

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE YAPILAN ELEKTRİKSEL
ÖLÇÜMLER, TESTLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Sezai TAŞKIN
141101219990107

704622

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN
Yrd.Doç.Dr. Koray TUNÇALP

İSTANBUL 2001

104622

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABUL VE ONAY BELGESİ

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE YAPILAN ELEKTRİKSEL ÖLÇÜMLER ,
TESTLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

Sezai TAŞKIN'ın "Otomotiv Sektöründe Yapılan Elektriksel Ölçümler , Testler ve Çözüm Önerileri" isimli Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı Elektrik Eğitimi Programında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman Yrd.Doç.Dr. Koray TUNÇALP (Marmara Üniversitesi)

Üye :.....Doç.Dr.....Mehmet.....TEKİN.....

Üye :.....Yrd.Doç.Dr.....Reşit.....ERGUTİN.....

Tezin Savunulduğu Tarih :

ONAY

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26.11.2001 tarih ve 2001/21-44 sayılı kararı ile Sezai TAŞKIN'ın Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı Elektrik Eğitimi Programında Yüksek Lisans (MSc.) derecesi alması onanmıştır.

Marmara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Adnan AYDIN
MÜDÜR



ÖNSÖZ

Bu çalışmada, ölçme sistemleri hakkında genel bilgiler verildikten sonra, gerilme ve sıcaklık ölçümünde önemli yer tutan Strain Gauge ve Termokupl ölçme elemanlarının otomotiv sektöründeki kullanımları araştırılmıştır. Konuyla ilgili uygulama bazında Mercedes-Benz Türk A.Ş Geliştirme ve Test Merkezi'nde şehirlerarası yolcu otobüsleri üzerinde yapılan elektriksel ölçümlerden örnekler verilmiştir.

Bu çalışma sahip olduğu içerik ve uygulama örnekleri bakımından ölçme ve enstrümantasyon konusuna ilgi duyanlara yardımcı olabilir. Verilen teorik bilgilerin gerçekleştirilmesi için sanayi sektöründeki uygulamalara önemli miktarda yer verilmiştir.

Yüksek Lisans tezimin bu aşamaya gelmesinde büyük destek, teşvik ve yönlendirmeleri olan danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr. Koray TUNÇALP'e, deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Mercedes-Benz Türk A.Ş Geliştirme ve Test Merkezi'nden başta Sayın Habib KAYMAZ ve Sayın Kıvanç AGUR olmak üzere tüm çalışanlarına, desteklerinden dolayı arkadaşlarıma ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ekim, 2001

Sezai TAŞKIN

ÖZET

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE YAPILAN ELEKTRİKSEL ÖLÇÜMLER, TESTLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Yolcu taşıtlarında hafiflik ve sessizlik beklentileri birbiriyle çelişmektedir. Daha az yakıt tüketimi için bir taşıtın optimum ağırlıkta olması gerekirken, diğer taraftan yolcuların sağlığı ve konforu açısından kabindeki sıcaklık ve gürültü seviyelerinin de azaltılması gerekmektedir. Bu amaçla taşıtlarda sıcaklık, gürültü ve diğer büyüklüklerin sürekli olarak kontrol edilmesi yani ölçülerek belirlenmesi gerekmektedir.

Ülkemizde şehirlerarası ulaşımlarda çoğunlukla yolcu otobüsleri tercih edilmektedir. Seyahatlerde güvenlik, konfor ve sağlık açısından aracın yolcu beklentilerine en iyi biçimde cevap vermesi istenir. Bu amaçla çeşitli otobüs üretici firmalar tasarım aşamasında bir çok deneme ve test çalışması yapmaktadırlar.

Bu çalışmada ilk olarak, ölçme sistemleri hakkında genel bilgiler verildikten sonra gerilme ve sıcaklık ölçümünde önemli yer tutan Strain Gauge ve Termokupl ölçme elemanlarının otomotiv sektöründeki kullanımları araştırılmıştır.

Konuyla ilgili uygulama bazında Mercedes-Benz Geliştirme ve Test Merkezi'nde şehirlerarası yolcu otobüsleri üzerinde elektriksel ölçümler yapılmıştır. Birinci öncelikli olarak güvenlikle birlikte araç hafiflik ve sessizlik beklentisi göz önüne alınarak, strain gaugelerle çeşitli mekanik aksamlar üzerine gelen gerilme ölçümlerine yer verilmiştir. Daha sonra, yolcu otobüslerinde şoför yatma yeri klima ısıtma ve soğutma performansının incelenmesi açısından termokupllarla sıcaklık ve araç içi gürültü dağılımlarının belirlenmesi ölçümlerine yer verilmiştir. Deneysel çalışmalardan alınan veriler yolcu sağlığı ve konforu açısından değerlendirilmiştir.

ÖZET

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE YAPILAN ELEKTRİKSEL ÖLÇÜMLER, TESTLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Yolcu taşıtlarında hafiflik ve sessizlik beklentileri birbiriyle çelişmektedir. Daha az yakıt tüketimi için bir taşıtın optimum ağırlıkta olması gerekirken, diğer taraftan yolcuların sağlığı ve konforu açısından kabindeki sıcaklık ve gürültü seviyelerinin de azaltılması gerekmektedir. Bu amaçla taşıtlarda sıcaklık, gürültü ve diğer büyüklüklerin sürekli olarak kontrol edilmesi yani ölçülerek belirlenmesi gerekmektedir.

Ülkemizde şehirlerarası ulaşımlarda çoğunlukla yolcu otobüsleri tercih edilmektedir. Seyahatlerde güvenlik, konfor ve sağlık açısından aracın yolcu beklentilerine en iyi biçimde cevap vermesi istenir. Bu amaçla çeşitli otobüs üretici firmalar tasarım aşamasında bir çok deneme ve test çalışması yapmaktadırlar.

Bu çalışmada ilk olarak, ölçme sistemleri hakkında genel bilgiler verildikten sonra gerilme ve sıcaklık ölçümünde önemli yer tutan Strain Gauge ve Termokupl ölçme elemanlarının otomotiv sektöründeki kullanımları araştırılmıştır.

Konuyla ilgili uygulama bazında Mercedes-Benz Geliştirme ve Test Merkezi'nde şehirlerarası yolcu otobüsleri üzerinde elektriksel ölçümler yapılmıştır. Birinci öncelikli olarak güvenlikle birlikte araç hafiflik ve sessizlik beklentisi göz önüne alınarak, strain gaugelerle çeşitli mekanik aksamlar üzerine gelen gerilme ölçümlerine yer verilmiştir. Daha sonra, yolcu otobüslerinde şoför yatma yeri klima ısıtma ve soğutma performansının incelenmesi açısından termokupllarla sıcaklık ve araç içi gürültü dağılımlarının belirlenmesi ölçümlerine yer verilmiştir. Deneysel çalışmalardan alınan veriler yolcu sağlığı ve konforu açısından değerlendirilmiştir.

ÖZET

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE YAPILAN ELEKTRİKSEL ÖLÇÜMLER, TESTLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Yolcu taşıtlarında hafiflik ve sessizlik beklentileri birbiriyle çelişmektedir. Daha az yakıt tüketimi için bir taşıtın optimum ağırlıkta olması gerekirken, diğer taraftan yolcuların sağlığı ve konforu açısından kabindeki sıcaklık ve gürültü seviyelerinin de azaltılması gerekmektedir. Bu amaçla taşıtlarda sıcaklık, gürültü ve diğer büyüklüklerin sürekli olarak kontrol edilmesi yani ölçülerek belirlenmesi gerekmektedir.

Ülkemizde şehirlerarası ulaşımlarda çoğunlukla yolcu otobüsleri tercih edilmektedir. Seyahatlerde güvenlik, konfor ve sağlık açısından aracın yolcu beklentilerine en iyi biçimde cevap vermesi istenir. Bu amaçla çeşitli otobüs üretici firmalar tasarım aşamasında bir çok deneme ve test çalışması yapmaktadırlar.

Bu çalışmada ilk olarak, ölçme sistemleri hakkında genel bilgiler verildikten sonra gerilme ve sıcaklık ölçümünde önemli yer tutan Strain Gauge ve Termokupl ölçme elemanlarının otomotiv sektöründeki kullanımları araştırılmıştır.

Konuyla ilgili uygulama bazında Mercedes-Benz Geliştirme ve Test Merkezi'nde şehirlerarası yolcu otobüsleri üzerinde elektriksel ölçümler yapılmıştır. Birinci öncelikli olarak güvenlikle birlikte araç hafiflik ve sessizlik beklentisi göz önüne alınarak, strain gaugelerle çeşitli mekanik aksamlar üzerine gelen gerilme ölçümlerine yer verilmiştir. Daha sonra, yolcu otobüslerinde şoför yatma yeri klima ısıtma ve soğutma performansının incelenmesi açısından termokupllarla sıcaklık ve araç içi gürültü dağılımlarının belirlenmesi ölçümlerine yer verilmiştir. Deneysel çalışmalardan alınan veriler yolcu sağlığı ve konforu açısından değerlendirilmiştir.

ÖZET

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE YAPILAN ELEKTRİKSEL ÖLÇÜMLER, TESTLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Yolcu taşıtlarında hafiflik ve sessizlik beklentileri birbiriyle çelişmektedir. Daha az yakıt tüketimi için bir taşıtın optimum ağırlıkta olması gerekirken, diğer taraftan yolcuların sağlığı ve konforu açısından kabindeki sıcaklık ve gürültü seviyelerinin de azaltılması gerekmektedir. Bu amaçla taşıtlarda sıcaklık, gürültü ve diğer büyüklüklerin sürekli olarak kontrol edilmesi yani ölçülerek belirlenmesi gerekmektedir.

Ülkemizde şehirlerarası ulaşımlarda çoğunlukla yolcu otobüsleri tercih edilmektedir. Seyahatlerde güvenlik, konfor ve sağlık açısından aracın yolcu beklentilerine en iyi biçimde cevap vermesi istenir. Bu amaçla çeşitli otobüs üretici firmalar tasarım aşamasında bir çok deneme ve test çalışması yapmaktadırlar.

Bu çalışmada ilk olarak, ölçme sistemleri hakkında genel bilgiler verildikten sonra gerilme ve sıcaklık ölçümünde önemli yer tutan Strain Gauge ve Termokupl ölçme elemanlarının otomotiv sektöründeki kullanımları araştırılmıştır.

Konuyla ilgili uygulama bazında Mercedes-Benz Geliştirme ve Test Merkezi'nde şehirlerarası yolcu otobüsleri üzerinde elektriksel ölçümler yapılmıştır. Birinci öncelikli olarak güvenlikle birlikte araç hafiflik ve sessizlik beklentisi göz önüne alınarak, strain gaugelerle çeşitli mekanik aksamlar üzerine gelen gerilme ölçümlerine yer verilmiştir. Daha sonra, yolcu otobüslerinde şoför yatma yeri klima ısıtma ve soğutma performansının incelenmesi açısından termokupllarla sıcaklık ve araç içi gürültü dağılımlarının belirlenmesi ölçümlerine yer verilmiştir. Deneysel çalışmalardan alınan veriler yolcu sağlığı ve konforu açısından değerlendirilmiştir.

ABSTRACT

ELECTRICAL MEASUREMENTS, TESTS AND SOLUTION SUGGESTIONS IN AUTOMOTIVE SECTOR

Lightness and silence are generally in contradiction in traveller vehicles. While a vehicle must be at optimum weight for less fuel consumption, on the other hand the heat and noise levels must be reduced for travellers' health and comfort. In order to arrive this aim heat, noise and other quantities in vehicles have to be controlled and measured.

In our country, buses are generally preferred for trips between cities. A vehicle must be reply traveller's expectations in trips for safety, comfort and health. For this purpose, various bus manufacturers make many experiments and tests at design stage.

In this study, at first after general information about measurement systems are given, Strain Gauge and Thermocouple Measurement Technologies which are so important takes part of stress and heat measurement in automotive sector is researched.

Electrical measurements have been made at Mercedes-Benz Test and Development Center about this subject in application basics. At first, taking into consideration safety, lightness and silence, stress measurements at various components are measured by strain gauges. Then, for investigation of bus air conditioner heating and cooling system performance, heating measurement is done by thermocouples. Finally, noise level in bus is compared with standards and experiment results are evaluated for travellers' health and comfort.

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA NO</u>
ÖNSÖZ.....	I
SEMBOL LİSTESİ	VII
KISALTMALAR.....	VIII
ŞEKİL LİSTESİ.....	IX
TABLO LİSTESİ.....	XIII
ÖZET	XIV
ABSTRACT	XV
YENİLİK BEYANI.....	XVI
BÖLÜM I.....	1
GİRİŞ VE AMAÇ	1
I.1. GİRİŞ	1
I.2. AMAÇ	2
BÖLÜM II	3
II.1. ÖLÇME SİSTEMLERİ	3
II.1.1. Ölçme Sistemlerinin Fonksiyonel Elemanları	5
II.1.1.1. Algılayıcı	5
II.1.1.2. Sinyal Koşullandırıcı	5
II.1.1.3. Sinyal İşleyici	6
II.1.1.4. Veri Gösterimi	6
II.1.1.5. Bilgi Taşıma Sistemleri	8
II.2. SİNYALLER VE STANDARTLAR.....	9

II.2.1. Sinyallerde 4-20 mA Standardı.....	9
II.2.2. Tanımlar ve Terimler	13
II.2.2.1. Aralık ve Açıklık.....	13
II.2.2.2. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Elemanlar	14
II.2.2.3. Duyarlılık.....	15
II.2.2.4. Duyarlılık Hatası	15
II.2.2.5. Hassaslık ve Hata	16
II.2.2.6. Ayırım	16
II.2.2.7. Offset	16
II.2.2.8. Doğrusallık	17
II.2.2.9. Tekrarlanabilirlik ve Histerezis.....	19
II.2.2.10. Cevap Zamani	20
II.2.2.11. Dinamik Doğrusallık	20
BÖLÜM III.....	23
STRAIN GAUGE ÖLÇÜMLERİ.....	23
III.1. GİRİŞ	23
III.2. Gerilme ve Şekil Değişikliği.....	23
III.2.1. Şekil Değişikliği (Strain)	23
III.2.2. Gerilme(Stres)	24
III.2.3. Fiziksel Boyutun Kuvvetle Değişimi.....	24
III.2.4. Kesme(Makaslama) Kuvveti.....	26
III.3. ŞEKİL DEĞİŞİKLİĞİ ÖLÇME CİHAZLARI	
(STRAIN GAUGELER)	27
III.3.1. Strain Gauge Tanımı.....	27
III.3.2. Birim Uzunların Ölçülmesi	27
III.3.3. Strain Gaugelerden Beklenen Özellikler	28
III.3.4. Elektrik Rezistans Strain Gaugeler	28
III.3.5. Strain Gauge Malzemelerinin Özellikleri	31
III.4. STRAIN GAUGE ÖLÇÜMLERİ.....	32
III.4.1. Strain Gaugelerin Elektriksel Bağlantıları (Wheatstone Köprüleri)33	
III.4.1.1. Dörtte Bir Köprü.....	34

III.4.1.2. Yarım Köprü.....	35
III.4.1.3. Tam Köprü	36
III.4.1.4. Sıfır Ayarı.....	37
III.4.1.5. Strain Gauge Ara İletken Direncinin Ölçme Sistemine Etkisi	39
III.4.2. Strain Gauge Direnç Değerleri	40
III.4.3. Strain Gauge ve Terminal Seçimi.....	40
III.4.3.1. Strain Gauge Seçimi	41
III.4.3.2. Terminal Seçimi.....	45
III.4.4. Strain Gauge'in Ölçme Yapılacak Zemine Tespiti	46
III.4.4.1. Yüzey Temizleme İşlemi	46
III.4.4.2. Yapıştırma İşlemi.....	48
III.4.4.3. Terminal ve Kablo Bağlantıları	50
III.5. STRAIN GAUGE'LER İÇİN SİNYAL KOŞULLAMA	53
III.6. ÖLÇÜMLERDE KULLANILAN STRAIN GAUGE KÖPRÜ	
KONFIGÜRASYONLARININ DENKLEMLERİ.....	56
III.7. TERMOKUPLLARLA SICAKLIK ÖLÇÜMÜ	60
III.7.1. Giriş	60
III.7.2. Tanımlar	60
III.7.2.1. Sıcaklık.....	60
III.7.2.2. Isı	61
III.7.2.3. Özgül Isı Kapasitesi	61
III.7.2.4. Termal İletkenlik.....	61
III.7.3. Termokupl Ölçme Teknikleri	61
III.7.3.1. Termoelektrik Etkiler	61
III.7.3.2. Seebeck Etkisi.....	62
III.7.4. Termokupl Devre Teorisi.....	64
III.7.4.1. Devre Analizi.....	64
III.7.4.2. Termoelektrik EMK'lerin Toplanması.....	66
III.7.4.3. Soğuk Eklem Denkleştirme	66
III.7.5. Termokupl Karakteristikleri	67
III.7.5.1. Termokupl Referans Tabloları.....	71
III.8. VERİ KAZANCI SİSTEMİ SEÇİM KRİTERLERİ	75

BÖLÜM IV.....	77
YAPILAN TEST ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARI	77
IV.1. GİRİŞ.....	77
IV.2. STRAIN GAUGE ÖLÇME TEKNİĞİ İLE ŞEHİRLERARASI YOLCU OTOBÜSLERİ HIZ SINIRLANDIRMA PROJESİ.....	77
IV.2.1. Problemin Tanımı	77
IV.2.2. Yapılan Çalışma	78
IV.2.3. Problemle İlgili Detaylı Açıklama.....	78
IV.2.4. Yapılan Test Çalışmalarının Amacı	78
IV.2.5. Testle İlgili Ön Bilgiler	78
IV.2.5.1. Test Çalışmalarında Kullanılan Ölçüm Cihazları ve Özellikleri.....	80
IV.2.5.2. Test Koşulları İle İlgili Bilgiler	83
IV.2.5.3. Aracın Koltuklandırma ve Yükleme Durumu.....	83
IV.2.5.4. Test Edilen Parçalar	85
IV.2.6. Test Yöntemi ve Akışı.....	87
IV.2.7. Strain Gauge Ölçümlerinden Alınan Veriler	94
IV.3. TERMOKUPL ÖLÇME TEKNİĞİ İLE MERCEDES-BENZ 0403/SHD ARACI ŞOFÖR YATMA YERİ KLİMA TESTİ.....	103
IV.3.1. Problemle İlgili Detaylı Açıklama ve Tarifler	103
IV.3.1.1. Yapılan Test Çalışmalarının Amacı.....	103
IV.3.1.2. Testle İlgili Ön Bilgiler	103
IV.3.1.3. Kullanılan Ölçme Cihazları.....	103
IV.3.1.4. Test Koşulları İle İlgili Bilgiler	106
IV.3.1.5. Ölçümlerin Yorumlanması ve Değerlendirilmesi.....	106
IV.3.1.6. Sonuçlar ve Öneriler	107
IV.4. GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMLERİ.....	117
MITSUBUSHİ ve MAN S 2000 ARAÇLARININ İÇ GÜRÜLTÜ BAKIMINDAN İNCELENMESİ.....	117
IV.4.1. Testle İlgili Ön Bilgiler.....	117
IV.4.1.1. Ölçüm Yöntemi.....	117
IV.4.1.2. Ölçüm Sonuçları.....	118

IV.5. MERCEDES-BENZ 0345 EURO 2 ARACI İÇ GÜRÜLTÜ	
ÖLÇÜMÜ.....	121
BÖLÜM V.....	122
DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	122
KAYNAKLAR.....	124



SEMBOL LİSTESİ

- R_G : Strain Gauge Direnci (Ω)
 R_L : İletken Direnci (Ω)
 S : Seebeck katsayısı ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)
 V_{EX} : Köprü Besleme Gerilimi (V)
 ν : Poisson Oranı
 ε : Strain(şekil değişikliği)



KISALTMALAR

ADC	: Analog Digital Converter
DAQ	: Veri Kazancı Sistemi-Data Acquisition
GF	: Gauge Faktörü
GTH	: Mercedes-Benz Geliştirme ve Test Merkezi
KD	: Kalibrasyon Direnci
VDU	: Visual Display Unit



İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA NO</u>
Şekil II.1 Bir Ölçme Sisteminin Genel Prensiş Şeması	3
Şekil II.2 Bir Enstrümantasyon Sisteminin Elemanları	4
Şekil II.3 Termokupl Elemanı	5
Şekil II.4 Sinyal Koşullandırıcı Örnekleri.....	6
Şekil II.5 Veri Gösterim Elemanı	6
Şekil II.6 Bir Ölçme Sisteminin Blok Diyagramı	7
Şekil II.7 Ağırlık Ölçme Sistemi	7
Şekil II.8 Sıcaklık Ölçme Sistemi.....	8
Şekil II.9 Bilgi Taşıma Sistemi.....	8
Şekil II.10 Bilgisayarlı Ölçme Sistemi.....	9
Şekil II.11 Transmitterli Bir Ölçme Sistemi.....	12
Şekil II.12 4-20 mA Transmitterlerinin Tek Bir Besleme Kaynağı İle Bağlantısı ..	12
Şekil II.13 Bir Transdüserin Aralık ve Açıklığı	13
Şekil II.14 Ölçülen Değer İle İşlem Değişkeni Arasındaki İlişki	14
Şekil II.15 İdeal Eğri ve Duyarlılık Hatası.....	15
Şekil II.16 Tipik Bir PH Elektrodunun Sıcaklığa Duyarlılığını Gösteren Karakteristik Eğrisi	18
Şekil II.17 Doğrusallık Eğrisini Gösteren Ölçülen Eğriye Karşı İdeal Eğri	18
Şekil II.18 Histerezis Eğrisi.....	20
Şekil II.19 (a)Yükseliş Zamanı Aralığı (b)Sönüm Zamanı Aralığı	21
Şekil II.20 Giriş Sinyaline Karşın Çıkış.....	22
Şekil III.1 Çekme ve Sıkıştırma Deformasyonu.....	25
Şekil III.2 Stres ve Strain Arasındaki İlişki.....	25
Şekil III.3 Kesme(Makaslama) Kuvveti Şekil Değiştirmesi	26

Şekil III.4 Strainin Tanımlanması.....	28
Şekil III. 5 Strain Gauge Görünümleri.....	31
Şekil III.6 Konstantan ve İzoelelastik Malzemelerin Gage Faktörü Değişimleri	32
Şekil III.7 Wheatstone Köprüsü	33
Şekil III.8 Dörtte Bir Köprü Devresi	34
Şekil III.9 Sıcaklık Etkilerini Kompanze Etmek Amacıyla Uygulanan Gauge Yerleşimi	36
Şekil III.10 İki Aktif Strain Gauge'in Kullanıldığı Yarım Köprü Devresi	36
Şekil III.11 Tam Köprü Devresi	37
Şekil III.12 Wheatstone Köprü Devresi	38
Şekil III.13 Dörtte-bir Köprü Devresinin İki ve Üç İletkenli Bağlantıları.....	40
Şekil III.14 Strain Gauge Terminal Bağlantısı	45
Şekil III.15 Yüzey Temizleme, Yapıştırma ve Lehimleme İşlemleri Yapılmış Strain Gauge Uygulamasının Malzeme Üzerindeki Görünümü.....	51
Şekil III.16 Strain Gauge Koruyucu Kaplaması	52
Şekil III.17 Strain Gauge'in Uzun Süreli Kullanımlarında Uygulanabilecek Kaplama Yöntemi	52
Şekil III.18 Yarım Köprü Strain Gauge Devre Bağlantısı	53
Şekil III.19 Köprü Dengeleme Devresi.....	54
Şekil III.20 Strain Gaugeler İçin Bir Ölçme Sistemi Konfigürasyonu	56
Şekil III.21 Dörtte-bir Köprü I Konfigürasyonu.....	57
Şekil III.22 Dörtte-bir Köprü II Konfigürasyonu	57
Şekil III.23 Yarım Köprü I Konfigürasyonu	57
Şekil III.24 Yarım Köprü II Konfigürasyonu.....	58
Şekil III.25 Tam Köprü I Konfigürasyonu.....	58
Şekil III.25 Tam Köprü II Konfigürasyonu.....	58
Şekil III.27 Tam Köprü III Konfigürasyonu	59
Şekil III.28 Termokupl Devresinin Temeli	62
Şekil III.29 Basit Termokupl.....	63
Şekil III.30 Referans Kavşağın 0 °C'de Tutulmasıyla Yapılan Geleneksel Sıcaklık Ölçümü	63
Şekil III.31 Temel Termoelektrik Gerilim Elemanı	64
Şekil III.32 Basit Bir Termokupl Devresi	65
Şekil III.33 Uzatma Kablolarıyla Birleştirilmiş Bir Termokupl.....	65

Şekil III.34 Ara Metaller Yasası	66
Şekil III.35 Çeşitli Tipteki Termokuplların Sıcaklık-Gerilim Eğrileri	69
Şekil III.36 Çeşitli Termokuplların Sıcaklık-Seebeck Katsayıları	69
Şekil III.37 Termokupl Renk Kodları	70
Şekil III.38 Standart Termokupl Problemleri	70
Şekil IV.1 Test Güzergah Haritası	80
Şekil IV.2 Datron μ EEP-10 Veri Toplama ve Modulab Sinyal Yükseltici Sistemi	80
Şekil IV.3 Araç Koltuklandırma ve Yükleme Resimleri	84
Şekil IV.4 Ön Aks Üst Salıncak Üzerine Yapılan Strain Gauge Uygulaması	87
Şekil IV.5 Yarım ve Tam Köprü Strain Gauge Kablo Bağlantıları	88
Şekil IV.6 Testlerde Kullanılan Yarım Köprü Strain Gauge Devresi	89
Şekil IV.7 Testlerde Kullanılan Tam Köprü Strain Gauge Devresi	90
Şekil IV.8 Hız Sınırlandırma Projesinde Kullanılan Mercedes-Benz 0560 RH Intoruo Şehirlerarası Yolcu Otobüsü	95
Şekil IV.9 Ön Aks Üst Salıncak V-Bugi Kolu Malzemesinden Alınan Gerilme Değişimleri	96
Şekil IV.10 Ön Aks Alt Salıncak V-Bugi Kolu Malzemesinden Alınan Gerilme Değişimleri	97
Şekil IV.11 Ön Aks Üst V-Bugi Kolu Malzemesinin Gerilme Değişimleri	98
Şekil IV.12 Arka Aks Körtük Taşıyıcısı Gerilme Değişimleri	99
Şekil IV.13 Arka Aks Boyuna Bugi Kol Gerilme Değişimleri	100
Şekil IV.14 Arka Aks Körtük Taşıyıcısı Gerilme Değişimleri	101
Şekil IV.15 Arka Aks Stabilizatör Ara Parçasının Gerilme Değişimleri	101
Şekil IV.16 Sol Rot Kolu Malzemesi Gerilme Değişimleri	102
Şekil IV.17 Sağ Rot Kolu Malzemesi Gerilme Değişimleri	102
Şekil IV.18 Yokogawa Veri Toplama Sistemi İle Sıcaklık Ölçme	104
Şekil IV.19 Yokogawa Sıcaklık Ölçüm Cihazı ve Dizüstü Bilgisayar	105
Şekil IV.20 Yokogawa Sub-Unit ve Şoför Yatma Yeri Ölçüm Noktalarının Görünümü	105
Şekil IV.21 Motor Relanti Devrinde(600 dev/dak) Şoför Yatma Yeri Klima Isıtma Performansı	108
Şekil IV.22 Isıtma Vanası Kapalı, Klima Set Değeri 14 °C ve Motor Relanti Devrinde, Klima Soğutma Performansı	109
Şekil IV.23 Motor Relanti Devrinde, Tekrar Isıtma Performansı	110

Şekil IV.24 Isıtma Vanası Kapalı, Klima Set Değeri 14 °C ve Motor	
Relantide, Klima Soğutma Performansı.....	111
Şekil IV.25 Motor Devri 1800 dev/dak, Klima Isıtma Performansı.....	112
Şekil IV.26 Isıtma Vanası Kapalı, Klima Set Değeri 14 °C ve Motor Devri	
1800 d/dk , Klima Soğutma Performansı	113
IV.27 Motor 1800 d/dk Devrinde, Tekrar Isıtma Performansı.....	115
Şekil IV.28 Klima Sistemi 20 °C Set Değerinde, Nozul Çıkış Sıcaklığı	
Ventilden Dolayı Dalgalı.....	115
Şekil IV.29 Klima Sistemi 20 °C Set Değerinde, Ventildeki Problem	
Giderildikten Sonraki Son Durum	116
Şekil IV.30 Gürültü Ölçümünde Kullanılan Ses Düzeyi Algılayıcısı (Mikrofon) ..	120
Şekil IV.31 Sürücü Koltuk Bölgesinden Alınana Değerler.....	121
Şekil IV.32 Arka Koltuk Bölgesinden Alınan Değerler.....	121



TABLO LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
Tablo III.1 Bazı Malzemelerin Elastisite Modülleri	25
TabloIII.2 Strain Gaugeler İçin İki Farklı Sinyal Koşullayıcı Özellikleri	55
Tablo III.3 Straingauge Devrelerinin Gerektirdiği Akım Değerleri	55
Tablo III.4 IEC 584 Standardına Göre Termokupl Malzemeleri	68
Tablo III.5 Çeşitli Termokupllar ve Sıcaklık Limitleri.....	68
Tablo III.6 DIN ve IEC Standardı Termokupl Renk Kodları.....	70
Tablo III.7 K Tipi Termokupl Sıcaklık Katsayıları	71
Tablo IV.1 İkinci Ölçüm Test Güzergahı ve Mesafeleri.....	79
Tablo IV.2 Serideki Ölçüm Parçaları.....	85
Tablo IV.3 Test Edilen Aracın Alt Yapı Parça Listesi	86
Tablo IV.4 Ölçüm Noktaları ve Kullanılan Strain Gauge Özellikleri	86
Tablo IV.5 Starin Gauge FIPS Soketi Bağlantısı Kablo Renkleri.....	88
Tablo IV.6 GBK Standardına Göre, Mitsibushi İç Gürültü Ölçüm Sonuçları	118
Tablo IV.7 GOST 27435-87 Standardına Göre, Mitsibushi İç Gürültü Ölçüm Sonuçları.....	118
Tablo IV.8 ISO 5128 Standardına Göre, Mitsibushi İç Gürültü Ölçüm Sonuçları .	119
Tablo IV.9 GBK Standardına Göre, Man S2000 İç Gürültü Ölçüm Sonuçları.....	119
Tablo IV.10 GOST 27435-87 Standardına Göre, Man S2000 İç Gürültü Ölçüm Sonuçları.....	119
Tablo IV.11 ISO 5128 Standardına Göre, Man S2000 İç Gürültü Ölçüm Sonuçları.....	120

ÖZET

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE YAPILAN ELEKTRİKSEL ÖLÇÜMLER, TESTLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Yolcu taşıtlarında hafiflik ve sessizlik beklentileri birbiriyle çelişmektedir. Daha az yakıt tüketimi için bir taşıtın optimum ağırlıkta olması gerekirken, diğer taraftan yolcuların sağlığı ve konforu açısından kabindeki sıcaklık ve gürültü seviyelerinin azaltılması da gerekmektedir. Bu amaçla taşıtlarda sıcaklık, gürültü ve diğer büyüklüklerin sürekli olarak kontrol edilmesi yani ölçülerek belirlenmesi gerekmektedir.

