal bir çıktı sağlamıyorsa, Şekil 2.2’de gösterildiği gibi, sensörün analog çıktısı bir analog-sayısal çeviriciyle çevrilir. Sayısal sinyal, bir bilgisayar işlemcisine gönderilir ve bu bilgisayar işlemcisi, ölçümü kullanacak başka sistemlere çıktı olabilecek veriyi aktarır ya da görüntüler, saklar [5].

2.1.1. Pasif ve aktif sensörler

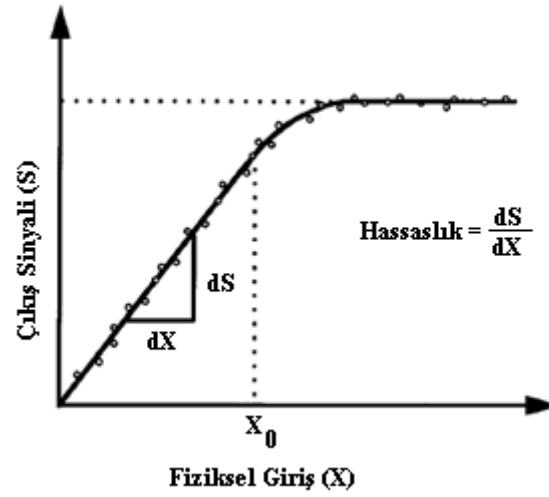
Yukarıda tartışıldığı gibi sensörler, fiziksel değişkenleri sinyal değişkenlere çevirirler. Sensörler çoğunlukla transdüser olarak adlandırılır ve belli bir formdaki giriş enerjisini, başka bir formda çıkış enerjisine çeviren aletlerdir. Sensörler temasta oldukları ortamı nasıl ölçtüklerine göre iki geniş sınıfa ayrılabilirler. Pasif sensörler, ölçüm işlemi olarak enerji eklemeyenler, fakat enerji azaltabilirler. Pasif sensörlerin bir örneği de fiziksel bir enerjiyi voltaj sinyaline çeviren ısı çiftidir [thermocouple]. Bu

durumda, ortamdaki hararet gradyanı, sinyal değişkeni haline gelen bir termoelektrik voltaj üretir. Diğer bir pasif sensör örneği de basınçölçerdir. Bu durumda, ölçülen basınç mekanik sistem üzerine bir kuvvet uygular (kadranlı barometre, diyagram) ve bu mekanik sistem basınç gücünü, bir sinyal değişkeni olarak kullanılabilcek yer değişime çevirir. Örnek olarak, diyagramın yer değişimi, bir mekanik çarklı sistem tarafından, görüntülenen göstergenin üstündeki bir belirleyici iğnenin yer değişimiyle iletilebilir.

Aktif sensörler, ölçü işleminin bir parçası olarak ölçüm ortamına enerji eklerler. Aktif sensörlere örnek olarak radar ya da sonar sistem verilebilir. Burada bir objeye olan uzaklık, objenin geri yansıtması ve sensörden uzaklığının ölçülmesi için aktif olarak radyo ya da akustik dalga gönderilmesiyle ölçülür [5].

2.1.2. Kalibrasyon

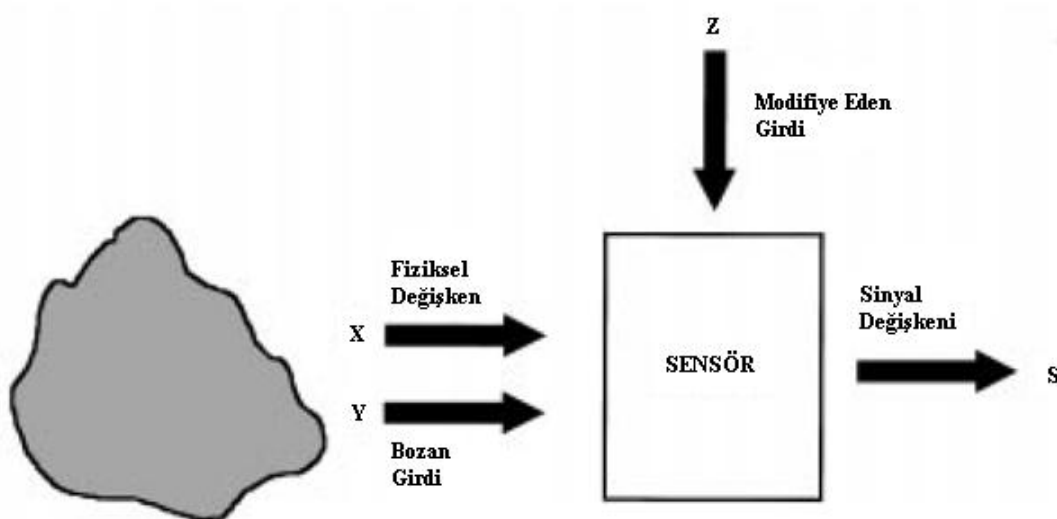
Belli bir sensör için fiziksel ölçüm değişkeni girdisiyle sinyal değişkeni (çıktısı) arasındaki ilişkiye sensörün kalibrasyonu denir. Tipik olarak, bir sensör (ya da tam bir aygıt sistemi), bilinen bir fiziksel girdiyi sisteme vermek ve sonucunu kaydetmekle kalibre edilir. Veriler Şekil 2.3'de gösterilen örnekteki gibi bir kalibrasyon eğrisinde çizilir. Bu örnekte, X_0 'dan küçük fiziksel girdi değerleri için sensörün lineer yanıtları vardır. Aletin hassasiyeti kalibrasyon eğrisinin eğimiyle belirlenir. Bu örnekte X_0 'dan büyük değerler için çıktı sinyali limit değerine ulaşana kadar, kalibrasyon eğrisi daha az hassas bir duruma geliyor. Bu durumdan satürasyon diye söz edilir ve sensör satürasyon değerinden büyük değerlerdeki ölçümler için kullanılamaz. Bazı durumlarda, sensör çok küçük fiziksel input değişkenlerine cevap vermez. Bir aygıt tarafından güvenilir olarak ölçülebilen en büyük ve en küçük fiziksel input değerleri arasındaki fark, aygıtın dinamik aralığını belirler [5].



Şekil 2.3. Kalibrasyon Eğrisi Örneği

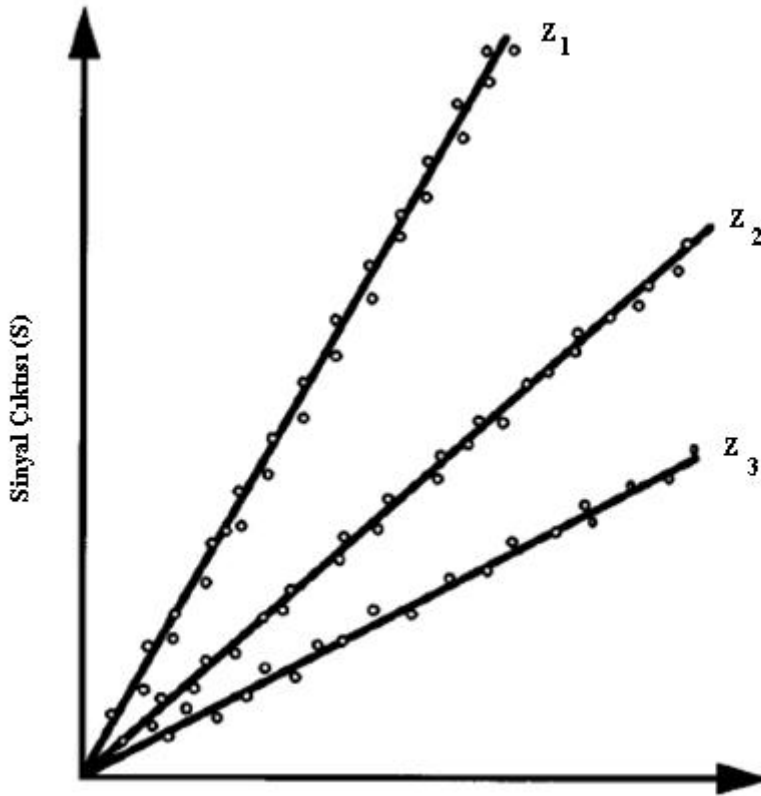
2.1.3. Modifiye eden ve bozan girdiler

Bazı durumlarda, sensör çıktısı ölçülmek istenenden başka fiziksel değişkenlerden de etkilenir. Şekil 2.4'te X ölçülmek istenilen, Y bozan girdi, Z'ye modifiye eden girdi olarak adlandırılır. Bozan girdi Y, sensörün Y ve ölçülmek istenilen X'in lineer çakışmasının aynı şekilde cevap vermesine neden olur. Bu yüzden ölçülen sinyal çıktısı, Y'nin ölçülmek istenilen X'e müdahale etmesiyle, X ve Y'nin bir kombinasyonu olur. Bozan girdi için bir örnek bir kuvvet ölçüm sistemindeki yapısal titreşim olabilir.



Şekil 2.4. Bozan Girdiler

Modifiye edici girdiler girdi/çıktı ilişkisini ya da aletin kalibrasyonunu modifiye ederek sensörün ya da ölçüm sisteminin davranışını değiştirirler. Bu sistematik olarak Şekil 2.5.'te gösterilmektedir. Şekil 2.5'teki değişik Z değerleri için kalibrasyon eğrisi eğimi değişiyor. Bu nedenle, fiziksel girdi değişkeni X sabit kalsa bile Z 'nin değiştirilmesi ölçümlerde açık bir değişime sebep olur. Modifiye edici girdiler için yaygın bir örnek sıcaklıktır, bu yüzden ki birçok alet belirli sıcaklıklarda kalibre edilir [5].

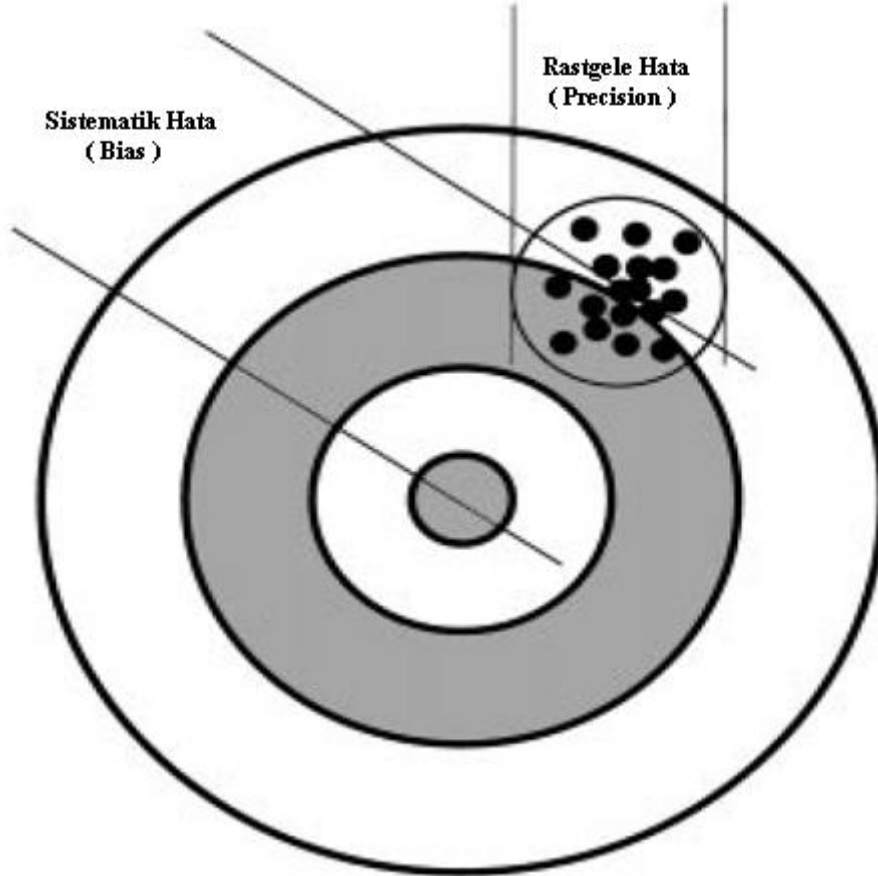


Şekil 2.5. Modifiye Eden Girdinin Kalibrasyon Eğrisi Üzerindeki Etkilerinin Gösterimi

2.1.4. Doğruluk ve hata

Bir aygıtın doğruluğu, ölçülenin gerçek değeriyle aygıtın gösterdiği ölçülen değer arasındaki fark olarak tanımlanır. Genel anlamda, gerçek değer üzerinde anlaşılabilir ya da mutlak olan standartlara referans alınarak belirlenir. Belirli herhangi bir ölçüm için, sistematik (sapma) ve rastgele (gürültü) kaynaklara bağlı olarak hatalar olacaktır. Sistematik ve rastgele hataların bir kombinasyonu Şekil 2.6'da gösterilen

hedef benzetmesi kullanılarak canlandırılabilir. Atışların gruplamasındaki sistematik (sapma) hata sonuçları tam orta noktadan sıfırlanacak (muhtemelen rüzgar ve atış doğrultusunun hizasızlığından). Gruplanmanın boyutu, rastgele hata kaynaklarıyla belirlenecek ve bu, atışın kesinliğinin bir ölçüsüdür.



Şekil 2.6. Ölçüm Doğruluğu İçin Hedef Benzetmesi

2.1.5. Sistematik hata kaynakları (Sapma)

Sistemik ölçüm hatalarıyla sonuçlanabilecek birçok farklı etken vardır. Bu sebep etkenlerinin bir sınıfı kalibrasyonsuzlukla sonuçlanan sensörün girdi-çıkı tepkisidir. Yukarıda tartışılan modifiye edici ve bozan girdiler sensör kalibrasyonsuzluğuyla sonuçlanabilir. Örnek olarak, eğer sıcaklık bir modifiye edici girdiyse, sensörün kalibre edildiği sıcaklıktan başka bir sıcaklıkta kullanılması sistematik hataya sebep olabilir. Birçok durumda, eğer sistematik hata biliniyorsa kompanzasyon teknikleri kullanılarak düzeltilebilir.

Sensör kalibrasyonunun değişimiyle sistematik hataya sebep veren başka etkenlerde vardır. Bazı sensörlerde, parçaların eskimesi sensör yanıtını dolayısıyla da kalibrasyonu değiştirebilir. Sensörün darbe alması ya da kötü kullanılması kalibrasyonu değiştirebilir. Bu tarz sistematik hataları önlemek için, sensörler periyodik olarak tekrar kalibre edilmelidirler.

Eğer ölçüm işleminin kendisi ölçüleni değiştiriyorsa da sistematik hatalarla karşılaşılabılır. Birçok ölçüm probleminde temel sıkıntı olan bu konu yayılabilirlik [invasiveness] olarak tanımlanır. Ölçümle ölçüm cihazının teması genelde olan bir şeydir, fakat birçok durumda, önemsiz bir seviyeye indirgenebilir. Örnek olarak, elektronik sistemlerde, girdi direnci çok yüksek yapılarak ölçüm aletinin enerji boşaltması önemsiz boyutlara düşürülebilir. Yayılabilirlik için aşırı bir örnek olarak, küçük hacimli soğuk bir sıvının ölçülmesi için büyük ve sıcak bir termometrenin kullanılması verilebilir.

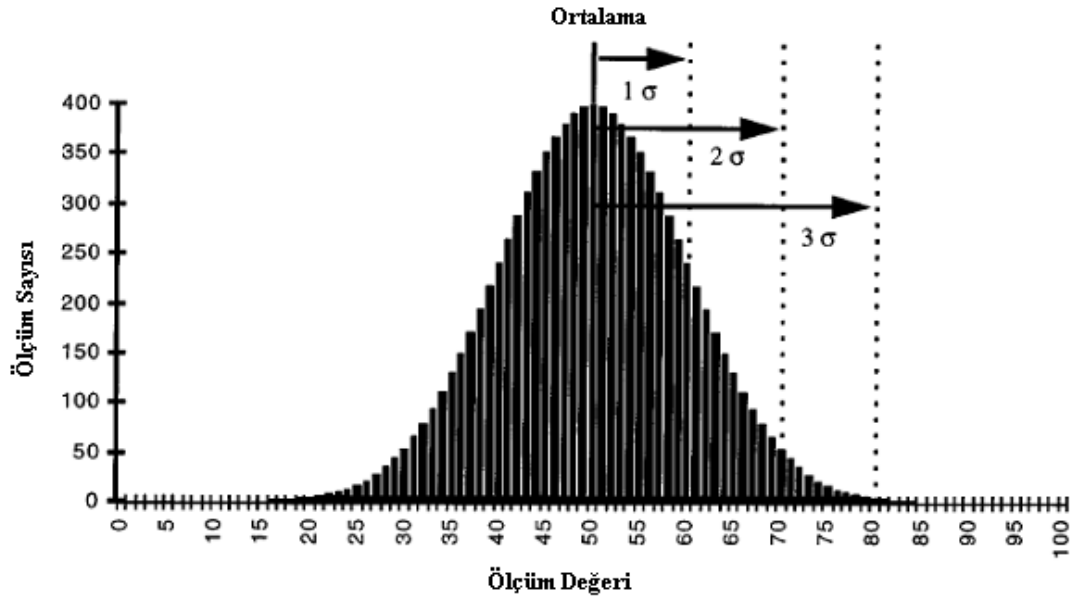
Sistematik hatalar aynı zamanda Şekil 2.3'de gösterilen ölçüm işleminin sinyal yolunda karşılaşılabılır. Eğer sinyal belli bir yolla modifiye edilmişse, işaret edilen ölçüm hissedilen ölçümden farklı olabilir. Mekanik sistemlerin kuvvet, yer değişimi, sürtünme iletmeleri gibi, fiziksel sinyal yolları da sinyalin yayılmasını modifiye edebilir. Elektronik devrelerde direnç ya da zayıflama, sinyali modifiye eder, bu da sistematik hatalara sebep olur.

Son olarak, hata ya da sapma ölçümü gözleyen insan tarafından ölçüm okunurken belirlenebilir. Buna genel bir örnek olarak gözlemci hatası verilebilir. Bu hata, gözlemci kadranı normal olmayan bir açıdan okuduğunda olur. Gösterge iğnesi kadran yüzünün yukarisında olduğundan, görünen değer gerçek değerin yukarisında olur [5].

2.1.6. Rastgele hata kaynakları (Gürültü)

Eğer sistematik hatalar ölçümden çıkarılabilseydi, ölçümün kesinliğini tanımlayan rastgele hata kaynaklarına bağlı olan bir takım hatalar yine de kalırdı. Rastgele hata bazen, faydalı olmayan bilgi taşıyan sinyal olarak tanımlanan gürültü [noise] olarak

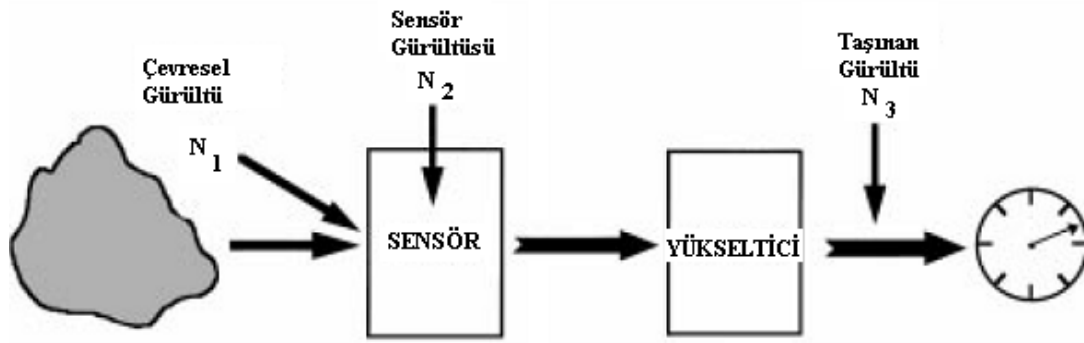
alınır. Eğer doğru rastgele hatası olan bir ölçüm birçok kez tekrar edilirse, belli aralıklarla ölçülen değerlerin birçok kez çizilmesiyle oluşturulan Şekil 2.7'de gösterilen örnekteki gibi bir Gauss Dağılımı ortaya koyar. Gauss dağılımı gerçek değer üstünde merkezlenir (sistemik hata olmadığı varsayılarak), bu yüzden ölçümlerin ortalaması gerçek değerın iyi bir şekilde tahmin edilmesine olanak sağlar.



Şekil 2.7. Gauss Dağılımı Örneği

Ölçümün kesinliği normalde, Gauss dağılımının enini gösteren standart sapmayla (σ) belirtilir. Verilen çok sayıda ölçümün içinde, toplam ölçümün % 68'i ortalamanın $\pm 1\sigma$ 'ine, % 95'i $\pm 2\sigma$ 'ine, ve % 99.7'si $\pm 3\sigma$ 'sine düşer. Birçok uygulama için, ölçümün kesinliği belirtilirken genelde 2σ alınır. Ama bazı uygulamalarda, navigasyon gibi, genelde ölçümdeki belirsizliğin limitlerini tanımlayan 3σ alınır.

Ölçülenin kendi tekrarlanabilirliğinden başlayarak ölçümün belirsizliğini düşürebilen birçok farklı rastgelelik kaynağı vardır. Örnek olarak, eğer pürüzlü bir yüzeyin yüksekliği ölçülecekse, ölçülen ölçümün alındığı noktaya göre değişir. Tekrarlanan ölçümler, yüzey pürüzlüğünün rastgeleliğini etkiler.



Şekil 2.8. Gürültü Kaynakları ile Cihaz Modeli

Rastgele hata üreten gürültü, Şekil 2.8'de sistematik olarak gösterildiği gibi her bir ölçüm işleminde işleme alınabilir. Rastgele bozan girdiler daha önce işleme alınan N_1 ölçüm ortamı gibi her bir ölçüm işlemi aşamasında işleme alınabilir. Bir mikrofonun aldığı arka plan gürültüsü örnek olarak verilebilir. Sensör gürültüsü N_2 sensörde işleme alınabilir. Kızılötesi sensörler gibi hassas transdüserlerdeki termal gürültü bunun bir örneğidir. Sıcaklığa bağlı olarak gerçekleşen elektronların rastgele hareketi, aletin yüksek hassaslığından dolayı voltaj sinyal olarak ortaya çıkar. Bu tarzdaki transdüserler (örnek: kızılötesi detektör) yapılan hassas ölçümlerde, bu gürültü kaynağını minimize edebilmek için detektör soğutulur.

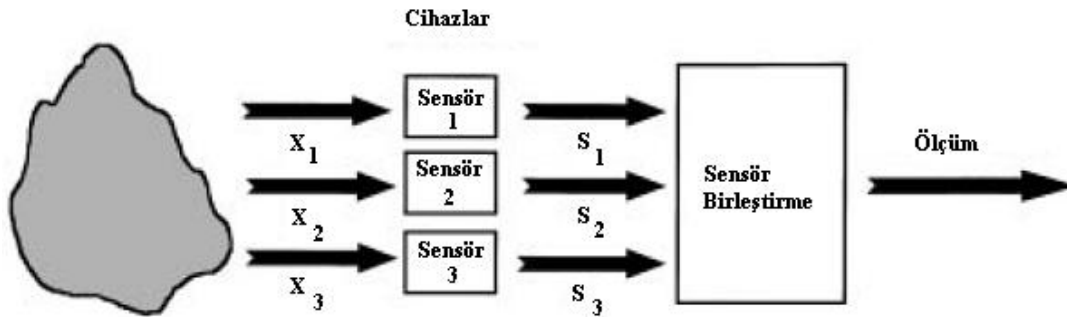
Gürültü N_3 transdüser ile yükselteç arasındaki iletim yolunda işleme alınabilir. İletim gürültüsüne yaygın bir örnek olarak, Türkiye'de ya iletim ağının tam topraklanmaması yüzünden ya da dikkatsizce yapılmış bir ana elektrik hattı yüzünden, bir kablunun anten gibi davranması sonucu elektrik güç sisteminin 50Hz'le karışması verilebilir (Amerika 'da 60 Hz olacaktır).

Burada, gürültünün sinyalle birlikte Şekil 2.8'de gösterildiği gibi yükselteçten geçerken yükseltildiğinin belirtilmesi önemlidir. Sonuç olarak, gürültüyü analiz ederken ki performans katsayısı birleştirilmiş gürültü kaynaklarıyla aynı seviyede olmaz, fakat sinyalin gücünün birleştirilmiş gürültü kaynaklarının gücüne oranı olarak tanımlanan SNR'yle (sinyalin gürültüye oranı) aynı olur. SNR 'nı desibel cinsinden belirtmek yaygındır.

SNR genelde 1'den (0 dB) çok fazla büyüktür. Fakat eğer yeteri kadar sinyal işleme gücü mevcutsa ya da sinyalin ayırt edici karakteristikleri biliniyorsa gürültü seviyesinden düşük bir sinyali yorumlamak bazen mümkündür. Bir insanın yüksek gürültülü bir ortamda bir sesi duyabilmesi, sinyal işleme kabiliyetine örnek olarak verilebilir [5].

2.1.7. Sensör birleştirme

Sensör birleştirme işlemi Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Bu durumda, ortamı gözlemek için iki ya da daha çok sensör kullanılmıştır ve çıktıları geliştirilmiş bir ölçüm sağlamak için bazı yollarla (genelde bir işlemcide) birleştirilmiştir. Bu işlem, diğer türlü gözlemlenemeyecek olan olayın ölçülmesine sıklıkla olanak sağlar. Basit bir örnek olarak, transdüser kalibrasyonundaki sıcaklığın modifiye edici etkileri için transdüser çıktısını düzeltmekte kullanılan transdüserin termal kompanzasyonu verilebilir. Diğer daha kapsamlı sensör füzyonu uygulamaları radar, optik, kızılötesi görüntülerin bir tek gelişmiş görüntüde toplanması olan görüntü sentezlemeye kadar uzanır [5].



Şekil 2.9. Sensör Birleştirme

2.1.8. Tahmin

Sayısal gücün kullanımıyla birlikte, kestirim tekniklerini kullanarak düşük kalitedeki bir ölçümün doğruluğunu artırmak çoğunlukla mümkün hale geldi. Bu metotlar ortalama alma, azalıp çoğalan hataları iptal etmek için alçak geçiren filtreleme gibi basit metotlardan, Winere ya da Kalman filtrelemesi ve model bazlı kestirim teknikleri gibi gelişmiş metotlara kadar birçok metodu içeriyor. Hesabın, artan

kapasitesi ve düşen fiyatları, birçok uygulamada daha gelişmiş kestirim tekniklerine sahip daha düşük performanslı sensörleri giderek daha çekici yapıyor [5].

BÖLÜM 3. ENSTRÜMANTASYONUN ÇALIŞMA MODLARI

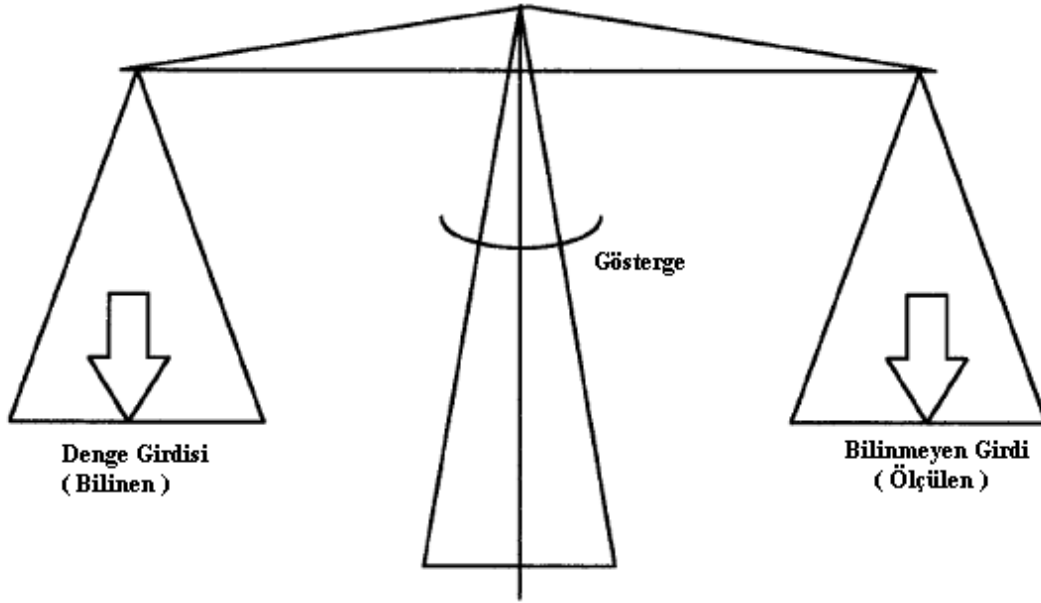
3.1. Sıfır Aygıtı

Sıfır metodu, bir ölçüm aygıtı için mümkün olan çalışma modlarından biridir. Bir sıfır aygıtı ölçüm için sıfır metodunu kullanır. Bu metotta, aygıt ölçülenin etkisine karşı koymak için ölçüm sistemi üstünde bir baskı uygular. Bu baskı ve ölçülen değer ters olarak eşitlenince dengededir, bu da bir sıfır ölçümü doğurur. Genelde bu, ölçülenin bilinen bir standart değere karşı kıyaslanmasına olanak sağlayan bir çeşit geri besleme işlemiyle başarılır. Sıfır aygıtının anahtar özellikleri şunları kapsar; dengeye ulaşılması için ya manuel ya da otomatik geri besleme yapan bir tip karşılaştırıcı kullanan tekrarlı dengeleyici işlem ve eşlikte sıfır sapması.

Sıfır cihazı diğer işlem modlarına (örnek: sapma aygıtına bkz.) göre içsel avantajlar sunar. Bilinmeyen bir girdinin bilinen standart bir girdi ile dengelenmesiyle sıfır metodu, ölçülenle ölçüm sistemi arasındaki teması en aza indirger. Her bir girdi ayrı kaynaklardan geldiğinden, ölçüm işlemiyle oluşan ölçümün ölçülen üstündeki bütün etkileri azaltılmış olur. Aslında, ölçülen sistem büyük bir girdi empedansı görür, böylece de yükleme hatalarını en aza indirger. Bu, özellikle ölçülen çok küçük bir değer olduğunda etkili olur. Bu nedenle sıfır işlemi, girdi değeri çok küçük olduğunda ve yükleme hatası çok düşük olduğunda büyük bir doğruluk elde eder. Uygulamada sıfır aygıtı, kullanılabilir denge çözünürlüğüne ve algılama metotlarına bağlı olarak mükemmel eşitlik elde edemez, ama bu gelişmiş bir devre ve kullanılan şema ile sınırlandırılabilir.

Sıfır aygıtının bir dezavantajı, tekrarlı dengeye getirme işleminin, kolayca sensör girdisi ölçmekten daha çok zaman gerektirmesidir. Bu sebeple, bu metod yüksek hızlı ölçümlerin gerektiği uygulamalar için önerilmemektedir. Fakat kullanıcı çalışma modlarını değerlendirirken, elde edilen doğrulukla ölçüm hızını tartmalıdır.

Ayrıca, yüksek doğruluktaki cihazla genelde düşük maliyetteki ölçüm alternatifleri olmadığından, karşılaştırıcıyla, denge devresinin tasarımı birleştirilmiş hale getirilebilmelidir.

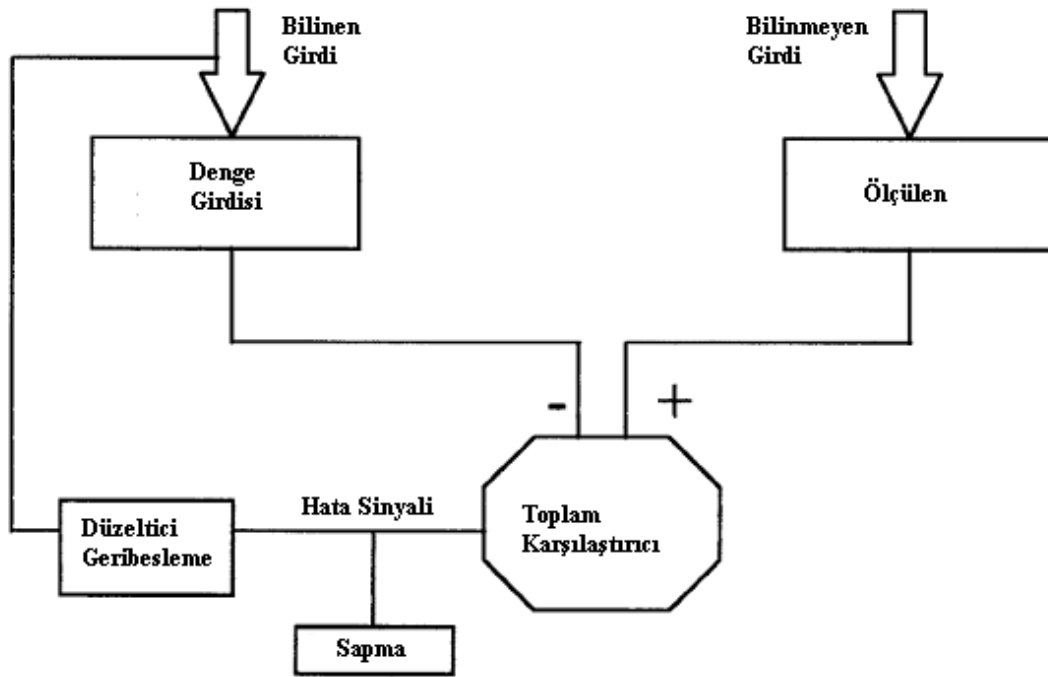


Şekil 3.1. Bir Sıfır Aygıtında Denge Olan Ölçülen ve Bilinen Değerler

Eşit kollu terazi, Şekil 3.1’de gösterildiği gibi manuel bir denge-geribesleme sıfır aygıtı için güzel bir örnektir. Bu terazi, bir taraftaki bilinmeyen ağırlıktaki bir objeyi bilinen ya da standart ağırlıklarla karşılaştırır. Diğer taraftaki bilinmeyen ağırlığın etkilerine karşı koyucu etki oluşturması için, bir tarafa devamlı olarak bilinen değerdeki ağırlıklar eklenir. Eşitliğe kadar, dengeleyici tekrarlar da ağırlık ekleyip çıkarmak için operatöre geri besleme mantığı sağlayan göstergıyla, düşük ya da yüksek değerler sağlanır. Doğru eşlikte, terazi göstergesi sıfırdır, hiç sapma göstermez. Sonra, bilinmeyen girdi ya da ölçülenin denge girdisine, yani teraziye dengelemek için kullanılan bilinen ağırlık miktarına eşit olduğuna ulaşılır. Tam ölçümü etkileyen faktörler, kullanılan standart ağırlıkların doğruluğu ve çıktı göstergesinin çözünürlüğü ve taşıma noktasındaki sürtünmedir.

Sıfır aygıtları, birçok değişkenin ölçümü için vardır. Diğer yaygın örnekler: doğruluğu yüksek resistans ölçümleri için kullanılan yük hücrelerinde bulunan köprü devreleri, sıcaklık kompanzasyonlu transdüserler, doğruluğu yüksek düşük voltaj ölçümleri için kullanılan voltaj dengeleyici potansiyometrelerdir.

Sıfır aygıtı kapsamında, tekrar ve geri besleme mekanizması otomatik ya da manuel olarak kontrol edilebilen bir dögüdür. Sıfır aygıtı için gerekli iki girdi vardır: ölçülen ve denge girdisi. Sıfır aygıtı, bu iki girdi arasındaki farkı karşılaştıran ve hesaplayan bir diferansiyel karşılaştırıcı içerir. Bu Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Karşılaştırıcıdan gelen sıfır olmayan bir çıktı, hata sinyali sağlar ve geri besleme, düzeltilmesi için mantık yürütür. Tekrarlanan düzeltmeler, girdiler ve ölçülenin denge girdisi tarafından tam karşılandığı sonuçlar arasında er ya da geç oluşacak eşliğe doğru tekrarlanarak yapılır. Eşlikte, hata sinyali denge girdisini karşılayıcı etki tarafından sıfıra sürülür ve gösterilen sapma sıfırdadır. Bu yüzden metoda ismini vermiştir. Ölçülen cinsinden okunan çıktıya sürülen denge girdisinin büyüklüğüdür.



Şekil 3.2. Sıfır Aygıt Karşılaştırma İçin İki Kaynaktan Girdisi Gösterimi

3.2. Sapma Aygıtı

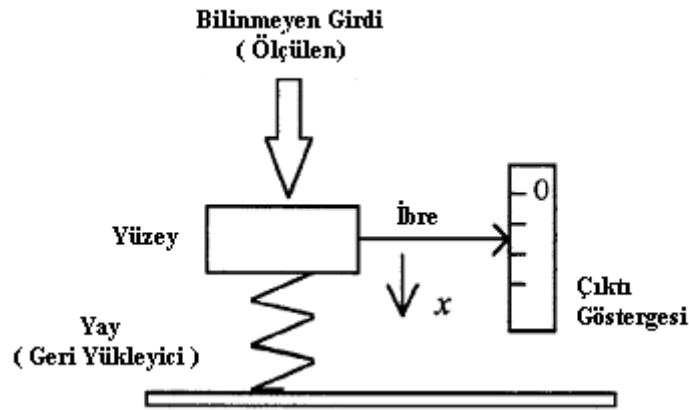
Sapma metodu ölçüm cihazının çalışması için mümkün olan modlardan biridir. Sapma aygıtı ölçüm için sapma metodunu kullanır. Bir sapma aygıtı, ölçülenden etkilenir ve aygıt içinde orantılı bir tepki meydana getirir. Bu tepki, aygıtın başlangıçtaki koşulundan sapması ile oluşan bir çıktı gösterge değeridir. Genel bir formda, ölçülen, direkt olarak esas elemanı ya da birincil devreyi etkiler, bu şekilde

bilgisini algılanabilir bir forma çevirir. Bu isim aygıtın genel bir formundan türetilmiştir. Bu genel formda, çıktı göstergesine bağlanan esas elemanın fiziksel sapması vardır, tıpkı ölçülen değeri göstermek için sapan büyüklük göstergesi ya da ibre gibi. Esas elemanın sapma büyüklüğü, ölçülen değer büyüklüğü ile orantılı olması için tasarlanan çıktı göstergesinde bir sapma meydana getirir.

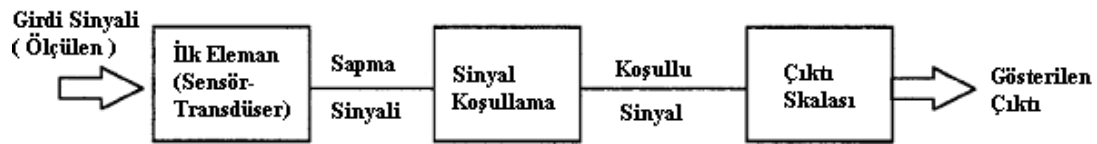
Sapma aygıtları, ölçüm aygıtlarının en yaygınlarıdır. Esas eleman ya da ölçüm devresiyle ölçülen arasındaki ilişki, karşılaştırmacı devre ya da dengeleyici mekanizma kullanmayan direkt bir ilişki olabilir. Orantılı cevap, esas elemanla çıktı göstergesi arasında sinyal iyileştirme metotlarıyla çalıştırılabilir, böylece çıktı gösterge değeri ölçülenin tam bir gösterimi olur. Etkili tasarımlarla yüksek doğruluk elde edebilir fakat daha az çaba gerektiren kullanımlar için yeterli doğruluk uygun maliyetlerle elde edilebilir.

Sapma aygıtlarının cazibeli bir yönü, statik ya da dinamik ölçümler ya da her ikisi içinde tasarlanabilmesidir. Dinamik ölçümler için sapma tasarlanmanın bir avantajı, yüksek dinamik cevaplar da elde edilebilmesidir. Sapma aygıtın bir dezavantajı ise, ölçülenden enerjisini elde ederken ölçüm işleminin ölçüleni etkilemesi ve ölçülen değişkenin değerini değiştirmesidir. Bu değişikliğe yükleme hatası denir. Bu yüzden, kullanıcı sonuçtaki hatanın kabul edilebilir olduğundan emin olmalıdır. Bu genelde istenilen ölçüm için aygıtın girdi empedansına dikkatlice bakmayı gerektirir.

Sapma aygıtı için basit bir örnek olarak yay ölçeği gösterilebilir. Şekil 3.3'de gösterildiği gibi ağırlık ya da ölçülen, yassı yay üzerine etki ediyor. Yassı yay esas eleman olarak görev yapıyor. Yayın orijinal pozisyonu uygulanan ağırlıktan etkileniyor ve dönüşümsel yer değiştirme, sapma x olarak cevap veriyor. Sapmanın son değeri, ağırlığın aşağı doğru olan kuvveti W ile yukarı doğru olan yayın geri yükleyici kuvveti kx 'in denge durumundaki pozisyonudur. Yani, girdi kuvveti geri yükleyici kuvvete karşı dengeleniyor. Mekanik bir bağlaştırmacı bir ibreye direkt olarak ya da bir bağlaçla bağlanmıştır. İbrenin pozisyonu, değer okunan göstergede ayrıntılarıyla gösterilir. Örnek olarak dengede, $w = kx$ kullanılarak ya da ibrenin sapmasını ölçmeyle, ağırlık $x = W / k$ bulunur.



Şekil 3.3. Sapma Aygıtlarının Bir Kaynaktan Yükleme gereksinimi; ve Yükleme Hatası Gösterimi



Şekil 3.4. Sapma Aygıtı Lojik Akış Şeması

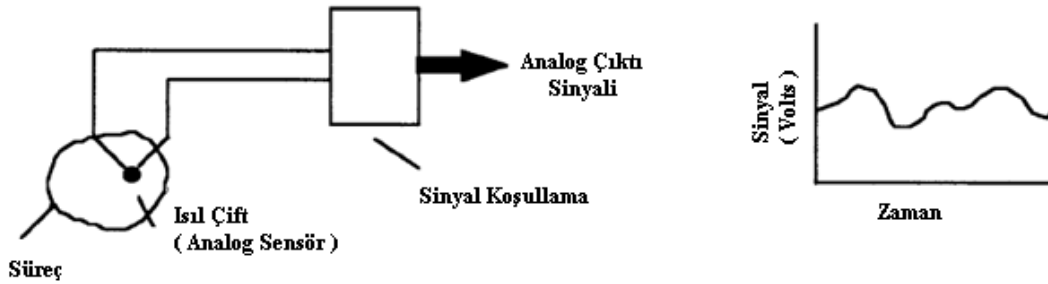
Şekil 3.4'te gösterildiği gibi, sapma aygıtının akış diyagram mantığı oldukça lineerdir. Girdi sinyali esas eleman ya da birincil devre tarafından algılanır ve bu sebeple ilk konumundan sapar. Sapma sinyali, sinyali istenilen forma sokmak için sinyal koşullayıcılara iletilir. Sapma sinyalini gösterge büyüklüğüyle çarpmak için sinyal koşullama örnekleri olarak, yükseltme ya da filtreleme ya da bazı aritmetik fonksiyonlarla sinyali değiştirmek olarak verilebilir. Koşullanmış sinyal, ölçülen değere karşı gelen gösterilen değer sağlayan çıktı ölçeğine transfer edilir.

3.3. Analog ve Dijital Sensörler

Analog sensörler hem büyüklüğü hem de zamansal ya da uzaysal içeriği bakımından sürekli bir sinyal sağlar. Analog için tanımlayıcı kelime “sürekli” dir. Eğer bir sensör girdi sinyaline direkt orantılı bir çıktı sinyal sağlıyorsa, o zaman bu sensör analogdur.

Çoğu fiziksel değişken, akım, sıcaklık, yer değişimi, hız, ivme, basınç, ışık yoğunluğu ve gerilim gibi, doğada sürekli halde bulunurlar ve analog sensör tarafından ölçülüp analog sinyal olarak temsil edilirler. Örnek olarak bir odanın

sıcaklığı, herhangi bir değeri alabilir, oda içindeki iki nokta arasında sürekli bir halde değişkenlik gösterir ve oda içindeki herhangi bir nokta için zaman içinde sürekli bir halde değişkenlik gösterir. Bir analog sensör, hazneli termometre ya da ısı çift [thermocouple] gibi, sürekli olarak sıcaklık değişikliklerine karşılık verir. Şekil 3.5'te gösterilen sürekli bir sinyal gibi, sinyal büyüklüğü ölçülen değişkene (sıcaklık) paraleldir ve sinyal hem büyüklük hem de zaman bakımından sürekli dir.



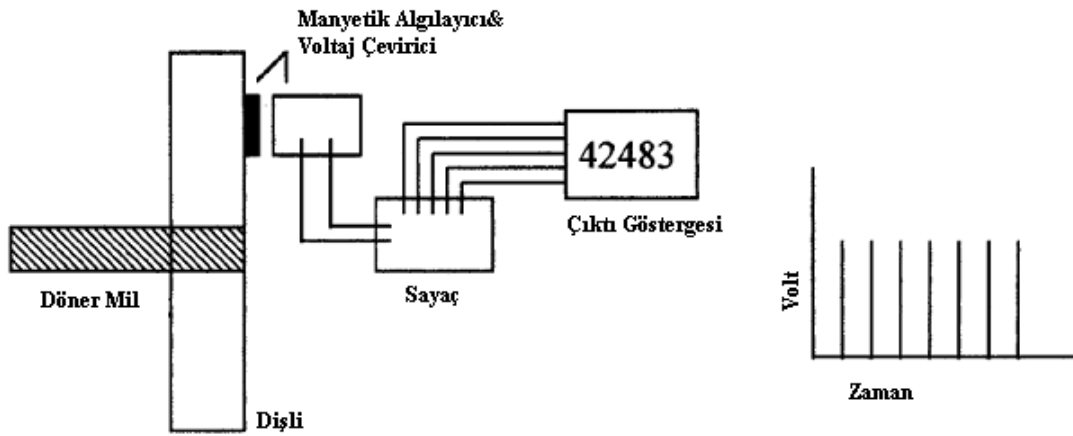
Şekil 3.5. Isıl Çift Süreç İçin Bir Analog Sinyal Temini

Dijital sensörler, ölçülenin direkt sayısal gösterimi olan bir sinyal sağlarlar. Dijital sensörler ikili (açık-kapalı) aletlerdir. Bir dijital sinyal sadece zamanın (ya da uzayın) ayrık değerlerinde vardır. Bu ayrık zaman aralığında, sinyal sadece büyüklük değerlerinin ayrık sayılarını gösterir. Genel bir çeşidi, sensör çıktısının hem zaman veya uzayda hem de genliğinin ayrık formda olduğu, ayrık örneklenmiş sinyal gösterimidir.

Dijital sensörler, sinyal bilgisini dijital formda iletmek ve göstermek için ikili sayı sisteminin bazı çeşitlerini kullanırlar. İkili sayı sisteminde iki tabanı kullanılır. En basit ikili sinyal iki mümkün değer olan "0" ya da "1" den biri olan tek bittir. Bitler tıpkı elektriksel "on-off" anahtarları gibidirler ve mantıksal ve sayısal bilgiyi iletmek için kullanılırlar. Uygun bir girdiyle, iletilen bitin değeri, ölçülen değer davranışına göre sıfırlanır. Bir seferde bir bit ileten bir dijital sensör seri iletimi kullanır. Bitlerin birleştirilmesiyle ya da bitlerin grup halinde gönderilmesiyle, mantıklı komutlar ya da 0 1'den öte tam sayılar tanımlanması mümkündür. Bitleri grup halinde ileten bir dijital sensör paralel iletim kullanır. Herhangi bir dijital aletle, M bitlik bir sinyalle 2^M tane farklı sayı ifade edilebilir. Bu da bir dijital aletin ayırt edebileceği farklı değerlerin limitini belirler. Örnek olarak, 2 bitlik bir alet 2^2 ya da 4 farklı sayı ifade

edebilir: 00, 01, 10, 11 sırasıyla 0, 1, 2, 3 'e karşılık gelir. Bu yüzden, bir dijital sensör tarafından ayırt edilebilen büyüklüklerin çözünürlükleri doğal olarak 2^M deki bir kısımla sınırlıdır.