Ülkemizde şehirlerarası ulaşımlarda çoğunlukla yolcu otobüsleri tercih edilmektedir. Seyahatlerde güvenlik, konfor ve sağlık açısından aracın yolcu beklentilerine cevap vermesi istenir. Bu amaçla çeşitli otobüs üretici firmalar tasarım aşamasında bir çok deneme ve test çalışması yapmaktadırlar.

Bu çalışmada ilk olarak, ölçme sistemleri hakkında genel bilgiler verildikten sonra, gerilme ve sıcaklık ölçümünde önemli yer tutan Strain Gauge ve Termokupl ölçme elemanlarının otomotiv sektöründeki kullanımları araştırılmıştır.

Konuyla ilgili uygulama bazında Mercedes-Benz Geliştirme ve Test Merkezi'nde şehirlerarası yolcu otobüsleri üzerinde elektriksel ölçümler yapılmıştır. Birinci öncelikli olarak güvenlikle birlikte araç hafiflik ve sessizlik beklentisi göz önüne alınarak, strain gaugelerle çeşitli mekanik aksamlar üzerine gelen gerilme ölçümlerine yer verilmiştir. Daha sonra, yolcu otobüslerinde şoför yatma yeri klima ısıtma ve soğutma performansının incelenmesi açısından termokupllarla sıcaklık ve araç içi gürültü dağılımlarının belirlenmesi ölçümlerine yer verilmiştir. Deneysel çalışmalardan alınan veriler yolcu sağlığı ve konforu açısından değerlendirilmiştir.

Ekim, 2001

Sezai TAŞKIN

ABSTRACT

ELECTRICAL MEASUREMENTS, TESTS AND SOLUTION SUGGESTIONS IN AUTOMOTIVE SECTOR

Lightness and silence are generally in contradiction in traveller vehicles. While a vehicle must be at optimum weight for less fuel consumption, on the other hand the heat and noise levels must be reduced for travellers' health and comfort. In order to arrive this aim, heat, noise and other quantities in vehicles have to be controlled and measured.

In our country, buses are generally preferred for trips between cities. A vehicle must be reply traveller's expectations in trips for safety, comfort and health. For this purpose, various bus manufacturers make many experiments and tests at design stage.

In this study, at first after general information about measurement systems are given, Strain Gauge and Thermocouple Measurement Technologies which are so important takes part of stress and heat measurement is researched.

Electrical measurements have been made at Mercedes-Benz Test and Development Center about this subject in application basics. At first, taking into consideration safety, lightness and silence, stress measurements at various components are measured by strain gauges. Then, for investigation of bus air conditioner heating and cooling system performance, heating measurement is done by thermocouples. Finally, noise level in bus is compared with standards and experiment results are evaluated for travellers' health and comfort.

October, 2001

Sezai TAŞKIN

YENİLİK BEYANI

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE YAPILAN ELEKTRİKSEL ÖLÇÜMLER, TESTLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Günümüz teknolojisinde otomotiv sektörü tüm yönleri ile hızla gelişmektedir. Toplu ve şehirlerarası ulaşımlarda yolcu otobüslerinin önemi ve gerekliliği açıktır. Özellikle uzun mesafeli ve zor yol koşullarında aracın tüm yolcu beklentilerini en iyi biçimde karşılaması istenir. Teknik bakımdan konfor, araç içi sıcaklık ve gürültü dağılım seviyeleri ile bir çok fiziksel etken yolcu güvenliği ve sağlığı açısından önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, öncelikle ölçme ve enstrümantasyon konusuyla ilgili elektriksel ölçme sistemleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Verilen teorik bilgilerin gerçekleştirilmesi için sanayi sektöründeki uygulamalara önemli miktarda yer verilmiştir. Bu açıdan çalışma, otomotiv sektöründeki bazı problemlerin giderilmesi yönünde ölçümler ve testler temel alınarak sunulan çözüm önerileriyle konuya yenilik getirmektedir. Konuyla ilgili yapılan elektriksel ölçümler, Mercedes-Benz Geliştirme ve Test Merkezi'nde şehirlerarası yolcu otobüsleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde ve önerilerin sunulmasında yolcu sağlığı, güvenliği ve konforu temel alınmıştır.

Ekim,2001

Yrd.Doç.Dr.Koray TUNÇALP

Sezai TAŞKIN

BÖLÜM I

GİRİŞ VE AMAÇ

I.1. GİRİŞ

Günümüzde her türlü endüstride ölçme ve kontrol yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir çok proses kontrol sisteminin başlangıç noktası, endüstriyel tesislerde herhangi bir işletme parametresinin ölçüldüğü yerdir. Bir büyüklüğü karakterize eden şey ölçebilme olanağıdır. Diğer bir ifade ile, bir büyüklüğü ölçmek demek; o büyüklüğü kendi cinsinden olan büyüklüğün birimi ile orantılamak veya karşılaştırmak demektir.

Ölçme, herhangi bir fiziksel büyüklüğü insanın anlayabileceği şekle dönüştürme işlemidir. Bu dönüşüm sonucunda elde edilen bilgiler çeşitli şekillerde olmakla beraber, bunların hepsi değişik birimli sayılar ile ifade edilebilirler. Ölçme sonucunda elde edilen sayılar, fiziksel büyüklüklere bağlı olarak çeşitli birimlerle birlikte bir anlam ifade eder. Buna göre herhangi bir fiziksel büyüklük sayılar ile ifade edilebilirse ölçülmüş olur[1].

Sanayi uygulamalarında, belirli doğruluk limitleri içinde ve emniyetli çalışma şartları altında kararlı ve ekonomik tasarımların yapılması istenir. Özellikle 1980'li yıllardan sonra sanayimizdeki gelişme; ileri teknolojilerin kullanılması yönünde alınmış kararlar sonucunda ölçmenin önemi artmıştır. Ürün kalitesi kadar, bu kalitenin sağlanması için gerekli olan teçhizatın kalitesi ve uygun kalibrasyon şartları

gibi konular, bilim ve teknolojinin hızla ilerlediği günümüz şartlarında daha geniş bilgi ve teknik yeterliliğe ulaşmak için gereklidir. Ölçme cihazları ve ölçme tekniklerinin doğruluğu ve güvenilirliği, bilimsel araştırmalarda gelişmeyi, kontrol ve deney teçhizatının hatasız çalışması da kaliteyi ve verimliliği arttıran faktörlerdir[1].

Sıcaklığın ölçümü ve kontrolü, işlem kontrol alanının en yaygın uygulamalarındandır. Günümüzde sıcaklık ölçümleri giderek artan oranda önemli bir konu haline gelmiştir. Çok çeşitli fiziksel özellikleri etkileyen bir parametre olması nedeniyle ölçülmesi gereken önemli bir değişkendir. Sıcaklık ölçümleri için çok çeşitli yöntemler bulunmakta olup, günümüzde en çok kullanılan yöntemlerden birisi de Termokupullarla Sıcaklık Ölçme Tekniği'dir.

Bir cisim bir kuvvete maruz bırakıldığı zaman şekil değişikliği meydana gelir. Kuvvet ile şekil değişikliği arasındaki ilişkiyi elektriksel olarak nicelendirebilmek için gerilme ölçer(Strain Gauge)ler kullanılmaktadır.

I.2. AMAÇ

Yolcu taşıtlarında hafiflik ve sessizlik beklentileri birbiriyle çelişmektedir. Daha az yakıt tüketimi için bir taşıtın optimum ağırlıkta olması gerekirken, diğer taraftan yolcuların sağlığı ve konforu açısından kabindeki sıcaklık ve gürültü seviyelerinin azaltılması da gerekmektedir. Bu amaçla taşıtlarda sıcaklık, gürültü ve diğer büyüklüklerin sürekli olarak kontrol edilmesi yani ölçülerek belirlenmesi gerekmektedir.

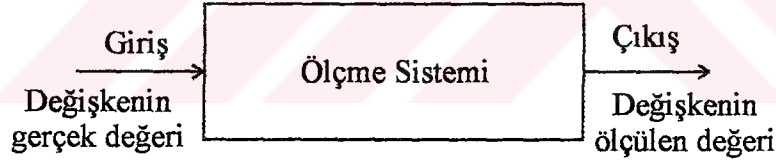
Bu çalışmada ilk olarak, ölçme sistemleri hakkında genel bilgiler verildikten sonra, gerilme ve sıcaklık ölçümünde önemli yer tutan, Strain Gauge ve Termokupl ölçme elemanlarının otomotiv sektöründeki uygulamaları araştırılmıştır. Konuyla ilgili uygulama bazında Mercedes-Benz Türk A.Ş. Geliştirme ve Test Merkezi'nde şehirlerarası yolcu otobüsleri üzerinde elektriksel ölçümler yapılmıştır.

Deneysel çalışmalardan alınan ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde yolcu güvenliği, sağlığı ve konforu açısından optimum çözümlerin gerçekleştirilmesi önerilmiştir.

BÖLÜM II

II.1. ÖLÇME SİSTEMLERİ

Ölçme; bir niceliğin değerini belirleme işlemidir. Bir ölçme/enstrümantasyon sistemi ise bir ölçümü gerçekleştirmek için kullanılan ekipmanları tanımlar. Bir ölçme sisteminin amacı; kullanıcıya, ölçülen değişkene karşılık gelen sayısal değer vermektir. Örneğin bir termometre, bir sıvının sıcaklığını göstermesi için kullanılabilir. Fakat bu sayısal değer, termometre ölçeklendirme veya okuma hatalarından dolayı değişkenin gerçek değeri olmayabilir. Bu durumda bir ölçme sistemi, ölçülecek değişkenin gerçek değeri girişini ve ölçülen değeri de çıkışını gösterecek şekilde tasarlanır[2].



Şekil II.1 Bir Ölçme Sisteminin Genel Prensip Şeması

Akış, basınç veya sıcaklık gibi niceliklerin hassas bir şekilde ölçülmesi, bir prosesin uygulanmasının kontrolü veya işlenmesinin önemli bir bölümünü oluşturur. “Ölçülen değer” veya “işlem değişkeni” adı verilen fiziksel bir nicelik, bir ölçüm sistemi kullanılmak suretiyle, genel olarak elektriksel veya pnömatik bir sinyal gibi ölçülebilen bir değere dönüştürülür. Daha sonra bu sinyal kontrol amacıyla da kullanılabilir[3].

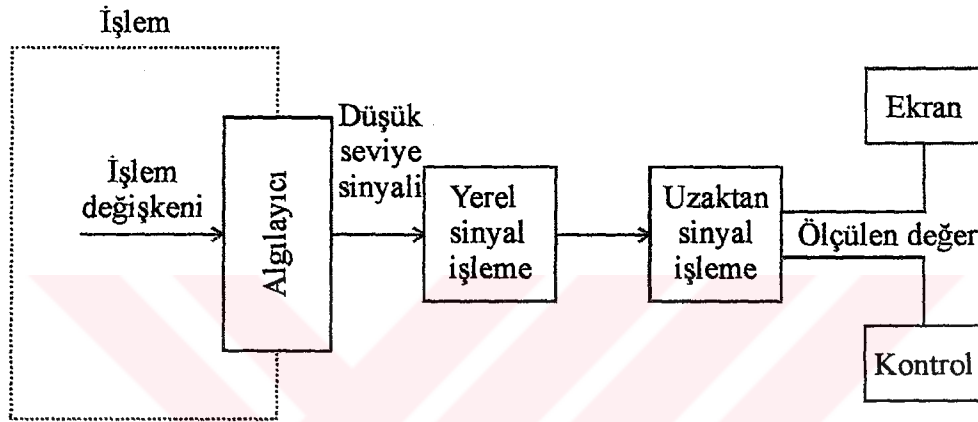
Bu alanda “transdüser” terimi sıkça geçer. Transdüser, fiziksel bir niceliği diğer bir niceliğe çeviren bir tertibattır. Örneğin bir termokupl, sıcaklığı elektriksel gerilime çeviren bir transdüser tertibatıdır. Transdüserler endüstriyel kontrol sistemlerinin önemli elemanlarından birisidir. Sistemin işleyişi hakkında bir geri

besleme bilgisi ürettiklerinden günümüzde hemen hemen bütün sistemlerde bir transdüser görmek mümkündür[3].

Sensörler; harekete, sıcaklığa, ışığa, basınca, elektriksel, manyetik ve farklı çeşitlerde enerjilere duyarlı bir eleman olarak tanımlanırlar.

Transdüserler ise bir tür enerjiyi algılayıp diğer bir tür enerjiye çevirebilen elemanlar olarak tanımlanırlar.

Bu özelliğinden dolayı örneğin bir transdüser basıncın büyüklüğünü algılamak için bir sensöre, bu büyüklüğü elektriksel bir sinyale çevirmek için de bir devreye sahip olmalıdır[3].



Şekil II.2 Bir Enstrümantasyon Sisteminin Elemanları

Sensörden direkt olarak alınan sinyal çoğu kez çok küçük olduğundan, yerel sinyal işlemi veya iyileştirmesi yapılabilir. Tipik bir sinyal iyileştiricisi bir gerilme ölçer(strain gauge) cihazın direncinde meydana gelen değişikliği gerilime çeviren bir köprü devresi olabilir. Diğer basit işlem örnekleri ise, filtreleme ve doğrusal yükseltmedir[3].

İşlemden görüntü ekranı veya kontrol tertibatına giden iletim yolu, ölçme sisteminde hatalara sebep olabildiğinden oldukça önem kazanmaktadır. İletim yollarına örnek olarak gerilim ve akım için elektrik kabloları verilebilir. Hatalar, elektriksel sistemlere gürültü ve kablo empedansı olarak karışır. Ayrıca, tüm iletim yolları yapıları gereği sistemde bir gecikmeye sebep olurlar. Yani ölçülen değer, işlem değişkeninde meydana gelen değişikliklere anında tepki gösteremez. Elektrik sistemlerinde, kapasitans ve endüktans etkileri gecikmelere sebep olmaktadır[3].

Çoğu sistemlerde görüntüleme ekranına veya kontrol tertibatına özgü olarak, sinyal işleme de yapılmaktadır. Bu noktada doğrusallaştırma gereklidir. Buna ek

olarak hesap düzeltme işlemi yapılması da gerekli olabilir. Buna tipik bir örnek olarak termokupllar(ısı çiftleri) için soğuk bağlantı dengelemesi verilebilir.

II.1.1. Ölçme Sistemlerinin Fonksiyonel Elemanları

Genel olarak bir ölçme sistemi, belirli bir işlevi yerine getirmek için kullanılan bir kaç elemandan oluşmuş bir düzenek olarak düşünülebilir. Bu fonksiyonel elemanlar şunlardır:

II.1.1.1. Algılayıcı

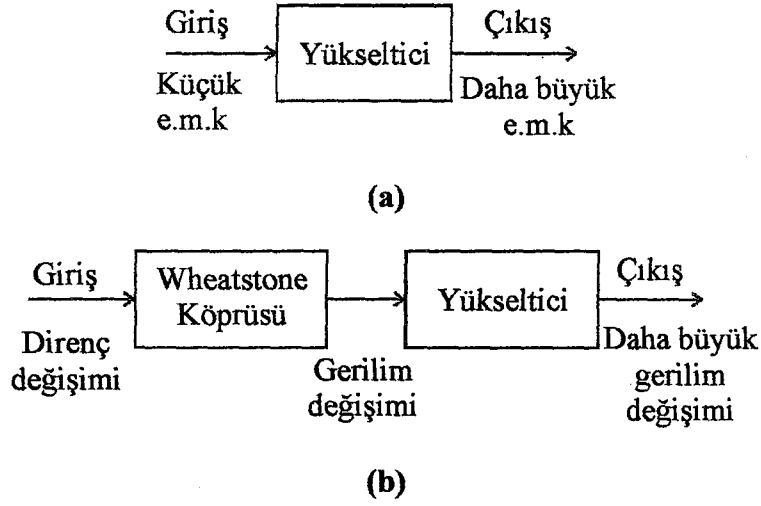
Algılayıcı, ölçülen değişkenin değerini, özelliğine bağlı olarak çıkış veren, prosesle direkt irtibatlı bir elemandır. Algılayıcılar, ölçümü yapılan değişken hakkında bilgi verirler ve verileri ölçme sistemine uygun bir biçimde aktarırlar. Örneğin, termokupl bir algılayıcıdır ve girişinde sıcaklık, çıkışında ise küçük bir e.m.k(elektro motor kuvvet) gerilimi üretir (Şekil II.1). Başka bir örnek olarak, bir direnç termometre(RTD)nin girişinde sıcaklık, çıkışında ise direnç değişikliği vardır[2].



Şekil II.3 Termokupl Elemanı

II.1.1.2. Sinyal Koşullandırıcı

Sinyal koşullandırıcı, algılayıcı elemandan gelen çıkışı bir kontrol sistemi tarafından kullanılmak veya bir ekranda görüntülenmek üzere prosese uygun hale getirir. Örneğin bir termokupl için sinyal koşullandırıcı, daha büyük e.m.k gerilimi elde etmek amacıyla bir yükseltici olabilir(Şekil II.4.a). Direnç değişimini algılayan elemanlarda ise sinyal koşullandırıcı Wheatstone Köprüsü olabilir. Bu köprü direnç değişimlerini gerilim formuna dönüştürür ve yine aynı şekilde daha büyük gerilim değerleri elde etmek için bir yükseltici kullanılır(Şekil II.4.b). Direnç değişimlerini gerilim değişimlerine dönüştüren Wheatstone Köprüleri, daha büyük sinyaller elde etmede kullanılan yükselticiler ve empedans değişimlerini değişken frekansa dönüştüren osilatörler sinyal koşullandırıcılara örnek olarak verilebilir[2].



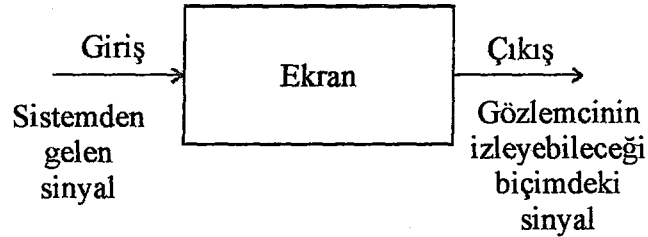
Şekil II.4 Sinyal Koşullandırıcı Örnekleri

II.1.1.3. Sinyal İşleyici

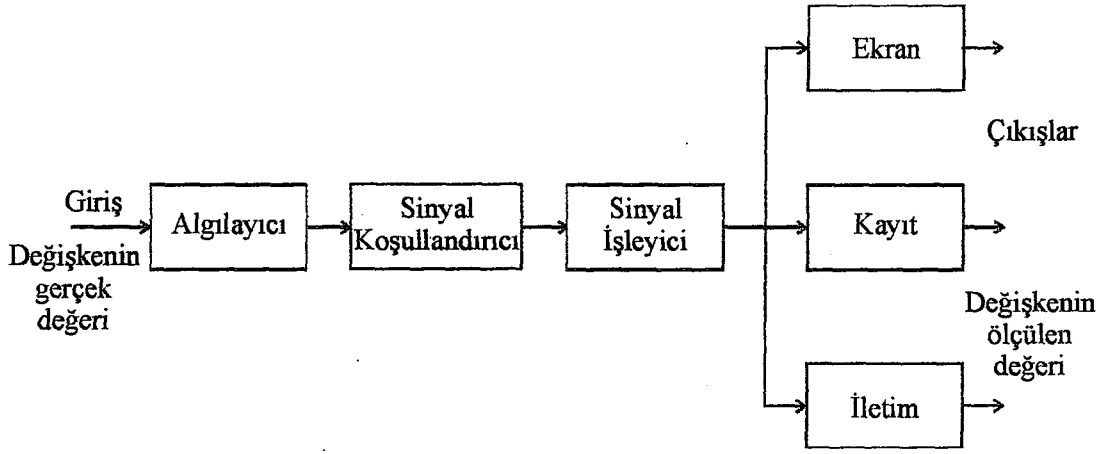
Bir bilgisayar programı tarafından kullanılmak üzere analog sinyalleri sayısal sinyallere dönüştüren Analog-Sayısal Dönüştürücüler(Analog-to-Digital Converters-ADC) ve sinyalden gelen gürültüleri azaltmada kullanılan filtreler sinyal işleyici elemanlara örnek olarak verilebilir[2].

II.1.1.4. Veri Gösterimi

Veri gösterimleri bir prosesten ölçülen değerlerin gözlemci tarafından izlenmesini sağlar. Bu bir gösterim ünitesi(Visual Display Unit- VDU) aracılığıyla olabileceği gibi bir ölçü aleti skalası üzerindeki ibre vasıtasıyla da olabilir. Ölçüm sinyalleri bir kağıt üzerine yazdırılabilir veya manyetik sabit bir disk üzerine de kaydedilebilir. Ya da sinyal işleyiciden alınan çıkış, diğer elemanlarla bir kontrol sistemine aktarılabilir[2].

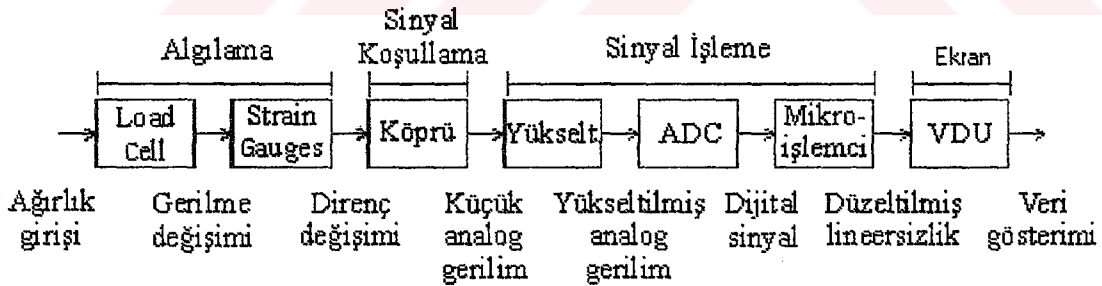


Şekil II.5 Veri Gösterim Elemanı



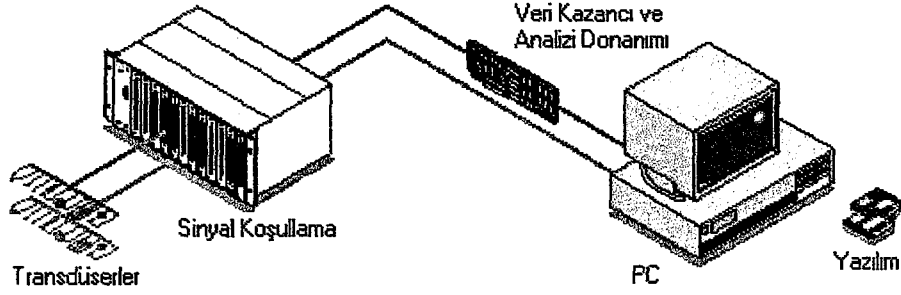
Şekil II.6 Bir Ölçme Sisteminin Blok Diyagramı

Aşağıdaki şekil bir ölçme sisteminin fonksiyonel elemanlarının modellenmiş bağlantısını göstermektedir. Burada örneği verilen yük hücresi(load cell) bir konteynerin ağırlığını ölçmek için kullanılmıştır. Yük hücresi, üzerine strain gaugelerin monte edildiği bir silindir yapı şeklindedir. Silindir yapı üzerine bir basınç uygulandığında strain gaugelerdeki direnç değişimiyle orantılı olarak ağırlık ölçümü yapılabilir. Wheatstone Köprüsü'ne bağlanan strain gaugelerdeki direnç değişimi köprü tarafından gerilim değişimine çevrilmiştir. Köprü çıkışındaki gerilim yaklaşık bir kaç milivolt mertebelerinde olacağından yükseltmek zorundadır. ADC tarafından sayısal sinyale dönüştürülen yükseltilmiş gerilim değeri, ekrandan konteynerin ağırlığı olarak okunacaktır[2].



Şekil II.7 Ağırlık Ölçme Sistemi

Yukarıdaki ağırlık ölçümüne benzer şekilde, sıcaklık ölçümü için kullanılan termokupllar başka bir örnek olarak verilebilir. Sistemin blok diyagramı Şekil II.8'de gösterilmiştir. Sıcaklık ölçümü ile ilgili detaylar Bölüm III'te ve termokupllarla yapılan örnek uygulamalar Bölüm IV'de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil II.10 Bilgisayarlı Ölçme Sistemi

II.2. SİNYALLER VE STANDARTLAR

Ana sensörler çok değişik sinyaller üretirler. Örneğin, gerilme ölçer cihazlar çok küçük bir direnç değişmesi oluştururken termokupllar bir kaç milivoltluk bir gerilim üretir. Ticari transdüserler, kontrol ve görüntüleme birimlerine gönderilmek üzere, standart sinyal çıkışları üretmek amacıyla tasarlanmışlardır[3].

Standartlaştırılmış sinyallerin bakım ve tasarım açısından bazı avantajlara sahip olduğu açıktır. En yaygın olan elektriksel standart 4-20 mA akım döngüsüdür. Adının da gösterdiği gibi bu cihaz, sinyal aralığının bir ucunu temsil etmekte olan 4 mA'lık değişken bir akım sinyali aralığı ile diğer ucu temsil eden 20 mA'lık değişken bir akım sinyali kullanır. Akım döngüsü hiç bir şekilde toprakla bağlantılı değildir. Ortak işaret gürültüsünün etkisiz olması sebebiyle bu durum sistemde gürültüye karşı üstün bir bağışıklık sağlamakta olup, çevreden farklı toprak gerilimlerinin sebep olduğu hatalar da önlenmiş olur. Gerilim yerine akım kullanıldığından, hat direncinin de bir etkisi olmaz[3].

II.2.1. Sinyallerde 4-20 mA Standardı

Ölçmek istediğimiz bir çok farklı fiziksel parametreyi temsilen, kullanılabilir elektriksel sinyaller üreten çeşitli yapıda algılayıcılar mevcuttur. Örneğin sıcaklık direnç tipi termometre veya termokupllarla, pH derecesi ve iletkenlik uygun elektrotlarla, kuvvet strain gaugelerle ölçülür.

Bütün bu cihazlar doğrusallık, genlik ve sinyal tiplerinin farklı karakteristiklerine sahiptir. Bu cihazların endüstride ölçme ve kontrol ekipmanlarına bağlanabilmesi için çıkış sinyallerinin standart hale getirilmesi zorunluluğu vardır.

Bu şekilde bir çok fiziksel parametrenin kontrol ve ölçme ekipmanları ile değerlendirilmesi mümkün olabilmektedir.