Dijital sensör kavramı Şekil 3.6'daki devir sayacıyla gösterilmiştir. Bu tarz aletler genelde dönen bir shaftın saniyedeki devrini bulmak için kullanılırlar. Bu örnekte sensör, döner mil dişlisine monte edilen manyetik algılayıcının her geçişinde bir darbe çıkaran bir algılayıcı/voltaj dönüştürücüsüdür. Normalde algılayıcının çıktısı "off" dur fakat dişlinin her geçişinde "on" olur. Bu darbe, dijital sayaca gönderilen bir gerilim artışıdır. Dijital sayacın değeri her bir sıçramayla bir sayı artar. Bu sayaç, bilgiyi çıktı göstergesi gibi bir çıkış aletine gönderir. Görüldüğü gibi, sinyal zamandan ayırktır. Algılayıcı, döner milin her bir tam dönüşünde sayıyı bir artırır. Dönüşün kesirleri dişlinin diş sayısı artırılarak bulunabilir. Bu örnekte, döner milin sürekli dönüşü analogtur fakat devir sayısı dijitaldir. Voltaj artışı sayısı, sayacı aktive etmek için kurulmuştur ve döner milin dönüş hızına bağlıdır.

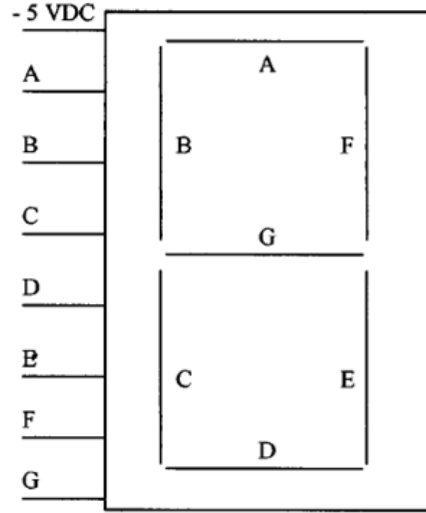


Şekil 3.6. Döner Mil Devir Sayıcı İle Dijital Sinyal Üretimi

3.4. Analog ve Dijital Çıktı Okuma Aygıtları

Bir analog çıktı okuma aygıtı, ölçülenin davranışına paralel ve sürekli bir çıktı gösterimi sağlar. Genel olarak, bir ibrenin ya da bölünmüş bir derecenin sapması ya da bir ışık hüzmesinin ya da ses dalgasının yoğunluğu olabilir. Bu gösterilen sapma voltaj ya da akımdaki değişikliklerle, ya da manyetik ya da optik ya da mekanik

ortalamalarla, ya da bunların bir kombinasyonu ile türetilir. Bir analog çıktı okumanın çözünürlüğü, çıktı okuma dereceleri üstündeki kullanılabilen en küçük artırımla ifade edilir. Çıktı okumanın ölçüm aralığı, gösterebildiği en düşük ve en yüksek değerlerle tanımlanır. Aralığı, gösterebildiği en düşük ve en yüksek değerleri belirler.



Şekil 3.7. 0' dan 9 'a Kadar Sayıları Gösterebilir Yedi-Parçalı Gösterge Çipi

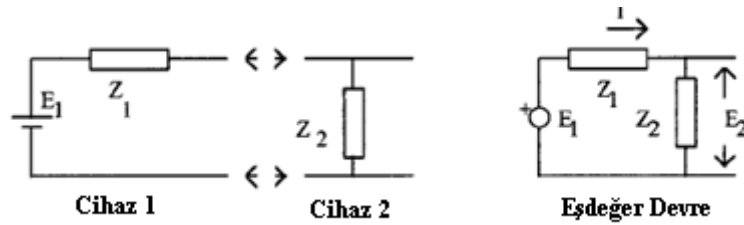
Bir dijital çıktı okuma aygıtı, ayrı bir çıktı gösterimi sağlar. Dijital çıktının değeri direkt olarak ölçülen değere bağlıdır. Bir dijital çıktı okuma genelde sayısal bir değer formundadır. Bu form ya sabit bir sayı ya da periyodik olarak yenilenen bir sayıdır. Dijital bir sayının görüntülenmesi Şekil 3.7'de gösterildiği gibi 7-parçalı dijital görüntüleme çipiyle yapılır. Bu çipin çıktısı, A'dan G'ye kadar bütün girdilerin topraklanmasıyla yenilenebilir. Bir dijital çıktı okumanın çözünürlüğü, çıktı okumada en düşük önemde olan basamakla çözülen en küçük değişim miktarının eşiti olan en önemsiz sayıyla bulunur. Aralık analog aygıtlarla aynı şekilde hesaplanır.

Birçok dijital alet, bir analog sensörün özelliklerini bir dijital çıktı okumayla birleştirir, ya da daha genel olarak analog bir sinyali dijital bir çıktıyı gösteren ayrı bir sinyale çevirir. Bu tarz durumlarda, analog- dijital çeviriciler (ADC) kullanılır. Bu karma aletin, aletin işleyeceği analog voltaj aralığını tanımlayan E_{FSR} 'nin yani tam ölçek analog aralığının biriminden nitelendirilen analog tarafı vardır. Dijital

tarafı ise kaydının bit boyutuna göre nitelendirilir. M bitlik bir alet M-bitli ikili sayı çıktısı verir. Böyle bir aletin çözünürlüğü $E_{FSR}/2^M$ olarak verilir.

3.5. Girdi Empedansı

İdeal bir durumda, ölçüm işlemi ölçülen sinyalin değerini değiştirmemelidir. Bu tarz her değişime yükleme hatası denir. Yükleme hataları, sinyal zinciri boyunca temas olan her yerde meydana gelebilir, fakat ölçüm aygıtıyla kaynağın empedans denkleştirilmesi bunu minimize edebilir. Ölçüm aletinin girdi empedansı, ölçüm aygıtıyla kaynaktan ya da ölçülen sistemden çekilen enerjiyi kontrol eder. Ölçüm aygıtı üstünden kaybedilen enerji $P=E^2/Z_2$ 'yle bulunur. Burada Z_2 ölçüm aygıtının girdi empedansı, E kaynağın ölçülen voltaj gerilimidir. Bu sebeple, güç kaybını en aza indirmek için, girdi empedansı büyük olmalıdır.



Şekil 3.8. Eşdeğer Devre Cihazın Çıkış Terminallerine Ölçme Aleti Bağlanması

Aynı mantık sinyal zincirindeki iki aygıt içinde geçerlidir. Bu zincirde, sonra gelen aygıt bir öncekinden enerji çeker. Genel bir örnek olarak Şekil 3.8'deki sinyal zincirindeki, ilk aygıttan gelen çıktı sinyalinin sonra gelen alete girdi oluşturmasını alabiliriz. Açık devre gerilimi E_1 , çıktı empedansı Z_1 olan kaynak cihazının çıkış terminalidir. Cihaz 2 girdi terminalinde Z_2 girdi empedansına sahiptir. Cihaz 1'in çıktısını cihaz 2'nin girdisine bağlamak, Şekil 3.8'de gösterilen eşdeğer devreyi oluşturur. Cihaz 2'den gönderilen gerilim:

$$E_2 = E_1 \frac{1}{1+Z_1/Z_2} \quad (3.1)$$

Cihaz 1'in çıkış terminalindeki asıl gerilim E_1 ile ölçülen gerilim E_2 arasındaki fark, ölçüm Cihazı 2'nin girdi empedansı ile oluşan yükleme hatasıdır. Buradan, Z_1 'e oranla yüksek bir girdi empedansı Z_2 'nin hatayı indirgediği çıkarılabilir. Yükleme hatasını % 1'e düşürmek için, kullanılacak girdi empedansının, kaynak empedansının en az 100 katı olması genel bir kuraldır.

Genelde, sıfır aygıtları ve sıfır metotları yükleme hatalarını minimize eder. Ölçüme çok yüksek bir girdi empedansı eşleniği sağlayarak, ölçülen sistemdeki enerji kaybını en aza indirgerler. Sapma aygıtları ve sapma metotları, ölçülen sistemden enerji kaybolmasına sebep olurlar, bu yüzden girdi empedansının doğru olarak seçilmesine önem verilmesi gerekir [7, 8, 9, 10].

BÖLÜM 4. ÖLÇÜM STANDARTLARI

Ölçüm standartları, ölçüm birimlerinin kullanıldığı ve tüm daha alt aşamadaki (daha az doğru) ölçümlere bağlı olan cihaz, yapı, prosedür, alet, sistem, protokol ve işlemlerdir. Diğer bir deyişle, ölçüm standartları, nicelik (değer) ölçümü için temel olarak kullanılan fiziksel nicelikleri saklar, şekillendirir ya da sağlar. Standardın başka bir tanımı ise atandığı değerın tanımlanarak kalibrasyon amacıyla karşılaştırılabileceği bir ölçü biriminin de fiziksel olarak somutlaştırılmasıdır. Genelde, fiziksel çevre koşullarından bağımsız değildir, birimin doğru şekillendirilmesi ancak belirli koşullarda mümkündür. Standardın diğer bir tanımı ise bilinen bir nicelik yada boyuta ait birimin hangi diğer ölçü birimleriyle karşılaştırılabileceğidir.

4.1. Tarihsel Bakış

Çok önceki standartlar insan vücuduna dayalıydı: insan elinin uzunluğu, başparmak kalınlığı, parmak uçları arasındaki en geniş mesafe, birinin ayak uzunluğu, birkaç adım sayısı, v.s. Başlangıçta, gruplar küçükken, bu tarz standartlar ölçümün temeli olarak kullanılmaya yetecek kadar uygun ve muntazamdı.

Tek bir standardı kabul ettirecek mantıklı insan ülkenin hükümdarıydı (hükmeden = ruler) - bu yüzdendir ki 12 inçlik (~30 cm) ya da daha kısa ölçüm çubuğunun adı İngilizcede ruler'dır (cetveldir). Böylece ölçüm standartlarının tayin edilmesi kralın ya da imparatorun bir ayrıcalığı haline geldi ve bu hak bütün hükümetlerce tanındı. Tarih ölçüm ve standartların önemini gösteren örneklerle doludur. U.S. meclisinin 1821'e ait olan bir raporunda, John Quincy Adams "Ağırlıklar ve ölçüler her insan toplumundaki bireylerin ihtiyaçlarına göre belirlenmelidir." sözü vardır.

Amerika Birleşik Devletleri kurucuları bunun çok önemli olduğu düşünmüşlerdir ki U.S Anayasası, meclise açıkça ağırlık ve ölçülerin düzenli standartlarını düzeltme gücünü vermiştir. Ağırlık ve ölçü (standartlarının) ihtiyacı kaydedilmiş en eski tarihe kadar uzanır. Aslında ticaret, alım satım, toprak paylaşımı ve vergilendirmenin sınırlı ihtiyaçlarına hizmet etmek için bölgesel karar veriyorlardı. Standartlar yerel ve bölgesel otoriteler tarafından belirlendiği için ortaya çıkan farklılıklar, ticarete ve ilk bilimsel araştırmalarda sorunlar çıkmasına neden oldu. 17. yüzyılın sonlarına doğru hızla ilerleyen bilim, kullanılan birim sistemindeki ciddi eksiklikleri ortaya çıkardı ve bu 1790'da Fransa Ulusal Meclisi (French National Assembly)'nin Fransız Bilim Akademisi'ni (French Academy of Sciences) “bütün ağırlıklar ve ölçümler için değişim göstermeyen bir standart” oluşturması için yönlendirmesine sebep oldu. Akademi bir birim sistemini, metrik sistemi, sundu. Bu sistemde uzunluk birimi ekvator uzunluğu cinsinden, uzunluk biriminden türetilen hacim ve kütle birimleriyle birlikte tanımlanıyordu. Ek olarak, birimlerin bütün katlarınının 10'un katı olma fikrini sundular.

1875'te Osmanlı İmparatorluğunda aralarında bulunduğu 17 ülke bir grup ortak ölçü birimini oluşturan “Treaty Of Meter (Metre Antlaşması)” ı imzaladılar. Ayrıca International Bureau of Weights and Measures – BIPM (Ağırlıklar ve Ölçüler Şubesi) kurdular. Bu şube Paris dolaylarındaki Sevr'de yer aldı. Ağırlık ve ölçülerin karmaşık uluslararası sistemini devam ettiren bütün birimlerin dünya çapındaki deposu olarak hizmet veriyor. Bu sistem sayesinde binlerce mil uzaklıkta yapılan ölçümler arasındaki uyum sürdürülüyor.

BIPM 'in oluşturduğu birim sistemi yarda (91,44 cm) ve librenin (453gr) yerine metre ve kilogram kullanıyor. Buna Systeme Internationale d'Unites (SI) ya da Uluslararası Birim sistemi deniyor. Bugün yapılan hemen hemen bütün bilimsel çalışmalarda bu sistem kullanılıyor ve dünyadaki çoğu ülkede kullanılan tek ölçüm birimi sistemi bu sistem.

Yine de ortak birim sistemi bile ölçümlerdeki uzlaşmayı garanti edemiyor. İşte bu noktada problemin temeli ortaya çıkıyor. Ölçümler yapmalıyız ve bu yaptığımız ölçümlerin ne kadar doğru (ya da daha doğrusu ne belirsizlikle) olduğunu bilmeliyiz.

Bunu bilmek için standartlar olmalı. Daha da önemlisi, herkes bu standartlar üstünde anlaşmalı ve bu standartları kullanmalı.

Bilimin kapsamı giderek geliştiğinden, ölçüm sistemi temeli de dramatik bir şekilde değişti. İlk standartlar insan vücudunu baz alarak oluşturulurken daha sonraki çalışmalarda “doğal” olayları baz almak için uğraşıldı. Başlangıçta, uzunluğun temelini, ekvator uzunluğunun bölümü olması amaçlandı fakat bu platin/iridyum kalıpları sayesinde sürdürüldü. Zaman, sarkaçlı saat sayesinde sürdürüldü fakat günün bölümü olarak tanımlandı. Bugün, metre artık bir insan eseri olarak tanımlanmıyor. Şimdi, metre, ışığın gerçekten tanımlanmış bir saniye bölümünde yol aldığı mesafe. Işığın bir vakum içindeki hızı bir doğa sabiti olarak belirlenmiş bir değerle (299,792,458m/s) tanımlandığından, uzunluk birimi tanımı artık zaman birimi tanımından bağımsız değil.

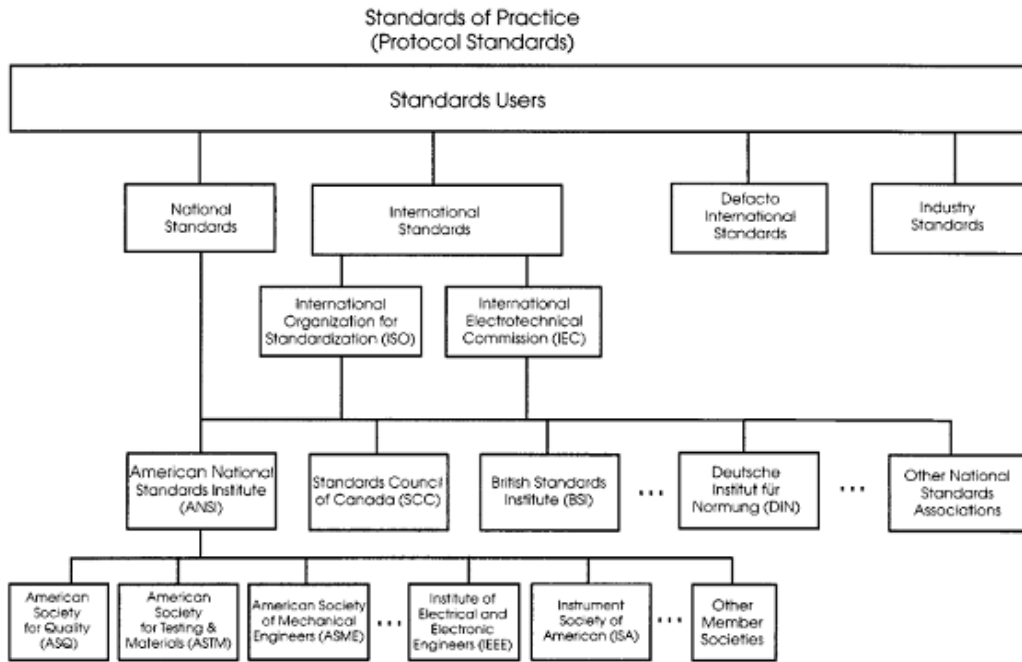
1960 öncesinde, saniyede ortalama bir güneş gününün $1/86,400$ 'ü olarak tanımlanıyordu. 1960 ve 1970 arasında saniye tamamıyla astronomi takvimi hesabındaki zaman birimiyle tanımlanıyordu: “Saniye, astronomi takvimi zamanında 12 saatteki Ocak 0 için tropik yılın $1/31, 556,925.97472$ 'değeri idi ”. Kristal osilatörlerin bulunmasıyla ve daha sonra atomik saatlerle saniyeyi tanımlamanın daha iyi yolları bulundu. Bu da daha önce anlaşılması imkansız olan doğa olaylarının daha iyi anlaşılmasını sağladı. Örnek olarak, artık dünyanın eksenini sürekli aynı şekilde dönmediği biliniyor. Gerçekte, kararsız bir şekilde yavaşlıyor. Saniye atomik saatlerle belirlendiğinden düzenli olarak “sıçratma saniyeleri” eklemek gerekiyor, böylece güneş günü her gün, kullanılan saate göre değişmemiş oluyor. Böylece, sabit gün uzunluğundan çok sabit frekans standardı tercih edilmesine karar verilmiştir.

4.2. Standartlar

Standartlarla ilgili bir sorun birçok çeşidinin olması. “ölçüm standartları” ‘na ek olarak, International Organization of Standardization (ISO), International Electrotechnical Commission (IEC), American National Standards Institute (ANSI) ve Standards Council of Canada (SCC) gibi birçok farklı heyet tarafından oluşturulan “uygulama ve protokol standartları” da var.

4.2.1. Uygulama standartları (Protokol standartları)

Bu standartlar, el feneri pilinin boyutları ve elektriksel özelliklerinden makine vidaları üstündeki vida dişlerinin şekline kadar, IBM delgili kartının boyut ve şekline ölçüm araçları için kalite teminat şartlarına (Quality Assurance Requirements for Measuring Equipment) kadar her şeyi tanımlar. Bu tarz standartlar, belirli bir sonuca ulaşabilmek için uygulanan işlemler ve uygulamaları anlatan belgeler olarak tanımlanabilir. Avrupa ülkelerinde fiziksel standartlarla karışmalarını önlemek için bunlara “protokol” deniyor.



Şekil 4.1. Uygulama Standartları

4.2.2. Yasal ölçü bilimi

Ticaret ve alım satımdaki günlük işlemleri kontrol etmekteki ölçüm standartları uygulaması Yasal Ölçü Bilimi olarak bilinir. U.S. de ise daha çok Ağırlıklar ve Ölçüler (weights and measures) olarak bilinir. Uluslararası Yasal Ölçü Bilimi ile ilgili meselelerdeki koordinasyon, uluslararası bir kararlar yarı resmi bir heyet olan International Organization for Legal Metrology (OIML) - Uluslararası Yasal Ölçü Bilimi Organizasyonu tarafından yürütülüyor.

U.S.'de, yasal ölçü bilimi meselelerindeki yerel düzen Office of Weights and Measures 'a bağlı çalışan National Institute of Standards and Technology (NIST) sorumluluğundadır. Asıl yaptırım ise 50 eyalet ve farklı bölgelerin sorumluluğundadır. Bunlar yaptırım güçlerini genelde küçük ilçelerde, bazen de daha büyük şehirlerde görevlendiriyorlar.

4.2.3. Adli ölçü bilimi

Adli ölçü bilimi ölçümlerin ve dolayısıyla ölçüm standartlarının suç çözümünde ve önleminde uygulanmasıdır. Dünyanın her yerinde uygulamaları yasa yaptırım ajanslarında yapılıyor. Adli ölçü bilimi aktiviteleri bütün dünyada Interpol (International Police; üye ülkelerin polis aktivitelerini kontrol eden uluslararası ajans) tarafından koordine ediliyor. U.S.'de bir yargı ajansı olan Federal Bureau of Investigation (FBI) çoğu Amerikan adli ölçü bilimi aktivitelerinin geldiği noktadır.

4.2.4. Standart referans maddeleri

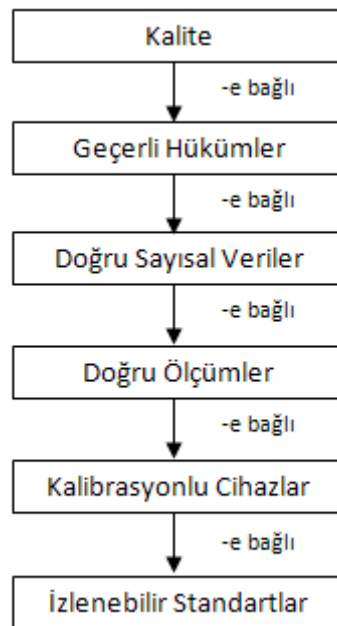
Burada bahsedilmesi gereken diğer bir standart ise Standart Referans Maddeleri (SRM). SRM, ya maddelerin farklı nicelikleridir, ya da kompozisyon, saflık ve konsantrasyonlarına göre doğrulanan ikincil yapıların, ya da diğer bazı ölçüm cihazlarının kalibrasyonlarında ve normalde bu maddelerin kontrol işleminde kullanılan ölçüm işlemlerinde yararlı özellikleridir. SRM 'ler tamkatlama (stokiyometri) (bir kimya ölçü bilimi) 'daki temel kalibrasyon standartlarıdır.

U.S.'de National Institute Of Standards and Technology (NIST), Standart Reference Materials Programında, 1300 den fazla SRM 'i satışa sunuyor. Bunlar madenlerden saf metallere ve alaşımlara kadar değişiyor. Ayrıca birçok gaz ve gaz karışımı çeşidini ve biyokimyasal maddeler ve organik bileşikleri içeriyor. Ayrıca insan yapımı optik filtreler ve salım özellikleriyle bilinen tam karakteristikli standart lambalar bulunuyor.

4.3. Ölçümlerin Kurumsal Temeli

Lord Kelvin 'in sıkça alıntı yapılan sözleri burada yinelenebilir: ‘Sıkça şunları söylerim: ne hakkında konuştuğunu ölçebilirsiniz ve sayılarla ifade edebilirsiniz onun hakkında bir şeyler söyleyebilirsiniz, fakat ne zamanki ölçemez ve sayılarla ifade edemezsen bilgin yetersiz ve kısır kalır ki bu da bilginin başlangıcıdır, ama mesele ne olursa olsun düşüncelerinde bilimin kıyısına bile gelmen neredeyse imkansızdır. Bu yüzden, eğer bilim ölçümse, bilim ölçü bilimsiz var olamaz.’ William Thomson (Lord Kelvin), May 6 , 1886 .

Lord Kelvin 'in bu açıklaması o kadar çok alıntı yapılmıştır ki neredeyse bir klişe halini almıştır, fakat Şekil 4.2'ye baktığımızda ilginç bir hiyerarşi görüyoruz. Kaliteye ulaşmak için ya da “işleri doğru yapabilmek için” bazı kararlar almak gerekiyor. Bu kararları oturtacak iyi sayısal veriler olmadıktan sonra doğru kararlar verilemez. Bu sayısal verilerin ölçümlerle elde edilmesi ve eğer gerçekten ”iyi” kararlara ihtiyaç varsa, “doğru” sayılara dayanması gerekir. “İyi” sayısal veri elde etmenin tek yolu ise uygun olarak kullanılmış kalibre edilmiş (ayarlanmış) aygıtlarla doğru ölçümler yapmaktır. Son olarak, eğer bu ölçümleri başka yerlerde başka zamanlarda yapılan diğer ölçümlerle karşılaştırmak gerekliyse, bu aygıtların izlenebilir standartlar kullanılarak kalibre edilmesi gerekir.