Günümüze kadar bu konuda bir çok standart geliştirilmiştir. Enstrümantasyon dünyasında en çok kullanılan sinyal işleme standartları şunlardır: 0-5 V, 0-10 V, 1-5 V, 2-10 V, 1-5 mA, 0-20 mA, 4-20 mA, 10-50 mA. İlk dört sinyal standardı, bilinen DC gerilim seviyeleridir. Özellikle 0-5 V, mikroişlemci uygulamalarında besleme gerilimi olarak kullanılmaktadır. Fakat burada sıfır seviye gerilimini anlatmak oldukça zordur. Bunu şu örneği göz önüne alarak açıklayabiliriz. Bir termometrenin $0^{\circ}\text{C}=0\text{ V}$ ve $100^{\circ}\text{C}=5\text{ V}$ olacak şekilde kalibrasyonu yapılmış olsun. Tipik olarak devre 5 V'luk tek kaynak ile beslendiğinden çıkış negatife gidemez. 0°C veya daha düşük sıcaklıklarda dahi 0 V çıkış gerilimi okunur. Bu durumda şu soru akla gelecektir: Çıkış gerilim değeri mi hatalı yoksa kullanılan sensörün kalibrasyon değerleri mi hatalı?

Eğer 0-5 V sinyal standardı yerine 1-5 V'luk sinyali kullanacak olursak, sıcaklık 0°C 'nin altına doğru indiğinde 1 V'un altındaki düşüşü görebiliriz ve 0 V'a yakın seviyeyi kullanabiliriz. Bu durumda yükseltilmiş sıfır seviye sinyalinden söz edilir ve endüstri uygulamalarında bu sinyal tipi çoğunlukla tercih edilir.

Gerilim sinyali kullanmanın avantajı basitliğidir. Bilindiği gibi, gerilim sinyalleri biri pozitif, diğeri negatif olmak üzere iki iletken üzerinde taşınır. Dezavantajı ise öncelikle ölçme cihazının giriş empedansından kaynaklanan doğruluğun düşük olması ve radyo vericileri ile yakınındaki güç kablolarının neden olduğu elektriksel parazitlenmelerden etkilenmeleridir.

Akım sinyalleri kullanılarak yukarıda bahsedilen problemlerin her ikisinin üstesinden gelmek mümkündür. Örneğin 0-100 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklığı temsilen 0-20 mA aralığını ele alalım. 100 $^{\circ}\text{C}$ 'de yukarıdakine benzer şekilde bize verilen 5 V'luk gerilim değerinde 20 mA'lık akım geçişine sahip olunur. Bu 0-5 V sinyali gibidir. Ölçüm cihazı sonsuz giriş empedansına sahip olmadıkça, sinyaldeki değişimin neden olduğu iletkendeki direnç değişimi, gerilim sinyali olarak 5 V'ta aynı kalır. Bu demektir ki, akım sinyali doğruluk kaybı olmaksızın uzun mesafelere kadar iletilebilir.

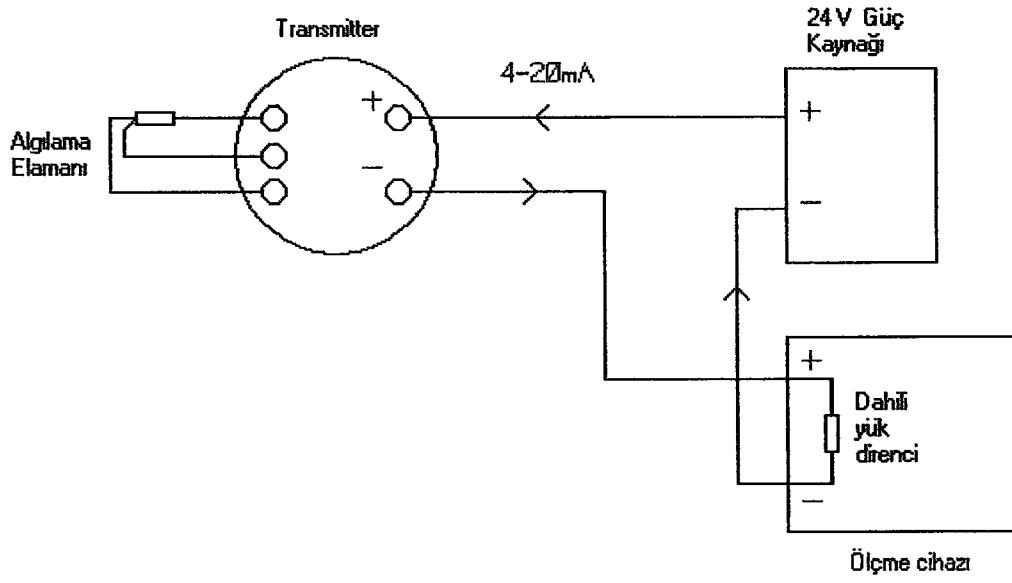
0-20 mA akım aralığını kullandığımızda gerilim sinyali olarak bir veya iki harici besleme kablosu ile ölçme cihazlarına besleme yapmak zorunluluğu vardır. 4-20 mA akım sinyali aralığında 4 mA seviyesi akım döngüsünde en düşük

seviyedir. Bu demektir ki, aynı bağlantı çiftleri üzerinde sinyal ve besleme kaynağı sağlanmış olur. Bu da teknik olarak kurulumu kolaylaştırır.

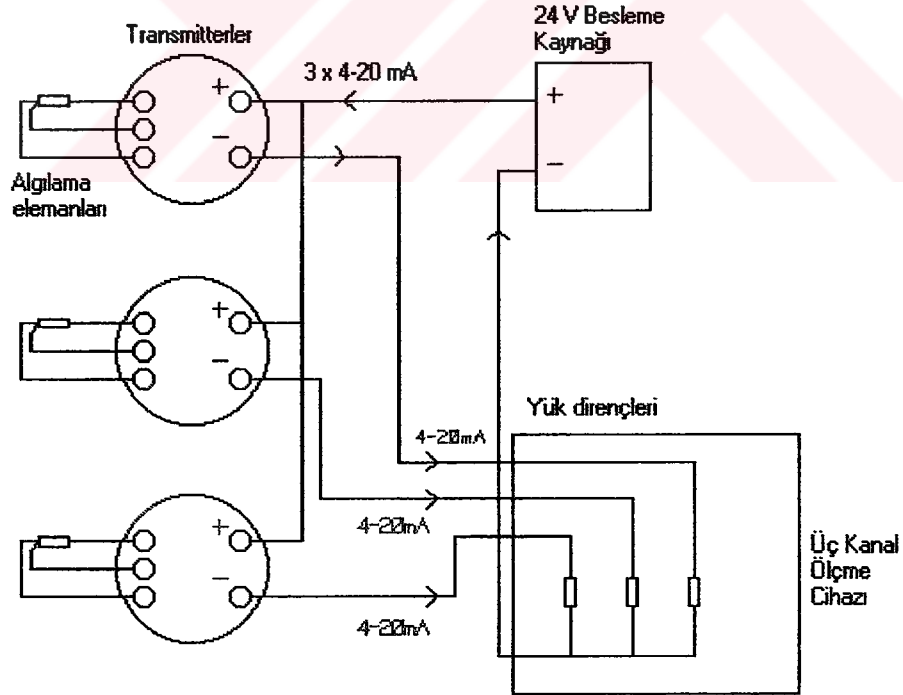
Bir offset sıfırının(4 mA) kullanılması birçok avantajlar sağlar ki bunların en önemsizi, “sıfır” çıkışta bile iki iletkenli transdüserin çalışmasını sürdürmesi için yeterli akım sağlanmasıdır. Şayet aralığın en alt noktası için bir sıfır gerilimi veya akımı seçilmişse, bir açık devre veya kısa devre hattı, bir alt-aralık sinyali gibi gözükcektir. Bir 4-20 mA hattı üzerindeki herhangi bir hat hatası, kontrol cihazı veya görüntüleme ekranı üzerinde kolayca tanınan belirgin bir negatif sinyal doğurur. Ayrıca, bu tür bir sinyal belirgin derecede iki kutuplu olup, sıfır çevresinde dalgalanma oluşturmaz ve sıfır gerilim veya akım çıkışı sağlamak için gerekecek bir negatif güç kaynağı ihtiyacını da ortadan kaldırır.

4-20 mA’lik sinyaller, görüntüleme ekranı veya kontrol cihazında 250 Ω ’luk seri bir direnç ile 1-5 V’a çevrilir. Bir ölçme cihazına iletilen 4-20 mA sinyal standardı için genellikle bir Transmitter’den söz edilir. Aşağıda gösterildiği şekliyle bir kaç adet 4-20 mA Transmitter’leri tek bir besleme kaynağı ile kullanılabilir.

Transdüserler, fiziksel bir değeri elektriksel belli bir seviyede sinyale dönüştürür. Elektronik çevirici, belli düzeydeki sinyali enstrümantasyon dünyasında alışlagelmiş, kolay iletilebilir standart bir sinyale çevirir. Transmitter, transdüser ile birlikte çeviricinin monte edildiği tek bir ünedir. Bu şekilde transmitter fiziksel bir değeri direkt standart bir sinyale dönüştüren ünedir. Örneğin sıcaklık transmitterleri iki iletkenli iletim metodu ile 24 Volt’la beslenir, aynı hat üzerinden 4-20 mA sinyal alınır. Bu şekilde transmitter ile cihaz arasında özel bir kabloya ihtiyaç duyulmaz.



Şekil II.11 Transmitterli Bir Ölçme Sistemi



Şekil II.12 4-20 mA Transmitterlerinin Tek Bir Besleme Kaynağı İle Bağlantısı

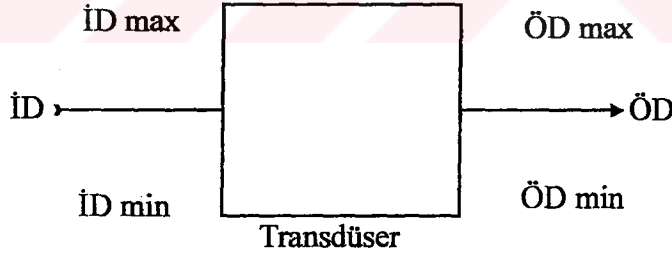
II.2.2. Tanımlar ve Terimler

Ölçme işlemi, çeşitli ölçme elemanlarını kullanmayı gerektiren bir işlemdir. Miktarların birbirine göre farklılıklarını ölçmede daima belli standartlar kullanılır ve standartlara göre farklılıklar incelenerek bulunur. Şüphesiz ki hiç bir ölçme elemanı tam ve doğru bir ölçme yapamaz. Ancak bir ölçme işleminde kullanacağımız ölçü cihazını seçerken bizi ilgilendiren fark miktarına veya kabul edilebilecek hataya göre seçim yaparız. Bir ölçme cihazının yapabileceği hatayı veya onun kalitesini belirlerken çeşitli terimler kullanılır.

Transdüser kullanımlarında hassaslık derecesi, hata ve tekrarlanabilme gibi günlük terimler sık bir biçimde kullanılmaktadır. Aşağıdaki tanımlamalar transdüser temel kavramlarını açıklamaktadır.

II.2.2.1. Aralık ve Açıklık

Bir değerin aralığı, o değerin maksimum ve minimum değerleri ile ifade edilir. Şekil II.13'te girişin aralığı işlem değişkeni $\dot{I}D_{min}$ ile $\dot{I}D_{max}$ arası olup, çıkışın aralığı ise ölçülen değer $\ddot{O}D_{min}$ ile $\ddot{O}D_{max}$ arasındadır. Örneğin bir basınç transdüserinin giriş aralığı 0-100 kPa, çıkış aralığı ise 4-20 mA olabilir. Tek bir sensör de buna benzer bir şekilde tanımlanabilir. K tipi bir termokupl 200-500 °C'lik bir giriş ve 8-20 mA'lık çıkış aralığına sahip olabilir[3].



Şekil II.13 Bir Transdüserin Aralık ve Açıklığı

“Açıklık” ise maksimum ve minimum değerler arasındaki farktır. Bu durumda giriş açıklığı $\dot{I}D_{max} - \dot{I}D_{min}$ olup, çıkış açıklığı da $\ddot{O}D_{max} - \ddot{O}D_{min}$ olur. Örneğin yukarıda sözü edilen K tipi termokupl 300 °C'lik bir giriş açıklığına ve 12 mV'luk çıkış açıklığına sahiptir[3].

II.2.2.2. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Elemanlar

Ölçülen değer ile işlem değişkeni arasındaki ilişki bir kağıt üzerine aktarılacak olursa, ortaya Şekil II.14.a'dakine benzer bir sonuç çıkabilir. İdeal ilişki aşağıdaki şekle sahip olan Şekil II.14.b'deki gibi düz bir doğrudur.

$$\ddot{O}D = K \cdot \dot{I}D + Z \quad (II.1)$$

Burada K, aşağıdaki formülden elde edilebilecek olan hassaslık faktörüdür.

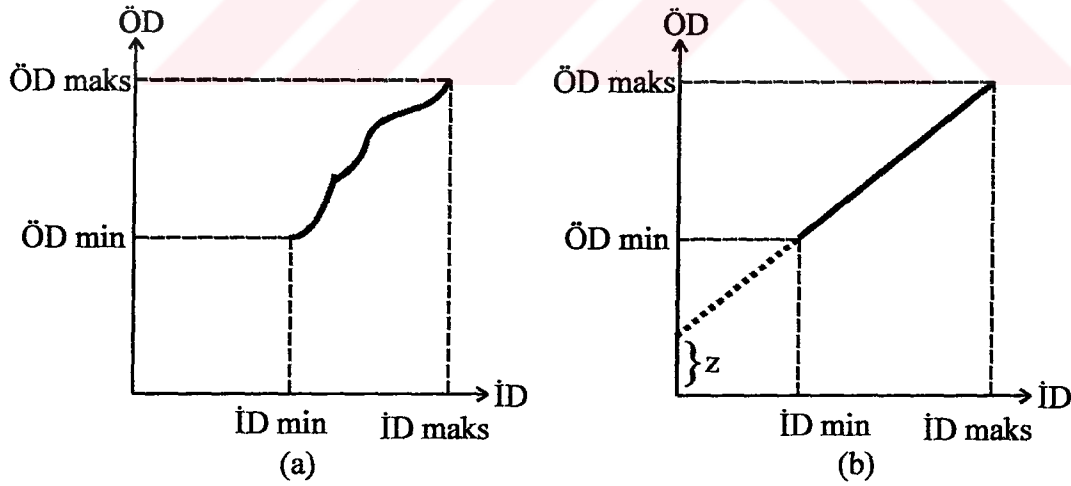
$$K = \frac{\ddot{O}D_{\max} - \ddot{O}D_{\min}}{\dot{I}D_{\max} - \dot{I}D_{\min}} \quad (II.2)$$

K faktörü $\ddot{O}D/\dot{I}D$ birimlerine sahip olacaktır(örneğin, akım çıkışlı bir basınç transdüseri için mA/kPa). Z ise aşağıdaki denklemden elde edilecek olan offset sıfırdır.

$$Z = \ddot{O}D_{\min} - K \cdot \dot{I}D_{\min} \quad (II.3)$$

Z değeri pozitif veya negatif olabilir[3].

Formül II.1'de izin verilebilir bir hata ile temsil edilebilecek bir eleman, doğrusal bir cihaz olarak tanımlanır. Ölçülen değer ile işlem değişkeni arasındaki ilişki Formül II.1 ile temsil edilemiyorsa, bu elemana doğrusal olmayan cihaz adı verilir. Doğrusal olmadığı bilinen elemanlar uygun sinyal düzeltmeleri ile doğrusal hale getirilebilir[3].



Şekil II.14 Ölçülen Değer ile İşlem Değişkeni Arasındaki İlişki

a) Tipik Transdüser Tepkisi

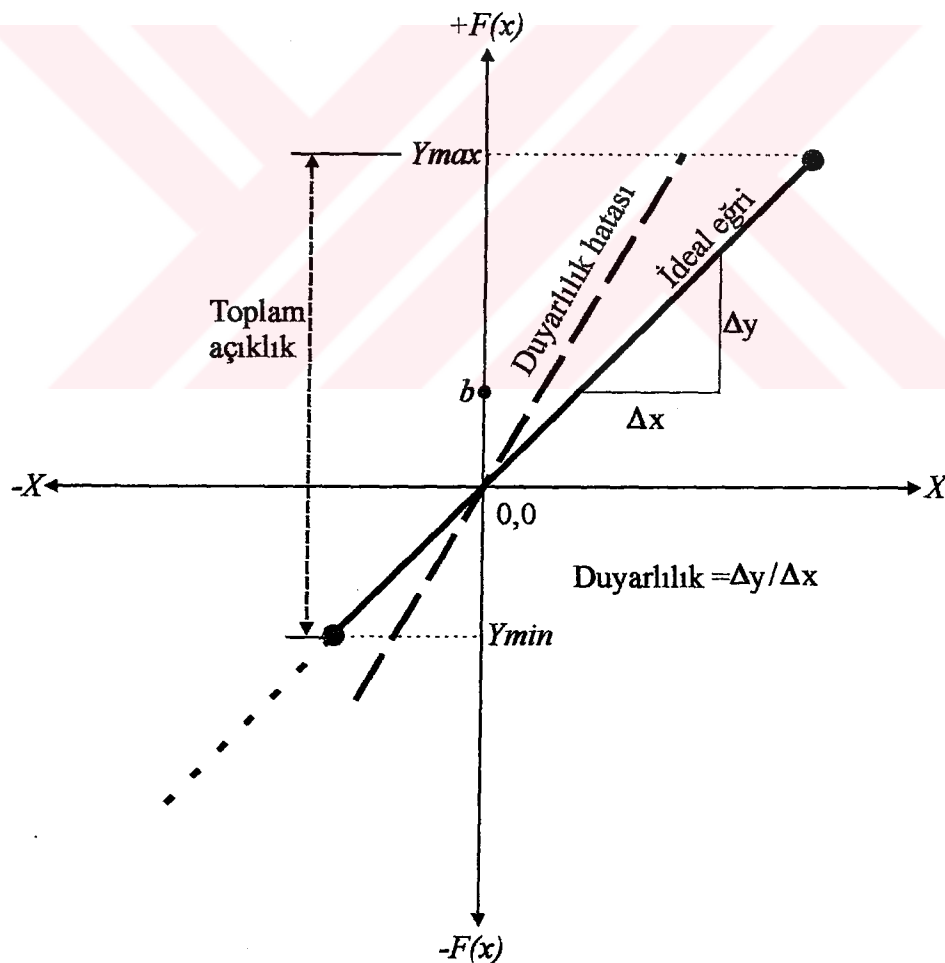
b) İdeal Transdüser Tepkisi

II.2.2.3. Duyarlılık

Duyarlılık, ölçülen değerdeki değişikliğin, ölçümde meydana getirdiği değişiklidir. Bir algılayıcının duyarlılığı çıkış karakteristik eğrisinin eğimi olarak tanımlanmaktadır(Şekil II.15'te $\Delta Y/\Delta X$). Bazı algılayıcı elemanlarda duyarlılık, standartlaştırılmış çıkış değişimi üretmek için gerekli giriş parametresi değişimi olarak tanımlanır. Diğerlerinde ise, giriş parametresindeki değişim için verilen çıkış gerilimi değişimi olarak tanımlanır. Örneğin tipik bir kan basıncı transdüseri için duyarlılık oranı, $10\mu V/mmHg$ olabilir[4].

II.2.2.4. Duyarlılık Hatası

Duyarlılık hatası, Şekil II.15'te noktalı çizgi ile gösterilen, ideal karakteristik eğrisinin eğiminden sapma olarak tanımlanır. Yukarıda örneği verilen kan basıncı transdüseri için gerçek duyarlılık $10 \mu V / mmHg$ yerine $7,8 \mu V / mmHg$ olabilir[4].



Şekil II.15 İdeal Eğri ve Duyarlılık Hatası

II.2.2.5. Hassaslık ve Hata

Bir elemanın hassaslığı, ölçülen bir değerin işlem değişkenine ne kadar yakın olduğunun ölçüsüdür. Yani, ne derecede doğru ölçüm yapabileceğinin tanımıdır[3].

Hata ise, işlem değişkeni ile ölçülen değer arasındaki maksimum fark olarak tanımlanır. Fiziksel büyüklüklere ait ölçü sonuçlarını tek bir sayı ile ifade etmek mümkün değildir. Ne kadar dikkatli bir ölçme yapılırsa yapılsın hatasız bir ölçme yapmak oldukça zordur. Ancak yapılan hata bilinirse, ölçme sonucunun bir anlamı olur. Kullanılan metotlar, cihazların kalitesi ve ölçümü yapan kişinin bilimsel ve psikolojik durumu, elde edilen ölçme sonucunun gerçek değerine yakınlığına etki eden temel faktörlerdir[1].

Hata kaynakları hangi türden olursa olsun genellikle karşımıza şu şekilde çıkarlar: Bunlarda birincisi; kullanılacak cihazların yapım hatalarıdır. Her imal edilen cihaz referans standart değildir. Bundan dolayı bir yapım hatası vardır. Cihaz kullanıldıkça bazı özellikleri değişir ve doğruluğunda azalma olur. Bu nedenle bu tip cihazların kalibrasyonlarının belli aralıklarla yapılması gerekir[1].

Ölçme sonuçlarının analizi yapılırken, yapılan hatanın miktarı ve çeşidinin iyi bilinmesi gerekir. Ölçmedeki hata, ölçülen değerle gerçek değer arasındaki farktan meydana gelir.

II.2.2.6. Ayırım

Bu ifade, giriş parametresinin artan değişiminde bulunabilen en küçük değerdir. Kısaca ölçülebilen en küçük değer olarak tanımlanabilir[4].

II.2.2.7. Offset

Bir transdüserin offset hatası, çıkışın sıfırda olması veya önceden saptanmış belirli çıkış değerleri ile gerçek çıkış değerleri arasındaki fark olarak tanımlanır. Şekil II.15'te verilen örneği göz önüne alacak olursak; grafikteki karakteristik eğrisi, ideal eğri ile aynı duyarlılıkta olsaydı yukarıda bahsedilen birinci durumun gerçekleşmesi gerekirdi. Fakat şekilde de görüldüğü gibi çıkış orijin noktası yerine Y eksenindeki b noktasında kesişmektedir. Offset formuna diğer bir örnekte Şekil II.16'da gösterilen bir pH elektrodunun karakteristik eğrisidir. İdeal eğri sadece bir sıcaklıkta(genellikle 25°C) olacaktır. Gerçek eğri ise elektroda ve modellenen sıcaklığa bağlı maksimum ve minimum limitler arasındadır[4].

II.2.2.8. Doğrusallık

Bir sistem veya cihazın lineer olabilmesi için giriş ile çıkış büyüklükleri arasındaki bağıntının doğrusal olması gerekir. Bu bağıntıyı matematiksel olarak şöyle açıklayabiliriz: Sistemin girişine sırası ile X_1 ve X_2 uyguladığımızda, çıkışında Y_1 ve Y_2 büyüklükleri elde ediliyorsa, sistemin lineer olması için;

Girişe $X_1 + X_2$ uyguladığımızda, çıkışta $Y_1 + Y_2$

Girişe kX_1 uyguladığımızda, çıkışta kY_1

elde edilmelidir[1].

Bir transdüserin doğrusallığı, algılayıcının ideal eğriden sapmış ölçülen gerçek eğrisinin boyutlarını ifade eder. Şekil II.17’de bu tanıma uygun durum gösterilmiştir. Çoğu durumda doğrusallığı belirlemek için statik eğri kullanılır ve bu dinamik doğrusallıktan biraz sapabilir. Genellikle doğrusallık, aşağıdaki formülde ifade edildiği şekliyle lineersizliğin yüzdesi olarak tanımlanır[4].

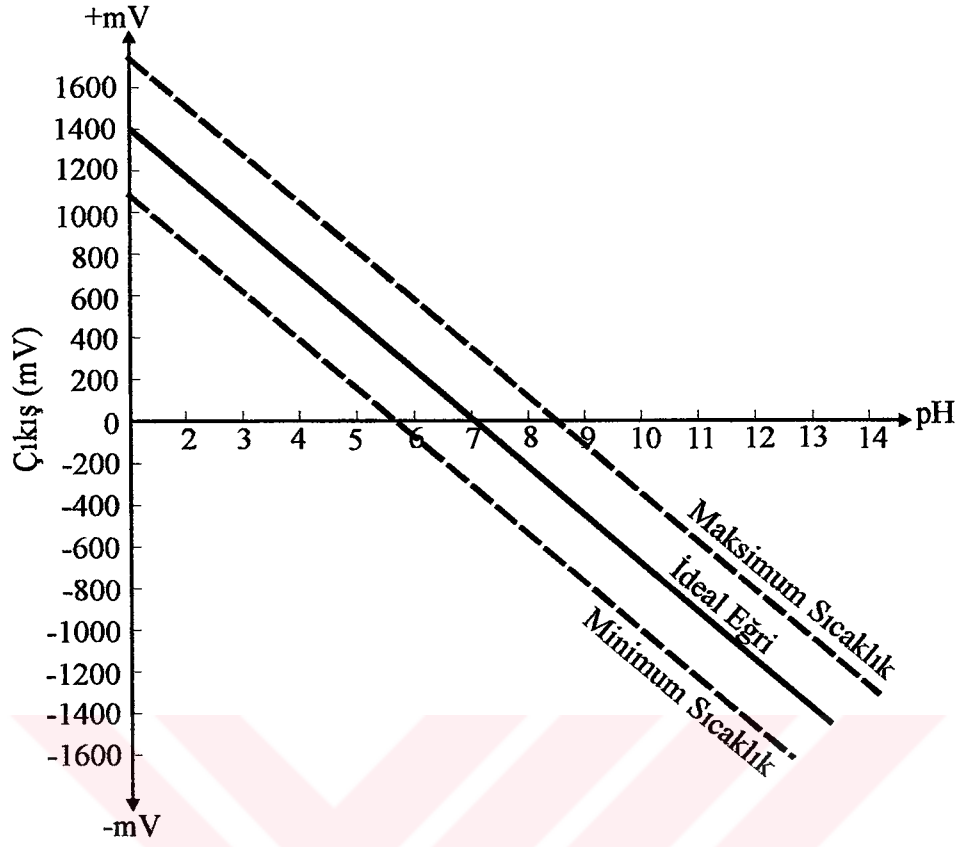
$$\text{Lineersizlik}(\%) = \frac{D_{in(max)}}{IN_{f.s}} \times 100 \quad (\text{II.4})$$

Formülde;

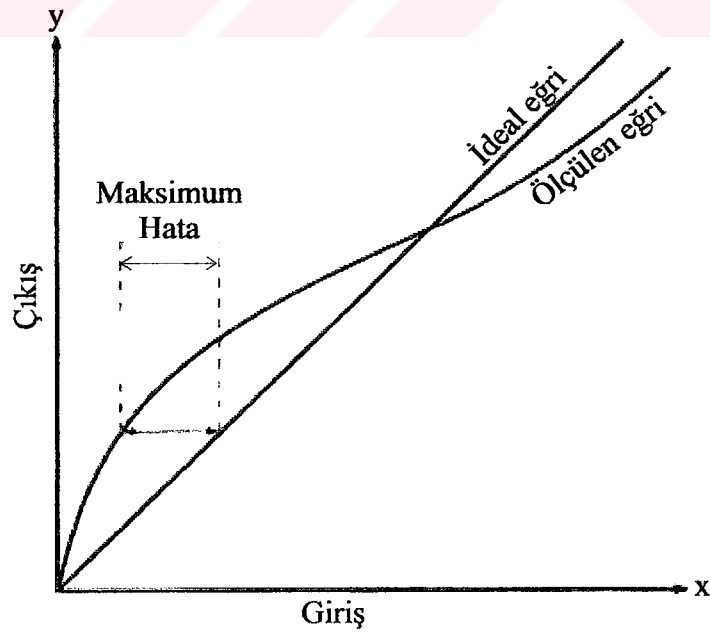
$D_{in(max)}$ = Maksimum giriş sapması

$IN_{f.s}$ = Maksimum tam skala sapması’dır.

Formül II.4’te tanımlanan statik lineersizlik; sıcaklık, titreşim, akustik gürültü seviyesi ve nem gibi çevresel faktörleri içeren etmenlere bağlıdır [4].



Şekil II.16 Tipik Bir PH Elektrodunun Sıcaklığa Duyarlılığını Gösteren Karakteristik Eğrisi



Şekil II.17 Doğrusallık Eğrisini Gösteren Ölçülen Eğriye Karşı İdeal Eğri

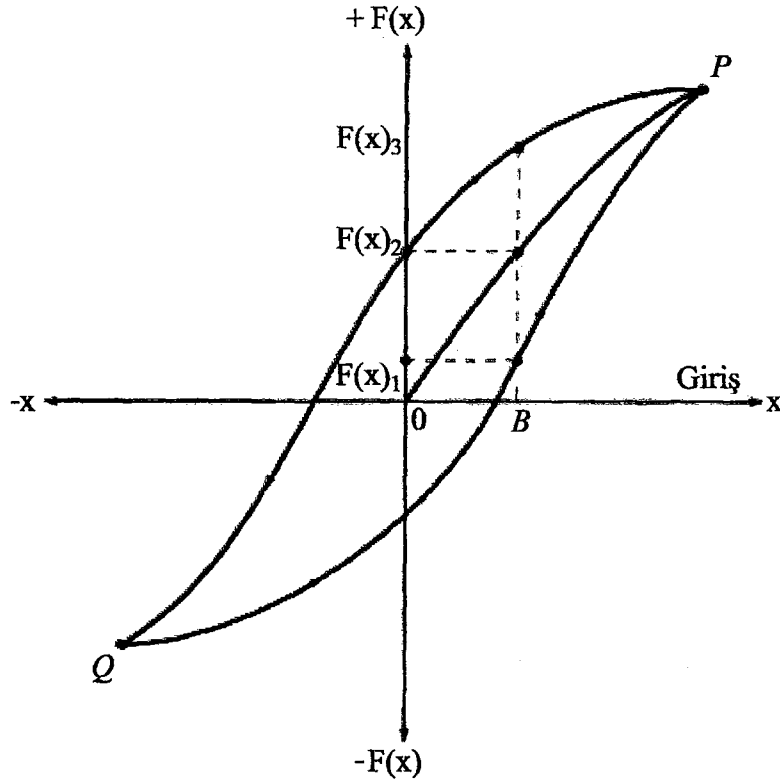
II.2.2.9. Tekrarlanabilirlik ve Histerezis

Bir çok uygulamada bir ölçüm işleminin hassaslığı, tutarlılığından daha az önem taşır. Örneğin bir malzemenin belirli bir uzunlukta kesilmesi işinde, kesme hassasiyetinin tutarlılığı mutlak hassaslıktan daha önemli olabilir. Aynı şekilde, bir işlemin belli bir süre aynı sıcaklıkta tutulması gerekli olduğu halde, burada gerçek sıcaklığın çok hassas bir şekilde bilinmesine gerek yoktur. Bir ölçüm işleminin tutarlılığı, tekrarlanabilirlik ve histerezis terimleri ile tanımlanır.

Tekrarlanabilirlik aynı yönden aynı ölçme noktasına bir çok kez yaklaşıldığında alınan değerlerin farkı olarak tanımlanır[3].

Histerezis ise, ölçülen değerin işlem değişkeninin daha önceki değerinin arttırılması veya azaltılması yoluyla geçerli değerine yaklaşıp yaklaşmadığına bağlı olduğunda meydana gelir. Şekil II.18'de gösterilen histerezis tipi lineersizlik, girişin artması ve azalması durumunda farklı çıkışların elde edilmesi şeklinde tanımlanır. Bu lineersizlikte doyma da gözükür. Histerezisin nedeni; giriş işareti artarken elemana veya cihaza verilen enerjinin, giriş işareti azalırken geriye alınamamasındandır. Bu enerjinin çoğu eleman içinde ısı şeklinde harcanarak elemanın özelliğini değiştirir[1].

Bir transdüser giriş parametresindeki değişimleri ve yönlerini takip edebilmelidir. Değişimlerin yönü önemlidir. Şekil II.18'de tipik bir histerezis eğrisi görülmektedir. Yüksek bir değerden(P noktası) sabit giriş değerine(B noktası) yaklaşımın işareti küçük bir değerden(Q veya sıfır noktası) aynı değere yaklaşımdan farklı olacaktır. Giriş değeri B, $F(x)_1$, $F(x)_2$ veya $F(x)_3$ fonksiyonları ile temsil edilebilir[4].



Şekil II.18 Histerezis Eğrisi

II.2.2.10. Cevap Zamanı

Giriş parametresinde değişim meydana geldiğinde, algılayıcılar çıkışlarını ani olarak hemen değiştiremezler. Yeni durumun algılayıcı çıkışındaki değişimi belli bir zaman diliminde gerçekleştirir. Buna, algılayıcının “cevap zamanı” adı verilir (Şekil II.19.a’da T_r). Cevap zamanı, önceki kalıcı son değerden algılayıcı çıkışının değişimi için gerekli zaman olarak tanımlanabilir. Bu kavram, sistemin sabit zamanı(T)ndan oldukça farklıdır. Bu terim, bir direnç üzerinden kapasitörün şarj olmasına benzer biçimde açıklanabilir. Genellikle bu durum cevap zamanından daha kısadır[4].

Şekil II.19’daki eğriler iki tip cevap zamanı örneklerini göstermektedir. Şekil II.19.a’daki eğri, giriş parametresi adım fonksiyonunun ani pozitif gidişini ve Şekil II.19.b’deki eğride negatif gidişini temsil eder[4].

II.2.2.11. Dinamik Doğrusallık

Bir algılayıcının dinamik doğrusallığı, giriş parametresindeki değişimleri hızlı bir şekilde takip edebilme yeteneğinin ölçümüdür. Bir algılayıcının dinamik doğrusallığının belirlenmesinde; genlik distorsiyon karakteristikleri, faz distorsiyon karakteristikleri ve cevap zamanı oldukça önemlidir. Verilen düşük histerezisli

(sistemlerde daima arzu edilir) bir sistemin genlik cevabı aşağıdaki formülle temsil edilebilir.

$$F(x) = aX + bX^2 + cX^3 + dX^4 + + K \quad (II.5)$$

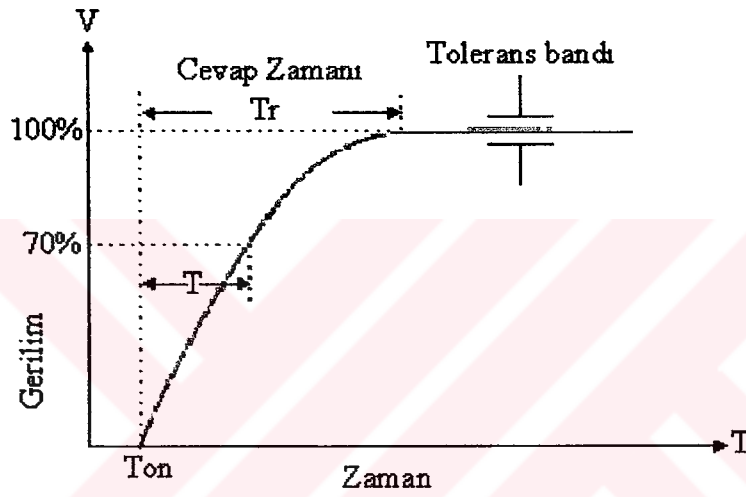
Formülde;

$F(x)$ = Çıkış sinyali

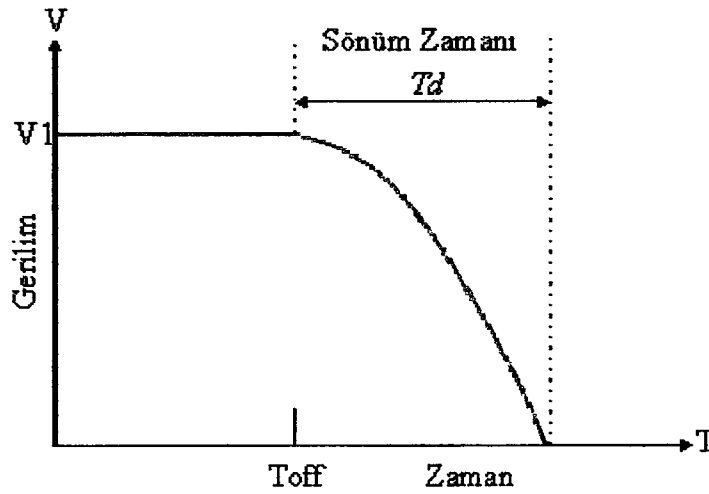
X = Giriş parametresi ve harmonikleri

K = Offset sabiti(eğer varsa)'dir.

Algılayıcının aktif çalışması esnasında giriş parametresinden üretilen doğal harmoniklerle aynı frekans bandı içinde yer alan algılayıcı eleman tarafından üretilen hata harmonikleri sistem açısından oldukça önem kazanmaktadır.

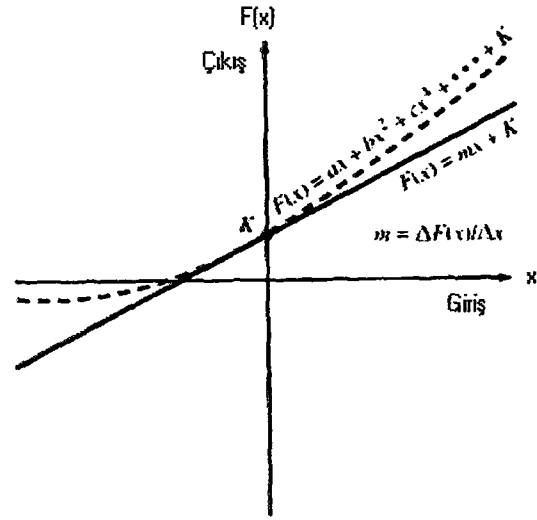


(a)

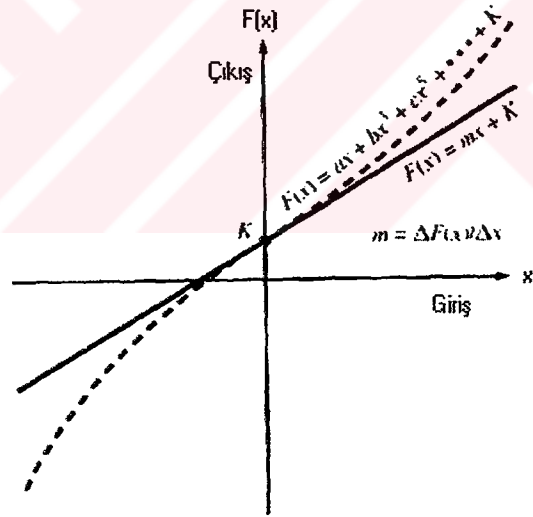


(b)

Şekil II.19 (a)Yükseliş Zamanı Aralığı (b)Sönüm Zamanı Aralığı



(a)



(b)

Şekil II.20 Giriş Sinyaline Karşın Çıkış

BÖLÜM III

Bu bölümde, Strain Gauge ve Termokupl Ölçme Teknolojileri'nin temel prensipleri verilmiştir.

STRAIN GAUGE ÖLÇÜMLERİ

III.1. GİRİŞ

Teknik çalışmalarda herhangi bir malzeme üzerine gelen kuvvetlerin o malzeme üzerinde oluşturduğu gerilmeleri bulmak ve bulunan gerilme miktarından yola çıkarak malzeme üzerinde oluşan stress ve kuvvet değerlerini hesap etmek amacıyla uygulanan strain gauge ölçümlerinin temel prensipleri ve nasıl yapıldığı bu kısımdaki çalışmaların konusunu oluşturmaktadır.

III.2. Gerilme ve Şekil Değişikliği

III.2.1. Şekil Değişikliği (Strain)

Herhangi bir malzeme üzerine gelen kuvvet sebebiyle malzeme üzerinde oluşan birim uzama miktarına strain(ϵ) denir. Uygulanan kuvvet sonucunda malzeme üzerinde oluşan uzamanın(ΔL), ilk andaki uzunluğa(L) oranı, strain(şekil değişikliği) olarak ifade edilir.

$$\epsilon = \Delta L / L \quad (III.1)$$

Strain, pozitif(çekme deformasyonu) veya negatif(sıkıştırma deformasyonu) olabilir. ΔL ve L uzunluklarının her ikisi de uzunluk boyutu olduğundan, strain birimsizdir. Pratikte, ölçülen şekil değişikliğinin büyüklüğü çok küçüktür. Bu nedenle, strain birimi “mikrostrain” ($\mu\epsilon = \epsilon \times 10^{-6}$) olarak ifade edilir.

III.2.2. Gerilme(Stres)

Birim alandaki kuvvete veya belirli bir alan üzerine gelen kuvvetin yoğunluğuna stres denir. σ sembolü ile gösterilir. Tanımından da anlaşılacağı gibi kuvvetin alana bölünmesiyle elde edilir.

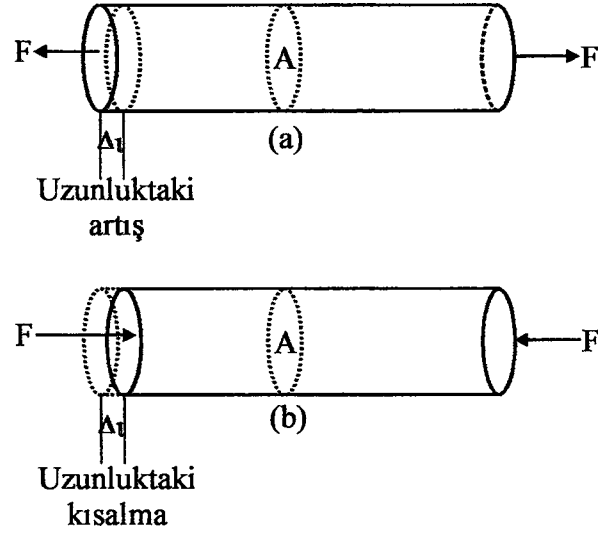
$$\sigma = F/A \quad (III.2)$$

Kuvvet, Newton(N) cinsinden, alan(m^2) olarak alınırsa stresin birimi N/m^2 olarak bulunur.

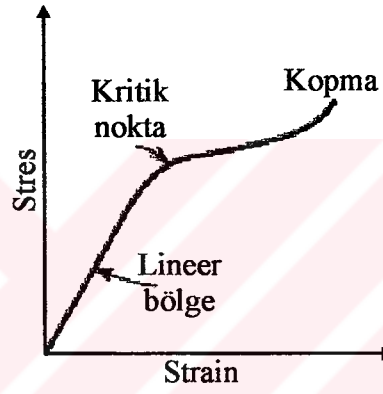
III.2.3. Fiziksel Boyutun Kuvvetle Değişimi

Tek eksenli kuvvet uygulamalarında malzeme üzerinde normal gerilmeler oluşur. Uygulanan bu kuvvetler malzemeyi uzatmaya yönelikse buna “Çekme (Tension)”, malzemeyi büzmeye/kısaltmaya yönelikse buna “Basma(Compression) Kuvveti” denir. Uygulanan kuvvetler malzeme üzerinde şekilsel değişikliğe neden olur. Basma kuvvetiyle malzeme boyunda kısalma meydana gelirken(Şekil III.1.a), çekme kuvveti malzeme boyunda uzamaya neden olur(Şekil III.1.b).

Çekme deneyinin uygulandığı metal bir cisimde stres ile strain arasındaki ilişki Şekil III.2’de gösterilmiştir. Elastik bölge olarak adlandırılan ve σ ile ϵ ’nin lineer olarak değiştiği bölgede malzeme üzerine gelen kuvvet kalktığında malzeme elastik olarak deforme olduğundan ilk şekline geri döner. Elastik bölgede stres-strain arasındaki açının tanjantına **elastisite modülü** veya **young modülü** denir ve E ile sembolize edilir. Plastik bölge olarak adlandırılan ve σ ile ϵ ’nin nonlineer olarak değiştiği bölgede ise malzeme üzerine gelen kuvvet kalktığında malzeme plastik olarak deforme olduğundan artık ilk şekline geri dönemez, kuvvet uygulanmaya devam edilirse malzeme kopmaya başlar[5].



Şekil III.1 Çekme ve Sıkıştırma Deformasyonu



Şekil III.2 Stres ve Strain Arasındaki İlişki

$$\text{Young Modülü} = E = \frac{\text{Gerilme}}{\text{Strain}} = \frac{F/A}{\Delta l/l} \quad (\text{III.3})$$

Tablo III.1 Bazı Malzemelerin Elastisite Modülleri

Malzeme	Modülü (N/m ²)
Alüminyum	6.89 x 10 ¹⁰
Bakır	11.73 x 10 ¹⁰ 20.70
Çelik	x 10 ¹⁰
Polietilen (plastik)	3.45 x 10 ⁸

Örnek III.1

$4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ kesitinde ve 10 m uzunluğundaki bir Alüminyum çubuğa uygulanan 1000 N'luk çekme kuvvetinin malzeme üzerinde ne kadarlık bir şekil değişikliği meydana getirdiğini bulalım.

Çözüm III.1

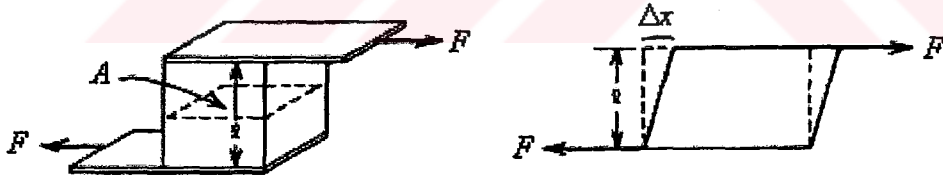
Tablo III.1'den Alüminyum için elastisite modülü $E = 6.89 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ bulunur.

$$E = \frac{\text{Gerilme}}{\text{Strain}} = \frac{F/A}{\Delta l/l} \quad \text{buradan,}$$

$$\text{strain} = \frac{F}{E.A} = \frac{10^3 \text{ N}}{4.10^{-4} \text{ m}^2 \times 6.89.10^{10} \text{ N/m}^2} \\ = 3,63.10^{-5} = 36,3 \mu\text{m/m} \text{ olarak bulunur.}$$

Bir cismin çekmede şekil değişikliğine uğraması halinde, cisim yalnızca uzunluğunda değişiklik sergilemez, aynı zamanda kesit alanı da azalır. Aynı şekilde, sıkıştırmada şekil değişikliğine uğrayan bir cismin kesit alanında da artma gözlenir. Bu etki esneme oranı ile niceliklendirilir ve "Poisson's Oranı" olarak bilinir. " ν " harfi ile gösterilir[6].

III.2.4. Kesme(Makaslama) Kuvveti



(a) Şekil değiştirmemiş cisim

(b) Kesme kuvveti uygulanan cisim

Şekil III.3 Kesme(Makaslama) Kuvveti Şekil Değiştirmesi

$$\text{Kesme kuvveti şekil değiştirmesi} = \frac{\Delta x}{l} \quad (\text{III.4})$$

Δx = Malzemedeki deformasyon miktarı(m)

l = Malzeme genişliği(m)

Kesme kuvveti modülü(M), young modülüne benzer şekilde aşağıdaki gibi olur.

$$M = \frac{\text{Gerilme}}{\text{Strain}} = \frac{F/A}{\Delta x/l} \quad (\text{III.5})$$

III.3. ŞEKİL DEĞİŞİKLİĞİ ÖLÇME CİHAZLARI (STRAIN GAUGELER)

III.3.1. Strain Gauge Tanımı

Şekil Değişikliği Ölçme Cihazları; İngilizce adıyla “Strain Gauge” ve Almanca adıyla DMS(Dehnungsmessstreifen), parça üzerine gelen birim uzamasını algılayan elemanlardır. Strain gaugeler büyük genişleme katsayıları olan, ince folyolardan bobin şeklinde haddelenen veya yarı-iletken şeritlerden oluşurlar. Bu şekilde oluşturulduklarından dolayı, boydaki görece değişikliklere(gerilme) karşı hassastırlar ve bir köprü devresi kullanılarak elektrik voltaj sinyaline dönüştürülen bir rezistans değişikliği ile tepki verirler[9].

Strain gauge elemanları kuvvet, ağırlık, tork, basınç vs.’nin ölçümünde kullanılan çeşitli sensörlerin komponentleridir. Gerilme ölçer teknolojisi küçük ölçüm hataları, çok yüksek kritik frekans, ivmelenme ile ilgili olarak aşırı hassasiyet, düşük dirençlilik, ısıнын etkilerini kısıtlama olanağı gibi oldukça önemli avantajlar sunar ve çok üst düzeyde ekonomiktir. Düşük hassasiyet, neme karşı hassasiyet ve büyük ölçekli kuvvet ölçümleri gibi dezavantajlar, normal olarak sayısız ölçüm işleri için optimum çözümlerin önünde aşılabilir engeller oluşturmazlar. Bu ölçüm işlemlerinin arasında özellikle vibrasyon analizi alanında mekanik gerilmenin saptanması bulunmaktadır. Gerilme ölçerlerin uygulanma alanı çok geniştir. Bunun olanakları ve özellikleri en açık olarak kuvvet ve tork sensörleri gibi uygulamalarda sergilenebilir.

III.3.2. Birim Uzamaların Ölçülmesi

Pratikte şekil değiştirme elemanı olarak birim uzamalar(ϵ -strain) değişik prensiplerle tasarlanan elemanlarla ölçülür. Bunlar, Mekanik, Optik, Elektriksel, Akustik, Pnömatik Strain Gaugeler şeklinde gruplandırılabilir. Bunlar içinde pratikte en çok Elektriksel Strain Gauge’ler kullanılmaktadır. Elektriksel Strain Gauge’ler de kendi içinde İndüktif, Kapasitif ve Rezistif olarak üçe ayrılırlar. Bunlar şekil değiştirme sonucu strain gauge elemanının bağlı olduğu devrede indüktans, kapasitans ve rezistans değişimi verecek şekilde tasarlanmışlardır.

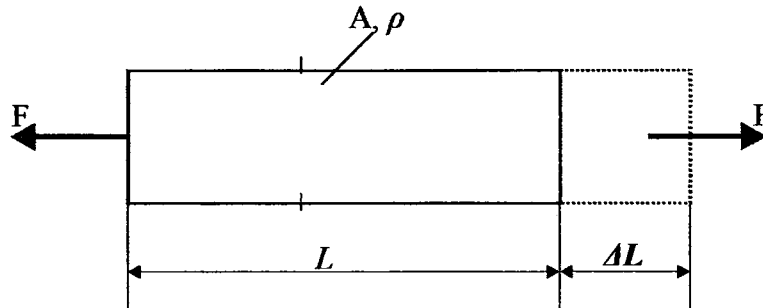
III.3.3. Strain Gaugelerden Beklenen Özellikler

- Kalibrasyon sabiti sıcaklık ve zamanla değişmemeli.
- Birim uzamalar 1×10^{-6} mertebesinde ölçülebilmeli.
- Noktasal ölçme yapılabilmesi.
- Dinamik ve statik ölçmeler yapılabilmesi.
- Ekonomik olmalı.
- Ölçümler kolay olmalı.
- Strain gauge cevabı lineer olmalı.
- Hassas ölçüm yapılabilmesi.

Strain gaugelerden beklenen doğrusallık, hassasiyet, düşük maliyet, mikron boyutunda ve noktasal ölçüm yapabilme, uygulama kolaylığı, dinamik ve statik ölçümlerde kullanılabilirlik gibi parametreler göz önüne alındığında mevcut tipler arasında optimum çözümün rezistif tip elektriksel strain gaugeler olduğu anlaşılmaktadır. Burada sadece bu tipin özellikleri, uygulama ve ölçme yöntemleri detaylı olarak incelenecektir. Bundan sonraki bölümlerde strain gauge(SG) terimi elektriksel rezistans strain gaugeler için kullanılacaktır.

III.3.4. Elektrik Rezistans Strain Gaugeler

1856 yılında İngiliz bilim adamı Lord KELVIN direnci R olan bir metal tele aksenal çekme kuvveti uygulayarak şekil değişimi ile direnç değişimini izlemiştir. Değişik malzemelere aynı kuvveti uyguladığında şekil değişiminin farklı, dolayısıyla direnç değişiminin de farklı olduğunu izlemiştir.



Şekil III.4 Strainin Tanımlanması

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \quad (III.6)$$

R : Direnç ρ : Öz direnç L : Uzunluk A : Dik Kesit

Kuvvetin uygulanması sonucu, acaba direnç değişimi ile birim uzama ε arasındaki bağıntı nasıl değişecektir? Bu sorunun cevabı Formül III.6'daki bağıntının diferansiyelinin alınması ve bazı yaklaşık kabullerle aşağıdaki gibi belirlenir.

$$dR = \frac{\rho}{A} dL + \frac{L}{A} d\rho - \frac{\rho \cdot L}{A} dA \quad (\text{III.7})$$

Denklemin her iki tarafındaki terimler $R = \rho \frac{L}{A}$ ile bölünürse,

$$\frac{dR}{R} = \frac{dL}{L} + \frac{d\rho}{\rho} - \frac{dA}{A} \quad (\text{III.8})$$

bulunur. Başlangıçtaki(şekil değiştirmeden önce) kesit alanı; $A = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4}$ ve şekil

değiştirmeden sonraki kesit alanı $A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ olsun. Buna göre;

$$\frac{dA}{A} = \frac{\frac{\pi}{4}(D^2 - D_0^2)}{\frac{\pi}{4}D_0^2} = \frac{(D_0 + \Delta D_0)^2 - D_0^2}{D_0^2} = \frac{D_0^2 + 2D_0\Delta D_0 + \Delta D_0^2 - D_0^2}{D_0^2} \quad (\text{III.9})$$

yazılır. İkinci dereceden küçük terimlerin ihmalı ile,

$$\frac{dA}{A} \cong \frac{2\Delta D_0}{\Delta D_0} = 2(-\nu \frac{\Delta L}{L}) \cong -2\nu \frac{\Delta L}{L} = -2\nu \varepsilon \quad (\text{III.10})$$

$$\frac{d\rho}{\rho} = C(1 - 2\nu) \cdot \frac{\Delta L}{L} = C(1 - 2\nu) \varepsilon \quad (\text{III.11})$$

yazılabilir. Bu değerler yukarıdaki denklemde yerine konulursa,

$$\frac{dR}{R} = [C(1 - 2\nu) + 1 + 2\nu] \varepsilon \quad (\text{III.12})$$

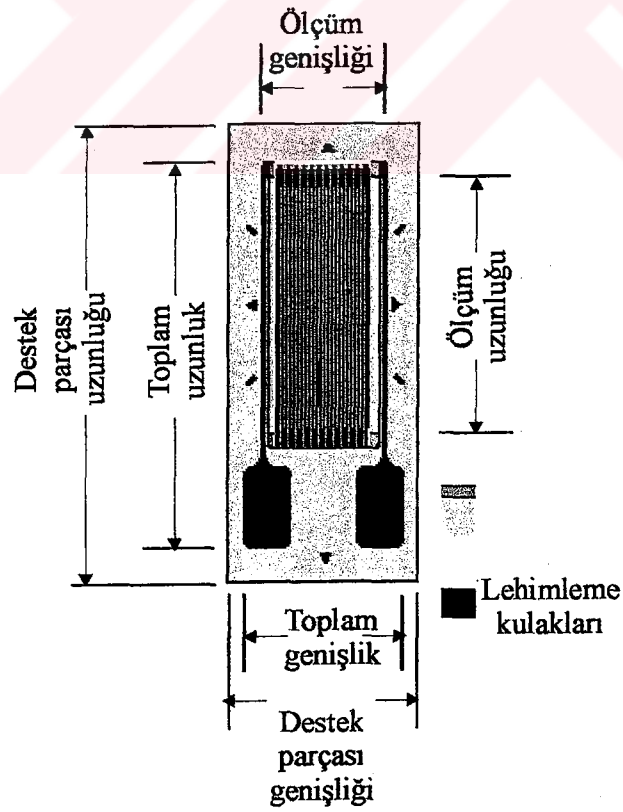
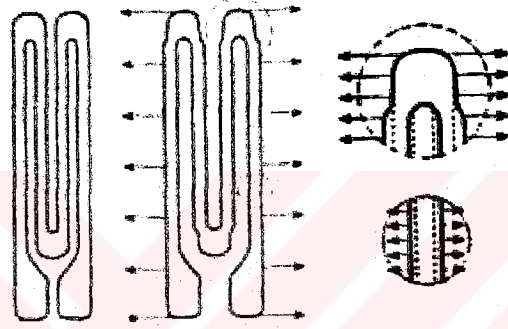
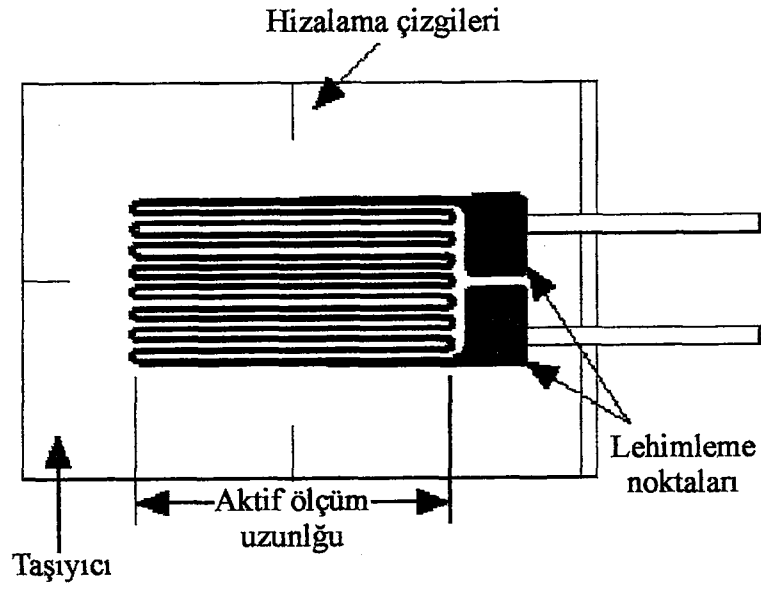
veya kısaca,

$$\frac{dR}{R} = K \varepsilon \quad (\text{III.13})$$

bulunur. Burada, $K = C(1 - 2\nu) + 1 + 2\nu$ bir malzeme katsayısıdır ve **Gauge Faktörü** olarak tanımlanır. Metalik SG'ler için gauge faktörü genellikle 2 civarındadır.

$$\text{GaugeFaktörü} = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon} \quad (\text{III.14})$$

Bu bağıntıdan yararlanarak direnç değişimi ölçülerek şekil değiştirme bileşeni hakkında bilgi edinilebilecektir. İdeal olarak, SG'in yalnızca gerilme uygulanan malzemedeki şekil değişikliğinin miktarını direnç değişimi olarak göstermesi istenir.