Şekil 4.2. Kaliteye Ulaşmak İçin Uyulması Gereken Hiyerarşi

4.4. Standart İhtiyacı

Standartlar kullanılan birim ve ölçüleri tanımlar ve farklı yer ve zamanlarda yapılan ölçümlerin karşılaştırılmasına olanak sağlar. Örnek olarak, benzin alıcıları sıvı hacim birimlerini kullanırlar. Türkiye’de bu birim litredir, Amerika’da bu birim galondur. Alıcı için önemli olan istenilen miktarın alınıp alınmadığıdır ve satıcı için satılan miktar kadar ödeme yapılmasıdır. İki taraf da doğru hacim ölçüleriyle alakalı olduğundan birimler, koşullar ve uygulanan ölçüm metotları üzerinde anlaşmalıdırlar.

Bir kütleyi ölçmek için insanlar Fransa’da ilk kullanılan standartları hatta Amerika’daki ulusal NIST standartlarını alamazlar. Bu ulusal ve Uluslar arası standartlara göre kontrol edilen daha alt kademeli standartları kullanmaları gerekir. Her gün ölçü ve denge gibi ölçüm cihazları doğruluklarından emin olabilmek için zaman zaman üretim seviyesi kütle standartlarına göre kontrol edilmelidir (kalibre edilmeli). Bu üretim seviyesi standartları ise daha yüksek seviyeli kütle standartlarına göre kalibre edilmiştir. Bu kontrol ya da kalibrasyon zincirine “izlenebilirlik” denir. Doğru bir izlenebilirlik zinciri her aşamada belirsizlik içermelidir.

4.5. Standart Çeşitleri

4.5.1. Temel ve ana standartlar

SI sisteminde diğer bütün birimlerin türetildiği 7 temel birim vardır. Biri hariç tüm bütün birimler kendilerine has değerlerle ifade edilirler. Tek istisna kütle birimidir. 1000 gram ya da 1 kilogram olarak ifade edilir. İnsan eseri olan tek birim olması itibariyle de tekdir. U.S. Kilogramı ve dolayısıyla tüm kütle standartları Fransa’da BIPM de saklanan tek özel iridyum/platin kalıbına dayanır. Eğer bu International Prototype Kilogram (Uluslar arası esas model kilogram) değişecek olursa dünyadaki bütün kütle standartları yanlış olmuş olur [11].

Tablo 4.1. SI birim sisteminde tanımlanan temel ve tamamlayıcı birimler

| Büyüklik | Birim | Sembol |
|--------------------|-----------|--------|
| TEMEL | | |
| Uzunluk | Metre | m |
| Kütle | Kilogram | kg |
| Zaman | Saniye | s |
| Elektrik Akımı | Amper | A |
| Sıcaklık | Kelvin | K |
| Madde Miktarı | Mol | mol |
| Aydınlatma Şiddeti | Kandela | cd |
| TAMAMLAYICI | | |
| Düzlem Açısı | Radyan | rad |
| Uzay Açısı | Steradyan | sr |

Dünya çapında standardizasyon için uluslar arası birim sistemi, uluslar arası bir anlaşma ile korunmaktadır. Sistem yedi adet iyi tanımlanmış temel birim ve iki adet boyutsuz tamamlayıcı birimden oluşmaktadır. Tanımlanmış birimler kategorisine giren diğer tüm birimler, bu yedi temel ve iki tamamlayıcı birim ile tanımlanmıştır [6].

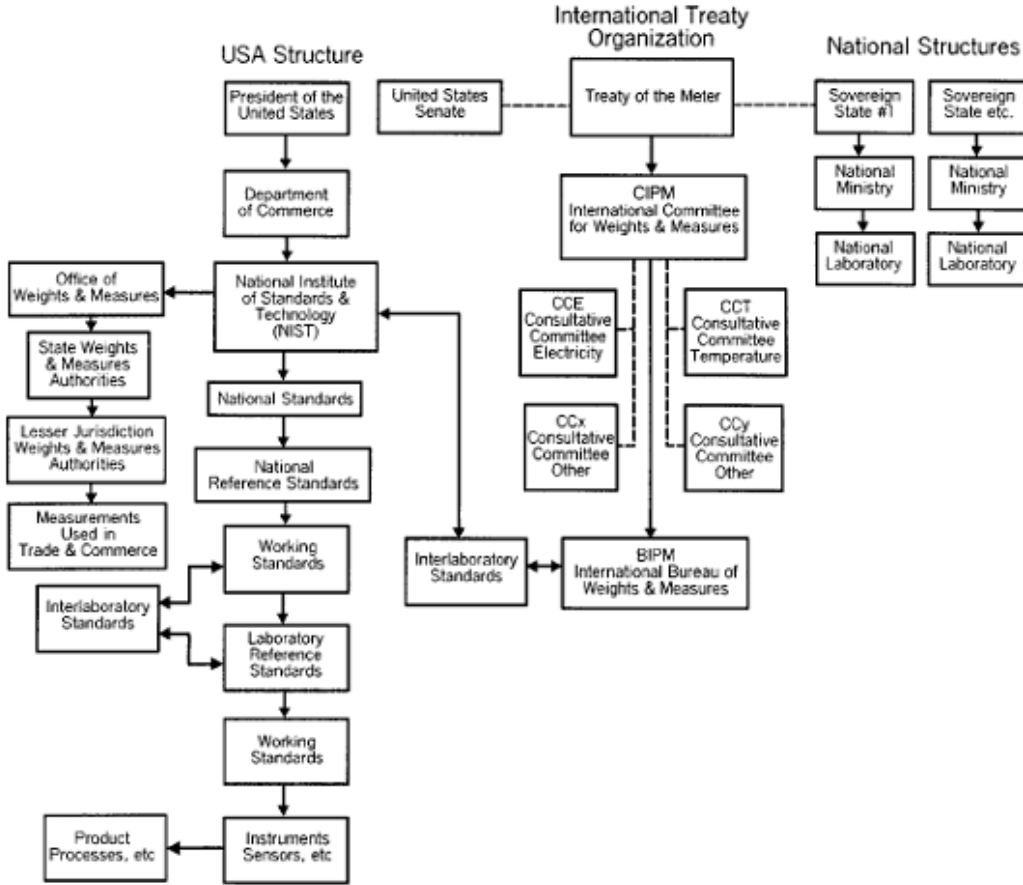
4.5.2. Türetilmiş standartlar

Ölçüm standartları, bir ölçümdeki SI standart birimlerini temsil eder (örnek olarak, bir dijital voltmetreyi kalibre edebilmek için, belirli bir voltaj sağlamaya yarayan bir güç kaynağı ve referans yükselticiyle birlikte bir zener diyot kullanmak gerekir). Örnek olarak, frekansın birimi hertz, zamanın tersi olarak tanımlanıyor. Yani 1 hertz (1 Hz) saniyedeki devir sayısıdır.

4.5.3. Ölçüm teminat sistemi

Şekil 4.3 dünyadaki değişik standart kategorileri arasındaki bağlantıyı gösteriyor. Amerikan yapısı hakkında daha çok bilgi veriyor ve benzer yapılar diğer uluslarda

da mevcut. Aslında, dünyanın değişik yerlerinde yapılan ölçümleri birbirleriyle ilişkilendirmeyi amaçlayan bir takım bölgesel organizasyonlar mevcut.



Şekil 4.3. Dünyadaki Değişik Standart Kategorileri Arasındaki Bağlantılar

4.6. Sayılar, Boyutlar ve Birimler

Bir ölçüm her zaman bir birim niceliğinin katsayısı ya da tam bölüneni olarak ifade edilir. Bunun için, hem bir sayısal değer nicelik hem de bir birim gereklidir. Eğer ölçülen nicelik elektrik akımıysa, bu bir miktar sayıda miliamper hatta belki de mikroamper şeklinde ifade edilir. Kullanılan birimlerin varlığını önemsemek daha kolay olur çünkü isimleri kelimenin vazgeçilmez bir parçasıdır.

4.7. oğalım arpanı

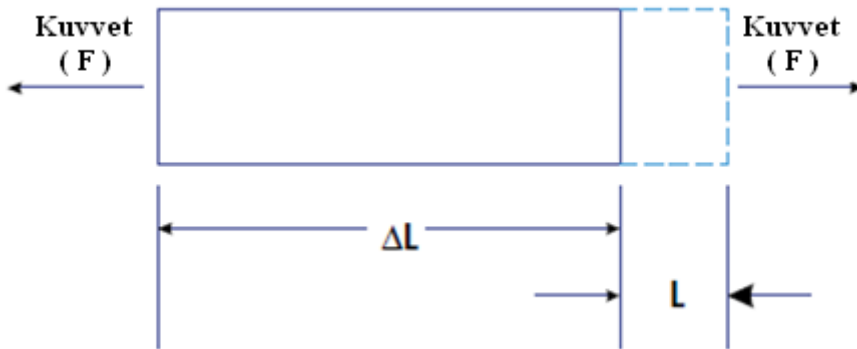
Çoğu durumda bütün birimleri kullanmak uygun olmadığından, ölçülen değeri daha mantıklı bir ebada getirmek için birimlerin birleştirilmesinde kullanılabilinen bir takım çoğalım arpanları tanımlanır. Metre cinsinden çok uzun mesafeleri belirtmek zor olacağından daha uzun mesafeler için kilometre kullanılır. Kısa mesafeler milimetre, mikrometre, nanometre, vs cinsinden belirtilir [11, 12 – 18].

BÖLÜM 5. GERİNİM ÖLÇME (STRAIN GAGE)

Bugünün ürün sorumluluğu ve enerji verimliliğine olan vurgusuyla, tasarımların sadece daha hafif ve daha güçlü olması yeterli değil, aynı zamanda öncekinden daha çok ayrıntılarıyla test edilmeleri gerekiyor. Bu, deneysel gerilme analizi ve gerinim ölçümü tekniklerine yeni bir önem getiriyor. Bu bölümün ana konusu, gerinin ölçümünde bağlanmış rezistans gerinim ölçerleri kullanılmasını amaçlıyor. Ölçümün doğruluğunu etkileyen etkenleri tanıtarak ve bu doğruluğu geliştirmek için prosedürler sunulacaktır. Ayrıca, bilgisayar kontrollü enstrümantasyonu vurgulayarak, gerinim ölçer ölçümlerinin pratik etkenlerinin altı çizilecektir.

5.1. Gerilme (Stress) ve Gerinim (Strain)

Gerilme ve gerinim arasındaki ilişki, materyallerin mekanik çalışmalarıyla ilgili en temel kavramlardan biri ve gerilme araştırmaları için çok büyük öneme sahiptir. Deneysel gerilme analizinde, belirli bir yükleme uygulanır ve sonra yapı veya makinenin her bir elemanı üzerindeki gerinim ölçülür. Sonra bu elemanlar üzerindeki gerilmeleri hesaplamak için gerilme-gerinim ilişkisini kullanılır, böylece bu gerilmelerin, kullanılan her bir eleman için kabul edilebilir limitlerde kalıp kalmadığı onaylanır.

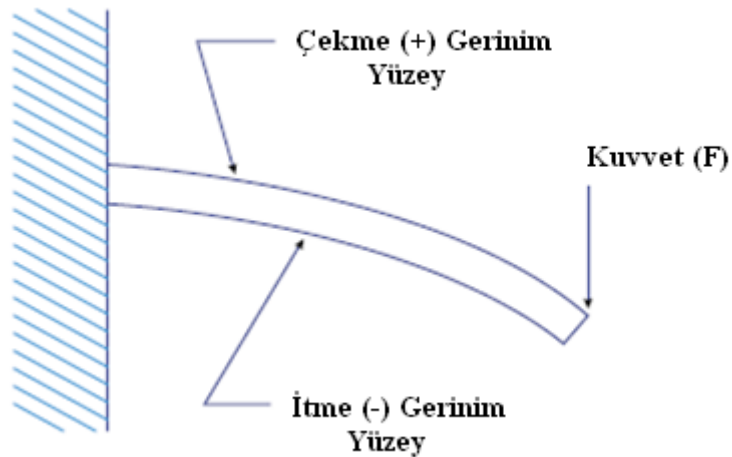


Şekil 5.1. Tek Eksende Uygulanan Kuvvet

5.1.1. Gerinim

Bir cisme kuvvet uygulandığında, cisim deforme olur. Genel anlamda bu deformenin adı gerinimdir. Bu çalışmada daha spesifik olacağız ve *gerinim* terimini, birim uzunluktaki deformasyon ya da uzunluktaki ayrımsal değişim anlamında kullanacağız ve buna ε sembolünü vereceğiz (Şekil 5.1).

Genel olarak bağlanmış rezistans gerinim ölçerle ölçtüğümüz şey gerinimdir. Gerinim, çekme (pozitif) ya da sıkıştırıcı (negatif) olabilir (Şekil 5.2). Denklem formunda $\varepsilon = \Delta L / L$ şeklinde yazıldığında, gerinim bir orandır ve o yüzden de boyutsuzdur. Gerinimin fiziksel önemini sağlamak için genelde inç birimiyle kullanılır. Çoğu metal için deneysel çalışmalarla ölçülen gerinim genellikle 0.005 inçten azdır.



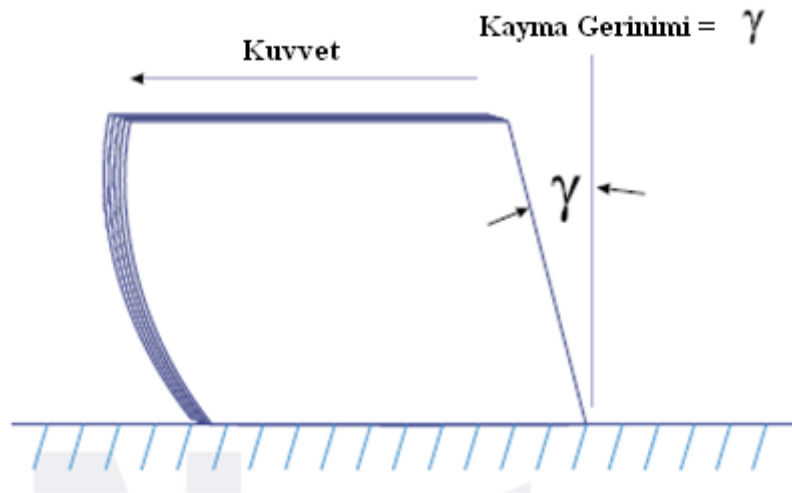
Şekil 5.2. Esnetilmiş Konsol

Pratik gerinim değerleri çok küçük olduğundan, genelde $\varepsilon \times 10^{-6}$ olan mikro gerinimle (bu milyonda bir bölüme eşittir ya da ppm'e) ifade edilirler ve $\mu\varepsilon$ sembolüyle ifade edilir. Gerinim yüzde gerinim $\varepsilon \times 100$ olan yüzde gerinimle de ifade edilir. Örnek olarak: 0.005 inç=5000 $\mu\varepsilon$ =0.5%

Bu noktaya kadar anlatıldığı gibi, gerinim uzunluktaki ayrımsal değişimdi ve direkt olarak ölçülebilir. Bu çeşit gerinim aynı zamanda normal gerinim olarak da adlandırılır.

5.1.2. Kayma gerinimi – deformasyon (Shearing strain)

Diğer bir gerinim çeşidi, açısal biçim bozulması ölçüsü olan kayma gerinimi'dir. Açısal gerinim de ölçülebilir fakat normal gerinim kadar basit ölçülemez. Eğer masanın üstünde duran kalın bir kitabımız varsa ve kapağa paralel bir kuvvet uygularsak, kayma gerinimini sayfaların kenarlarına bakarak görebiliriz (Şekil 5.3). Kayma gerinimi γ , deforme olmamış durumda birbirine dik olan iki doğru parçası arasındaki radyan cinsinden açısal değişim olarak tanımlanır. Bu açı çoğu metal için çok küçük olduğundan, kayma gerinimi bu açının tanjantı olarak alınır.

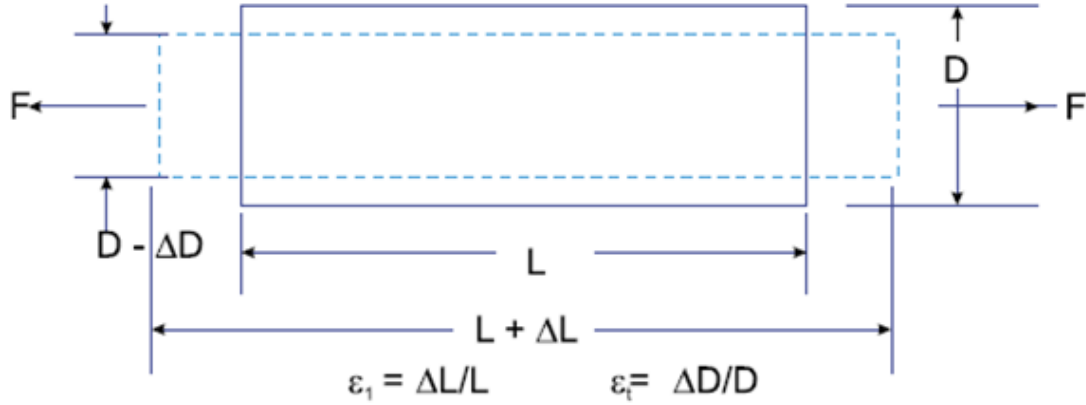


Şekil 5.3. Kayma Geriniminin Canlandırılması

5.1.3. Çapraz-yanal gerinim (Poisson strain)

Şekil 5.4'te, Şekil 5.1'deki çubuk gibi tek eksenli gerilim kuvveti uygulanan bir çubuk vardır. Kesik kesik çizgiler çubuğun deformasyondan sonraki şeklini gösteriyor, bu da yeni bir olay gösteriyor, çapraz-yanal gerinim. Çizik çizik çizgiler çubuğun boyunun uzadığının yanı sıra eninin daraldığını gösteriyor. Bu daralma, maddenin Poisson oranı olarak bilinen özelliğine bağlı olarak çapraz yöndeki gerinimdir. Poisson oranı ν , boylama yönündeki gerinime çapraz yöndeki gerinimin negatif oranıdır. Burada çapraz-yanal gerinimle hiçbir gerilme birleşmediğini

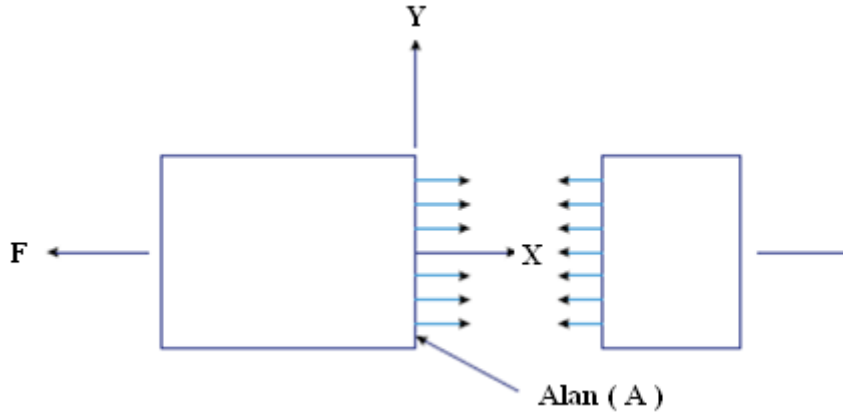
belirtmek gerekir. Şekil 5.4'ten, Poisson oranı denkleminin $\nu = -\varepsilon_t / \varepsilon_l$ olduğu çıkarılır. “ ν ” boyutsuzdur.



Şekil 5.4. Çapraz-Yanal Gerinim

5.1.4. Normal gerilme (Stress)

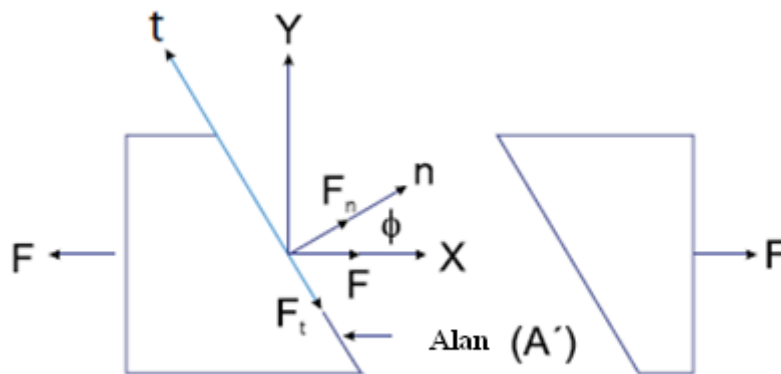
Kuvvetler ve gerinmeler tasarımcı ve stres analistleri tarafından kullanılan ölçülebilir niceliklerken gerilme, bir materyale uygulanan yüklemenin yük taşıma kabiliyetiyle karşılaştırılmasında kullanılan bir terimdir. Genelde yapı ve makineleri mümkün olduğunca hafif ve küçük yapmak tercih edildiğinden, parçalar tasarımda izin verilebilir en yüksek seviyeye gerilmelidirler. Gerilme bir cismin belirli bir yüzeyi üzerindeki, birim alandaki kuvvet anlamına gelir. Şekil 5.5'teki çubuğa x eksenini boyunca uygulanan tek eksenli gerilme kuvveti F uygulanıyor. Eğer kuvvetin kesitsel alan A üzerine düzgün dağıldığını farz edersek, kesit düzlemi üzerindeki gerilmenin ortalaması F/A olur. Bu gerilme yüzeye diktir ve $\sigma = F/A$ denkleminle ifade edilir ve birimi birim alandaki kuvvettir. Normal gerilim x doğrultusunda olduğundan ve y doğrultusunda kuvvet bileşeni olmadığından, bu yönde normal gerilme yoktur. Normal gerilme pozitif x doğrultusundadır ve gerilimdir (pozitif).



Şekil 5.5. Normal Gerilme

5.1.5. Kayma gerilmesi (Shear stress)

İki gerinim çeşidi olduğu gibi, iki çeşit de gerilme vardır. Bunlar; kayma gerilmesi ve normal gerilmedir. Normal gerilme belirtilen yüzeye normal olduğunda, kayma gerilmesi düzleme paralel olur ve τ sembolüyle gösterilir. Şekil 5.5'te gösterilen örnekte, kuvvetin y bileşeni yok bu yüzden kesit düzlemine paralel kuvvet yok, bu nedenden bu düzlem üzerinde kayma gerilmesi yok. Buradaki düzlem yönlendirmesi gelişigüzel olduğundan, eğer düzlem uygulanan kuvvetin doğruya normal olmadığı bir şekilde yönlendirilirse ne olur? Şekil 5.6'da bu kavramı gösteriyor, kuvvet hareketi doğrusunda gelişigüzel bir açı Φ 'yla n 'li koordinat siteminde alınan bir kesit.



Şekil 5.6. Kayma Gerilmesi

Kuvvet vektörü F 'in iki bileşene F_n ve F_t 'ye ayrılabilirdiğini görüyoruz. Bu bileşenler düzleme paralel ve normal. Bu düzlemin kesitsel alanı A' var ve düzlemin normal ve kayma gerilmesi var. Ortalama normal gerilme σ_n doğrultusunda ve ortalama kayma gerilmesi τ_t doğrultusunda. Denklemleri: $\sigma = F_n/A'$ ve $\tau = F_t/A'$. Burada bileşenlere ayrılan kuvvettir gerilme değil ve sonuçtaki gerilmeler kesitin yöneliminin bir fonksiyonudur. Gerilmelerin, gerinimlerin büyüklük ve yönleri olmasına rağmen vektör olmamaları bazı özel durumlar hariç vektör toplama kuralları kullanamadıkları ve bunlara böyle davranılmaması gerektiği anlamına gelir. Ayrıca gerilmeler, ölçülebilen diğer niceliklerden türetilmiş niceliklerdir ve direkt olarak ölçülemezler.