Şekil III. 5 Strain Gauge Görünümleri

SG malzemesi(ölçümü yapılan numune test malzemesi gibi)ndeki sıcaklık değişimleri de direnç değişimini etkileyecektir. Bu nedenle SG üreticileri gauge malzemesinin termal genleşme kompanzasyonu işleminde sıcaklık duyarlılığı minimize olacak biçimde tasarım yapmaktadırlar. Gauge kompanzasyonunda termal duyarlılığın azaltılması mümkün fakat ortadan kaldırılması olanaksız gibi gözükmemektedir. Örneğin sıcaklık katsayısı 23 ppm/°C olan alüminyum malzemeyi göz önüne alalım. Gage faktörü 2 ve direnci 1000 Ω olan SG'de şekil değişikliği ölçüm hatası 11,5 $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ 'dir. Bu nedenle sıcaklık kompanzasyonu çok önemlidir.

Birim uzamayı bir noktadan ölçeceğimizden L uzunluğundaki bir direnci bu noktaya yapıştırmak noktasal bilgiyi veremeyeceğinden direnç teline kıvrılarak bir form verilir ve boyutları kısaltılır. Verilen geometrik form genellikle Şekil III.5'te gösterildiği gibidir.

III.3.5. Strain Gauge Malzemelerinin Özellikleri

En çok kullanılan malzeme Konstantan(%45 Ni + %55 Cu)nın ve izoelastik alaşımının (%36 Ni + %0.5 Mg + %55.5 Fe) K-Gauge Faktörünün değişimi Şekil III.6'da görülmektedir.

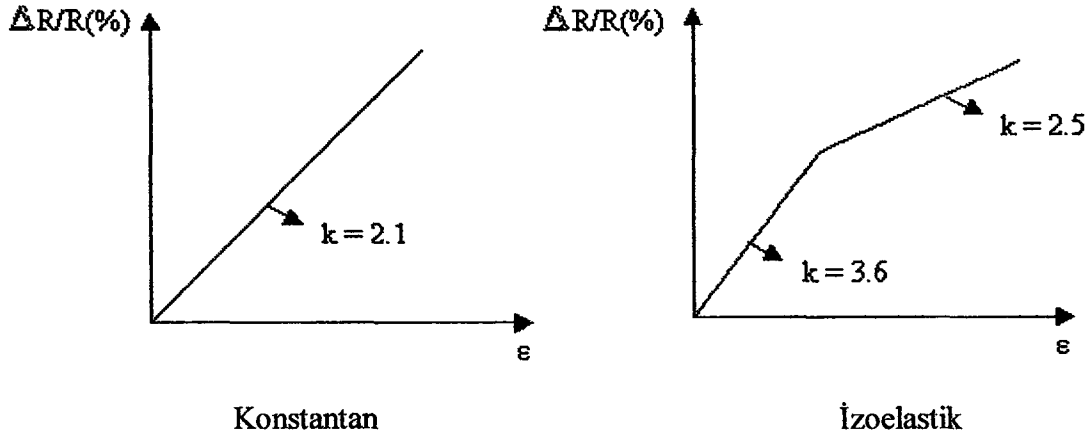
İzoelastik malzeme sıcaktan çok etkilenir. Gauge faktör değeri yüksek olduğundan yorulma testlerinde bu malzeme tavsiye edilir.

SG'lerin yapıldığı direnç telinin kesidine göre genelde ikiye ayrılırlar; Dairesel kesitli(tel tipi) ve Folyo tipi SG'ler. Üretici firmalar genellikle folyo tipi üretmektedir. Bunlara, ince yalıtkan bir malzeme üzerine ~0.0025 mm kalınlığında kaplama yapılarak kimyasal yöntemlerle ızgara şekli verilmektedir.

Folyo Tipi SG'lerin Tel Tipi SG'lere Olan Üstünlükleri :

- Uygulaması(yapıştırılması) daha kolaydır.
- Daha büyük akım geçmesine müsaade eder.
- Aynı karakteristiğe sahip tel SG'lere oranla gauge faktörü %5-10 daha büyüktür.
- Kesit alanının yüzey alanına oranı daha büyük olduğundan iyi bir ısı dağılımı sağlar.

- Yüksek besleme gerilimine izin verdiğinden ölçme devresindeki doğruluk iyileşir.



Şekil III.6 Konstantan ve İzoelastik Malzemelerin Gage Faktörü Değişimleri

III.4. STRAIN GAUGE ÖLÇÜMLERİ

SG ölçümlerinin mantığı; mikron boyutundaki şekil değişimlerini bile hissedebilecek hassasiyette bir elektriksel direnci, ölçümü istenen malzeme üzerine çok iyi bir şekilde yapıştırmak suretiyle, uygulanan kuvvetin malzeme üzerinde oluşturduğu şekil değişimlerinin(strain) aynısının bu direnç üzerinde de oluşmasını sağlamak ve bu sayede strain ile doğru orantılı olan direnç değişimlerini ölçüm cihazı/sistemi yardımıyla ölçebilmektir. Böylece malzeme üzerine gelen kuvvetlerin, o malzeme üzerinde oluşturduğu şekil değişiklikleri direnç değişimi şeklinde ölçülebilir. Bu direnç değerinden hareketle çeşitli hesaplama yöntemleri kullanılarak strain ve stress değerleri hesap edilebilir. Ölçüm esnasında alınan data, ya klasik Wheatstone Köprüsü ile ölçülür ya da modern Veri Kazancı(Data Acquisition) Sistemleri ile kaydedilir. Data Acquisition sistemleri de aslında Wheatstone Köprüsü mantığıyla çalışırlar. Fakat ilave olarak sinyali yükseltme, filtreleme ve kaydetme özelliklerine sahiptirler. Dörtte bir köprü, yarım köprü ve tam köprü olarak kullanılabilme özelliği olan Wheatstone Köprüsü, SG uygulamalarında genel olarak yarım köprü olarak kullanılır. İki SG kullanabilme imkanı tanıyan yarım köprüde, SG'lerin biri "aktif strain gauge"dir ve ölçüm yapmak amacıyla malzeme üzerine yapıştırılır. Diğeri ise "pasif strain gauge" olarak adlandırılır ve sıcaklığın aktif SG üzerindeki etkisini telafi etmek için kullanılır. Termal kompanzasyon denilen bu işlemde pasif strain gauge, aktif strain gauge yakınına, fakat kuvvetlerden

etkilenmeyecek bir yere yerleştirilir. Uygulamalarda strain değişimlerini algılaması için kullanılan SG'ler yanında, bu ölçümlerin gerekli kıldığı hassasiyet ve kalitede terminal, kablo, yapıştırıcı malzeme, lehimleme malzemesi, yüzey hazırlama, yüzey temizleme malzemeleri, ölçüm cihazı/sistemi ve diğer yardımcı malzemeler kullanılmalıdır.

Pratikte, şekil değişikliği ölçümleri nadiren bir kaç milistrain($\epsilon \times 10^{-3}$)den büyük değerlerde olmaktadır. Bu yüzden çok küçük direnç değişimlerinin ölçümü büyük doğruluk gerektirmektedir. 500 $\mu\epsilon$ 'lik şekil değişikliğine uğrayan bir test malzemesini göz önüne aldığımızda; gauge faktörü $K=2$ olan bir SG'deki elektriksel direnç değişimi yalnızca, $2.(500 \times 10^{-6}) = \% 0.1$ olacaktır. 120 Ω 'luk bir SG için bu değişim sadece 0.12 Ω 'dur[9].

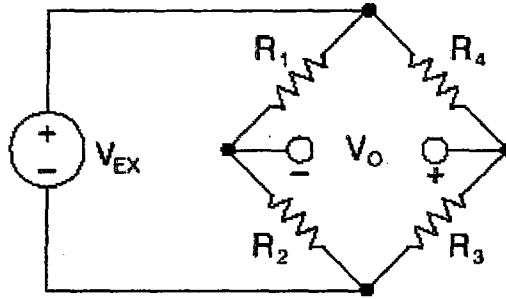
Çok hassas ölçme işlemi gerektiren bu testlerde çoğunlukla akım veya gerilim beslemeli köprü konfigürasyonları kullanılmaktadır. Bunlar;

1. Wheatstone Köprüsü
2. Potansiyometre Devresi'dir.

Bunlardan genellikle Wheatstone Köprüsü daha yaygındır[5].

III.4.1. Strain Gaugelerin Elektriksel Bağlantıları (Wheatstone Köprüleri)

Kullanılan SG sayısına göre Wheatstone köprüsü değişik isimlerle adlandırılır.



Şekil III.7 Wheatstone Köprüsü

Wheatstone köprü devresinin çıkış gerilimi V_0 aşağıdaki gibi olur.

$$V_0 = \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] V_{EX} \quad (III.15)$$

Bu denklemden görüleceği gibi, köprü devresinin karşılıklı kollarındaki dirençlerin çarpımlarının eşitliği sağlandığında çıkış gerilimi $V_0 = 0$ olacaktır.

Bu durumda köprü denge halindedir. Köprü kollarındaki dirençlerde bir değişim olmadığı sürece çıkış gerilimi sıfırda kalacaktır.

III.4.1.1. Dörtte Bir Köprü

Dörtte bir köprüde sadece bir SG ile köprü tamamlanır. Şekil II.7'deki devrede R_4 direnci yerine aktif bir SG bağlandığında bundaki direnç değişimleri sonucunda köprü dengesi bozulacak ve çıkışta bir gerilim üretilecektir. SG'in nominal direnci R_G olarak ve straine bağlı direnç değişimleri de ΔR olarak gösterilmiştir. Straine bağlı direnç değişimi aşağıdaki gibi olur.

$$\Delta R = R_G \cdot K \cdot \varepsilon \quad (\text{III.16})$$

Aşağıdaki şekilde $R_1=R_2$ ve $R_3=R_G$ eşitliğinin olduğunu kabul edelim. Bu durumda strainin fonksiyonu olarak V_0/V_{EX} için;

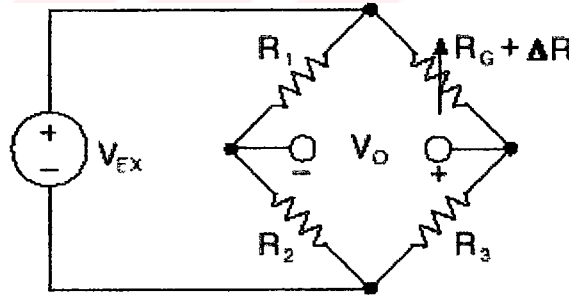
$$\frac{V_0}{V_{EX}} = \frac{K \cdot \varepsilon}{4} \left(\frac{1}{1 + K \frac{\varepsilon}{2}} \right) \quad (\text{III.17})$$

yazılabilir. Değişken direnç devrede sadece R_4 olduğundan;

$$\varepsilon_4 = \varepsilon \neq 0 \quad \text{ve} \quad \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0$$

olur. Bu durumda ölçmede kullanacağımız bağıntı aşağıdaki ifade olacaktır:

$$\Delta V = \frac{K}{4} \varepsilon \quad (\text{III.18})$$



Şekil III.8 Dörtte Bir Köprü Devresi

Dörtte bir köprü, ölçümlerde sıcaklığın etkisini önleyemediğinden pratikte pek kullanılmaz.

III.4.1.2. Yarım Köprü

Bu devrede iki adet SG Wheatstone köprüsünün iki komşu koluna bağlanır. Bu durumda;

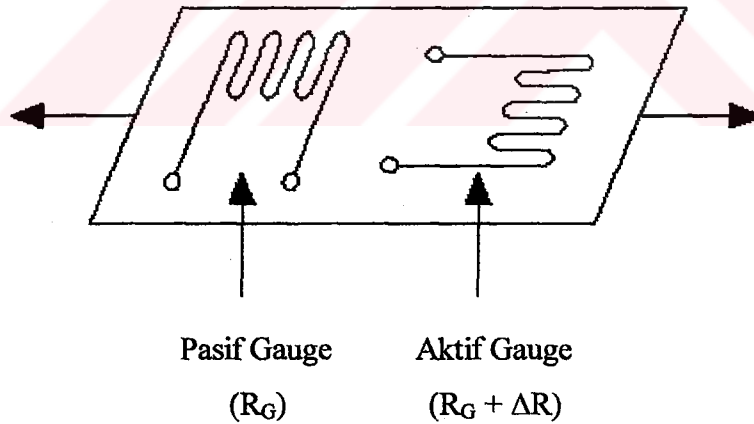
$$\varepsilon_1 = 0 \quad \varepsilon_2 = 0 \quad \varepsilon_3 \neq 0 \quad \varepsilon_4 \neq 0$$

olur. Ölçmede kullanılan bağıntı ise,

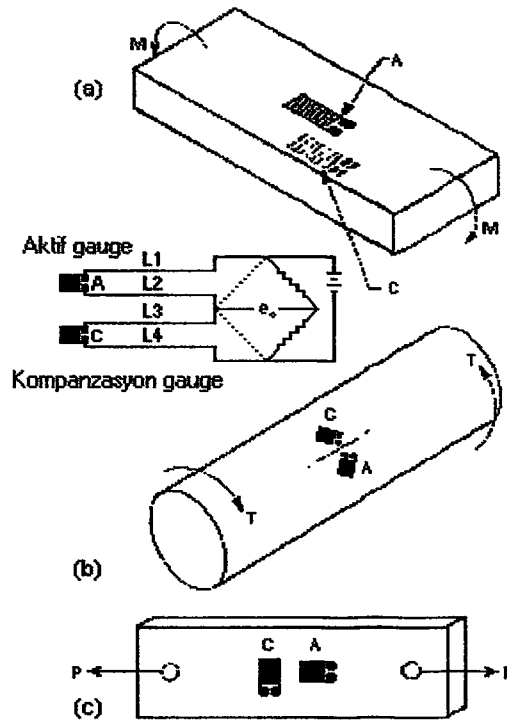
$$\Delta V = \frac{K}{4} (\varepsilon_3 - \varepsilon_4) \quad (III.19)$$

şeklindedir.

Pratikte yarım köprü uygulamalarında bazen iki aktif(şekil değiştiren cisim üzerine bağlanmış), bazen de bir aktif bir de pasif gauge kullanılır. Pasif gauge, ölçme yapılan cisim üzerine değil, aynı çevre şartlarında gerilmesiz bir malzemeye yapıştırılır. Bu durumda aktif SG hem gerilmenin, hem de sıcaklığın etkisiyle direncini değiştirirken, pasif gauge sadece sıcaklığın etkisiyle direnç değiştirir. Bu uygulamanın dörtte bir köprüden farkı sıcaklık etkilerinin kompanze edilebilmesidir. Köprü devresinde iki SG'in kullanımı ile sıcaklık etkisinden kaçınılabilir. Şekil III.9'da gösterilen SG'lerden birisi aktif, diğeri ise sıcaklık kompanzasyonu için kullanılan ve uygulanan straine çaprazlama yerleştirilen pasif gauge'dir[9].

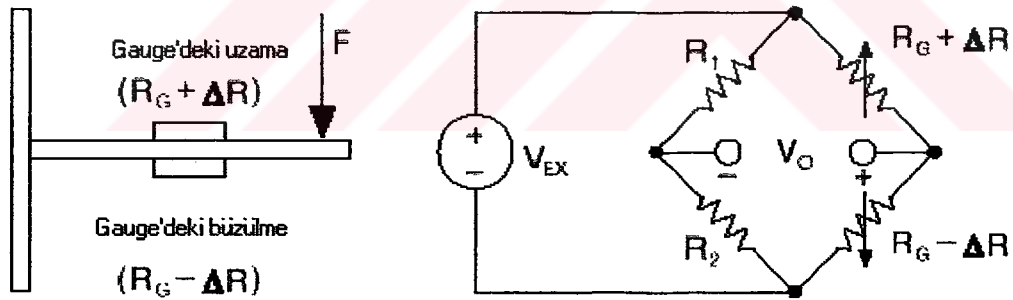


Şekil III.9.a Sıcaklık Etkilerini Kompanze Etmek Amacıyla Uygulanan Gauge Yerleşimi



Şekil III.9 Sıcaklık Etkilerini Kompanze Etmek Amacıyla Uygulanan Gauge Yerleşimi

Buna alternatif olarak farklı yönlerde iki farklı aktif SG'in kullanılması ile de straine karşı köprünün duyarlılığı arttırılabilir. Aşağıdaki şekil bu duruma örnek olarak gösterilebilir.



Şekil III.10 İki Aktif Strain Gauge'in Kullanıldığı Yarım Köprü Devresi

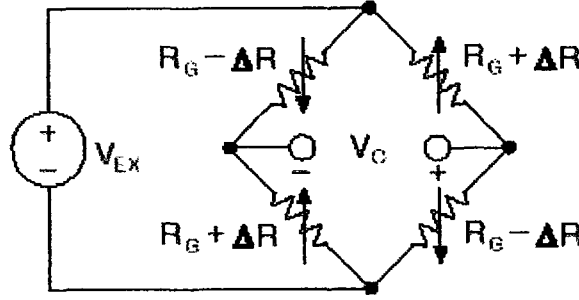
$$\frac{V_0}{V_{EX}} = - \frac{K \cdot \epsilon}{2} \quad (III.20)$$

III.4.1.3. Tam Köprü

Köprünün her bir koluna aktif SG'ler bağlanarak duyarlılık çok daha iyi seviyelere kadar arttırılabilir. Tam köprü, Wheatstone köprüsünün dört koluna da SG'lerin bağlanması halidir. Böyle bir devrede,

$$\varepsilon_1 \neq 0 \quad \varepsilon_2 \neq 0 \quad \varepsilon_3 \neq 0 \quad \varepsilon_4 \neq 0$$

olacaktır. Tam köprüde giriş-çıkış gerilimleri ile direnç değişimleri arasındaki bağıntı, $\Delta V = K / 4(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$ şeklinde genel formunu muhafaza eder. Ancak uygulamada SG'lerin yapıştırıldığı noktalar o şekilde seçilmelidir ki, birim uzamalar arasında bilinen ilişkiler bulunsun. Bu durum, iki aktif SG'li yarım köprü için de aynıdır.



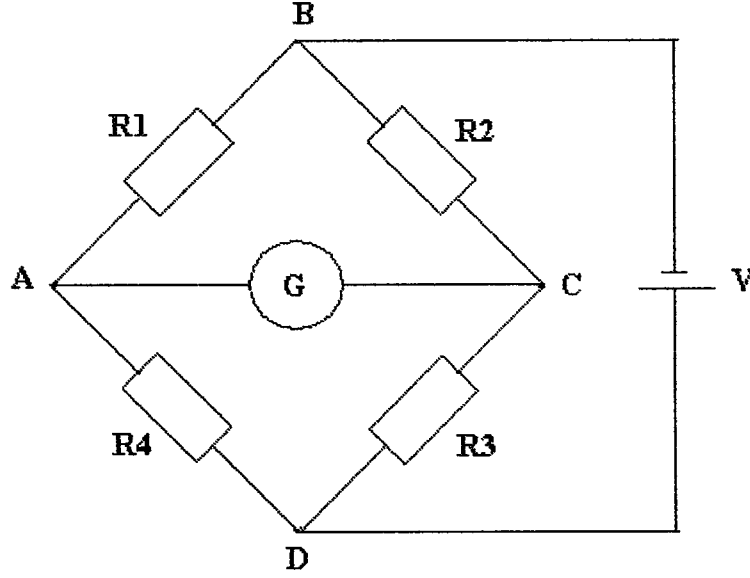
Şekil III.11 Tam Köprü Devresi

$$\frac{V_0}{V_{EX}} = -K.\varepsilon \quad (III.21)$$

Burada Wheatstone köprü devreleri için verilen denklemlerde, başlangıçta yani strain uygulanmadığı durumda köprünün sıfır çıkış gerilimi ürettiği varsayılmıştır. Fakat pratikte, direnç toleransları ve gauge aplikasyonunun neden olduğu strainden dolayı başlangıçta küçük bir gerilim köprü çıkışlarında üretilecektir. İlk durumdaki bu offset gerilimini iki yolla kontrol altına almak mümkündür. Özel bir offset-sıfır ayarı veya köprüdeki dirençlerin ayarlanmasıyla çıkış sıfır yapılabilir. Ya da, devrenin strainsiz çıkışı ölçülür ve verilerin analizi için kullanılan yazılımla ayarlamalar yapılır.

III.4.1.4. Sıfır Ayarı

Ölçüm yapmadan önce Şekil III.12'de gösterilen V_{AC} noktaları arasındaki potansiyelin sıfır yapılabilmesi için $R_1.R_3 = R_2.R_4$ olmalıdır. Bu işlem devre dirençleri değiştirilerek V_{AC} çıkışı için galvanometre göstergesinden izlenerek yapılabilir. Böyle bir devreyle ölçme yaparken sıfır ayarı ölçme yapılacak noktanın yüksüz veya referans değerine karşılık gelir. Sıfır ayarı yapıldıktan sonra yüklenen sistemde gerilme ve şekil değiştirme alanı oluşacak sistemle birlikte, üzerine yapıştırılmış SG'ler de şekil değiştirecekler, dolayısıyla dirençleri de değişecektir.



Şekil III.12 Wheatstone Köprü Devresi

Bu durumda,

$$R_1 \rightarrow R_1 + \Delta R_1$$

$$R_2 \rightarrow R_2 + \Delta R_2$$

$$R_3 \rightarrow R_3 + \Delta R_3$$

$$R_4 \rightarrow R_4 + \Delta R_4$$

şeklinde değişir. Yüklemenin durumuna göre (çekme veya basınç) dirençteki değişim artma veya azalma şeklinde olacaktır. Buna göre yüklemenden sonra V_{AC} çıkış gerilimi sıfırdan saparak ΔV gibi bir değer gösterecektir. Bu değer;

$$\Delta V = \frac{(R_1 + \Delta R_1)(R_3 + \Delta R_3) - (R_2 + \Delta R_2)(R_4 + \Delta R_4)}{(R_1 + \Delta R_1 + R_4 + \Delta R_4)(R_2 + \Delta R_2 + R_3 + \Delta R_3)} \cdot V_{EX} \quad (\text{III.22})$$

şeklinde olacaktır. Bu bağıntıda $R_1.R_3 = R_2.R_4 = R^2$ olduğu düşünülürse ve basitleştirmeler yapılırsa,

$$\Delta V \approx \frac{1}{4} \left[\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right] V \quad (\text{III.23})$$

bulunur. $\Delta R/R = K.\varepsilon$ genel bağıntısı parantez içindeki terimler için uygulanacak olursa,

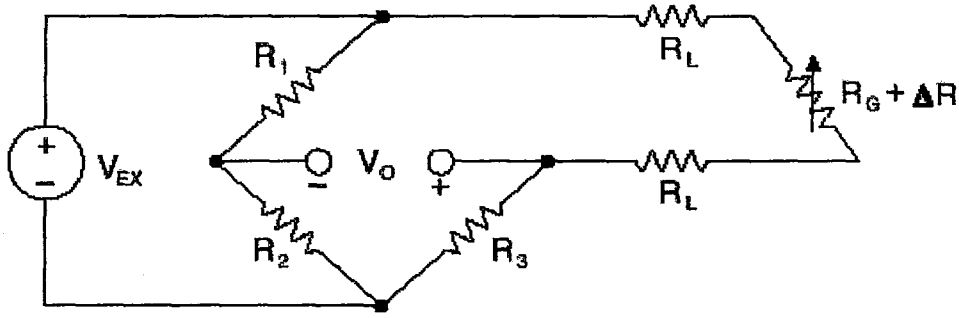
$$\Delta V \approx \frac{K}{4} [\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4] \quad (\text{III.24})$$

bağıntısı bulunur. Ölçüm sırasında en fazla kullanılan bağıntı budur.

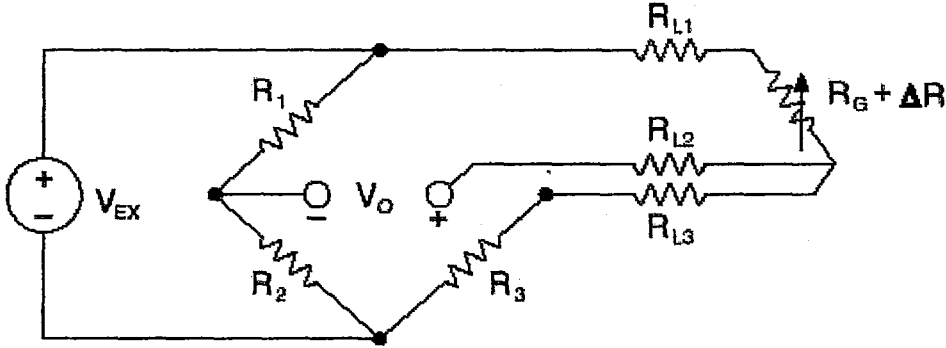
III.4.1.5. Strain Gauge Ara İletken Direncinin Ölçme Sistemine Etkisi

Buraya kadar verilen şekil ve denklemlerde SG'in ara sinyal kablusunun direnci(R_L) ihmal edilmişti. SG ölçümlerinin temelini anlaşılmaması açısından başlangıçta bu direncin önemsenmemesi yararlı olabilir. Fakat uygulamalarda dikkate alınmaması durumunda oldukça yanlış ölçüm sonuçlarına sebep olabilir. Örneğin Şekil III.13.a'daki iki iletkenli SG bağlantısını göz önüne alalım. Her bir iletkenin 15 m uzunluğunda ve direncinin de 1Ω olduğunu varsayalım. Böylece köprü kollarına 2Ω 'luk bir direnç ilave olacaktır. Bu direnç offset hatasına eklenmesinin yanında, köprü çıkışını da etkileyecektir. Köprü çıkışına bu direncin etkisi $1+(R_L/R_G)$ miktarı kadardır. R_L iletken direncinin önceden ölçülmesiyle ve ölçülen değerin SG denklemlerinde kullanılmasıyla bu hata kompanse edilebilecektir. Fakat diğer problem, sıcaklık değişimlerinin iletken direncinde değiştirmesi sonucu oluşacak ölçüm hatalarıdır. Örneğin bakır iletkeni için verilen sıcaklık katsayılarına göre sıcaklıktaki küçük bir değişim bir kaç $\mu\epsilon$ 'lik ölçüm hatası oluşturabilmektedir.

Bu nedenle, dörtte-bir köprü bağlantılı SG'ler için Şekil III.13.b'de gösterilen üç iletkenli bağlantı tercih edilir. Bu konfigürasyonda, köprünün birbirine komşu kolları R_{L1} ve R_{L3} 'deki sıcaklık değişimleri birbirlerini kompanse eder. Ölçüm noktasına bağlanan üçüncü iletken R_{L2} ise çok küçük bir akım taşır ve direncinin etkisi önemsenmeyecek kadar küçüktür.



a) İki İletkenli Bağlantı



b) Üç İletkenli Bağlantı

Şekil III.13 Dörtte-bir Köprü Devresinin İki ve Üç İletkenli Bağlantıları

III.4.2. Strain Gauge Direnç Değerleri

Deneysel gerilme analizi testlerinde çoğunlukla 120 Ω ve 350 Ω 'luk strain gauge direnç değerleri kullanılmaktadır. Çoğu uygulamalar için 120 Ω daha uygundur. 350 Ω 'luk gerilme ölçerler sıcaklık etkilerinin ve iletken dirençlerinin azaltılması, aynı güç seviyesinde gürültü oranına sinyal iyileştirmesi amacıyla tercih edilebilirler. Daha büyük dirençli olanlar transdüser uygulamalarında ve farklı malzemelerin kullanıldığı materyallerde kullanılmaktadırlar. 30 Ω 'dan 5000 Ω 'a kadar SG direnç değerleri üretilmektedir[10].

III.4.3. Strain Gauge ve Terminal Seçimi

Yapıştırılacak zeminin uygun şekilde hazırlanması koşuluyla SG'ler hemen hemen bütün katı cisimlere uygulanabilirler. Değişik metalik malzemeler, plastik, beton, taş, tahta vs. üzerinde SG'lerle ölçme yapılabilir. Gerek zeminin hazırlanmasında ve gerekse yapıştırmada kullanılan malzemenin seçimi çok önemlidir. Bu malzemelerin olanaklar dahilinde zehirli ve vücuda zararlı olmamasına

dikkat etmelidir. Kullanılan solventler genellikle uçucu olduğundan uygulama yapılan hacmin havalandırılması yararlı olur.

Özellikle araştırma ve geliştirme için yapılan hassas ölçümlerde zeminin hazırlanmasında ve SG'lerin yapıştırılmasında yapılan her titiz davranış, ölçümün hassasiyetini etkiler. Örneğin, yapıştırma esnasında SG'in yapışacak yüzeyine parmak ile dokunmak bile yapışma kalitesini bozar.

Bütün bu hazırlıklardan önce yapılması gereken en önemli nokta, ölçüme uygun strain gauge ve terminal seçiminin yapılmasıdır.

III.4.3.1. Strain Gauge Seçimi

Herhangi bir SG uygulamasının hazırlanmasındaki ilk adım, yapılacak teste en uygun olanının seçilmesidir. Burada dikkat edilmesi gereken ölçüm karakteristiklerinin ve parametrelerinin çok önemli olduğudur[10]. Bunlar;

- Çalışma koşulları ve çevresel etkilere göre en uygun ölçüm performansının belirlenmesi,
- Hassaslığın sağlanması ve güvenilir gerilme ölçümleri,
- Kolay uygulanabilirlik,
- Yukarıda sayılan özelliklerle beraber en ekonomik uygulama.

Gauge Parametreleri :

Bir SG'in çalışma koşulları ve uygulaması aşağıdaki parametrelerden etkilenmektedir ki bunlar farklı şekillerde seçilebilir.

- Gerilme algılayıcı malzemesi
- Kendi kendine sıcaklık kompanzasyonu
- Taşıyıcı malzemesi
- SG direnci
- Ölçüm eksen uzunluğu
- Seçicilik
- Gauge modeli

Test Parametreleri :

Temel olarak bir SG seçim işlemi, istenilen parametrelerin elde edilebilirliğinin belirlenmesinden ibarettir. Bu parametreler çoğunlukla çevresel ve diğer koşullarla uyumsuz nitelikte olanlardır. Bunlar aynı zamanda çalışma kısıtlamalarına ve

malzeme üzerine yerleştirmelerde en uygun özelliklere de sahip olmalldrlar. Kısıtlamalar genel olarak aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

- Doğruluk
- Test süresi
- Kararlılık
- Periyodik dayanıklılık
- Sıcaklık
- Aplikasyon kolaylığı
- Çevre

Gauge seçiminde çoğunlukla SG'in fiyatı, göz önünde bulundurulması gereken birinci öncelikli sırada değildir. Kayda değer ekonomik ölçüm, eksiksiz aplikasyonların toplam maliyetidir. Zaten SG fiyatı bu donanımlar içerisinde oldukça küçük kalmaktadır.

Strain Gauge Seçim Kriterleri :

Strain Gauge Kontrol Listesi

Aşağıdaki kontrol listesi çok kritik olmayan test profillerinin hazırlanmasında hızlıca kullanılabilcek uygun koşulları sağlamaktadır. Uygun gerilme analizi testleri için bu kontrol listesi uygulanabilir. Fakat, nükleer radyasyon içeren uygulamalar, kuvvetli manyetik alanlar, aşırı merkezkaç kuvvetli vb. sistemlerde kullanılması uygun değildir[10].

Adım 1 (Gauge Uzunluğu)

- Gerilme eğimleri
- Maksimum gerilmenin alanı
- Gerekli doğruluk
- Statik gerilme kararlılığı
- Maksimum uzama
- Periyodik dayanıklılık
- Isı dağılımı
- Aplikasyon mesafesi
- Aplikasyon kolaylığı

Adım 2 (Gauge Modeli)

- Gerilme eğimleri
- Isı dağılımı

- Aplikasyon mesafesi
- Aplikasyon kolaylığı
- Gauge direnç değerinin ulaşılabilirliği

Adım 3 (Gauge Serileri)

- Uygulama (statik, dinamik, vb.)
- Gerilme ölçümünün tipi
- Çalışma sıcaklığı
- Test süresi
- Periyodik dayanım
- Gerekli doğruluk
- Aplikasyon kolaylığı

Adım 4 (Opsiyonlar)

- Ölçüm tipi (statik, dinamik, vb.)
- Aplikasyon yeri (laboratuvar veya dış ortam)
- Gerekli kararlılık
- Aplikasyon için gerekli alan
- Aplikasyon zamanı kısıtlamaları.

Adım 5 (Gauge Direnci)

- Isı dağılımı
- Ara kablo direncinin etkisi
- Sinyaldeki gürültü oranı.

Değişik uygulamalarda, değişik amaçlarla kullanılmak üzere değişik tip ve boyutlarda SG'ler üretilmektedir. Ölçümü yapılacak her problemin kendine özel, şartlarına uygun SG'in seçilmesi gerekir.

Strain Gauge Seçimi Yapılırken Şu Noktalar Dikkate Alınmalıdır :

- Basit ölçümlerde ve asal doğrultuların bilindiği, hangi doğrultuda ölçme yapılacağı bilinen, ölçmelerde klasik tip basit SG'ler kullanılır.
- Eğer gerilme ve şekil değiştirme alanı karmaşık ise, cismin geometrisine ve kuvvet sistemine bağlı olarak birden fazla SG elemanının oluşturduğu rozet tip SG'ler kullanılır.
- SG'in büyüklüğü, ölçümü yapılacak cismin büyüklüğüne ve şekil değiştirme gradyanına bağlı olarak seçilir. Gerilme ve şekil değiştirme, noktadan noktaya büyük ölçüde değişiyorsa, bu durumda mümkün olduğu kadar küçük boyutlarda SG seçilir.

- SG malzemesi, taban malzemesi ve yapıştırıcı ölçüm yapılan cismin ve çevrenin sıcaklığına uygun olarak seçilmelidir.
- Uzun süreli ölçümlerde ve özellikle dinamik kuvvetlerin uygulandığı problemlerde taban malzemesi ve yapıştırıcı yorulma ömrüne uygun seçilmelidir.
- Taban malzemesi ve yapıştırıcı ile ölçüm yapılan cismin malzemesi kimyasal reaksiyonlara karşı uygun seçilmelidir.
- SG sinyal kablosunun termal genleşme katsayısı ile ölçüm yapılan cismin termal genleşme katsayısı birbirine uygun seçilmelidir. Ancak yarım köprü veya tam köprü ile sıcaklık kompanzasyonu sağlanıyorsa bu nokta pek önemli değildir.
- Ölçüm şartlarına uyan en ucuz SG seçilmelidir.

SG üreten firmalar SG'in tip ve büyüklüğünü tanımlayan kod numaraları kullanırlar. Bu kod numaralarında her harf ve sayı bir özelliği tanımlar.

Örneğin, bir firmanın kodlama sisteminde,

EA-06 250BF- 350 Option LE

1 3 2 4 5 6

1-Strain Gauge serisi

E: Taban malzemesi (E-Poliamid)

A: Metal tel alaşımı (A-Konstantan)

2-Termal kompanzasyonla ilgili numara

3-Gauge ölçüm uzunluğu (mm)

4-Gauge şekli

5-Direnç (Ohm)

6-Özel koşul

Bilgileri tanımlanır. Bir başka firmanın örnek kodlaması ise;

3 / 120 LY 11

1 2 3

şeklindedir. Burada da;

1-Gauge ölçüm uzunluğu (mm)

2-Direnç (Ohm)

3-Gauge tipi

L : Şekil(klasik tip veya rozet vs.gibi)

Y : Taban malzemesi (Y-poliamid, K-cam elyaf takviyeli malzeme)

III.4.3.2. Terminal Seçimi

Ölçüm esnasında veya daha sonra bağlantı kablolarının hareketi ve zorlanması sonucu SG'in uçlarından kopmaması için SG uçları önce terminal adı verilen ve hemen SG'in yanına yapıştırılan elemana lehimlenir. Bağlantı kabloları daha sonra terminalin diğer uçlarına lehimlenir. Bu şekilde kabloları gelen zorlamalar SG tellerine zarar vermezler.

Terminal seçilirken de SG'te olduğu gibi büyüklüğü, şekli, taban malzemesinin ölçme şartlarına uygun olmasına dikkat edilir. Terminaller de üretici firma tarafından kod numarası ile tanımlanırlar.

C PF - 75 C
1 2 3 4

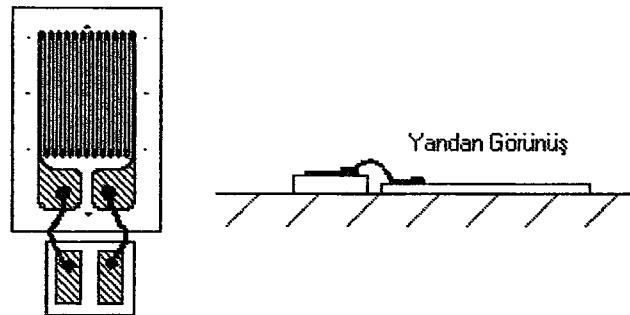
Numarası ile tanımlanan terminalde (Şekil III.14),

1-Terminal folyo malzemesi

2-Taban malzemesi

3-Terminal uzunluğu (1/1000 inch)

4-Terminalin şeklini göstermektedir.



Şekil III.14 Strain Gauge Terminal Bağlantısı

III.4.4. Strain Gauge'in Ölçme Yapılacak Zemine Tespiti

Bu işlemde amaç, yapıştırma bölgesinde yeterli pürüzlüğe sahip, kimyasal açıdan temizlenmiş ve ölçme doğrultusunun işaretlendiği bir yüzey elde etmektir. Yapılacak olan hazırlıklar, ölçüm yapılacak malzemenin durumuna, üzerindeki kirin miktarına ve türüne bağlıdır. Bütün açık yüzeyler, çıplak gözle ne kadar temiz görünürlerse görünsünler, kirli kabul edilir. Toz, oksit, rutubet, buhar ve gazlar yapıştırıcıların özelliklerini kötü yönde etkilerler. Bu yüzden temizleme işleminden hemen sonra yapıştırma yapılmalıdır. Bakır, alüminyum, titanyum ve bunların alaşımları çok çabuk okside olduklarından temizlemeden hemen sonra yapıştırma işlemine başlanmalıdır. Diğer maddelerde ise, laboratuvar koşullarında temizleme ile yapıştırma arasında maksimum 3 saatlik bir ara olabilir.

Yapıştırmadan önce zeminin hazırlanması sırasında aşağıdaki işlemler sırasıyla uygulanır.

III.4.4.1. Yüzey Temizleme İşlemi

Ölçüm bölgesinden daha geniş bir alandaki toz, pul, boya ve kalın yağlı, kirli tabakalar yağ çözücü solventlerle arındırılır. Bu işlem her zaman için ilk işlem olmalıdır. Daha sonraki aşındırma işlemi sırasında pisliklerin yüzey malzemesi içlerine sürüklenmemesi için bu gereklidir. Yağ alma işlemi, pislik, tortu bırakmayan çözücülerle yapılmalıdır. Bunun için sprey tipleri tercih edilir. Boyaların temizlenmesi için spatül, ege ve benzeri araçlar kullanılabilir. Yüzey üzerindeki yağlar, ovalanarak temizlenebildikleri gibi asitli çözeltilerle de temizlenebilirler. Ancak bu çözelti kullanılırken işlem yapan kişinin lastik eldiven ve koruyucu gözlük kullanması gerekir. Alüminyum malzemelerde asit çözeltisi kullanılamaz. Sıradan organik çözücüler, mineral yağları uzaklaştırmada yetersiz kaldıklarından böyle durumlarda alkali çözücüler kullanılır. Bu işlemden sonra damıtılmış su ile durulamak ve temiz selülozik bir malzemeyle kurulamak gerekir. Temizlemenin mükemmel olması gerekmez, çünkü bu işlemi başka işlemler takip eder.

Eğer yüzey pürüzlüğü fazla ve oksitlenme mevcutsa, yüzey 220 veya 320 numara zımpara ile temizlenebilir. Yüzeyde boya mevcutsa, önce boya kazınır, daha sonra zımparalama yapılır. Başlangıçta zımparalama kuru yapılır. Son aşındırma işlemi temizleyici ile yüzey tamamen ıslatıldıktan sonra 320 veya 400 numara zımpara ile ıslak yapılır. Zımparalama doğrultusu her zaman ölçme doğrultusundadır.

Daha sonra gazlı bez veya yumuşak bezle yüzey silinir. Yapıştırma işleminin yapılacağı yüzeyin parlak düzeyde olması gerekir. Zira ölçüm yapılacak malzeme ile yapıştırıcı malzeme arasındaki bağlar kimyasal bir yapı sergilerler. Bu bağ kuvvetlerini temas yüzeyini arttırarak fazlalaştırabiliriz. Temas yüzeyinin arttırılması ise sadece pürüzleştirme ile mümkündür. Bu işlem mekanik bir şekilde yapılabildiği gibi nadiren de olsa kimyasal olarak da yapılabilir. İdeal bir yapıştırma yüzeyi kum püskürtme ile elde edilebilir. Püskürtme ile pürüzleştirmenin birçok avantajının yanında bu metot bazen araç-gereç yetersizliğinden, bazen de malzemenin bu metoda izin vermemesi yüzünden kullanılamaz.

Çok narin malzemelerde zımpara kağıdı kullanılamaz. Mekanik ön işlemler ve oksit tabakasının parçadan uzaklaştırılması cam elyaftan oluşan temizleyici ile yapılır.

SG'in yapıştırılacağı yerin işaretlenerek belirlenmesi gerekir. Yüzey üzerinde ölçme doğrultusu için eksen çizgileri işaretlenir. İşaretleme işleminde yüzey temizleyici bir kimyasal malzemeye pamuk veya bez, renk değiştirmeyinceye kadar silinir. Yüzeyde herhangi bir tortuya neden olmamak için silme tek yönde yapılır. Temizleyici yüzeyde buharlaşma olursa kalıcı bir film tabakası oluşturur ki bu da yapıştırma kalitesini bozar. İnce folyo SG'lerde merkez eksen bellidir. Zemin üzerindeki işaretleme işlemi için bir tükenmez kalem idealdir, çünkü böyle bir kalem açıkça görülen bir iz bıraktığı halde parçaya bir zarar vermeyecek ve hatta parça üzerinde bir çentik oluşturmayacaktır. Alüminyum gibi yumuşak maddeler sivri bir kurşun kalemle işaretlenebilirler. Yapılan bu işaretler son temizlemeden sonra bile görünür olmalı, fakat parçaya bir zarar vermemelidirler.

İşaretlemeden sonra özenli bir son temizleme gerekir. En ince bir yağ tabakası bile yanlış ölçümlere sebep olabilir. Silikon gresi ve yağ en zor temizlenen maddelerdir. Bu malzemeler ise el losyonları gibi kozmetikte çok kullanılan malzemeler olduğundan, işlemi yapan teknik elemanın bu hususa dikkat etmesi gerekir. Eğer yanıcı çözücüler kullanılıyorsa ateşleyici kaynakların uzaklaştırılması ve sigara içilmemesi gerekir. İnsan sağlığı için düzenli çalışan hava tertibatı gereklidir.

Beton yüzeylerin yapıştırmaya hazırlanması metallere nazaran daha kolaydır. İlk aşamada yüzey, yağdan ege veya zımpara yardımıyla temizlenir. Betonların temizlenmesinde çözücülere ihtiyaç yoktur. Beton üzerindeki toz basınçlı hava ile temizlenir.

Silisit asitli cam, cilalanmış porselen, emaye gibi malzemelerde yüzey hazırlanırken yüzeydeki yağın uzaklaştırılması yeterlidir. Pürüzlüleştirme veya diğer hazırlıklar gerekli değildir.

Plastikler farklı ön hazırlık çalışmaları gerektiren iki gruba ayrılırlar:

- a) Amorf yapıda olan plastikler
- b) Kısmen kristal yapıdaki plastikler.

Amorf yapıdaki plastiklerin hazırlanmasındaki amaç, silikon ve yağlayıcılar gibi katkı maddelerinin uzaklaştırılmasıdır. Bunun için kullanılan organik maddeler; alkalin fosfat ve organik sülfattır. Kısmen kristal yapıdaki plastiklerde ise plastiğin yüzeyindeki yapıyı değiştiren sert hazırlıklar gerekli olabilir. Plastiklerde kullanılan çözücüler birim uzama korozyonuna sebep olabildiklerinden dikkatli kullanılmalıdırlar.

Lastiklerde zımpara kağıdı ile yapılan hafif bir pürüzlüleştirme yeterli olabilir.

III.4.4.2. Yapıştırma İşlemi

Yapıştırma işlemi büyük bir önem taşır. Yapıştırma malzemeleri, malzemede meydana gelen deformasyonların gauge'e doğru olarak iletilmesi için uygun bağlantının sağlanmasına yararlar. Değişik koşullar ve dış etkiler, farklı türde yapıştırma malzemesi ve farklı türde uygulama metodu gerektirirler.

Yapıştırıcı Çeşitleri :

Uygulama noktasındaki değişik çalışma şartları yüzünden değişik yapıştırıcı ve SG çeşitleri kullanılır. Böylece değişik SG serileri ve yapıştırıcı çeşitleri kullanılarak optimum bağlantı elde edilebilir. Diğer kombinasyonlar uygulama bölgesinin limitlerini daraltır. Bununla birlikte bazı kombinasyonlar da teknik sebepler yüzünden göz ardı edilirler. Her durumda teknik boyutlardaki gereklilikler incelenmelidir.

Genel olarak yapıştırıcı çeşitleri şunlardır :

1- Soğuk işlemlili Yapıştırıcılar :

Uygulanması kolaydır ve çok az emek gerektirirler. Eğer reaksiyon zamanları kısa ise böyle yapıştırıcılara "hızlı yapıştırıcılar" adı verilir. Deneysel gerilme analizlerinde tercih edilirler.

2- Sıcak Curing Yapıştırıcılar :

Ölçüm yapılacak malzeme iyileştirme sıcaklığına kadar ısıtılabilirse, bu yapıştırıcı kullanılabilir. Genelde transdüser yapımında kullanılır. Ancak parçaların

birleştirilmesinden önce veya parçaların ölçüm için ayrılmasının mümkün olduğu durumlarda da bu metot kullanılabilir. Bu tip yapıştırıcıların tek veya çift bileşenli versiyonları da vardır.

3- Seramik Lehim Malzemesi :

Bazı SG'lere uygundur. Yüksek sıcaklığa dayanıklı bakalit tipi SG'lerin yapıştırılmasında kullanılır. Bunlardan başka özel tip SG'lerin yapıştırılmasında nokta kaynak bağlantısı uygulanabilir. Bu metot yapıştırma yöntemlerinin en kolaylarından biridir. Sadece nokta kaynağı için yapılması gereken küçük bir masrafa ihtiyaç vardır. Yine de çok az kullanılır. Zira özel tip SG'lere ihtiyaç vardır ve çok az tip bu metot için uygundur. Kaynak edilebilir SG'ler belli boyutlarda üretilebilirler. Ayrıca nokta kaynağı yapılacak malzeme kaynak edilebilir olmalıdır. Bazı malzemelerde, buhar kapları ve ostenitik çelikler gibi, kaynak edilebilme kabiliyetlerine rağmen bu metod mikrokorozyon tehlikesi sebebiyle kullanılmaz.

Yapıştırma sırasında aşağıdaki işlemler sırasıyla takip edilir:

- SG cımbızla zarfından çıkarılır ve temiz bir yüzeye konur. Terminal kullanılacak ise bu da SG'e yakın konuma yerleştirilir. Üzerlerine yapıştırılan seloteyp bant ile konumları tespit edilir.
- Gauge-terminal-seloteyp grubu, konumları bozulmayacak şekilde (yaklaşık olarak yüzeyle 30°'lik açı ile) kaldırılır. Ölçme yapılacak konuma işaretlenen eksen çizgileri SG'in üzerindeki eksenlerle çakışacak şekilde yapıştırılır.
- Daha sonra seloteyp hafifçe kaldırılır. Cisim üzerinde ölçme konumuna yapıştırıcı sürülür. Ucu kaldırılmış olan seloteyp üzerindeki gauge, seloteyp ile birlikte zemine yapıştırılır. Parmak ile SG'in üzerine bir miktar basınç uygulanır. Bu basınç, fazla yapıştırıcıyı ve varsa hava kabarcığını dışarı atar. Basınç fazla olursa yeterli yapıştırıcı kalmayacağından yapışma iyi olmaz. Parmakla basma işlemi birkaç saniye sürer(hızlı yapıştırıcı için). Daha sonra seloteyp dikkatlice kaldırılır.

Yapıştırma sırasında alınması gereken önlemler :

- Berilyum veya alaşımları kanserojen olduklarından, bunlar kullanılırken filtreli maske takılmalıdır.
- SG uygulamasından önce temizliğe dikkat edilmelidir. Bu yalnızca doğru bir ölçüm için değil, aynı zamanda aşırı hassas teni olan insanlar için de önemlidir. Çözücüler ve bazı kimyasal bileşimler aşırı duyarlı insanlara zarar verebilirler. Böyle durumlarda ya çalışılan yapıştırıcı çeşidi değiştirilmelidir ya da başka bir teknik

eleman bu işle görevlendirilmelidir. Genel olarak yapıştırıcıların insan sağlığına kalıcı bir zararları yoktur, ancak alerjik bir insan, çok fazla bu maddelerle temas halinde bulunursa tedavi gerekebilir.

- Silikon yağı içeren el losyonları kullanılmamalıdır.
- Uzun süre SG uygulamalarıyla çalışan insanların çözücülerin buharından zehirlenmemeleri için iyi bir havalandırma gereklidir. Yine bu buharlar yangına veya patlamaya sebebiyet verdiklerinden işlem sırasında sigara içilmemesi gerekir.

III.4.4.3. Terminal ve Kablo Bağlantıları

SG'in uçları terminale lehimlenir. Terminalin uçları ohmmetre ile kontrol edilir. Terminal uçlarına ölçme cihazına yetiyecek uzunlukta kablo uçları lehimlenir. Kabloların bağlanması genelde lehimleme ile sağlanır. Düşük voltajlı, sıcaklık kontrollü, duyarlı, sürekli elektronik kontrolü olan ve yüksek ısı üretme kabiliyetine sahip havayalar tercih edilmelidir. Lehim yüzeyini arttıran uçlar kullanılmalıdır.

SG uygulamaları için kullanılacak lehimlerin akıcılık değerlerine, malzemeye uygun erime noktasına, alaşımın içindeki maddelere ve yüzdelere dikkat etmelidir.

Havyanın ucundaki oksitlenmiş tabakayı uzaklaştırmak ve temiz oksijen sağlamak için pratikte pasta adı verilen malzeme kullanılır. Bunlar lehimin cinsine göre seçilirler. Şekil III.14'de terminal birleştirmeleri gösterilmiştir. Terminalin boyu SG'e ve lehimlenecek kablolarla bağlıdır. Lehim bölgesinin mümkün olduğu kadar küçük olması gerekir. Bazı nedenlerden dolayı lehim bölgesi büyük olacak gibi görünüyorsa, o zaman yükleme yönüne dik lehim yapmak gerekir. Ölçümün başarılı olması bağlama elemanlarının ve kabloların doğru seçimine de bağlıdır. Bu elemanlardan ölçüm sinyallerini doğru olarak iletmelerinin yanı sıra gürültü sinyallerini de belli bir limite kadar geçirmemeleri istenir.

Lehimleme için pratik ipuçları :

- Yapıştırma işleminden önce lehim malzemesi üzerindeki oksit tabakası temizlenmelidir.
- Kablolar lehimlenmeden önce uçları bir kağıt parçası arasında bükülmelidir (elle değil!).
- Lehimleme sırasında havya 3 saniye kadar sabit tutulur. Bu esnada havyanın hareket ettirilmesi ısı kaybına sebep olur.

- Lehimin katılaşması sırasında parçalar hareket ettirilmemelidir.
- Soğumayı hızlandırmak için üfleyiciler kullanılabilir.
- Parçaların uçları lehimden sonra görülebilir olmalı, lehim altında kalmamış olmalıdır.

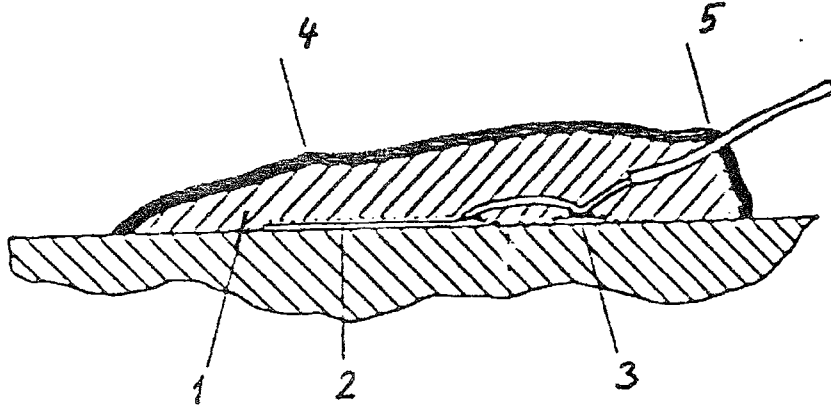


Şekil III.15 Yüzey Temizleme,Yapıştırma ve Lehimleme İşlemleri Yapılmış Strain Gauge Uygulamasının Malzeme Üzerindeki Görünümü

Strain Gauge Uygulanan Bölgenin Koruyucu İle Kaplanması :

Özellikle uzun süreli kullanımlar ve kötü çevre koşullarında (rutubet, kimyasal malzeme etkisi, darbe etkisi vs. gibi) yapıştırılan SG'in yüzeyi koruyucu özel bir malzeme ile kaplanır. Kısa süreli ölçmelerde bu kaplanmayabilir. Birkaç haftalık iç mekanlardaki ölçmelerde, çevre şartları kötü değilse kaplama gerekmez. Kaplama işlemi ve kullanılan malzeme şartlara göre değişebilir.

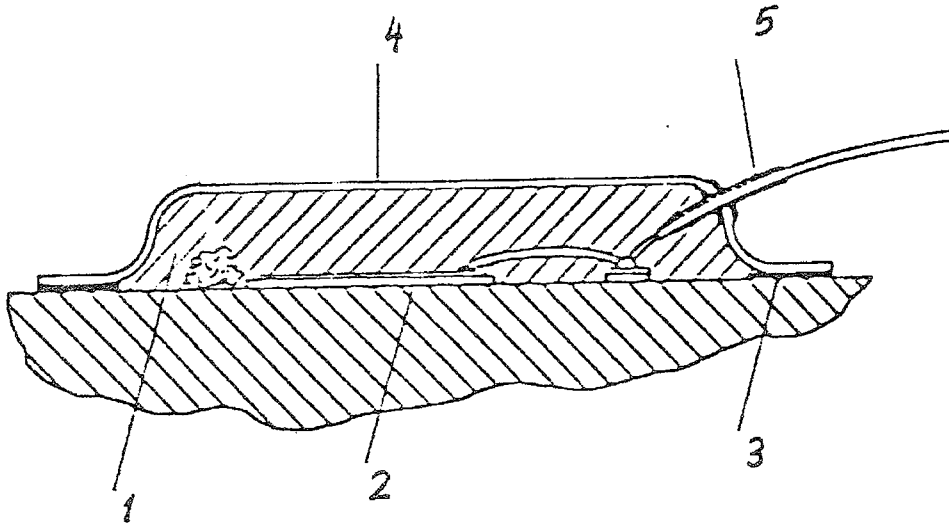
Aşağıdaki şekil birçok üretici tarafından tavsiye edilen bir kaplama şeklini göstermektedir. Burada bütün SG yüzeyi ve kablounun kısa bir bölümü koruyucu malzeme ile tamamen kaplanmıştır. Darbelerden korumak için yumuşak koruyucu tabakanın üzerine sertleşen bir malzeme püskürtülerek (sprey gibi) kaplanır. Kaplamanın fazla önemli olmadığı, çevre şartlarının çok kötü olmadığı durumlarda kaplama spreysilikon ile de yapılabilir.



Şekil III.16 Strain Gauge Koruyucu Kaplaması

1. Koruyucu tabaka(macun)
2. Strain gauge
3. Terminal
4. Sert yüzey kaplaması
5. Kablo etrafında sızdırmazlık contası

Aşağıdaki şekilde ise çok uzun süreli kullanımlar için mükemmel denilebilecek bir koruyucu kaplama örneği görülmektedir. Dış kısımlardaki sert metal veya plastik kaplama darbelere olduğu kadar su ve rutubet için de koruyucu özelliğini taşır. Metal malzeme ile kaplama yapılacak ise cisimde oluşacak şekil değiştirmeye engel olmaması için mümkün olduğu kadar ince malzeme seçilir.