5.1.6. Ana eksenler (Principal axes)

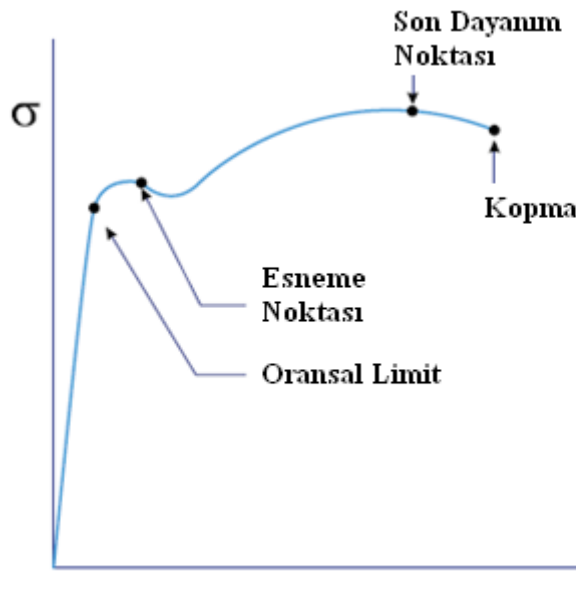
Önceki örneklerde x-y eksenleri, tek eksenli olarak yüklenmiş çubuklar için ana eksenler'di. Tanım olarak, ana eksenler maksimum ve minimum normal gerilmelerin eksenleridir. Bu eksenler boyunca uzanan düzlemlerde sıfır kayma gerilmesi bunların ekstra karakteristikleridir. Şekil 5.5'te x doğrultusundaki gerilme maksimum normal gerilmedir ve y doğrultusunda kuvvet bileşeni olmadığı için y doğrultusunda kayma gerilmesi yoktur. Y doğrultusunda kuvvet olmadığından, y doğrultusunda normal gerilme sıfırdır ve bu sıfır durumu, minimum normal gerilmedir. Bu yüzden ana eksenlerin gerekleri x-y eksenleri tarafından sağlanıyor. Çubuğun tek eksenli olarak yüklenmesinden dolayı x-y eksenleri ana eksenlerdir. Şekil 5.6'daki n ile gösterilen eksen ana eksen için gerekli olan kayma gerilmesinin sıfır olması gerekliliğini sağlamıyor. Ana eksenler üzerinde gösterilen gerinimler; minimum ya da maximum ve kayma gerinimi sıfırdır.

Ana eksenler gerilme analizinde çok önemlidir çünkü genelde ilgilenilen nicelikler maksimum ve minimum normal gerilme büyüklükleridir. Ana gerilmeler bir kere bilindiğinde, herhangi bir uyumlandırmada ki normal ve kayma gerilmeleri hesaplanabilir. Eğer ana eksenlerin uyumlandırmaları biliniyorsa, yükleme şartları ve deneysel tekniklerin bilinmesiyle, gerinimlerin ölçümü ve gerilmelerin hesaplanmaları konuları basitleşebilir.

Bazı durumlarda bir parçadaki ortalama gerilme ya da yükleme değeriyle ilgileniriz, ama çoğunlukla bir noktadaki gerilme büyüklüğünü belirlemek isteriz. Materyal, gerilmenin materyal yük taşıma kapasitesini geçtiği noktada başarısızlığa uğrar. Bu başarısızlık, aşırı gerginlik, sıkıştırıcı normal gerilmeden ya da aşırı kayma gerilmesinden kaynaklanabilir. Gerçek yapılarda, bu aşırı gerilme seviyesinin alanı biraz küçük olabilir. Bir noktadaki gerilmeyi bir diyagramla göstermenin metodu, o noktayı çevreleyen sonsuz küçüklükte bir eleman kullanmaktır. Böylece gerilmeler bu elemanın uyumlandırmanın bir fonksiyonu olur ve her bir uyumlandırmada elemanın kenarları ana eksene paralel hale gelir. Bu ilgilenilen noktadaki minimum ve maksimum gerilmeleri veren uyumlandırmadır.

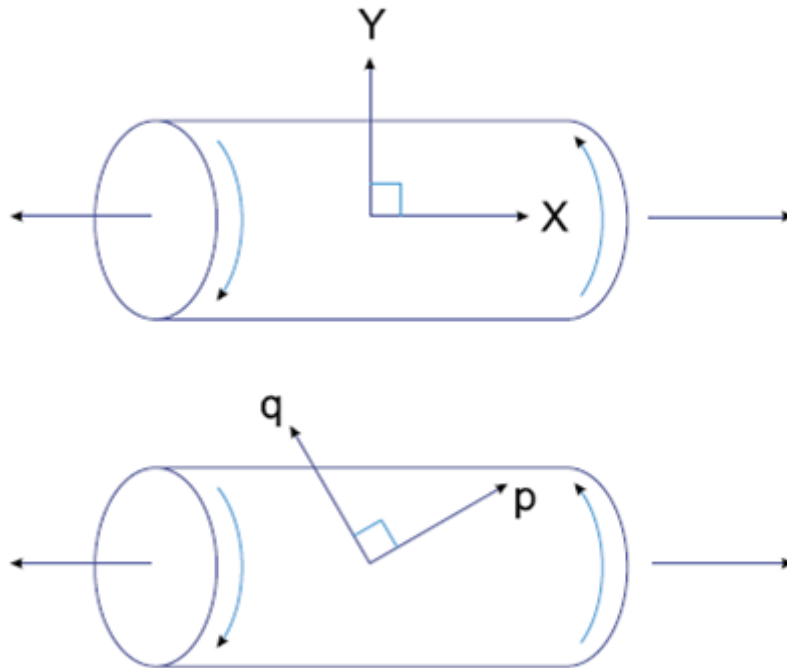
5.1.7. Gerinim-gerilme ilişkileri

Şu ana kadar gerinim ve gerilmeyi tanımladık şimdi gerinim ve gerilme ilişkilerini açıklamamız gerekmektedir. Bu ilişki bize ölçülen gerinimlerden gerilmeleri hesaplamayı sağlar. Eğer yumuşak çelikten yapılmış bir çubuğumuz varsa ve bunu tek eksenli sürekli artan bir gerginlikle yüklersek ve uygulanan yüklemenin doğrultusundaki gerinim- normal gerilme grafiğini çizersek, grafik Şekil 5.7'deki gerinim-gerilme şekline benzer.



Şekil 5.7. Yumuşak çelik için gerinim-gerilme diyagramı

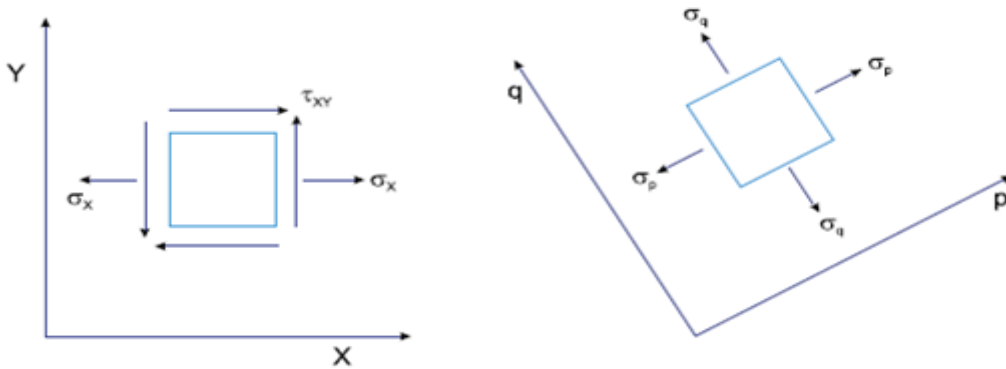
Şekil 5.7'den orantılı limit denen noktaya kadar gerinimle gerilme arasında lineer bir ilişki olduğunu görüyoruz. Hooke's Law (Hooke kuralı) bu ilişkiyi açıklıyor. Gerinim-gerilme şeklindeki bu düzgün doğru parçasının eğimi, materyal için esneklik kat sayısı ya da young kat sayısı'dır. Esneklik katsayısı E, gerilmeyle aynı birime (birim alandaki kuvvet) sahiptir ve materyaller için deneysel olarak belirlenmiştir. Denklemlerle yazılan bu gerinim-gerilme ilişkisi $\sigma = E \cdot \epsilon$ 'dir. Bazı materyallerin, örnek olarak dökme demir ve beton, gerinim-gerilme şekillerinde lineer oran yoktur. Bu materyaller için doğru gerilme analizleri yapabilmek için, bir test makinesinde her bir materyal için Poisson oranı dahil gerinim-gerilme özelliklerini belirlemek gerekir. Ayrıca, esneklik katsayısı sıcaklıkla değişir. Bu değişim deneysel olarak belirlenmeli ve aşırı sıcaklık değerlerinde gerilme analizleri sırasında değerlendirilmelidir. Şekil 5.7'deki gerinim-gerilme şeklinde önemli olan iki nokta daha var: esneklik sınırı ve gerilmenin son dayanıklılık noktası. Esneklik sınırı, gerinimin hızlı olarak arttığı ve gerilmenin çok küçük ya da sıfır artış gösterdiği gerilme seviyesidir. Eğer materyal esneklik sınırından daha öte bir noktaya gerilirse ve gerilme kaldırılırsa, materyal eski haline geri dönmez fakat artakalan kaydırmayı ya da gerinimi muhafaza eder. Son dayanıklılık, bozulmadan önce materyalde oluşan maksimum gerilmedir.



Şekil 5.8. Burulma ve gerilmedeki mil

Bu noktaya kadar incelediğimiz örnekler tek eksenli kuvvetler ve gerilmelere ait örneklerdi. Deneysel gerilme analizinde, çift eksenli gerilme durumları daha yaygındır. Şekil 5.8’de gösterilen örnekte hem bükülme hem de gerginlik uygulanan bir şaft gösteriliyor. İlgilenilen nokta sonsuz küçüklükte bir elementle çevrelenmiş, Şekil 5.8’de kenarları x-y eksenine paralel olarak uyumlandırılmıştır. Noktanın çift eksenli gerilme durumu var ve üç eksenli kayma durumu (poisson oranını hatırlayınız) var. Elementin ana p-q eksenele dizilmesi için döndürülmesi Şekil 5.8’de gösteriliyor. Elementin tüm uyumlandırıcıları için noktadaki gerilmelerini göstermek amacıyla elementin, eklenen oklarla hareket ettirilmesi Şekil 5.9’da gösterilmiştir. X-Y ekseninde uyumlandırılan elementin x doğrultusunda bir normal gerilmesi olduğunu ve y doğrultusunda normal gerilmesi olmadığını ve yüzeylerinde kayma gerilmelerin olmadığını görüyoruz. P-q eksenleri uyumlandırılmasına döndürülen element, iki yönde de normal gerilmeye sahip fakat olması gerektiği gibi

tanımla eğer p-q ana eksense, sıfır kayma gerilmesi var. Normal gerilmeler σ_p ve σ_q , nokta için en büyük ve en küçük normal gerilmelerdir. P-q doğrultusundaki gerinimlerde aynı zamanda minimum ve maksimum ve bu eksenler boyunca kayma gerinimi sıfır. Eğer ana eksenlerin uyumlandırılmasını biliyorsak, bu doğrultudaki gerinimleri ölçebiliriz ve verilen bir yükleme şartı için maksimum minimum normal gerilmeleri ve maksimum kayma gerilmesini hesaplayabiliriz. Her zaman ana eksenleri uyumlandırılmasını bilmiyoruz fakat eğer gerinimi 3 farklı doğrultuda ölçersek, ana eksen doğrultuları dahil her doğrultudaki gerinimi hesaplayabiliriz. 3 ya da 4 elemanlı rozet gerinim ölçerler, ana eksenlerin uyumlandırılması bilinmediği durumlarda gerinim ölçmek için kullanılır.



Şekil 5.9. X-Y eksenindeki ve esas eksendeki element

5.2. Gerininin Ölçülmesi

Gerilme direkt olarak ölçülemeyen bir materyaldir. Diğer ölçülebilir parametrelerden hesaplanması gerekir. Bu yüzden, gerilme analistçileri verilen bir yükleme durumu için gerilmeleri hesaplarken materyalin diğer özelliklerine bağlı olarak ölçülen gerinimleri kullanırlar. Gerinim ya da deformasyon ölçümü için metotlar vardır, bunlar değişik mekanik, optik, akustik, pnömatis (hava basıncına bağlı olan) ve elektriksel olaylara bağlı olarak yapılır. Bu bölümde kısaca bazı daha yaygın metotları ve onların eş değerindeki metotları konusunda bilgi verilecektir.

5.2.1. Ölçüm boyu (Gage length)

Gerinim ölçümü, belli uzaklıktaki iki nokta arasındaki yer değişiminin ölçülmesidir. Bu uzaklık ölçüm boyudur ve değişik gerinim ölçüm teknikleri arasındaki karşılaştırmadır. Ölçüm boyu ayrıca üstünde gerininin ortalamasının alındığı uzaklıktır. Örnek olarak, parça uzunluğunu mikrometreyle hem yüklemmeden önce hem sonra (Şekil 5.10'da gösterildiği gibi belirli bazı basit yapılar üzerinde) ölçebiliriz. Sonra parçanın toplam deformasyonun elde etmek için bu değerleri birbirinden çıkarırız. Bu toplam deformasyonun ilk baştaki (orijinal) uzunluğa bölümü bize tüm parçanın ortalama gerinim değerini verir.

Ölçüm boyu parçanın orijinal boyu olabilirdi. Şekil 5.10'daki tekniği kullanırsak, parçanın azalmış en (genişlik) kısmındaki gerinim, azalmış yük taşıyan kesitsel alan dolayısıyla ölçülen değerden bölgesel olarak yüksek olacaktır. Gerilmeler de dar kısımda en yüksek olacak ve parça orada ölçülen ortalama gerinim değeri, materyalin esneklik sınırından büyük bir gerilme büyüklüğü göstermeden önce sonuçlanacaktır. İdeal olarak, gerinim ölçüm aletinin sonsuz küçük ölçüm boyunun olmasını istiyoruz, böylece bir noktadaki gerinimi ölçebiliriz. Eğer bu ideal gerinim ölçerimiz olsaydı, bunu bu alandaki bölgesel yüksek gerinimi ölçmek için Şekil 5.10'daki modelin dar kısmına yerleştirirdik. Bu ideal gerinim ölçüm aleti için diğer karakteristikler ise, aletin küçük boyutta ve küçük kütlede olması, çabuk tutturulması, gerinime yüksek hassasiyette olması, düşük maliyette olması, sıcaklık ve diğer çevresel koşullara hassasiyetinin düşük olmasıdır.



Şekil 5.10. Gerilim ve Gerimin Yüksek Olduğu Bölge

5.2.2. Mekanik aletler

İlk bulunan gerinim ölçüm aletleri doğadaki mekaniklerdi. Gerinim ölçmek için kullanılan bir mikrometre örneği gördük ve bu yaklaşımla bir problem gözlemledik. Genleşme ölçerler gerinim ölçmek için kullanılan, minik gerinimleri okunabilir bir seviyeye yükseltmek için kaldıraç sistemiyle çalışan bir mekanik alet sınıfıdır. Bütünüyle mekanik olan aletler için ulaşılabilecek en iyi sınır, en az 1/2 inçlik ölçüm boyu ve $10\mu\epsilon$ 'lik çözünürlüktür. Genleşme ölçerlere ışık demeti ve ayna düzeni eklenmesi, çözünürlüğü geliştirir, ölçüm boyunu kısaltır, çözünürlüğün $2\mu\epsilon$ ve ölçüm boyunun 1/4 inç olmasını sağlar. Fotoelektrik ölçer hala gerinim ölçmek için mekanik, optik ve elektriksel yükseltmelerin bir kombinasyonunu kullanıyor. Bu, gerinime orantılı bir akım oluşturmak için bir ışık demeti, 2 ince ızgara ve bir fotosel (photocell) detektörü kullanarak yapıyor. Bu alet ölçüm boyunu 1/6 inç kadar kısa yapabiliyor fakat masraflı ve çabuk kırılabilir. Bütün bu mekanik aletler kullanım için büyük ve taşınması zor aletler ve çoğu sadece statik gerinim ölçmek için uygundur.

5.2.3. Optik metotlar

Gerinim ölçmek için kullanılan birkaç optik metot var. Bu tekniklerden biri gerinim ölçmek için optik düzlüklerle üretilen girişim çizgilerini kullanıyor. Bu alet hassas ve doğru fakat bu teknik de laboratuvar koşullarında kullanmak için çok kırılgandır.

5.2.4. Gevrek kaplama

Gevrek kaplama teknikleri statik gerinimi göstermek için diğer bir yoldur. Bunlar genelde gerinim ölçerlerle bağlantılı olarak kullanılıyorlar. Mümkün olduğu

durumlarda test objesi gevrek (kırılgan) vernikle kaplanır ve yükleme aralıklı olarak artırılarak uygulanır. Vernik ilk önce yüzey geriniminin en yüksek olduğu yerde çatlaklar ve çatlaklar en yüksek gerilim gerinimine diktir. Bütün gerinim alanının bir gösterimi, gerinim ölçerin hangi uyumlamalarla ve nerede duracağını belirterek elde edilir. Elverişli koşullarda gerinim büyüklüğünün mantıklı bir yaklaşımı elde edilebilir. Gevrek vernik kaplamayla iyi veriler almak, bilimsel çalışma yapmaktan çok daha zor bir sanattır. Yüksek sıcaklıktaki uygulamalar için, vernik yerine gevrek seramik kaplama kullanılabilir.

5.2.5. Elektrikli aletler

Diğer bir gerinim ölçüm metodu şu şekildedir; ölçüm aletinin bağlandığı cismin gerinimiyle orantılı değişen elektriksel karakteristiklerden elde edilen ölçümlerin kullanımı da diğer bir gerinim ölçme metodudur. Kapasitans ve endüktans gerinim ölçerler yapılmıştır fakat titreşime olan hassasiyet, montaj zorlukları ve karışık devre gereksinimi onların gerilme analiz işi için pratik olmaktan çıkarmıştır. Bu aletler yine de sıklıkla çevirgeçlerde kullanılıyorlar. Bazı kristallerin piezoelektik özellikleri değerini ölçmekte kullanılıyor. Bu voltaj farkı gerinime orantılı ve ona nazaran yüksek büyüklüktedir. Kristal gerinim ölçerler açıkçası çok hantal ve çok kırılgan ve statik gerinim ölçümleri için uygun değildir.

Muhtemelen, gerinime orantılı olarak değişen en önemli elektriksel karakteristik elektrik direncidir. Çıktısı bu karakteristiğe bağlı değişen aletler, piezoelektrik ve yarı iletken ölçer, karbon direnç ölçer, bağlanmış metalik kablo ve folyo rezistans ölçerlerdir. Karbon direnç ölçer, bağlanmış metalik gerinim ölçerin bir önceki versiyonudur. Maliyeti düşüktür, küçük ölçüm boyu olabilir ve gerinime karşı hassastır. Neme ve sıcaklığa aşırı hassasiyet karbon direnç ölçerin dezavantajıdır.

Yarı iletken gerinim ölçer, silikon ve germanyum gibi belli yarı iletken maddelerin piezoelektrik etkilerine bağlıdır. Yarı iletken ölçerlerin elastik davranışları vardır ve gerindiğinde pozitif ya da negatif direnç değişimine sahip olabilecek şekilde üretilmişlerdir. Fiziksel olarak küçük yapılabirler ve aynı zamanda yüksek ana dirençleri olur. Bu ölçerler için gerinim limitleri 1000- 10000 $\mu\epsilon$ aralığıdır, genelde

3000 $\mu\epsilon$ gerilmeye kadar test edilirler. Yarı iletken ölçerler gerinime karşı yüksek hassasiyet sergilerler fakat gerinimle oluşan direnç değişimi lineer değildir. Dirençleri ve çıktıları sıcaklığa karşı hassastır ve dirençlerdeki %10-20 kadar büyük olabilecek değişimlerin sonucu olarak doğan yüksek çıktılar, aletler köprü devrelerinde kullanıldığında ölçüm problemlerine neden olabilir. Fakat sıcaklığa hassasiyet, çıktılarının lineer olmaması, köprü devrelerinin (eğer kullanılırsa) lineer

olmayan karakteristikleri için yapılan matematiksel düzeltmeler, yarı iletken ölçerlerle gerinim ölçmek için bilgisayar kontrollü alet düzeni kullanılması sırasında otomatik olarak yapılabilir. Bunlar hem statik hem dinamik gerinim ölçmek için kullanılabilir. Dinamik gerinim ölçerken, sıcaklık etkileri genelde statik gerinim ölçümündekinden daha düşüktür ve yarı iletken ölçerlerin yüksek çıktı verebilmesi önemlidir.

Bağlanmış dirençli gerinim ölçerler, bugünün deneysel gerilme analistleri için en yaygın kullanılan ölçüm aletidir. Bir levha ince tel ya da daha çok taşıyıcı matris denen ince bir yalıtıcı geri kaplamaya bağlanan ince metalik folyodan oluşur. Bu levha materyalin elektrik direnci gerinimle doğrusal değişir. Kullanırken, taşıyıcı matris test modeline yapışkanla tutturulur. Model yüklendiğinde, yüzeyindeki gerinim taşıyıcı sistem ve yapışkan yoluyla levha materyale iletilir. Modeldeki gerinim, levha materyalinin elektrik direncindeki değişimin ölçülmesiyle bulunur. Bağlanmış dirençli gerinim ölçer düşük maliyettedir, kısa ölçüm boyuyla yapılabilir ve sadece sıcaklık değişimlerinden kısmen etkilenir, fiziksel boyutu küçüktür, hafiftir, gerinime yüksek hassasiyeti vardır. Statik ve dinamik gerinim ölçmek için de uygundur.

5.3. Bağlanmış Dirençli Gerinim Ölçer

“Bağlanmış dirençli gerinim ölçer” terimi, ametalik (yarı iletken) ölçer ya da metalik (tel ya da folyo) ölçerlere uygulanabilir. Tel ve folyo ölçerler, aynı temel prensipler üzerinde çalışır ve ölçüm bakımından aynı biçimde ele alınabilir. Yarı iletken ölçerlerin, metalik ölçerlerden daha çok gerinim hassasiyetleri vardır ve ölçümünde dikkat edilecek farklı faktörleri vardır. Bu çalışmanın kalan kısmında bağlanmış

metalik folyo levha dirençli gerinim ölçer için gerinim ölçer ya da ölçer terimini kullanacağız. Bu folyo ölçerler bazen metal film ölçerler olarak adlandırılacak. Gerinim ölçerler, ince bir folyoya sarılmış iletken alaşımları kullanarak baskı devre üretim işlemiyle yapılırlar. Alaşımlar, direncin mekanik özelliklerini ve sıcaklık katsayısını optimize etmek için, kontrollü atmosfer ortamında işlenirler. Gerinime hassas elementler için ızgara yapısı, daha düşük ölçüm boyu elde ederken daha yüksek ölçüm direnci sağlamak için kullanılıyor. Ölçüm direnci 30-3000 Ω değerleri arasında değişir, 120 ve 350 Ω ise gerilme analizi için kullanılan en yaygın değerlerdir.

0.008 inçten 4 inç kadar ölçüm boyları piyasada mevcuttur. Folyo ızgara ölçerdeki iletkenin, verilen kesitsel alan için büyük bir yüzey alanı var. Bu, gerinim onlarla iletildiği için yapışkan ve taşıyıcı matristeki kayma gerilmesini düşük tutuyor. Bu daha büyük yüzey alanı, levha ve model arasında iyi ısı transferini sağlıyor. Gerinim ölçerler küçük ve hafiftir, geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilir ve hem statik hem dinamik gerinimlere tepki verebilir. Gerilme analizi gibi gerinim ölçerlerin de transdüserlerde geniş ve kabul edilen uygulamaları vardır.