Şekil III.17 Strain Gauge'in Uzun Süreli Kullanımlarında Uygulanabilecek Kaplama Yöntemi

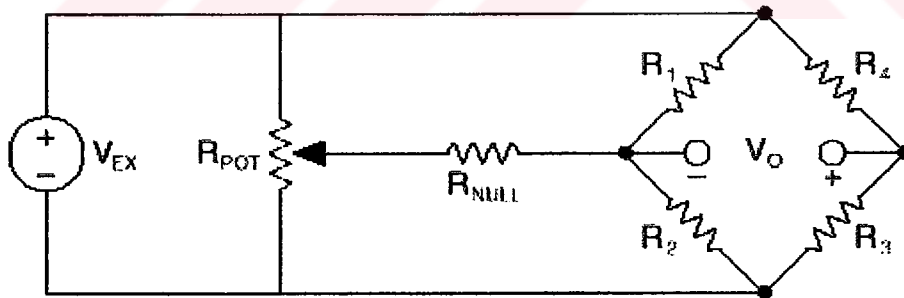
1. Koruyucu tabaka(macun)

Pratikte, çoğu SG köprüleri ve şekil değişikliği ölçümüne dayalı transdüserler 10 mV/V'tan daha az bir çıkış verirler. Bu durumda 10 V besleme gerilimli bir köprü devresi için çıkış sinyali maksimum 100 mV olacaktır. Bu nedenle SG sinyal koşullandırıcı sistemleri sinyal seviyesini, ölçülebilir noktaya kadar getiren yükselticiler içerirler.

Sıfır Dengeleme: SG'lerden oluşan bir Wheatstone köprü devresi kurulduğunda, test malzemesine gerilme uygulanmadığı halde başlangıçta köprü devresinin çıkış gerilimi sıfırda olmaz. Çoğunlukla, köprü kolları arasındaki küçük değişimler ve bağlantı noktası dirençlerinden dolayı, başlangıçta değeri sıfır olmayan bir çıkış gerilimi üretilir. İlk andaki köprü çıkışının sıfır yapılabilmesi için kullanılan bir kaç yöntem uygulanmaktadır. Bunlar;

1. Kullanılan Yazılımdan Sıfırlama(Software Compensation): Bu metot basit, hızlı ve elle ayarlama gerektirmez. Fakat kurulu düzenden tamamen yok edilememesi dezavantajdır.

2.Sıfır Dengeleme Devresi(Offset-Nulling Circuit): İkinci dengeleme yöntemi, ayarlanabilir direnç(potansiyometre) kullanılarak, fiziksel olarak köprü çıkışının sıfır yapılması esasına dayanır. Şekil III.19'da sinyal koşullandırıcı terminal bloklarının sıfır dengeleme devresi gösterilmiştir. Potansiyometrenin(R_{POT}) pozisyonunun değiştirilmesiyle köprü çıkış geriliminin seviyesi dengeleme için sıfır yapılabilir.



Şekil III.19 Köprü Dengeleme Devresi

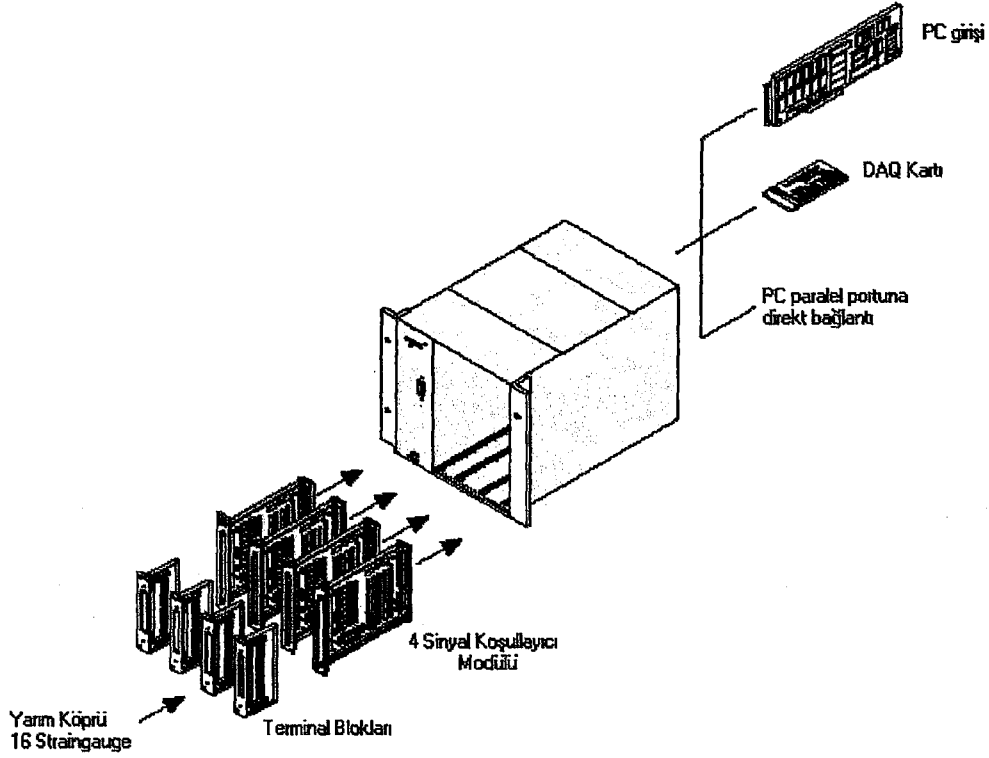
TabloIII.2 Strain Gaugeler İçin İki Farklı Sinyal Koşullayıcı Özellikleri

	SCXI-1121	SCXI-1122
Giriş kanalı sayısı	4	16
Elektriksel izolasyon	Kanaldan-Kanala	Girişten-Çıkışa
Çoğullayıcı tarama hızı	333 kS/s	100 S/s
Yükseltici kazancı	1 - 2000	0.01 - 2000
Besleme gerilimi	3,333V veya 10.0 V Kanal başına	3.333 V Modül başına
Besleme Akımı	3.333 V'da 28 mA 10.0 V'da 14 mA Kanal başına	225 mA Modül başına
Yarım Köprü tamamlama	Var	Var
Sıfır Dengeleme	Var	Yok

Tablo III.3 Straingauge Devrelerinin Gerektirdiği Akım Değerleri

Köprü Şekli	Besleme Gerilimi	
	3.333 V	10 V
120 Ω tam köprü	28 mA	83 mA
120 Ω dörtte bir veya yarım köprü	14 mA	43 mA
350 Ω tam köprü	10 mA	29 mA
350 Ω dörtte bir veya yarım köprü	5 mA	15 mA
1000 Ω tam köprü	3.3 mA	10 mA
1000 Ω dörtte bir veya yarım köprü	2 mA	6 mA

*Yarım köprü uygulamalarında tamamlama direncinin $R = 4,5 \text{ k } \Omega$ olduğu varsayılarak tablodaki akım değerleri yazılmıştır.



Şekil III.20 Strain Gaugeler İçin Bir Ölçme Sistemi Konfigürasyonu

III.6. ÖLÇÜMLERDE KULLANILAN STRAIN GAUGE KÖPRÜ KONFIGÜRASYONLARININ DENKLEMLERİ

Köprü konfigürasyonu, ne tip bir köprü kullanılarak SG yerleştirildiğini belirtmek için kullanılır. Bunun için 7 seçenek vardır[9].

$$V_r = \frac{V_{0(gerilmeli)} - V_{0(gerilmesiz)}}{V_{EX}} \quad (III.23)$$

Aşağıda her bir köprü devresi konfigürasyonu için yazılan denklemlerde;

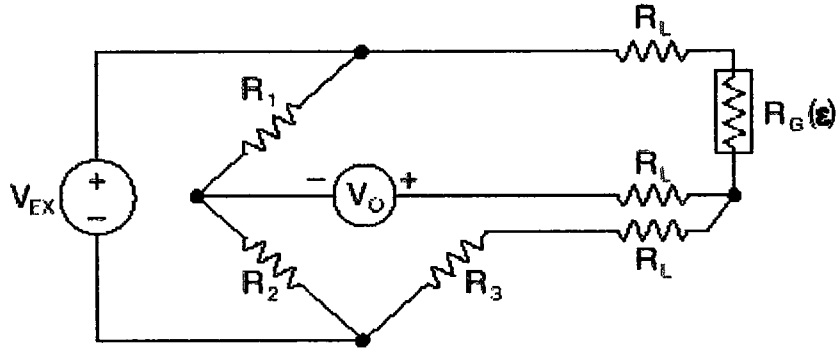
(+ε) ve (-ε): Malzeme üzerine yapıştırılan SG'lerde oluşacak şekil değişikliğini,

-νε : Poisson oranına bağlı şekil değişikliği yönünü,

R_G : SG'in nominal değerini,

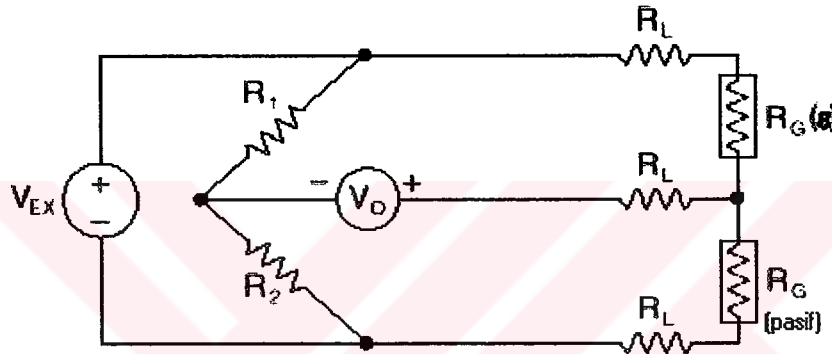
GF : SG'in gauge faktörünü,

R_L : İletken direncini, temsil etmektedir.



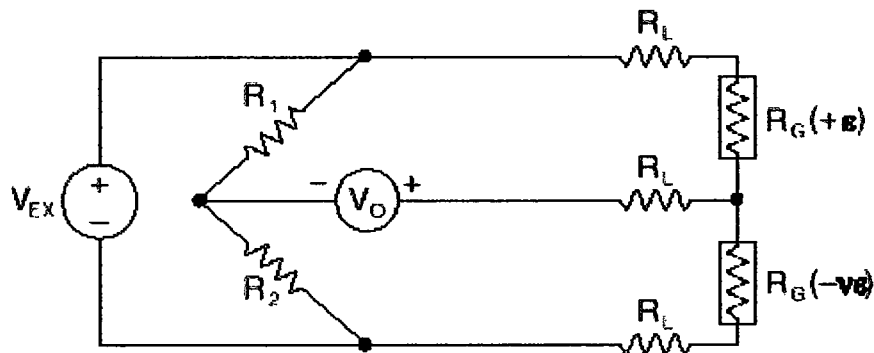
Şekil III.21 Dörtte-bir Köprü I Konfigürasyonu

$$Strain(\varepsilon) = \frac{-4Vr}{GF(1 + 2Vr)} \left(1 + \frac{R_L}{R_G} \right) \quad (III.24)$$



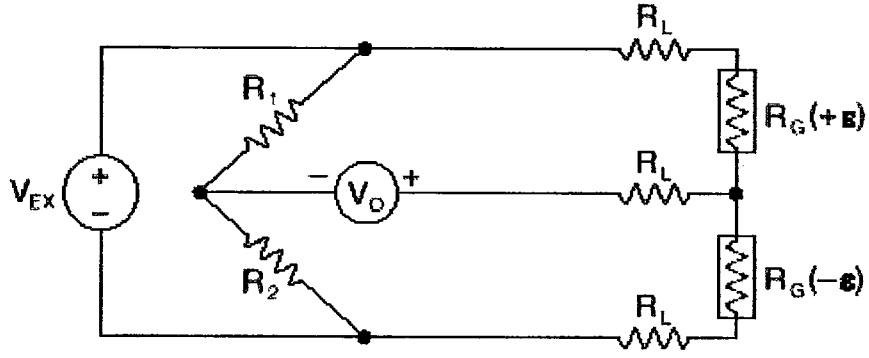
Şekil III.22 Dörtte-bir Köprü II Konfigürasyonu

$$Strain(\varepsilon) = \frac{-4Vr}{GF(1 + 2Vr)} \left(1 + \frac{R_L}{R_G} \right) \quad (III.25)$$



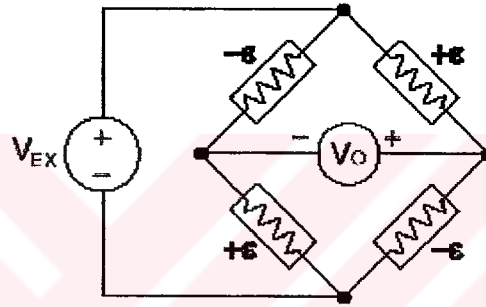
Şekil III.23 Yarım Köprü I Konfigürasyonu

$$Strain(\varepsilon) = \frac{-4Vr}{GF[1 + v] - 2Vr(v - 1)} \left(1 + \frac{R_L}{R_G} \right) \quad (III.26)$$



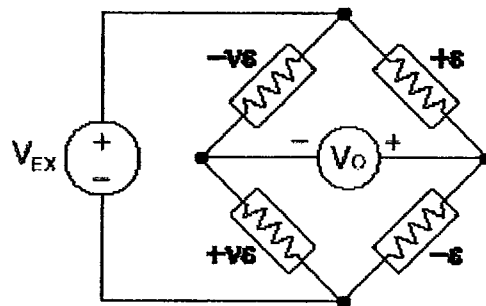
Şekil III.24 Yarım Köprü II Konfigürasyonu

$$Strain(\varepsilon) = \frac{-2Vr}{GF} \cdot \left(1 + \frac{R_L}{R_G}\right) \quad (III.27)$$



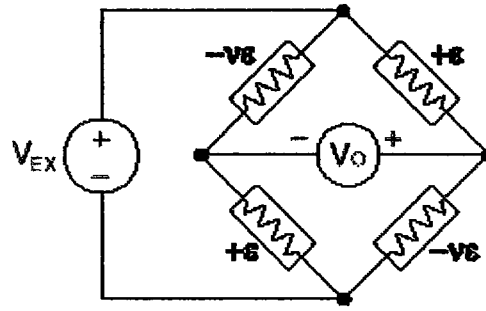
Şekil III.25 Tam Köprü I Konfigürasyonu

$$Strain(\varepsilon) = \frac{-Vr}{GF} \quad (III.28.1)$$



Şekil III.25 Tam Köprü II Konfigürasyonu

$$Strain(\varepsilon) = \frac{-2V_r}{GF(v + 1)} \quad (III.28.2)$$



Şekil III.27 Tam Köprü III Konfigürasyonu

$$Strain(\varepsilon) = \frac{-2Vr}{GF[(v+1) - Vr(v-1)]} \quad (III.28.3)$$

III.7. TERMOKUPLLARLA SICAKLIK ÖLÇÜMÜ

III.7.1. Giriş

Proses kontrol sistemlerinde fiziksel büyüklük olarak sıcaklığın ölçülerek kendisi ile orantılı bir elektriksel işarete dönüştürülmesi çok önemli bir konudur. Günümüzde sıcaklık ölçümleri giderek artan oranda önemli bir konu haline gelmiştir. Sıcaklık tamamen fizik ile ilgili temel bir konudur. Çok çeşitli fiziksel özellikleri etkileyen bir parametre olması nedeniyle ölçülmesi gereken önemli bir değişkendir. Sıcaklık ölçümü için çok çeşitli yöntemler vardır. Bunlar içinde en çok kullanılan sensörlerden birisi termokupldur. Termokupl(ısı çifti)lar endüstride sıcaklık ölçümlerinde çok geniş uygulamalarda kullanılmaktadırlar[11]. Burada bilgisayarlı veri kazancı sistemleri ile oldukça geniş bir alanda kullanılan sıcaklık algılama cihazları olan termokupllar hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Elektronik enstrümantasyonlarla kullanılan sıcaklık ölçüm algılayıcılarının en yaygın olanları; RDT(Resistance Temperature Detectors–Sıcaklık Direnç Tipi Dönüştürücü)’ler, Termistörler, Yarı İletken Sıcaklık Algılayıcıları ve Termokupl’lardır[13]. Bu kısımda Mercedes-Benz Geliştirme ve Test Merkezi(GTH)’nde şehirlerarası otobüslerde yolcu konforunun artırılmasına yönelik olarak yapılan sıcaklık ölçümlerinde K tipi termokupllar kullanıldığından, ağırlıklı olarak bunların açıklamaları verilmiştir.

III.7.2. Tanımlar

Sıcaklık ölçümlerinin anlaşılabilmesi için, sıcaklık ve ısı ile ilgili bazı kavramların bilinmesinde yarar vardır.

III.7.2.1. Sıcaklık

Sıcaklığın etkisi ortamdaki moleküllerin hem dönmesi hem de titreşiminden doğan bir hareket halidir. Cismin sıcaklığı ne kadar fazla ise, moleküllerin titreşim enerjisi o kadar büyük ve bu moleküllerin kinetik enerjisinin bir başka cisme transfer potansiyeli de o oranda yüksek olacaktır. Sıcaklık, ısınmın yüksek bir seviyeden düşük bir seviyeye hareketini sağlayan bir potansiyeldir. Isı iletim oranı ise sıcaklık farkının bir fonksiyonudur[7].

III.7.2.2. Isı

Isı termal bir enerjidir. Bir cismin içindeki ısı miktarı, o cismin sıcaklığı ile orantılıdır; yani ısı kapasitesinin mutlak sıcaklık ile çarpımıdır. Isı enerjidir ve enerji birimleri ile ölçülür. Isı birimi “joule”dür.

III.7.2.3. Özgül Isı Kapasitesi

Aynı sıcaklık artışının üretilmesi için farklı malzemeler, farklı miktarda ısı yutarlar. Özgül ısı kapasitesi veya daha çok kullanılan adıyla bir maddenin özgül ısı, o maddenin 1 kg'ının sıcaklığını 1 Kelvin yükseltmek için yuttuğu ısı miktarıdır.

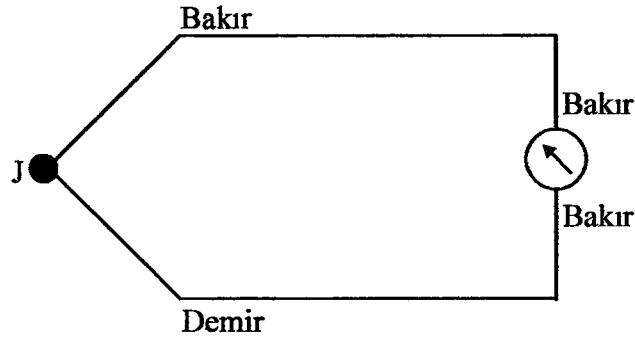
III.7.2.4. Termal İletkenlik

Bir cismin içinden geçen ısınn iletirme oranı cismin yapıldığı malzemeye bağlıdır. Isı bakır bir çubuktan çok hızlı; fakat demir çubuktan ise daha yavaş iletir. Metal olmayan maddelerde ise, seramik veya organik maddelerde, termal iletici çok daha yavaş olur[7].

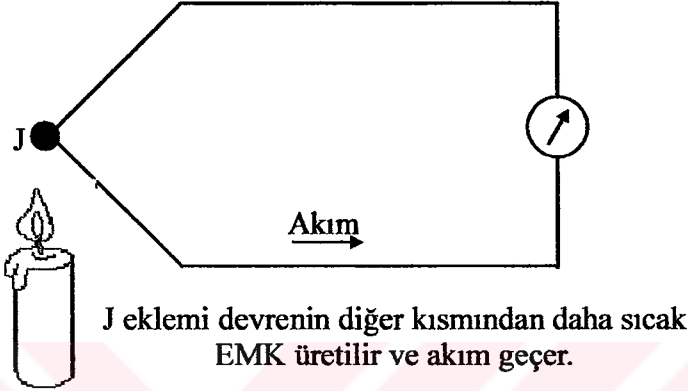
III.7.3. Termokupl Ölçme Teknikleri

III.7.3.1. Termoelektrik Etkiler

Bir elektrik devresi tamamen metal iletkenlerden meydana gelmişse ve devrenin tüm kısımları aynı sıcaklıkta ve devrede elektromotor kuvvet(emk) yoksa bu durumda devreden hiçbir akım akmaz. Bununla beraber devre birden fazla metalden meydana gelmiş ve bu iki iletkenin eklemleri farklı sıcaklıklarda ise devrede emk oluşur ve akım akar. İletken uçlarının Şekil III.28'deki gibi bükülerek veya lehirlenerek birleştirildiğini kabul edelim; bu iletkenlerin birisi bakır, diğeri demir olsun. Bir ucu oda sıcaklığında tutulurken diğeri daha yüksek bir sıcaklıkta ısıtılırsa sıcak uça bakırdan demire, soğuk uça ise demirden bakıra doğru bir akım akar. Üretilen emk'e termoelektrik emk denir ve ısıtılan eklem de termokupl(ısı çift) olarak adlandırılır[7].



Devrenin tüm kısımları aynı sıcaklıkta - EMK yok



Şekil III.28 Termokupl Devresinin Temeli

III.7.3.2. Seebeck Etkisi

Şekil III.29'daki iki farklı metal, şekilde görüldüğü üzere iki uçlarından birleştirilmiştir. Bu durumda iken, eğer uçlardan birisi T_1 sıcaklığına çıkarılır ve diğer uç da daha düşük bir T_2 sıcaklığında bırakılırsa, devre çevresinde bir akım oluşur. Bu akım metallerin cinsi ile T_1 ve T_2 sıcaklıklarına bağlıdır. Seebeck adlı bilim adamı tarafından keşfedilen bu olay, termoelektrik(veya Seebeck) etki olarak bilinmekte ve sıcaklığın hassas bir biçimde ölçülmesinde kullanılabilmektedir. Bu etkinin kullanıldığı tertibata termokupl adı verilir.

Bu etki, iki farklı metalin birleşim noktasında bir elektriksel gerilim meydana gelmesi sonucu oluşur. Bu elektriksel gerilim, birleşim noktasının sıcaklığına bağlı olup, metallerin farklı elektriksel ve termik özelliklerinden ileri gelir. Biraz basite indirgenmiş olarak, daha yüksek bir sıcaklık derecesi olan T_1 'de elektronlar daha az sıcak uçta bulunan her iki metaldeki elektronlara kıyasla daha yüksek termik(ısı) enerji içermekte ve bu elektronlar T_2 sıcaklık derecesine sahip uca doğru hareket etmektedirler. Gerilimi, bu iki metal arasındaki elektron hareketi arasındaki farklılık

doğurur. Bu gerilim sıcaklıkla tam doğrusal değildir. Fakat, sıcaklıktaki küçük değişimler için gerilim yaklaşık olarak lineerdir.

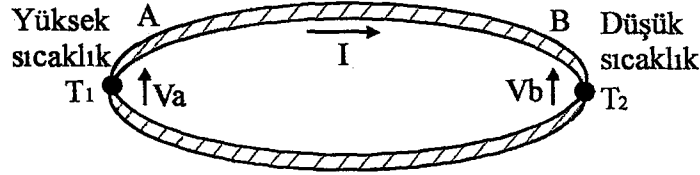
$$\Delta V \approx S \cdot \Delta T \quad (\text{III.29})$$

Formülde;

ΔV : Gerilim değişimi

S : Seebeck katsayısı ($\mu V/^{\circ}C$)

ΔT : Sıcaklıktaki değişim.

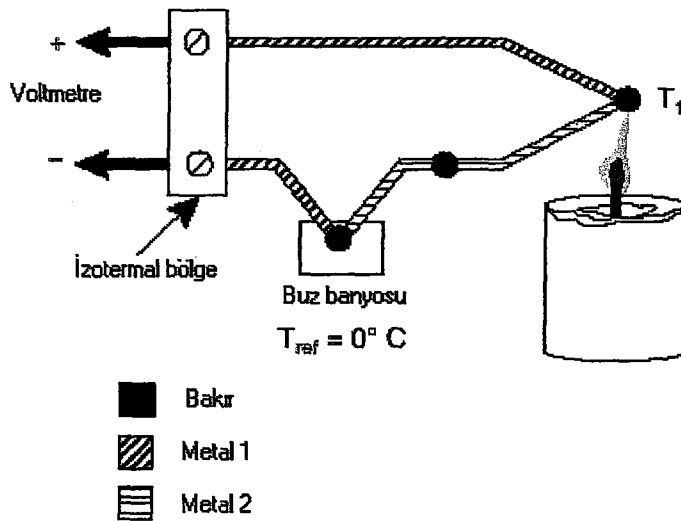


Şekil III.29 Basit Termokupl

Şekil III.29'daki A kavşağında T_1 'in fonksiyonu olan bir V_a gerilimi mevcuttur. Aynı şekilde, B kavşağında da T_2 'nin bir fonksiyonu olan V_b gerilimi bulunmaktadır. V_a gerilimi V_b geriliminden farklı olduğundan, bir akım meydana gelir. Burada $T_1=T_2$ ise, bir akımın oluşamayacağı açıktır. Bu sebeple, yapısal olarak, bir termokupl bir diferansiyel sıcaklık ölçme cihazıdır[3].

Termokupl devrelerinin çıkışından okunacak gerilim aşağıdaki formüldeki gibidir[14].

$$V = (S_A - S_B) \cdot (T_{ölçülen} - T_{referans}) \quad (\text{III.30})$$



Şekil III.30 Referans Kavşağın 0 °C'de Tutulmasıyla Yapılan Geleneksel Sıcaklık Ölçümü

III.7.4. Termokupl Devre Teorisi

III.7.4.1. Devre Analizi

Basit bir termokupl devresi diğer DC devrelerdekine benzer mantıkla analiz edilebilir. Termokupllardaki gerilim kaynakları, bataryaların plakalar arası jonksiyon bölgelerindeki potansiyel farkı gibi değil, her bir iletken boyunca dağılmış biçimde oluşmaktadır[14]. Bu gerilimlerin toplamı,

$$V = \int_0^L S_{ab} \frac{\partial T}{\partial l} dl \quad (\text{III.31})$$

veya

$$V = \int_{T_1}^{T_2} (S_a - S_b) dT \quad (\text{III.32})$$

şeklindedir. Bu formüllerde;

V = Termokupl uçlarındaki açık-devre gerilimi

L = Termokupl metallerinin toplam uzunluğu

l = Termokupl metallerinin yerleşimi boyunca oluşan uzunluk

T = Sıcaklık

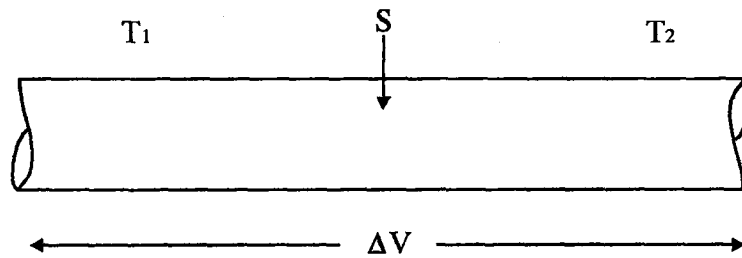
T_1 = Birinci metalin sonundaki sıcaklık

T_2 = Diğer metalin sonundaki sıcaklık

S_{ab} = a ve b malzemeleri için Seebeck katsayısı oranı

S_a = a malzemesinin Seebeck katsayısı

S_b = b malzemesinin Seebeck katsayısı.



Şekil III.31 Temel Termoelektrik Gerilim Elemanı

Termokuplda 3.cü bir metalin bulunması durumunda,

$$S_a - S_b = S_{ab} \quad (\text{III.33})$$

$$S_{ab} = -S_{ba} \quad (\text{III.34})$$

$$S_{ac} = S_{ab} - S_{cb} \quad (\text{III.35})$$

$$S_{ac} = S_{ab} + S_{bc} \quad (\text{III.36})$$

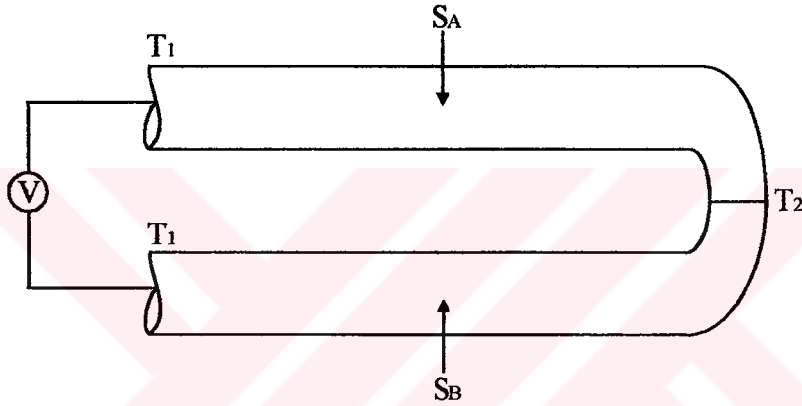
$$\Delta V = S(T_2 - T_1) \quad (\text{III.37})$$

$$\begin{aligned} V &= S_a(T_2 - T_1) + S_b(T_1 - T_2) \\ &= S_a(T_2 - T_1) - S_b(T_2 - T_1) \\ &= (S_a - S_b)(T_2 - T_1) \end{aligned} \quad (\text{III.38})$$

Formül III.38'deki ifadede, $S_a - S_b$ yerine Formül III.33'deki eşitlik yazılırsa,

$$V = S_{ab}(T_2 - T_1) \quad (\text{III.39})$$

olur. Bu ifade referans noktası T_1 'de, ölçüm noktası T_2 ve hassaslığı S_{ab} olan bir termokupl içindir. Örneğin, a malzemesi Krom, b malzemesi de Alüminyum olsaydı $S_{ab} = 40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ olacaktı.