Bir gerinim ölçer uygulamasında taşıyıcı matris ve yapışkan, modelden ızgaraya gerinimleri doğru olarak iletmek için beraber çalışmalıdırlar. Ayrıca model ve ızgara arasında elektrik yalıtkanı görevi görürler ve ızgaradan ısıyı transfer etmeleri gerekir. Ölçer seçimini etkileyen 3 temel faktör: çalışılan sıcaklık, gerinim durumu (zamana bağlılık, büyüklük ve gradyanları gibi), ve ölçer kurulumu için kararlılık (stability) şartlarıdır. Verilen uygulama için taşıyıcı materyal, ızgara alaşımı, yapışkan ve koruyucu kaplamaların doğru kombinasyonunu seçmenin üzerinde çok durulamaz. Gerinim ölçer imalatçıları bu konudaki en iyi kaynak ve müşteriye doğru gerinim ölçer, yapışkan ve koruyucu kaplama seçmede yardım etmek için bir sürü mükemmel dökümanları vardır.

5.3.1. Ölçüm çarpanı (Gage factor)

Metalik bir iletken gerindiğinde, elektrik direncinde bir değişim olur ve bu değişim de gerinim ölçeri yararlı bir alet yapar. Bu direncin gerinimle değişiminin ölçüsü

ölçüm çarpanı'dır. Ölçüm çarpanı, dirençteki kesirsel değişimin, ölçer eksen boyunca olan uzunluktaki (gerinim) kesirsel değişime oranı olarak tanımlanır. Ölçüm çarpanı boyutsuz bir niceliktir ve değeri ne kadar büyükse gerinim ölçere o kadar hassas olur. Ölçüm çarpanı bu denklemle ifade edilir:

$$GF = \frac{\Delta_R/R}{\Delta_L/L} = \frac{\Delta_R/R}{\varepsilon} \quad (5.1)$$

Dirençteki gerinime bağlı değişim sadece iletkendeki boyutsal değişime bağlı değildir ama yalıtkan materyalin öz direnci de gerinimle değişir. Ölçüm çarpanı terimi, gerinim ölçere bir bütün olarak taşıyıcı matrisle birlikte uygular, sadece gerinime hassas iletkene değil. Nikelli tel ve nikel-krom alaşımı için ölçüm çarpanı yaklaşık iki'dir ve değişik ölçer ve alet belirlemeleri bu yaklaşık değere göre yapılır.

5.3.2. Çapraz hassasiyet (Transverse sensitivity)

Eğer gerinim ölçer sadece düz uzunlukta bir iletken olsaydı ve çapı uzunluğuna göre çok küçük olsaydı, gerinime sadece boyundaki ekseninde tepki verirdi ve bu eksenin çaprazındaki ya da dikindeki gerinimlere hassasiyet göstermezdi. Herhangi bir mantıklı ölçüm direnci değeri için, çok uzun ölçüm boyu da olurdu. İletken, etkili ölçüm boyunu azaltmak için ızgara formunda olduğunda, ölçüm eksenine çaprazda olan geri dönüş yerlerinde ve sondaki döngülerde gerinime hassas materyaller olur. Bu sondaki döngü materyali, ölçere çapraz yönde sıfır olmayan gerinim hassasiyeti verir. Çapraz hassasiyet K_t şu şekilde tanımlanır:

$$K_t = \frac{GF(\text{transverse})}{GF(\text{longitudinal})} \quad (5.2)$$

ve genelde yüzde olarak ifade edilir. K_t değerleri % 0'la % 10 arasında değişir. Bu etkiyi en aza indirmek için, sondaki döngülerde iletkene ekstra materyal eklenir ve ızgara çizgileri birbirine yakın tutulur. Çapraz hassasiyet için düzeltmeler, küçük, geniş ızgara ölçerler için ya da ölçüm eksenine ana eksen arasında belirgin bir hizasızlık olduğunda ya da yüksek çapraz gerinim alanları oluşabilen rozet analizinde

gerekli olabilir. Üretici tarafından ölçerle sağlanan veri, bilgisayar kontrollü alet düzenlerine sokulabilir ve gerinim verileri toplandığında bunlara çapraz hassasiyet düzeltmeleri yapılabilir.

5.3.3. Sıcaklık etkileri

İdeal olarak gerinim ölçerleri direnç değiştirmek için sadece test modelinde gerilme nedeni gerinim için tercih ederdik, fakat bütün gerinime hassas materyallerin öz direnç ve gerinim hassasiyetleri sıcaklıkla değişiyor. Tabii ki bu sıcaklık değiştiğinde ölçüm çarpanının ve ölçüm direncinin de değişeceği anlamına geliyor. Monte edilmiş bir gerinim ölçer için direncin sıcaklıkla değişimi, ölçer ve levha arasındaki termal genleşme katsayısı ile ölçer alaşımının direncinin termal katsayısı arasındaki farkın bir fonksiyonu. Kendinden sıcaklık kompanzasyonlu ölçerler, özel materyaller için üretilebilir. Bu, ölçerle özel materyal arasındaki termal genleşme katsayısındaki uyumsuzluğun etkilerinin kompanze eden termal direnç karakteristikleri gibi gerinime hassas alaşımlarla işlenerek üretilebilir. Bu şekilde üretilen bir sıcaklık kompanzasyonlu ölçer, belirli bir termal genleşme katsayısı olan bir materyale monte edildiği zaman doğru kompanzasyon yapabilir. Tablo 6.1. kendinden sıcaklık kompanzasyonlu ölçer için uygun olan genel materyalleri göstermektedir.

Tablo 5.1. Bazı Çok Bilinen Malzemelerin Termal Genleşme Katsayısı İçin Sıcaklık Kompanzasyonlu Strain-Gage'ler Mevcuttur

| Malzeme | PPM/°C |
|-----------------|--------|
| Kuvartz | 0.5 |
| Titanyum | 9 |
| Yumuşak Çelik | 11 |
| Paslanmaz Çelik | 16 |
| Alüminyum | 23 |
| Magnezyum | 26 |

Kompanzasyon, hem termal genleşme katsayı ve termal direnç katsayısının lineer olmamasından dolayı sadece sınırlı bir sıcaklık aralığında etkilidir. Ölçer üreticisi, sıcaklık kompanzasyonunu belirleyen bilgileri görünen gerinim eğrisi formunda sunar. Bu, ölçer için sıcaklık nedenli görünen gerinim- sıcaklık grafiğidir ve belli bir termal genleşme katsayısı olan belli bir materyal üstüne monte edilmiştir. Bu eğri için denklem üretici tarafından, ölçerden elde edilen grafiğin eğri ayarlama teknikleri uygulanarak ya da kurulumdan sonra görünen gerinim eğrisini gerçek ölçerle üreterek bulunabilir.

Eğer gerinim ölçümü sırasında ölçerdeki sıcaklığı görüntülersek, sıcaklık nedenli görünen gerinim için kompanze etmek amacıyla bu denklemi çözebiliriz. Üretici genelde veriyi grafik halinde sunar, bu grafik ölçüm oranının sıcaklıkla nasıl değiştiğini gösterir, böylece gerinim verisi bu sıcaklık etkisi için de düzeltiler.

5.3.4. Ölçüm

Ölçüm çarpanı denkleminde dirençteki kesirsel değişim'in, ölçerin mutlak direnç değerinden daha önemli olduğunu görüyoruz. $1 \mu\epsilon$ 'lik bir gerinim için ne kadarlık bir direnç değişimi olacağını görelim. Eğer ölçüm çarpanı +2 olan 120Ω 'luk bir gerinim ölçer kullanırsak, ölçüm çarpanı denklemini, $1 \mu\epsilon$ 'nın 120Ω 'ye uygulandığını gösterir ve dirençteki değişim:

$$\Delta R = 120 \times 0.000001 \times 2 = 0.000240 \Omega, \quad (5.3)$$

ya da $240 \mu\Omega$ olur. Bu da, ölçüm aleti düzeninde mikro ohmluk bir hassasiyet olması gerektiğini gösterir. İlgilenilen dirençteki kesirsel değişim olduğundan ve bu değişim onlarca milli ohm olacağından, ölçümün nereden başlayacağını gösteren referans noktası olması gerekiyor. Ölçüm direncinin ana değerinin, birkaç 100 mikro gerinime eşit toleransı var ve ölçer modele bağlandığında genelde değişir bu yüzden, bu ana değer referans olarak kullanılmamalıdır.

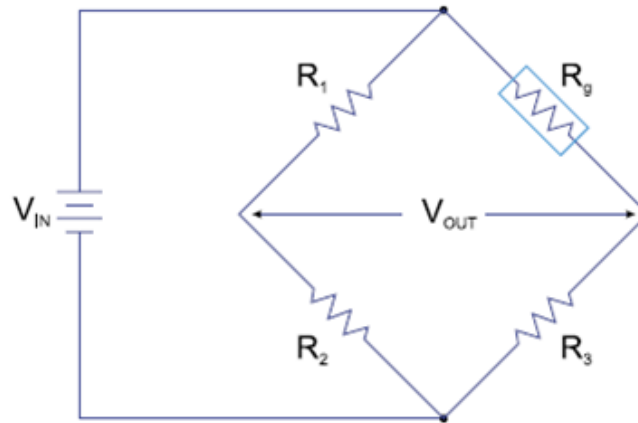
Başta ki, gerinmemiş, ölçüm direnci hangi gerinimin ölçüldüğünden referans olarak kullanılır. Genel olarak ölçer, test modelinin üstüne monte edilir ve model

gerinmemiş durumdayken, alet düzenine telle bağlanır. Bu şartlar altında alınmış değerler, gerinmemiş referans değeridir ve modele bir gerinim uygulanması direncin bu değerden değişimine sebep olur. Eğer ölçüm yapmak için yeteri kadar hassas ve doğru bir ohm metremiz olsaydı, gerinmemiş ölçüm direncini ölçerdik ve bu gerinmemiş değeri sonra gelen gerinmiş değerlerden çıkarırdık. Sonucun gerinmemiş değere bölümü bize modeldeki gerinimden doğan kesirsel direnç değerini verirdi. Bazı durumlarda, sadece bu metodu kullanmak pratiktir. Dirençteki küçük değişimleri ölçmenin daha hassas yolu, wheatstone köprüsü devresi kullanmaktır ve aslında statik gerinim ölçmek için çoğu alet düzeni bu devreyi kullanır.

5.4. Ölçüm Metotları

5.4.1. Wheatstone köprüsü devresi

Üstün hassaslığı sebebiyle Wheatstone köprüsü devresi (bkz. Şekil 5.11) statik gerinim ölçümleri için en sık kullanılan devredir. Bu bölüm bu devreyi ve gerinim ölçer ölçümlerinde uygulanmasını inceliyor. Ölçüm alet düzeniyle bağlantılı olarak kullanılan bilgisayarlar, bu köprü devresinin kullanımını basitleştirebiliriz ve ölçümün doğruluğunu artırabiliriz ve çok kanallı sistemle yüksek nicelikte veriler toplayabiliriz. Bilgisayar aynı zamanda köprünün dengelenmesi gerekliliğini kaldırır ve çıkıştaki nonlineerlikler için kompanzasyon yapar ve çok kanallı uygulamalardaki aktarma ve veri kaydetme görevini yerine getirir.



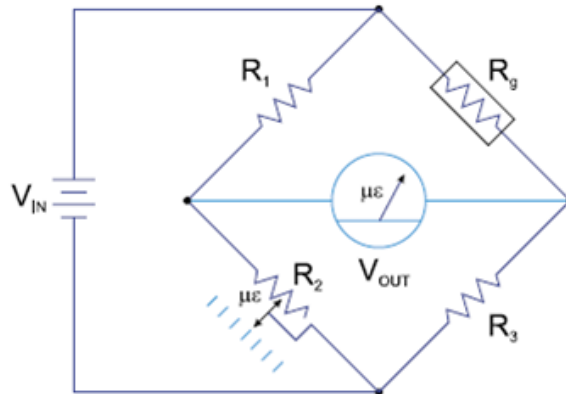
Şekil 5.11. Wheatstone Köprü Devresi

5.4.2. Dengelenmiş köprü gerinim ölçer ölçümleri

Şekil 5.11’de, V_{IN} köprünün giriş voltajı, R_g gerinim ölçer direnci, R_1, R_2, R_3 köprü tamamlama dirençleri ve V_{OUT} köprü çıkış voltajıdır. Bir $\frac{1}{4}$ köprü gösterimi, köprünün bir kolu aktiflik ölçer, diğer kolunda sabit değerli dirençler ya da gerinmemiş ölçerler olduğunda oluşuyor, bu devrede olduğu gibi. İdeal olarak, gerinim ölçer R_g değişen tek direnç ve bağlandığı modelin yüzeyindeki gerinim değişimine bağlı olarak değişir. V_{OUT} $V_{IN}, R_1, R_2, R_3, R_g$ ’nin bir fonksiyonudur. Bu ilişki şöyle gösterilir:

$$v_{out} = v_{in} \left[\frac{R_3}{R_3 + R_g} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \quad (5.4)$$

$(R_1/R_2) = (R_g/R_3)$ olduğu zaman, V_{OUT} sıfır oluyor ve köprü dengeleniyor. Direnç değerlerinden birini ayarlayabilseydik mesela R_2 ’yi, diğer dirençlerin değişik değerleri için köprüyü dengeleyebilirdik. Şekil 5.12 bu kavramın bir şematüğini gösteriyor.



Şekil 5.12. Köprüyü Dengelemeye Uygun Köprü Devresi

Ölçüm faktörü denklemine bakarak, (denklem 5.1) ölçmeye ihtiyaç duyduğumuz niceliğin, gerinmemiş değerden gerinmiş değere kadar ölçüm direncindeki değişim olduğunu görüyoruz. Eğer ölçer gerinmemiş olduğunda R_2 ’yi köprü dengelenene kadar ayarlayabilirsek ve sonra ölçere gerinim uygularsak, V_{OUT} sıfır olmayan bir

değer olur. Eğer R_2 değerinin tekrar köprüyü dengelemek için ayarlarsak, R_2 'deki değişim gerinime bağlı olan R_g 'deki değişime eşit olur. Bazı gerinim göstergeleri, kullanılan ölçerin ölçüm çarpanını giriş yapmak için ve değişken direnç R_2 'deki değişimin direkt mikro gerinimle gösterilmesiyle bu prensiple çalışıyorlar.

Bir önceki örnekte, gerinim uygulandığında köprü dengesiz hale geliyordu. V_{OUT} bu dengesizliğin bir ölçüsü ve direkt olarak R_g 'deki değişime bağlıdır. Köprüyü tekrar dengelemek yerine, mikro gerinimde kalibre edilmiş bir gösterge kullanılabilir, bu V_{OUT} 'a tepki verir (Şekil 5.12). Eğer bu göstergenin direnci gerinim ölçerinkinden çok büyükse, köprü devresi üzerindeki yüklem etkisi ihmal edilebilir. Yani, ihmal edilen akım gösterge üzerinden akar. Bu metot genelde aşağıdakileri kabul eder:

- 1) V_{OUT} ve gerinim arasında lineer bir ilişki olduğunu
- 2) Köprünün ilk gerinmediği durumda dengelendiğini
- 3) V_{IN} 'in bilinen bir değeri olduğunu.

Bir köprü devresinde V_{OUT} ile gerinim arasındaki ilişki lineer değilse, birkaç bin mikro gerinime kadarki gerinimler için, hata genelde görmezden gelenebilecek kadar küçüktür. Büyük gerinim değerleri için, bu nonlineerliğin kompanze edilmesi için gösterilen değere düzeltmeler yapılmalıdır. Ticari gerinim göstergelerinin çoğunluğu direnç gerinim ölçerler için bazı köprü devreleri formları kullanıyor. Çok kanallı sistemlerde, dengelenmiş köprü metotları için elle yapılan ayarlamalar kullanıcıya külfetli geliyor. Bilgisayar kontrollü çok kanallı sistemler dengesiz köprü tekniği ayarlamalarını otomatik olarak yapar.

5.4.3. Dengelenmemiş köprü gerinim ölçer ölçümleri

V_{OUT} denklemleri V_{OUT} 'un V_{IN} 'e oranı formunda yazılabilir:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \left[\frac{R_3}{R_3+R_g} - \frac{R_2}{R_1+R_2} \right] \quad (5.5)$$

Bu denklem hem gerinmiş hem de gerinmemiş koşullarda uygulanabilir. Ölçüm direncinin gerinmemiş değerini R_g olarak ve gerinime bağlı değişimi ΔR_g , ve ölçüm direncinin gerinmiş değerini $R_g + \Delta R_g$ olarak tanımlayalım. Köprü kolundaki direncin gerçek etkili değeri, bu koldaki dirençlerin toplamıdır ve şöyle şeyler içerebilir: çıkış- giriş kabloları, baskı devre kartında yollar, anahtar dirençleri, bağlantılar, v.s. Bu değerler gerinmemiş ve gerinmiş değerler için aynı kaldığı müddetçe ölçüm geçerli olur. V_{OUT} 'un V_{IN} 'e oranlarının gerinmiş ve gerinmemiş durumlardaki farkı olarak yeni bir terim V_r tanımlayalım:

$$V_r = \left[\left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) - \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \right] \quad (5.6)$$

Bu denklemdeki iki (V_{OUT}/V_{IN}) terimine karşılık gelen direnç değerlerini koyarsak, $\Delta R_g/R_g$ için yeni bir denklem türetmiş oluruz.

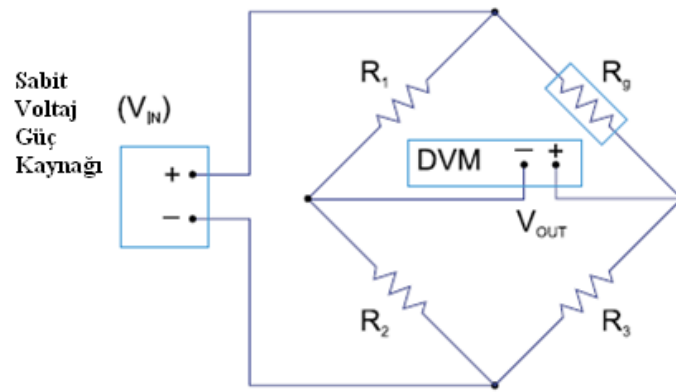
Bu yeni denklem:

$$\frac{\Delta R}{R_g} = \frac{-4V_r}{1+2V_r} \quad (5.7)$$

Bu türetmede ΔR_g 'nin gerinmemiş durumdan gerinmiş duruma geçerken tek değişen değer olduğu farz edilmiştir. Ölçüm çarpanı için denklem (5.1) tekrar kullanırsak ve bu iki denklemi birleştirirsek, gerinim için V_r ve GF cinsinden bir denklem elde ederiz.

$$\mathcal{E} = \frac{-4V_r}{GF(1+2V_r)} \quad (5.8)$$

Şekil 5.13.'teki şematik dengelenmemiş devrenin nasıl enstrümantasyonun yapılacağını gösteriyor.



Şekil 5.13. Dengesiz köprü strain ölçümü için cihaz

V_{IN} 'i sağlamak için sabit bir voltaj güç kaynağı ve V_{OUT} 'u ölçmek için bir dijital voltmetre (DVM) gereklidir . Bu uygulama için DVM 'nin yüksek ($10^9 \Omega$ 'dan büyük) giriş direnci olması gerekmektedir ve $1\mu V$ ya da daha iyi çözünürlüğü olması lazım. Ölçüm çarpanı üretici tarafından sağlanır. Pratikte, DVM de okunan V_{OUT} 'un gerinmemiş şartlardaki değerini okuması ve kayıt edilmesi ve sonra da V_{OUT} 'un geriniminden sonra değerinin okunması için bilgisayar kullanılmaktadır. Ölçüm çarpanı ve V_{IN} uyarılım gerilimi bilindiğinden, bilgisayar köprü çıkış voltajındaki değişimle gösterilen gerinim değerini hesaplayabilir. Eğer V_{IN} değeri bilinmiyorsa ya da zamanla değişime uğruyorsa, daha kesin V_r değeri alabilmek için DVM 'yle V_{OUT} 'un ölçümü sırasında onu da ölçebiliriz. Bu sıralı V_{IN} ölçümü, güç kaynağı için kararlılık şartlarını azaltır ve daha düşük maliyetteki birim kullanımına olanak verir. Bir önceki $\frac{1}{4}$ köprü örneğinde, köprünün ne dengelendiği ne de çıkışının gerçekten lineer olduğu kabul edilmişti. Bunun yerine gerinim için denklemler bilinen değerlerden ya da ölçülebilenlerden türetmiştik ve gerçek gerinim değerinin hesaplamak için bilgisayar kullanmıştık. Önceki örnekte, gerinim ölçümünün doğruluğunu etkileyen bazı varsayımlar mevcuttur:

- 3 inaktif köprü kolundaki dirençlerin gerinmemiş durumdan gerinmişe sabit kaldığını
- Yapılan ölçüm için DVM 'in yeterince doğruluğu, çözünürlüğü ve kararlılığı olduğu
- Aktif köprü kolundaki direnç değişiminin sadece gerinimden kaynaklandığını
- V_{IN} ve ölçüm çarpanlarının ikisinin de bilinen nicelikler olduğunu[19].

5.5. Potansiyel Hata Kaynakları

Gerilme analizlerinde, bütün ölçme cihazı bir basınç transdüserinde olduğu gibi kalibre edilemez. Bu nedenle potansiyel hata kaynaklarını öncelikle incelemek önemlidir.

Bazı gerinim ölçerler yerleştirme sırasında zarar görebilirler. Bu sebeple gerilme uygulamadan önce gerinim ölçerlerin dirençlerini kontrol etmek önemlidir.

Elektriksel gürültü ve girişimler okunan verileri değiştirebilir. Ekranlı kablo ve yeterli izolasyon kılıfı bu problemi önleyebilir. Ohm metre kullanılarak ölçülen 500MΩ dan daha küçük değerler yüzey kirliliğine işaret eder.

Ölçme devresinde aynı olmayan metallerin bağlanması ısıl çift etkisine sebep olarak termal olarak gerilim endüklenmesine sebep olur.

Değişken manyetik alan yakınındaki kablolarda manyetik olarak gerilim endüklenebilir. Manyetik endüklenme burulmuş kablo kullanılarak ve köprünün iki tarafı arasında minimum fakat eşit çevrim alanı ile kontrol edilebilir [20].

BÖLÜM 6. GERİNİM ÖLÇÜM TEST SİSTEMİ VE YAZILIMI

6.1. Testin Amacı

Isıl iletkenliğinin yüksekliği, üretilebilirliğinin kolay olması, fiyatının uygun olması ve öz kütlesinin düşük olması gibi nedenlerle bakır borular klima sistemlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Güvenilirlik deneyleri kapsamında yapılan bakır boru gerinim ölçümü bu deneylerin en önemlilerinden biridir. Bu testin yapılmasındaki amaç piyasada üretilmekte olan klimaların, bakır boruları üzerinde kompresör çalışması ile oluşan titreşim sebepli ve soğutucu gazların oluşturduğu basınç sebepli oluşan gerinimleri ölçmek ve gerilmeleri hesaplamaktır. Bu deney ile elde edilen veriler ile klimanın çalışması sırasında bakır borunun, yıllar boyu çatlamaması, kırılmaması ve bunların sonucu olarak ürünün içerisindeki soğutucu gazın sızmasını garanti altına almaktır.

Deneyden elde edilen veriler ile yapılan tasarımların doğruluğu, dayanımı ve ömrü hakkında analizler yapılabilmekte, bu analiz sonuçlarına göre maliyet düşürme çalışmaları, kalite kontrolleri yapılabilmektedir. Ayrıca, boruların gaz sızdırmaması garanti altına alınarak ozon tabakasını incelttiği bilinen soğutucu gazların atmosfere verdiği zararlarında önüne geçilebilmektedir. Klima içerisinde kullanılan bakır boruların genel görüntüsü Şekil 6.1’de verilmiştir.

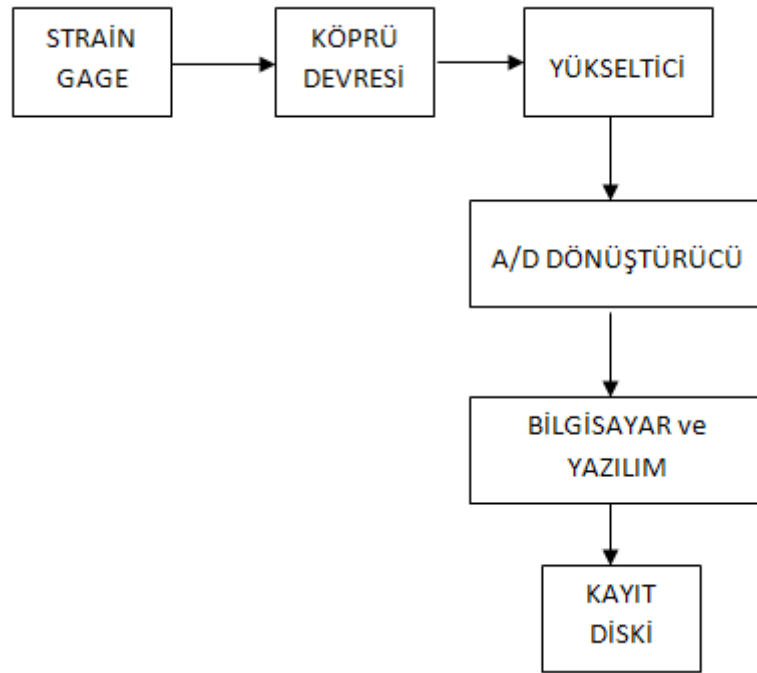


Şekil 6.1. Klima içerisinde kullanılan bakır boruların genel görüntüsü

6.2. Test Sisteminin Tanımı

Deney sisteminde kullanılan araçların ana amacı, belirlemek istenilen fiziksel büyüklüğü ölçülebilir bir fiziksel büyüklüğe çevirmektir [21]. Bu amaçla kullanılan ekipmanı aşağıdaki gibi kısımlara ayırabiliriz:

- Algılayıcılar,
- Yükselticiler ve Köprü Devresi
- Analog / Dijital çeviriciler,
- Bilgisayar
- Bilgisayar yazılımı



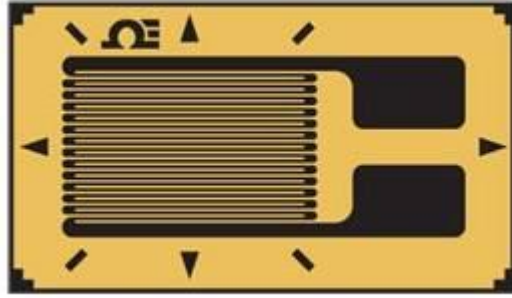
Şekil 6.2. Strain-Gage Ölçme Sistemi Akış Şeması

6.2.1. Algılayıcılar

Algılayıcılar ölçülecek fiziksel büyüklükleri bilgisayarın anlayabileceği fiziksel bir büyüklüğe dönüştürür. Dönüştürülen bu büyüklük genellikle; elektrik potansiyeli, ışık şiddeti, görüntü, manyetik alan vs. şeklindedir. Strain gage 'ler birim uzamaya karşılık direnç değişimi gösterirler. Gösterilen bu direnç değişimi aşağıda anlatılan köprü ve yükseltici devresi ile elektriksel potansiyele dönüştürülürler. Bu uygulamada Omega marka KFG-3-120-C1-11L1M2R strain gage ürünlerini kullandık. Ürün seçiminde üretici firma dökümanları ve teknik destek servisinin önerileri göz önünde bulundurulmuştur. Strain gage üretici firmalarının ürü seçimini kolaylaştırmak için genellikle çok geniş bir teknik doküman destekleri bulunmaktadır. Strain gage seçiminde öncelikle göz önünde bulundurulması gereken etkenler aşağıda sıralanmıştır [20].

- Ölçüm elemanı (gage) uzunluğu
- Direnç değeri
- Gerinime duyarlı alaşımın cinsi

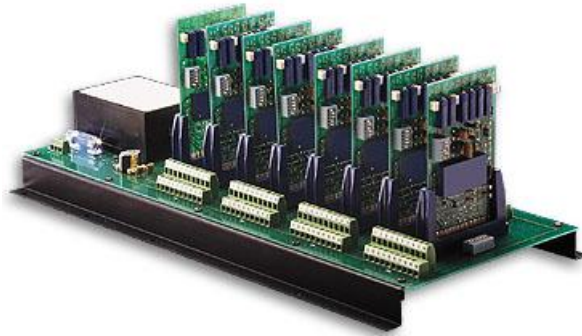
- Ölçüm elemanının (gage) deseni
- Taşıyıcı folyo malzemesi
- Ölçüm elemanı (gage) genişliği
- Lehimleme ucu tipi
- Kolay temin edilebilirlik



Şekil 6.3. Örnek bir strain gage görüntüsü

6.2.2. Köprü devresi ve yükselticiler

Strain Gage ölçümleri daha önceki bölümlerde belirtildiği üzere Whestone köprüsü yöntemi ile ölçülmektedir ve kullanılan aktif eleman sayısına göre tam, yarım ve çeyrek köprü olarak adlandırılırlar. Yarım ve çeyrek köprü ölçümlerinde köprüyü tamamlayacak harici dirençler kullanılmaktadır. Ayrıca köprü devresini besleyecek kararlı bir güç kaynağı ve köprünün verdiği μV seviyesindeki sinyal değişimini algılayarak güçlü bir çıkış sinyaline çevirerek analog-dijital dönüştürücüye ileten yükselticiler kullanılmaktadır. Bu uygulamada Omega OM2-8608 backplane ve OM2-163 köprü tamamlama ve yükseltici ünitesi kullanılmıştır.



Şekil 6.4. Omega OM2 serisi sinyal koşullayıcı

Omega OM2 serisi sinyal koşullayıcı enstrümantasyon için kullanışlı, hafif, doğru ve çoklu bir çözüm sunar. OM2-163 çeyrek, yarım ve tam köprü algılayıcılar için komple bir sinyal koşullama kartıdır. Bu kart yüksek performanslı bir enstrümantasyon yükselticisi, kullanıcı tarafından ayarlanabilen aktif bir filtre, yüksek kararlı bir güç kaynağı gibi ihtiyaç duyulan tüm bileşenleri üzerinde bulundurmaktadır.

6.2.3. Analog / digital dönüştürücüler

Dönüştürücüler, strain-gage yükselticilerinden gelen analog sinyalleri bilgisayarın anlayacağı dijital sinyallere dönüştürmektedir.

Bu uygulamada Agilent U2352A USB tabanlı çok fonksiyonlu veri toplama ve kontrol kartı kullanılmıştır. Yüksek performanslı dizayn teknolojisi bu ürünü endüstriyel ve bilimsel çalışmalar için uygun yapmaktadır. U2352A 16 bit analog giriş çözünürlüğüne ve 250 kSa/s örnekleme hızına sahiptir. Ayrıca cihaz üzerinde 24 bit dijital I/O ve iki adet genel amaçlı 31 bit dijital sayıcı vardır. Bu özellikleri ile genel amaçlı veri toplama ve otomasyon projeleri için uygun bir cihazdır. Cihaz içerisinde bulunan kalibrasyon kaynağı ile kendi kendini kalibre ederek, her ölçüm öncesinde varsa oluşan kaymaları düzeltir.

Agilent U2352A modüler bir cihaz olup yalnız başına doğrudan kullanılabilir gibi daha fazla ölçüm kanalı ve kontrol opsiyonu gerektiği durumlarda Agilent U2781A

içerisine yerleştirilerek diğer Agilent U serisi modüler cihazlar ile birlikte kullanılabilir. Ayrıca sistem entegratörlerinin minimum zaman harcayarak kolay çalışması için IVI driverları ve SCPI komutları popüler birçok uygulama geliştirme platformu ile uyumludur. Uyumlu olduğu uygulama geliştirme platformlarından bazıları: Agilent VEE, Microsoft Visual Studio.NET, C/C++ and Visual Basic 6, LabVIEW, MATLAB



Şekil 6.5. U2352A Modüler çok fonksiyonlu veri toplama cihazı

6.2.4. Bilgisayar

Bilgisayar gelen dijital sinyalleri üzerindeki program vasıtası ile işleyecek kapasitede seçilmektedir. Bu uygulamada sahada ve fabrika içerisinde farklı noktalarda ölçümler yapabilmek için dizüstü bir bilgisayar kullanılmıştır.

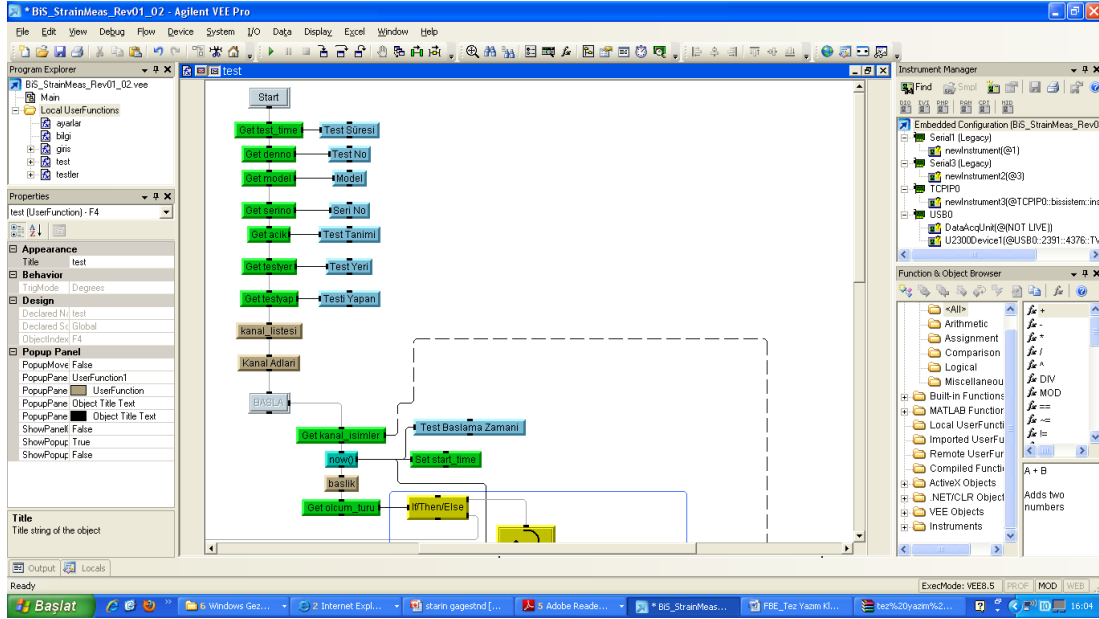
6.2.5. Bilgisayar yazılımı

Test yazılımı Agilent VEE ile hazırlanmıştır. Yazılım Agilent VEE üzerinde yazar tarafından hazırlanmıştır. Agilent VEE (Visual Engineering Environment) Agilent Technologies firmasının tescilli bir ürünüdür. Agilent VEE otomatik test, ölçüm ve gelişmiş analizler için güçlü bir grafiksel programlama ortamıdır. Kullanıcısına esnek ve sezgisel blok diyagramları ile program oluşturma imkânı verir. Menü ve

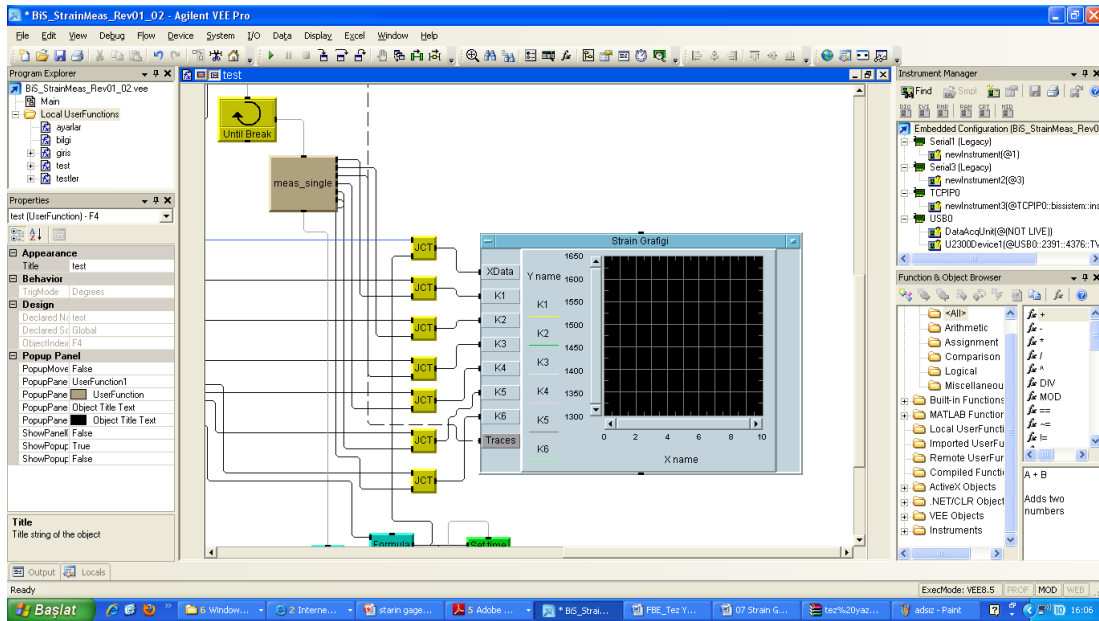
araç çubuklarından seçilen nesnelere çalışma ekranına eklenerek oluşturulacak algoritmaya göre ayarlanır ve birbirlerine bağlanır. Agilent VEE üretkenliği artırmak için popüler birçok diğer uygulama ve yazılım dillerini destekler. Bunlar arasında Visual Basic, C/C++, Visual C# ve bütün .NET ve ActiveX uyumlu diller vardır. Dahili MATLAB script ve MathWorks Sinyal İşleme araçları ile 1800 MATLAB fonksiyonu ve 1000 den fazla popüler MATLAB analiz ve izleme fonksiyonuna bir tıklama ile ulaşılabilir. MATLAB teknik bir programlama dilidir. MATLAB 'ın önemli üstünlüklerinden birisi, birçok klasik algoritmayı birkaç komut ile kullanıcının hizmetine sunmasıdır [22].

Agilent VEE test ve ölçüm uygulamaları ve programlarını kullanıcı ara yüzleri ile oluşturmak için kullanılan grafiksel programlama dilidir. Kompleks test ve ölçüm sistemleri üreten mühendis ve araştırmacılar için uygun bir üründür. VEE programları menülerden seçilen nesnelere ve bunların birbirine bağlanması ile oluşturulur. Bu özellik klasik komut setlerine göre anlaşılması çok daha kolay olan veri akış diyagramını andırır [23].

Yazar tarafından hazırlanan "Strain Gage Ölçüm Programı" nın kaynak kodlarının oluşturulduğu örnek ekran görüntüleri Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.6. Strain Gage Ölçüm Programı Kaynak Kodu Oluşturma Ekranı Örnek Görüntüsü

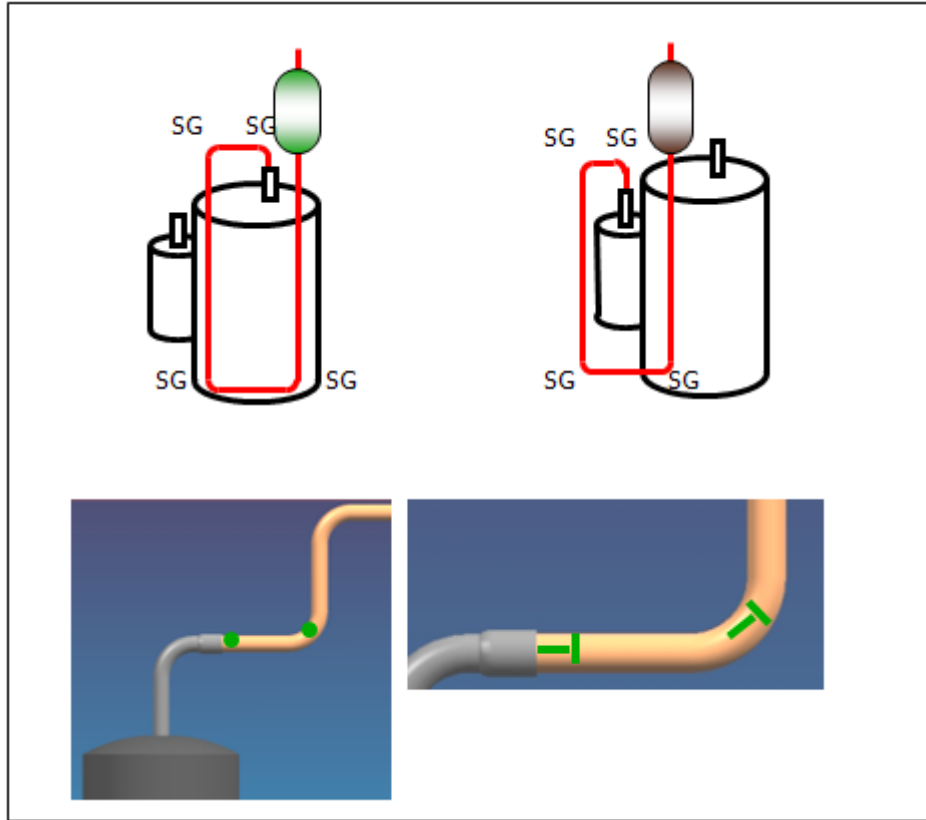


Şekil 6.7. Strain Gage Ölçüm Programı Kaynak Kodu Oluşturma Ekranı Örnek Görüntüsü

6.3. Algılayıcı (Strain Gage) Yerleşimi

Test için strain gage'ler Şekil 6.8'de gösterildiği gibi gerinin en yüksek olacağı bakır boru büküm noktalarına, boru kaynak noktalarının yakınına ve uzun boru hatların orta noktalarına yapıştırılmalıdır. Yapıştırma işlemi aşağıda tanımlanan yol

izlenerek boru üzerine dik ve yatay (X ve Y koordinatlarında) olarak yapılmalıdır (Şekil 6.8). Yapıştırma işlemi strain gage'e zarar vermeden, dikkatli ve kuvvetli olarak yapılmalıdır, böylece bakır boru üzerindeki gerinimlerin strain gage'e sorunsuz aktarımı gerçekleşecektir.



Şekil 6.8. Strain Gage Yerleşim Noktaları

6.3.1. Yapıştırılacak yüzeyin ve algılayıcının hazırlanması

Strain gage' in yapıştırılacağı yüzey yapıştırmaya uygun hale gelmesi için aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

- Pas, tortu boya ve diğer atıkların test yüzeyi ve çevresinden temizlenmesi gerekmektedir.
- Çukur, çıkıntı, çizik ve diğer kusurlar ezerek, eğileyerek veya diğer uygun metotlar ile düzeltilmelidir.

- Yüzeydeki yağlanmayı gidermek için çeşitli yağ çözücüler bir gazlı bez yardımı ile yüzeye sürülür ve yüzey kurulanır.
- Yüzey ile strain gage arasındaki yapışmanın kuvvetli olabilmesi için yüzeyin pürüzlü olması gerekir. Bu pürüz çok derin olursa algılamayı önleyen hava baloncukları oluşabilir. Yüzeyi pürüzlendirmek için zımpara kağıdı dairesel şekilde yüzey üzerinde hareket ettirilir.

Pürüzleştirilmiş yüzeydeki tüm kir ve tozlar dikkatlice temizlenmelidir. Bu yukarıda bahsedildiği gibi çözücü ile ıslatılmış gazlı bezlerle yapılmalıdır. Her bez temiz cımbız yardımıyla yüzeyden sadece bir kez geçirilir, bu işlem bez üzerinde herhangi bir leke kalmayınca kadar tekrar edilir. Temizlenen bölge kuru tutulmalıdır, nefes ya da parmak izi bırakılmamalıdır.

Strain gage üzerinde de kir ve tortu olmaması gerekmektedir. Eğer varsa bu kir ve tortu bir gazlı bez yardımı ile temizlenmelidir.

6.3.2. Algılayıcının yüzeye yapıştırılması

Yapıştırıcı kuruma süresi kısa olduğu için bir kere yapıştırma işlemine başladıktan sonra, strain gage in yeniden konumlandırılması mümkün olmamaktadır. Strain gage yapıştırılacak yüzey üzerine yerleştirilir ve üzerinden bir bant ile yapıştırılır. Yapıştırılan bant bir ucundan tutularak, diğer ucu yapışmış olarak kalacak şekilde, strain gage ile birlikte kaldırılır. Bu işlem yapıştırıcı sürüldükten sonra strain gage in hızlıca hizalanmasını sağlayacaktır. Strain gage in yapıştırılacağı yüzeye bir miktar yapıştırıcı sürülür ve bu yapıştırıcı teflon film yardımı ile yüzeye yayılır. Sonrasında strain gage menteşe gibi duran bant ile birlikte yapıştırıcı sürülmüş olan yüzeye yerleştirilir ve yapışma işlemi tamamlanana kadar üzerine bastırılır. Yapışma işlemini müteakip hizalama amaçlı kullanılan bant dikkatlice çıkarılır.

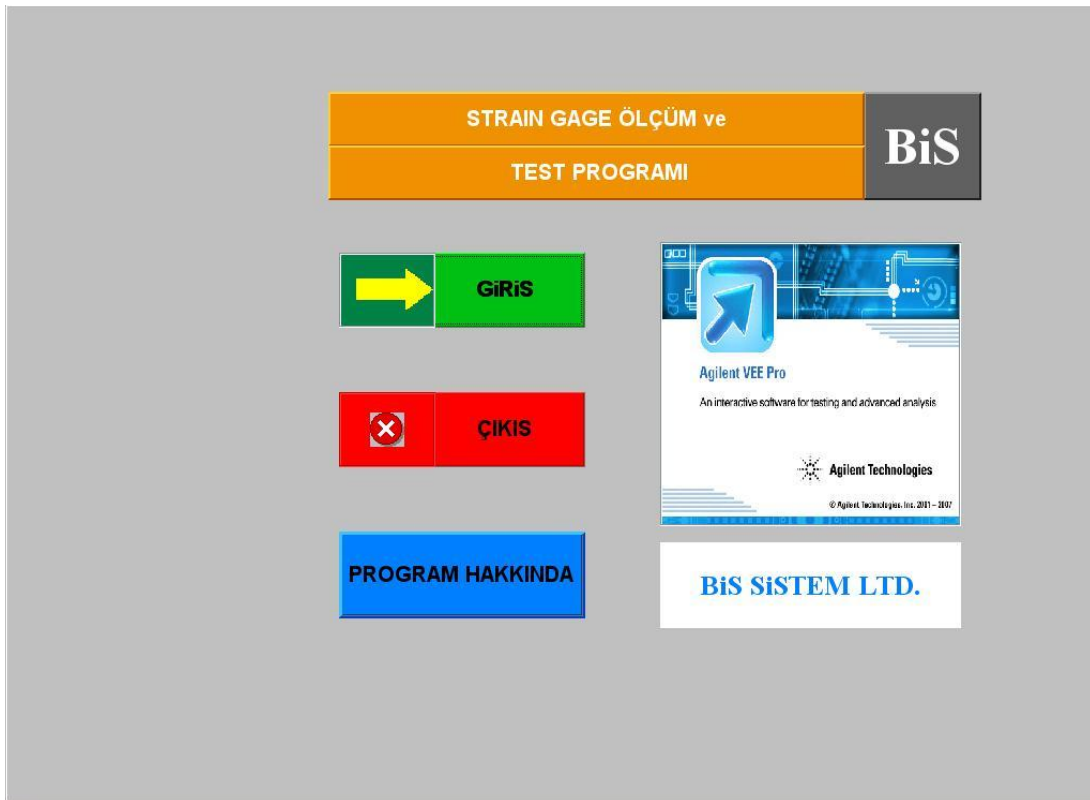
Starin gage' in kabloları da ölçümünü etkilemeyecek şekilde mekanik olarak veya yapıştırıcı ile sabitlenir.

6.4. Strain Gage Ölçüm Programı Kullanımı

“Strain Gage Ölçüm Programı” opsiyonel olarak ayarlanabilen süre ve opsiyonel olarak ayarlanabilen kanal sayıları ile ölçüm yapılacak noktalardan strain ve analog bilgilerini sisteme bağlı sensör ve kartlar vasıtası ile okur.

6.4.1. Programın çalıştırılması

a. Masa üstündeki “StrainMeas” ikonu fare ile çift tıklanır. Ekranı gelen GİRİŞ panelinde “Giriş” , “Çıkış” ve “Program Hakkında” butonları mevcuttur. (Şekil 6.9)



Şekil 6.9. Giriş Paneli

b. “Giriş” butonuna basılınca program bilgisayar ile Veri Toplama Sistemi arasında ki bağlantıları kontrol eder ve test ekranını açar. “Çıkış” butonuna basılınca program kapatılır. “Program Hakkında” butonuna basılınca program hakkındaki bilgileri içeren pencere açılır. (Şekil 6.10)



Şekil 6.10. Test Ekran Görüntüsü

c. “Program Giriş” ekranında bulunan “Programı Kapat” butonuna basıldığında açılan uyarı penceresinde EVET butonu ile program kapatılır. “Hayır” butonu ile “Program Giriş” ekranına geri dönlür. (Şekil 6.11)



Şekil 6.11. Uyarı Penceresi

d. “Başla” butonu basılınca “Test Bilgi Ekranı” açılır. (Şekil 6.12)

| TEST BİLGİ EKRANI | |
|---|----------------------|
| LÜTFEN TEST VE ÖLÇÜM BİLGİLERİNİ GİRİNİZ! | |
| Test No | Test Tanımı |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Model | Test Yeri |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Seri No-Parti No | Testi Yapan |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| TAMAM | İPTAL |

Şekil 6.12. Test bilgi Ekranı

“Test Bilgi Ekranı” penceresi ile “*Test No*”, “*Test Tanımı*”, “*Model*”, “*Test Yeri*”, “*Seri No-Parti No*” ve “*Testi Yapan*” bilgileri girilir. Gerekli bilgiler girildikten sonra istasyona ait teste devam edebilmek için “Tamam” butonuna basılmalıdır. “Çıkış” butonuna basılır ise “Test Bilgi Ekranı” penceresinden çıkılır. “Test Bilgi Ekranı” menüsü doldurulurken bütün bilgilerin eksiksiz bir şekilde doldurulmasına dikkat edilmelidir. Aksi halde “Tamam” butonuna basılır ise, program uyarı mesajı verecektir.

e. “Test Bilgi Ekranı” nda tüm bilgiler doğru olarak girilip “Tamam” butonuna basılınca “Kalibrasyon ve Ayar Ekranı” açılır. “Kalibrasyon ve Ayar Ekranı” nda kanallara yetkilendirme, isimlendirilme katsayı girişleri yapılır. (Şekil 6.13)

| Kalibrasyon ve Ayar Ekranı | | | | | |
|--------------------------------------|--|--------------------------------------|------------|--------------------------------------|-------|
| KANAL1 | | KANAL2 | | KANAL3 | |
| ◀ KAPALI | | ◀ KAPALI | | ◀ KAPALI | |
| ◀ AÇIK | | ◀ AÇIK | | ◀ AÇIK | |
| K1 (Volt) | | K2 (Volt) | | K3 (Volt) | |
| Kanal Adı-K1 | | Kanal Adı-K2 | | Kanal Adı-K3 | |
| Yüksüz Gerilim(V)-K1 | | Yüksüz Gerilim(V)-K2 | | Yüksüz Gerilim(V)-K3 | |
| 0 | | 0 | | 0 | |
| Simüle Edilen Strain(microstrain)-K1 | | Simüle Edilen Strain(microstrain)-K2 | | Simüle Edilen Strain(microstrain)-K3 | |
| 0 | | 0 | | 0 | |
| Tam Yük Gerilimi(V)-K1 | | Tam Yük Gerilimi(V)-K2 | | Tam Yük Gerilimi(V)-K3 | |
| 0 | | 0 | | 0 | |
| KANAL4 | | KANAL5 | | KANAL6 | |
| ◀ KAPALI | | ◀ KAPALI | | ◀ KAPALI | |
| ◀ AÇIK | | ◀ AÇIK | | ◀ AÇIK | |
| Kanal Adı-K4 | | Kanal Adı-K5 | | Kanal Adı-K6 | |
| Kazanc-K4 | | Kazanc-K5 | | Kazanc-K6 | |
| 1 | | 1 | | 1 | |
| ofset-K4 | | ofset-K5 | | ofset-K6 | |
| 0 | | 0 | | 0 | |
| Test Süresi | | | Ölçüm Türü | | TAMAM |
| dakika | | Saniye | | ZAMAN | |
| 0 | | 10 | | | HAVUZ |

Şekil 6.13. Kalibrasyon ve Ayar Ekranı

f. “Kalibrasyon ve Ayar Ekranı” nda kanal 1, kanal 2 ve kanal 3 strain gage ölçümleri, kanal 4, kanal 5 ve kanal 6 analog sensör (sıcaklık, basınç, nem vb.) ölçümleri yapılabilir.

g. “Kalibrasyon ve Ayar Ekranı” ‘nda her bir kanal için kapalı/açık yetkilendirme seçeneği bulunmaktadır. Açık olarak işaretlenen kanallardan ölçümler alınarak grafiklenir ve rapor dosyasına kayıt edilir.

h. “Kalibrasyon ve Ayar Ekranı” nda isimlendirme yapılacak kanalların adları “Kanal Adı” veri girişi sekmesine yazılarak isimlendirilir.

i. “Kalibrasyon ve Ayar Ekranı” nda strain gage kanalları için “Yüksüz Gerilim Değeri” strain gageler ilgili yüzeye bağlandıktan sonra bir gerilime maruz bırakılmadan okunan değerdir. Bu değer ilgili kanal için “K1 (Volt)” bölümünden okunarak yazılır.

j. “Kalibrasyon ve Ayar Ekranı” nda strain gage kanalları için “Simule Edilen Strain” değeri ölçümlerde kullanılacak ölçüm aralığının üst değeridir. Bu değer strain gageler ilgili yüzeye bağlandıktan sonra bir gerilime maruz bırakılmadan, “Calibration Resistors” tablosundan bulunacak direnç değeri ile simule edilir.

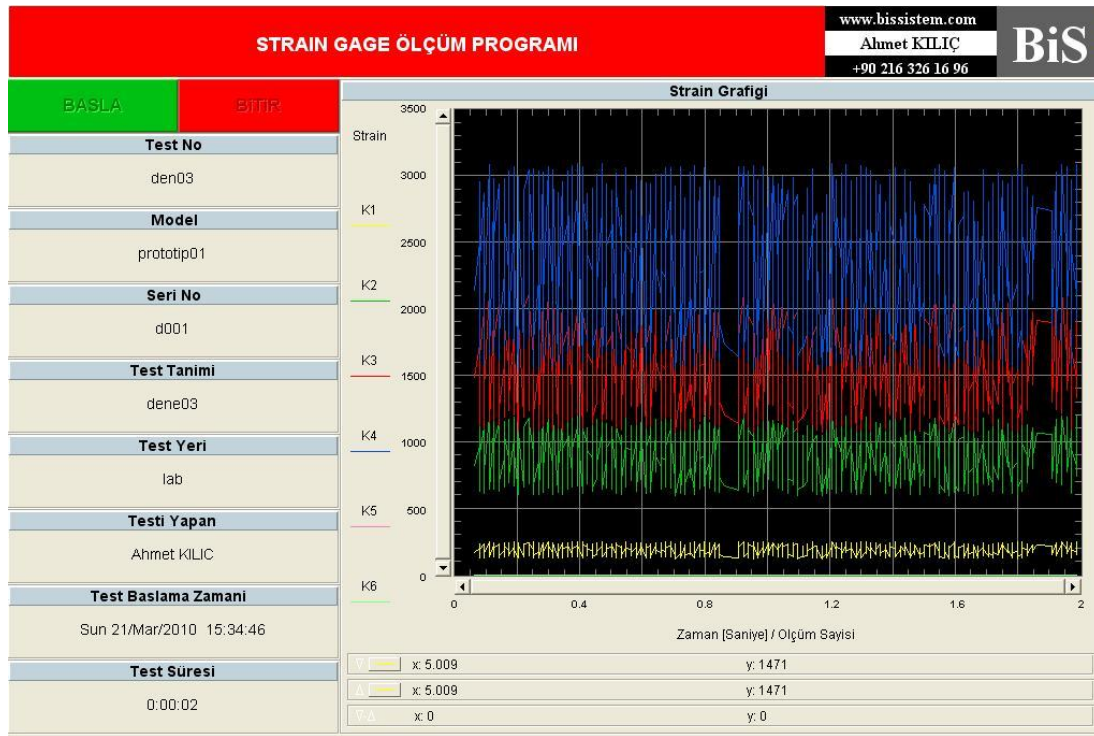
k. “Kalibrasyon ve Ayar Ekranı” nda strain gage kanalları için “Tam Yük Gerilim Değeri” strain gageler ilgili yüzeye bağlandıktan sonra bir gerilime maruz bırakılmadan “Tablo 6.1 Kalibrasyon Dirençleri” tablosundan bulunan direnç değeri strain gage’e paralel bağlandığında okunan değerdir. Bu değer ilgili kanal için “K1 (Volt)” bölümünden okunarak yazılır.

Tablo 6.1 Kalibrasyon Dirençleri [24]

| K | Strain = 1×10^{-2} in/in | | | | Strain = 1×10^{-3} in/in | | | | Strain = 1×10^{-4} in/in | | | |
|------|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | 120 Ω | 150 Ω | 300 Ω | 350 Ω | 120 Ω | 150 Ω | 300 Ω | 350 Ω | 120 Ω | 150 Ω | 300 Ω | 350 Ω |
| 1-70 | 6940 | 8674 | 17350 | 20238 | 70470 | 88085 | 176200 | 205532 | 705800 | 882202 | 1764000 | 2053474 |
| 1-80 | 6550 | 8183 | 16370 | 19094 | 66550 | 83183 | 166400 | 194094 | 666500 | 833183 | 1666000 | 1944094 |
| 1-90 | 6200 | 7745 | 15490 | 18071 | 63040 | 78799 | 157600 | 183864 | 631500 | 789344 | 1579000 | 1841755 |
| 1-94 | 6070 | 7582 | 15160 | 17691 | 61740 | 77170 | 154300 | 180063 | 618400 | 773046 | 1546000 | 1803774 |
| 1-98 | 5940 | 7426 | 14850 | 17327 | 60490 | 75608 | 151200 | 176419 | 605900 | 757426 | 1515000 | 1767327 |
| 2-00 | 5880 | 7350 | 14700 | 17150 | 59880 | 74850 | 149700 | 174650 | 599900 | 749850 | 1500000 | 1749650 |
| 2-01 | 5850 | 7312 | 14620 | 17061 | 59580 | 74476 | 149000 | 173778 | 596900 | 746119 | 1492000 | 1740944 |
| 2-02 | 5820 | 7276 | 14550 | 16977 | 59290 | 74107 | 148200 | 172916 | 594000 | 742424 | 1485000 | 1732323 |
| 2-03 | 5790 | 7239 | 14480 | 16891 | 58990 | 73742 | 147500 | 172065 | 591000 | 738766 | 1478000 | 1723788 |
| 2-04 | 5760 | 7203 | 14410 | 16807 | 58700 | 73379 | 146800 | 171218 | 588100 | 735144 | 1470000 | 1715686 |
| 2-05 | 5730 | 7167 | 14330 | 16723 | 58420 | 73021 | 146000 | 170382 | 585200 | 731557 | 1463000 | 1706967 |
| 2-06 | 5700 | 7131 | 14260 | 16639 | 58130 | 72666 | 145300 | 169554 | 582400 | 728005 | 1456000 | 1698679 |
| 2-07 | 5680 | 7096 | 14190 | 16557 | 57880 | 72314 | 144600 | 168733 | 579600 | 724488 | 1449000 | 1690471 |
| 2-08 | 5650 | 7061 | 14120 | 16476 | 57570 | 71965 | 143900 | 167918 | 576800 | 721004 | 1442000 | 1682342 |
| 2-09 | 5620 | 7027 | 14050 | 16396 | 57300 | 71620 | 143200 | 167113 | 574000 | 717553 | 1435000 | 1674641 |
| 2-10 | 5590 | 6993 | 13990 | 16317 | 57020 | 71279 | 142600 | 166318 | 571300 | 714136 | 1428000 | 1666317 |
| 2-60 | 4490 | 5619 | 11240 | 13111 | 46030 | 57542 | 115100 | 134265 | 461400 | 576773 | 1154000 | 1345804 |
| 2-70 | 4320 | 5405 | 10810 | 12612 | 44320 | 55406 | 110800 | 129281 | 444300 | 555406 | 1111000 | 1295946 |
| 2-80 | 4170 | 5207 | 10410 | 12150 | 42740 | 53421 | 106800 | 124649 | 428500 | 534564 | 1071000 | 1249650 |
| 3-00 | 3880 | 4850 | 9700 | 11317 | 39880 | 49850 | 99700 | 116317 | 399900 | 499850 | 999700 | 1666317 |
| 3-10 | 3750 | 4689 | 9780 | 10941 | 38590 | 48237 | 96470 | 112553 | 387000 | 483721 | 967400 | 1128682 |
| 3-20 | 3630 | 4532 | 9080 | 10575 | 37380 | 46725 | 93450 | 109025 | 374900 | 468600 | 937200 | 1093400 |
| 3-30 | 3520 | 4395 | 8790 | 10255 | 36240 | 45304 | 90610 | 105709 | 363500 | 454395 | 908800 | 1060256 |
| 3-40 | 3410 | 4262 | 8520 | 9945 | 35170 | 43968 | 87940 | 102592 | 352800 | 441026 | 882000 | 1029062 |
| 3-50 | 3310 | 4136 | 8270 | 9650 | 34170 | 42707 | 85410 | 99650 | 342700 | 428421 | 856800 | 999650 |

l. “Kalibrasyon ve Ayar Ekranı” nda analog kanalları için katsayılar girilir. Katsayılar $Mx+B$ şeklinde bir fonksiyona tanımlanır. M ölçülen değer için çarpan, B ise ofset değeridir.

m. “Kalibrasyon ve Ayar Ekranı” nda gerekli katsayılar tanımlanıp “Tamam” butonuna basılınca “Test ve Ölçüm” ekranı açılır. (Şekil 6.14)



Şekil 6.14. Test ve Ölçüm Ekranı

n. “Test ve Ölçüm” ekranında “Başla” butonu ile ilgili test başlatılır ve “Bitir” butonu ile tanımlanan test süresi beklenmeden ilgili test bitirilir.

o. “Test ve Ölçüm” ekranı sol tarafında test başında girilen ve rapor dosyasına girilen test bilgileri görüntülenir. (“Test No”, “Test Tanımı”, “Model”, “Test Yeri”, “Seri No-Parti No”, “Testi Yapan” “Test Başlama Zamanı” ve “Test Süresi”)

p. “Test ve Ölçüm” ekranında bulunan grafikte ölçülen dataların seçime göre zamana veya ölçüm sayısının göre grafiklenir.

q. “Bitir” butonu ile test bitirildiğinde veya test başlangıcında belirtilen test süresi sonunda test sonlandırılır ve rapor ekranı açılır. (Şekil 6.15)

| TEST BITİMİ |
|--------------------------|
| TEST BITTİ |
| TEST SURESI |
| 0/00:00:02 |
| BASLANGIÇ ZAMANI |
| Sun 21/Mar/2010 15:34:46 |
| BITİS ZAMANI |
| Sun 21/Mar/2010 15:34:48 |
| OK |

Şekil 6.15. Test Bitti Rapor Ekranı

r. “Test Bitimi” rapor ekranında “Ok” butonu ile “Program Giriş” ekranına dönlür. (Şekil 6.10.)

s. Test süresince alınan tüm veriler ve test başlangıcında girilen veriler D sürücüsü altında belirtilen rapor klasörüne kayıt edilmiştir. Alınan bu dataları tekrar grafiklemek veya stres analizleri için kullanılan özel analiz programlarına aktarmak mümkündür.

6.5. Veri Değerlendirmesi

Bir işletmede üretim ve tasarım sürecinde her çalışan bir sonraki sürece hatasız mal göndermeye çalışırsa, teorik olarak “hatasız üretim” gerçekleşmiş, pratikte ise hatasız üretime yaklaşmış olunur.

Bir ürünün imajı iyi, pazar payı yüksek ise yeni üretilecek ürünlerinde pazar payları yüksek olacaktır. Bir malın kalitesi yetersiz ise yeni bir ürün üretmek yerine, öncelikle aynı markanın imajını düzeltmeye çalışmak ilerisi için daha faydalı

olabilmektedir. Sürekli iyileştirme düşüncesinde, “daha iyi nasıl yapılabilir?” sorusu vardır. Bu yaklaşım, daha önce yapılmış ve mükemmel olarak nitelendirilebilecek tüm sistemlerin zamanla niteliklerini yitirmesine karşı, kurulu sistemin geliştirilmesine dayanır.

Toplanan verilerin analizleri ve karşılaştırmaları yapılarak ürün kalitesini artırma ve sürdürmeyi garanti altına alacak çalışmalar yapılabilir. Veriler ile yapılan değerlendirmeler sonucu problemlı bölgeler ve ürünler için gerekli iyileştirmeler yapılarak, hatalı ürünlerin son kullanıcıya gitmesi engellenmektedir.

BÖLÜM 7. SONUÇ

Yapılan testlerin sonuçlarının yorumlanabilmesi ve yapılan ölçümlerin güvenilirliklerinden emin olmak için ölçüm teknikleri ve yöntemlerini iyi etüt etmek gerekir. Pratik uygulaması yapılan bu çalışmada oluşturulan test düzeneği ile klimalarda kullanılan bakır boruların çalışma ömürlerine ilişkin veriler elde edilebilmektedir. Çalışma ömürleri bilinmeyen bakır borular işletmeleri ciddi sıkıntılar ile karşı karşıya bırakabilmektedir. Çünkü klimalarda kullanılan bu bakır borular klimanın ana elemanlarından biri olup, özel kaynak yöntemleri ile montajı gerçekleştirilmektedir. Bu sebep ile bir çatlama, kırılma vb. olduğunda yetkili servisler tarafından da değiştirilememektedir ve kullanıcıya yeni bir ürün verilmesi gerekmektedir.

Bakır borulardan gerinim ölçümü ile mevcut ürünlerin ve ucuzlatma projelerinde yeni tasarımın deneysel anlamda mukavemeti ve uzun süre kullanımda aynı mukavemeti koruması deneylerle garanti altına alınmaktadır.

Yapılan deneylerde elde edilen verilerle ürünün emme ve basma hatlarının kompresöre yakın olan kısımlarında daha fazla gerinimler olduğu gözlenmiştir. Gerinimler özellikle bakır boru büküm noktalarının iç yüzeylerinde, kaynak noktalarına yakın yüzeylerde ve uzun hatların orta noktalarında artış göstermektedir. Bu bölgelerde titreşim sebepli oluşan gerinimleri azaltmak için titreşim sönümleyici olarak denge ağırlığı ve kauçuk yumuşak malzemeler kullanılmıştır. Kullanılacak titreşim sönümleyicilerin seçiminde elde edilen ölçüm sonuçlarından faydalanılmıştır. Yerleştirilen titreşim sönümleyicilerin etkilerini görmek için tekrarlı testler yapılarak, yeni veriler elde edilmiş olup, bu verilerle en uygun çözümler belirlenmiştir. Yerleştirilen titreşim sönümleyiciler birçok modelde gerinmelerin kabul edilebilir seviyelere inmesini sağlamıştır. Ancak sönümleyicilerin yeterli

olmadığı durumlarda yapılan bakır boru tasarımlarının tekrar gözden geçirilerek, tasarımda iyileştirmeler yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Gerçekleştirilen bu tümleşik çözüm ile üreticinin daha etkin test yapması sağlanmıştır. Yapılan ölçüm ve analizler ile tasarım mühendislerine daha geniş imkânlar sunulmuş olup, yeni ve daha kaliteli ürünler geliştirmek için test sistemi kullanıcılarına rekabet avantajı kazandırılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] BİNİCİ, İ., Endüstriyel Ölçme ve Kalibrasyon, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2001.
- [2] PARK, J. , MACKAY, S. , Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems, Elsevier, 2003.
- [3] VXI Technology, Fundamentals of Data Acquisition, Product Catalog and Engineering Handbook, 2005.
- [4] GÜRDAL, O. , Algılayıcılar ve Dönüştürücüler, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2000.
- [5] HANSMAN, J. , Characteristics of Instrumentation, Measurement Instrumentation and Sensors Handbook, Florida, CRC Press LLC, 1999.
- [6] JOHNSON, C.D. , Process Control Instrumentation Technology, Prentice-Hall International Inc, Houston 1997.
- [7] FIGLIOLA, R. , Operational Modes of Instrumentation, Measurement Instrumentation and Sensors Handbook, Florida, CRC Press LLC, 1999.
- [8] DOEBELIN, E. , Measurement Systems, 4th ed., New York: McGraw-Hill 1990.
- [9] FIGLIOLA, R. , ve BEASLEY, R. , Theory and Design for Mechanical Measurements, 2nd ed. , New York: Wiley, 1995.
- [10] WOBSCHALL, D. , Circuit Design for Electronic Instrumentation: Analog and Digital Devices from Sensor to Display, 2nd ed., New York: McGraw-Hill, 1987.
- [11] SHARP, D. , Measurement Standards, Florida, CRC Press LLC, 1999.
- [12] NIST Special Publication 250 Appendix, Fee Schedule, U.S. Dept of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology, Calibration Program, Bldg. 820, Room 232, Gaithersburg, MD, 20899-0001.
- [13] TAYLOR, B. , NIST Special Publication 811, Guide for the Use of the International System of Units(SI), U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 20899-0001, 1995.

- [14] KELVIN, H. A. ,The Science of Measurement: A Historical Survey , New York: Dover Publications, Inc.,1974.
- [15] TAYLOR, B. , ve KUYATT, C. , Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results,NIST Technical Note 1297.,1994.
- [16] COCHRANE, R. , Measures for Progress — History of the National Bureau of Standards, published by the United States Department of Commerce.1966.
- [17] NIST Standard Reference Material Catalog, NIST Special Publication 260, NIST CODEN: XNBSAV, Available from the Superintendent of Documents, Washington, D.C. 20402.
- [18] International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, ISO, 1993.
- [19] VXI Technology, Practical Strain Gage, Product Catalog and Engineering Handbook, 2005.
- [20] Omega, The Pressure Strain and Force Handbook, Curtis Publishing Company, 2000
- [21] ÜNSAN Y. , İNSEL M. Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İTÜ – İstanbul, 23-25 Kasım 2005,
- [22] ARİFOĞLU, U. , Matlab Simulink ve Mühendislik Uygulamaları, Alfa Yayınları, İstanbul,2005.
- [23] Agilent Technologies, Agilent VEE Pro User’s Guide, USA, 2005.
- [24] REED, H. , Strain Gage Users Handbook, Elsevier Science Publishers & Society for Experimental Mechanics, 1999

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Kılıç, 01.06.1983 'te Giresun' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Giresun'da tamamladı. 2001 yılında Hamdi Bozbağ Anadolu Lisesi, Fen Bilimleri Bölümünden mezun oldu. 2001 yılında Sakarya Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2005 yılında mezun oldu. 2005 – 2009 yılları arasında BİS Sistem Ltd. Şti.nde proje mühendisi olarak çalıştı. Bu süre içerisinde şirketin AR-GE projelerinde aktif rol aldı. Şu anda BİS Sistem Ltd. Şirketi'nde Uzman Proje Mühendisi olarak görev yapmaktadır.