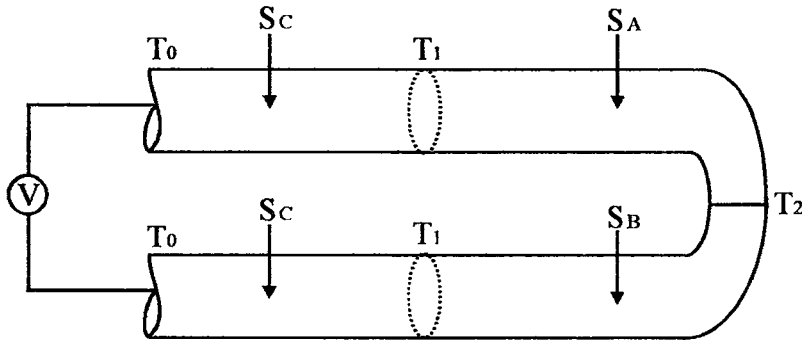


Şekil III.32 Basit Bir Termokupl Devresi

Şekil III.32'de gösterilen devre için V değeri,

$$V = S_a(T_2 - T_1) + S_b(T_1 - T_2) \quad (\text{III.40})$$

olacaktır. Bu ifade de başlangıç değerleri için; $V = V_{0C}$, $i = 0$ 'dır.



Şekil III.33 Uzatma Kablolarıyla Birleştirilmiş Bir Termokupl

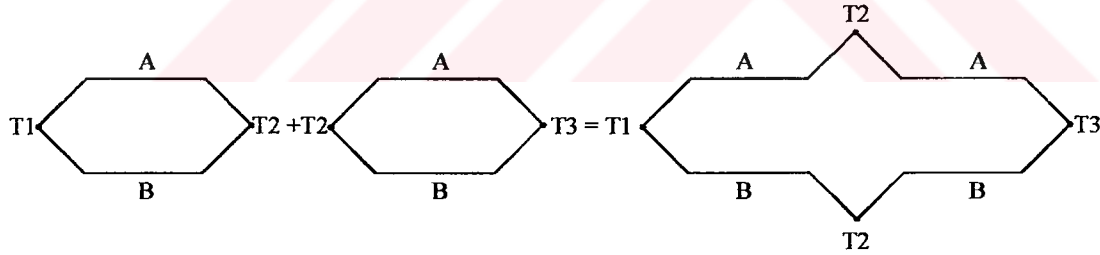
Şekil III.33'de uzatma kablolarıyla birleştirilmiş bir termokupl sistemi gösterilmiştir. S_c Seebeck katsayılı üçüncü materyalin(bakır gibi) bağlanması durumunda benzer şekilde aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$\begin{aligned} V &= S_c(T_1 - T_0) + S_a(T_2 - T_1) + S_b(T_1 - T_2) + S_c(T_0 - T_1) \\ &= S_c(T_1 - T_0) + S_{ab}(T_2 - T_1) - S_c(T_1 - T_0) \\ &= S_{ab}(T_2 - T_1) \end{aligned} \quad (III.41)$$

III.7.4.2. Termoelektrik EMK'lerin Toplanması

Termoelektrik etki sebebi ile herhangi bir devrede emk'in ölçülmesi için genellikle devreye bir cihaz bağlanması gerekir. Bu durumda devrede iki orijinal eklemden başka eklemeler olacaktır. Bu ilave eklemeler nedeniyle devrede ilave oluşacak emk'leri içeren yasaların formüllerini oluşturmanın önemi ortaya çıkmaktadır [5].

Ara metallere yasası: Eklemlerdeki sıcaklıkları t_1 ve t_2 olan A ve B gibi iki metalden oluşan termoelektrik devrede, eğer bir veya her iki eklem açıksa veya A ve B metalleri arasına diğer metaller bağlanır ise emk değişmez. Bu yasa termokupl uygulamalarında çok önem taşır: Termoelektrik emk ölçmek için devreye bağlanan tüm cihazların soğuk eklem tarafında olmasını sağlayarak, aynı sıcaklıkta tutulur ki bu sayede farklı metal eklemelerinin varlığı devredeki toplam emk'i etkilemez [7].



Şekil III.34 Ara Metaller Yasası

III.7.4.3. Soğuk Eklem Denkleştirme

Yukarıda açıklandığı tanımıyla termokupl, iki farklı alaşımın ucunun kaynaklanması ile oluşturulan basit bir sıcaklık ölçme elemanıdır. Kaynak noktası sıcak nokta, diğer açık iki uç soğuk nokta(veya referans noktası) olarak tanımlanır. Termokupl olayı sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından doğar. Bu sıcaklık farkına orantılı, soğuk nokta uçlarında mV mertebesinde gerilim üretilir. Termokuplun sıcak noktası ve soğuk noktası arasındaki sıcaklık dağılımı nasıl olursa

olsun üretilen gerilim, sıcak ve soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkına orantılıdır. Dolayısıyla soğuk noktanın sıcaklığı önemlidir. Sıcak nokta aynı kalmak kaydı ile soğuk nokta sıcaklığı değiştiği takdirde farklı sıcaklıklar okunacaktır. Bu nedenle termokupl mV tablolarındaki değerlerde standardizasyon sağlamak için ölçülen sıcaklık karşılığı mV değerleri soğuk noktanın 0°C’de iken uç noktada ölçülen mV değerleridir.

Endüstriyel uygulamalarda soğuk eklemi 0 °C’de tutmak normal olarak pratik değildir. Fakat soğuk eklem çevre sıcaklığında tutulması için soğuk eklem denkleştirilmesi gerekir. Soğuk eklem denkleştirilmesini gerçekleştirmek için, sıcak eklem t °C’de ve soğuk eklemi çevre sıcaklığında tutulan bir termokuplu göz önüne alalım. Termokuplun çevre sıcaklığındaki emk’i $E_{\phi-t}$ olsun. Termokuplun soğuk ekleminin 0 °C’de olması halinde E_{0-t} emk’ine sahip olması gerekir. İstenen bu sinyalin sağlanması için emk, $E_{\phi-t}$ ‘ye ilave edilmelidir[7].

$$E_{0-t} = E_{\phi-t} + E_{0-\phi} \quad (\text{III.42})$$

$E_{0-\phi}$ gerilimine eklem denkleştirme gerilimi denir.

III.7.5. Termokupl Karakteristikleri

Termokupl Malzemeleri ve Tipleri

Termokupl malzemeleri fiyatlarına bağlı olarak temel metal termokupllar ve hassas metal termokuplları olarak iki gruba ayrılabilir. Termokupl tipleri uygunluk nedeniyle büyük harflerle temsil edilirler. En çok kullanılan metal termokupl tipleri E, J, K ve T tipleridir. Bunlardan J ve K tipi termokupllar en çok kullanılanlarıdır. Bunların emk çıkışları yüksektir, K tipi aşınma ve çürümeye karşı oldukça dirençlidir[7].

-200°C’den 2320°C’ye kadar çeşitli sıcaklık aralıklarında en çok kullanılan IEC 584 standart termokupl eleman çeşitleri Tablo III.4’de gösterilmiştir[11].

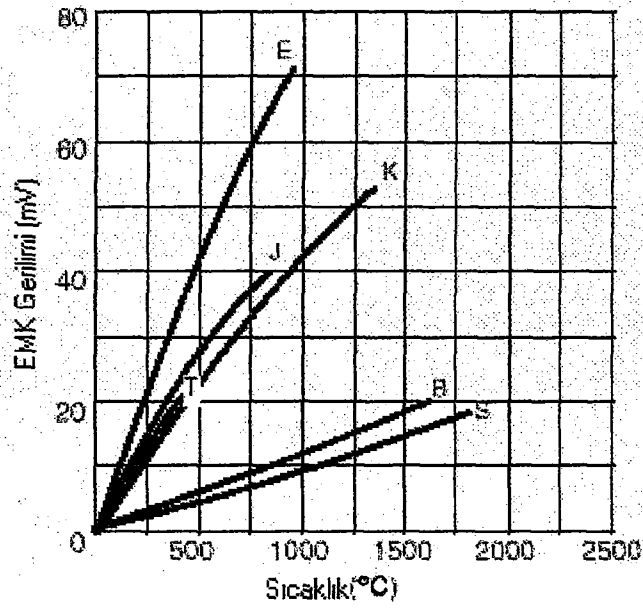
Tablo III.4 IEC 584 Standardına Göre Termokupl Malzemeleri

Cu-Const (CuNi)	Bakır-Konstantan
Fe-Const (CuNi)	Demir-Konstantan
Cr-Al	Kromel-Alümel
NiCr-Ni	Nikelkrom-Nikel
Nikrosil-Nisil	Nikelkrom Silikon-Nikelsilikon Magnez
Pt%10Rh-Pt	Platin Rodyum-Platin (%10)
Pt%13Rh-Pt	Platin Rodyum-Platin (%13)
Pt%18Rh-Pt	Platin Rodyum-Platin (%18)
Tn-Tn%26Re	Tungsten- Tungsten%26 Renyum

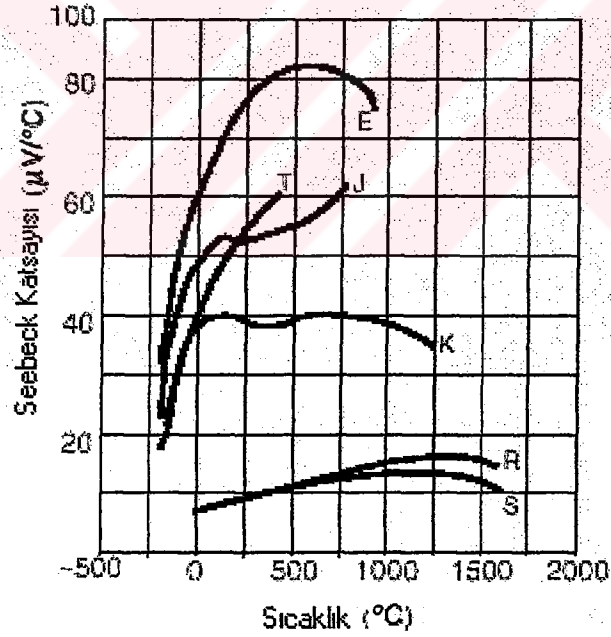
Tablo III.5 Çeşitli Termokupllar ve Sıcaklık Limitleri

Malzeme Çeşidi	IEC 584 Termokupl Kodları	Sıcaklık Aralığı (° C)	Seebeck Katsayısı ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)
Cu-Const (CuNi)	T	200..... 371	40
Fe-Const (CuNi)	J	0.....760	51
Cr-Al	K	-200.....1260	40
Cr-Const	E	200..... 900	60
Nikrosil-Nisil	N	0.....1260	38
Pt%10Rh-Pt	S	0..... 1480	11
Pt%13Rh-Pt	R	0.....1480	12
Pt%18Rh-Pt	B	0.....1820	8

Bu eleman tellerinin sıcaklık-mV eğrilerini inceleyecek olursak doğrusal olmadıklarını görürüz. Termokupl sıcaklık-mV eğrileri incelendiğinde her birinin sıcaklık ölçümü açısından diğerine nazaran daha uygun olduğu bölgeler vardır. Örneğin 0-800 °C sıcaklık ölçümü yapabilen Fe-Const ile 0-1200 °C'ye kadar ölçüm yapabilen NiCr-Ni eleman tellerinin mV eğrileri karşılaştırıldığında; 300-600 °C aralığında J tipinin, K tipine nazaran daha doğrusal olduğu görülür. Bu nedenle bu aralıkta J tipi termokuplla çalışma tercih edilir. Yine aynı yaklaşımla PtRh-Pt termokupllar için 800-1600 °C arası uygun bir çalışma bölgesidir. 800 °C'nin altında doğrusallık çok bozuktur[11].



Şekil III.35 Çeşitli Tipteki Termokuplların Sıcaklık-Gerilim Eğrileri



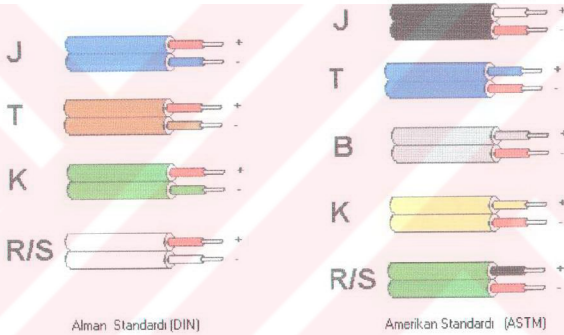
Şekil III.36 Çeşitli Termokuplların Sıcaklık-Seebeck Katsayıları

Termokupl eleman tellerinde ilk yazan bacak (+) referanslıdır. Yani diğer metale nazaran (+) yüklüdür. Diğer uç (-) değerdedir. Bu yüzden termokupl, cihaza (+) ve (-) uçları dikkate alınarak bağlanmalıdır. Uluslararası standartlarda termokupl

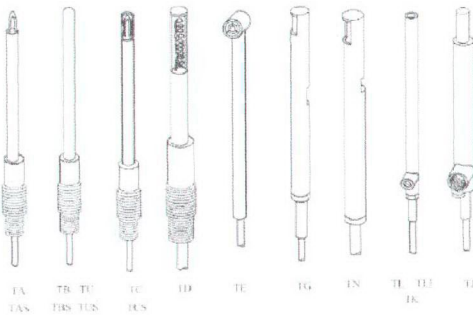
uçları belli renk kodları ile tanımlanmıştır. DIN standartlarında (+) bacaklar kırmızı, negatif bacaklar termokuplların cinsine göre değişmektedir. IEC standartlarında (-) uçlar beyaz, pozitif uçlar termokuplların cinsine göre değişmektedir.

Tablo III.6 DIN ve IEC Standartı Termokupl Renk Kodları

+	RENK		-	RENK	
	DIN 43710	IEC 584		DIN 43710	IEC 584
Cu	Kırmızı	Kahve	Const.	Kahve	Beyaz
Fe	Kırmızı	Siyah	Const.	Mavi	Beyaz
NiCr	Kırmızı	Yeşil	Ni	Yeşil	Beyaz
PtRh	Kırmızı	Turuncu	Pt	Beyaz	Beyaz



Şekil III.37 Termokupl Renk Kodları



Şekil III.38 Standart Termokupl Probları

III.7.5.1. Termokupl Referans Tabloları

Aşağıda 5°C'lik artışlarla bazı termokuplların sıcaklık derecelerine karşılık gelen gerilim çıkışları verilmiştir. Her bir durum için termokupl referans sıcaklığı 0°C'dir. Termokupl malzemelerinden ilk olarak verilen metal pozitif terminaldir. Örneğin, K tipi termokupl için Krom metali (+), Alüminyum (-) uçtur. Sıcaklıklar °C ve gerilimler mV olarak verilmiştir.

0–1372 °C sıcaklık aralığına sahip K tipi termokupl için, çıkış geriliminin lineerleştirilmesi amacıyla Tablo III.7'deki katsayılar ve aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$V = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3 \dots \quad (\text{III.43})$$

Formülde;

V = Termokupl çıkış gerilimi

t = Sıcaklık değeri'dir.

Tablo III.7 K Tipi Termokupl Sıcaklık Katsayıları

C_0	$-1.7600413686 \times 10^{-2}$
C_1	$3.8921204975 \times 10^{-2}$
C_2	$1.8558770032 \times 10^{-5}$
C_3	$-9.9457592874 \times 10^{-8}$
C_4	$3.1840945719 \times 10^{-10}$
C_5	$-5.6072844889 \times 10^{-13}$
C_6	$5.6075059059 \times 10^{-16}$
C_7	$-3.2020720003 \times 10^{-19}$
C_8	$9.7151147152 \times 10^{-23}$
C_9	$-1.2104721275 \times 10^{-26}$

K TİPİ(KROM-ALÜMİNYUM) TERMOKUPL REFERANS TABLOSU

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
-150	-4.81	-4.92	-5.03	-5.14	-5.24	-5.34	-5.43	-5.52	-5.60	-5.68
-100	-3.49	-3.64	-3.78	-3.92	-4.06	-4.19	-4.32	-4.45	-4.58	-4.70
-50	-1.86	-2.03	-2.20	-2.37	-2.54	-2.71	-2.87	-3.03	-3.19	-3.34
-0	0.00	-0.19	-0.39	-0.58	-0.77	-0.95	-1.14	-1.32	-1.50	-1.68
+0	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.61	1.81
50	2.02	2.23	2.43	2.64	2.85	3.05	3.26	3.47	3.68	3.89
100	4.10	4.31	4.51	4.72	4.92	5.13	5.33	5.53	5.73	5.93
150	6.13	6.33	6.53	6.73	6.93	7.13	7.33	7.53	7.73	7.93
200	8.13	8.33	8.54	8.74	8.94	9.14	9.34	9.54	9.75	9.95
250	10.16	10.36	10.57	10.77	10.98	11.18	11.39	11.59	11.80	12.01
300	12.21	12.42	12.63	12.83	13.04	13.25	13.46	13.67	13.88	14.09
350	14.29	14.50	14.71	14.92	15.13	15.34	15.55	15.76	15.98	16.19
400	16.40	16.61	16.82	17.03	17.24	17.46	17.67	17.88	18.09	18.30
450	18.51	18.73	18.94	19.15	19.36	19.58	19.79	20.01	20.22	20.43
500	20.65	20.86	21.07	21.28	21.50	21.71	21.92	22.14	22.35	22.56
550	22.78	22.99	23.20	23.42	23.63	23.84	24.06	24.27	24.49	24.70
600	24.91	25.12	25.34	25.55	25.76	25.98	26.19	26.40	26.61	26.82
650	27.03	27.24	27.45	27.66	27.87	28.08	28.29	28.50	28.72	28.93
700	29.14	29.35	29.56	29.77	29.97	30.18	30.39	30.60	30.81	31.02
750	31.23	31.44	31.65	31.85	32.06	32.27	32.48	32.68	32.89	33.09
800	33.30	33.50	33.71	33.91	34.12	34.32	34.53	34.73	34.93	35.14
850	35.34	35.54	35.75	35.95	36.15	36.35	36.55	36.76	39.%	37.16
900	37.36	37.56	37.76	37.96	38.16	38.36	38.56	38.76	38.95	39.15
950	39.35	39.55	39.75	39.94	40.14	40.34	40.53	40.73	40.92	41.12
1000	41.31	41.51	41.70	41.90	42.09	42.29	42.48	42.67	42.87	43.06
1050	43.25	43.44	43.63	43.83	44.02	44.21	44.40	44.59	44.78	44.97
1100	45.16	45.35	45.54	45.73	45.92	46.11	46.29	46.48	46.67	46.85
1150	47.04	47.23	47.41	47.60	47.78	47.97	48.15	48.34	48.52	48.70
1200	48.89	49.07	49.25	49.43	49.62	49.80	49.98	50.16	50.34	50.52
1250	50.69	50.87	51.05	51.23	51.41	51.58	51.76	51.94	52.11	52.29
1300	52.46	52.64	52.81	52.99	53.16	53.34	53.51	53.68	53.85	54.03
1350	54.20	54.37	54.54	54.71	54.88					

J TİPİ(DEMİR-KONSTANTAN) TERMOKUPL REFERANS TABLOSU

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
-150	-6.50	-6.66	-6.82	-6.97	-7.12	-7.27	-7.40	-7.54	-7.66	-7.78
-100	-4.63	-4.83	-5.03	-5.23	-5.42	-5.61	-5.80	-5.98	-6.16	-6.33
-50	-2.43	-2.66	-2.89	-3.12	-3.34	-3.56	-3.78	-4.00	-4.21	-4.42
-0	0.00	-0.25	-0.50	-0.75	-1.00	-1.24	-1.48	-1.72	-1.96	-2.20
+0	0.00	0.25	0.50	0.76	1.02	1.28	1.54	1.80	2.06	2.32
50	2.58	2.85	3.11	3.38	3.65	3.92	4.19	4.46	4.73	5.00
100	5.27	5.54	5.81	6.08	6.36	6.63	6.90	7.18	7.45	7.73
150	8.00	8.28	8.56	8.84	9.11	9.39	9.67	9.95	10.22	10.50
200	10.78	11.06	11.34	11.62	11.89	12.17	12.45	12.73	13.01	13.28
250	13.56	13.84	14.12	14.39	14.67	14.94	15.22	15.50	15.77	16.05
300	16.33	16.60	16.88	17.15	17.43	17.71	17.98	18.26	18.54	18.81
350	19.09	19.37	19.64	19.92	20.20	20.47	20.75	21.02	21.30	21.57
400	21.85	22.13	22.40	22.68	22.95	23.23	23.50	23.78	24.06	24.33
450	24.61	24.88	25.16	25.44	25.72	25.99	26.27	26.55	26.83	27.11
500	27.39	27.67	27.95	28.23	28.52	28.80	29.08	29.37	29.65	29.94
550	30.22	30.51	30.80	31.08	31.37	31.66	31.95	32.24	32.53	32.82
600	33.11	33.41	33.70	33.99	34.29	34.58	34.88	35.18	35.48	35.78
650	36.08	36.38	36.69	36.99	37.30	37.60	37.91	38.22	38.53	38.84
700	39.15	39.47	39.78	40.10	40.41	40.73	41.05	41.36	41.68	42.00

T TİPİ(BAKIR-KONSTANTAN) TERMOKUPL REFERANS TABLOSU

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
-150	-4.603	-4.712	-4.817	-4.919	-5.018	-5.113	-5.205	-5.294	-5.379	
-100	-3.349	-3.488	-3.624	-3.757	-3.887	-4.014	-4.138	-4.259	-4.377	-4.492
-50	-1.804	-1.971	-2.135	-2.296	-2.455	-2.611	-2.764	-2.914	-3.062	-3.207
-0	0.000	-0.191	-0.380	-0.567	-0.751	-0.933	-1.112	-1.289	-1.463	-1.635
+0	0.000	0.193	0.389	0.587	0.787	0.990	1.194	1.401	1.610	1.821
50	2.035	2.250	2.467	2.687	2.908	3.132	3.357	3.584	3.813	4.044
100	4.277	4.512	4.749	4.987	5.227	5.469	5.712	5.957	6.204	6.453
150	6.703	6.954	7.208	7.462	7.719	7.987	8.236	8.497	8.759	9.023
200	9.288	9.555	9.823	10.093	10.363	10.635	10.909	11.183	11.459	11.735
250	12.015	12.294	12.575	12.857	13.140	13.425	13.710	13.997	14.285	14.573
300	14.864	15.155	15.447	15.740	16.035	16.330	16.626	16.924	17.222	17.521
350	17.821	18.123	18.425	18.727	19.032	19.337	19.642	19.949	20.257	20.565

**S TİPİ(PLATIN-PLATIN/10%RODYUM) TERMOKUPL REFERANS
TABLOSU**

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
+0	0.000	0.028	0.056	0.084	0.113	0.143	0.173	0.204	0.235	0.266
50	0.299	0.331	0.364	0.397	0.431	0.466	0.500	0.535	0.571	0.607
100	0.643	0.680	0.717	0.754	0.792	0.830	0.869	0.907	0.946	0.986
150	1.025	1.065	1.166	1.146	1.187	1.228	1.269	1.311	1.352	1.394
200	1.436	1.479	1.521	1,564	1.607	1.650	1.693	1.736	1.780	1.824
250	1.868	1.912	1.956	2.001	2.045	2.090	2.135	2.180	2.225	2.271
300	2.316	2.362	2.408	2.453	2.499	2.546	2.592	2.638	2.685	2.731
350	2.778	2.825	2.872	2.919	2.966	3.014	3.061	3.108	3.156	3.203
400	3.251	3.299	3.347	3.394	3.442	3.490	3.539	3.587	3.635	3.683
450	3.732	3.780	3.829	3.878	3.926	3.975	4.024	4.073	4.122	4.171
500	4.221	4.270	4.319	4.369	4.419	4.468	4.518	4.568	4.618	4.668
550	4.718	4.768	4.818	4.869	4.919	4.970	5.020	5.071	5.122	5.173
600	5.224	5.275	5.326	5.377	5.429	5.480	5.532	5.583	5.635	5.686
650	5.738	5.790	5.842	5.894	5.946	5.998	6.050	6.102	6.155	6.207
700	6.260	6.312	6.365	6.418	6.471	6.524	6.577	6.630	6.683	6.737
750	6,790	6.844	6.897	6.951	7.005	7.058	7.112	7,166	7.220	7.275
800	7.329	7.383	7.438	7.492	7.547	7.602	7.656	7.711	7.766	7.821
850	7.876	7.932	7.987	8.042	8.098	8.153	8.209	8.265	8.320	8.376
900	8.432	8.488	8.545	8.601	8.657	8.714	8.770	8.827	8.883	8.940
950	8.997	9.054	9.111	9.168	9.225	9.282	9.340	9.397	9.455	9.512
1000	9.570	9.628	9.686	9.744	9.802	9.860	9.918	9.976	10.035	10.093
1050	10.152	10.210	10.269	10.328	10.387	10.446	10.505	10.564	10.623	10.682
1100	10.741	10.801	10.860	10.919	10.979	11.038	11.098	11.157	11,217	11.277
1150	11.336	11.396	11.456	11.516	11.575	11.635	11.695	11.755	11.815	11.875
1200	11.935	11.995	12.055	12.115	12.175	12.236	12.296	12.356	12.416	12.476
1250	12.536	12.597	12.657	12.717	12.777	12.837	12.897	12.957	13.018	13.078
1300	13.138	13.198	13.258	13.318	13.378	13.438	13.498	13.558	13.618	13.678
1350	13.738	13.798	13.858	13.918	13.978	14.038	14.098	14.157	14.217	14.277
1400	14.337	14.397	14.457	14.516	14.576	14.636	14.696	14.755	14.815	14.875
1450	14.935	14.994	15.054	15.113	15.173	15.233	15.292	15.352	15.411	15.471
1500	15.530	15.590	15.649	15.709	15.768	15.827	15.887	15.946	16.006	16.065
1550	16.124	16.183	16.243	16.302	16.361	16.420	16.479	16.538	16.597	16.657
1600	16.716	16.775	16.834	16.893	16.952	17.010	17.069	17.128	17.187	17.246
1650	17.305	17.363	17.422	17.481	17.539	17.598	17.657	17.715	17.774	17.832
1700	17.891	17.949	18.008	18.066	18.124	18.183	18.241	18.299	18.358	18.416
1750	18.474	18.532	18.590	18.648						

III.8. VERİ KAZANCI SİSTEMİ SEÇİM KRİTERLERİ

Adım 1: I/O (Input/Output-Giriş/Çıkış) Sinyal Tiplerinin Belirlenmesi

Veri kazancı sistemi(DAQ-Data Acquisition) elemanları seçildiğinde ilk olarak, kullanılan algılayıcı tiplerinin ve giriş/çıkış(I/O) sinyallerinin belirlenmesi gerekir. DAQ sistemleri için tipik I/O sinyal tipleri şunlardır:

Analog Giriş

- Sıcaklık
- Basınç
- Strain(Gerilme)
- Gerilim
- Akım
- Gürültü ve titreşim sinyalleri

Analog Çıkış

- Gerilim
- Akım
- Üretilen dalga şekli

Dijital Giriş/Çıkış

- TTL uyumlu giriş/çıkış
- Yüksek gerilim AC/DC giriş/çıkış
- Paralel/seri haberleşme
- Röle kontrolü

Zaman Domenli Giriş/Çıkış

- Frekans giriş/çıkışı
- Pulse genişliği ölçümü
- Pulse üretimi

Adım 2: Sinyal Koşullama Yönteminin Seçimi

Sinyallerin ve dönüştürücülerin çoğu tipinin veri kazancı ölçüm sistemine bağlanmadan önce aşağıdaki işlemlerinin yapılması gerekmektedir.

- Yükseltme
- İzalasyon
- Filtreleme
- Besleme

- Çoęullama

Sinyal koşullama ürünleri üç sınıfta gruplandırılmıştır.

Enstrümantasyon Sınıfı

- Düşük gürültülü, sağlam, esnek
- Modüller
- Geniş I/O aralığı
- Yüksek-hızda çoęullama

Adım 3: Uygun Veri Kazancı I/O Elemanlarının Seçimi

Doğruluk, sinyal kazanç oranları, kanal sayısı, esnek kullanılabilirlik, güvenilirlik, ilave modüllerle kanal sayısının arttırılabilmesi, sağlamlık ve yazılım programı gibi kriterler göz önüne alınarak, yapılacak test çalışmaları için en uygun DAQ elemanları seçilebilir.

Yüksek Performanslı Çok Fonksiyonlu I/O

- Birden fazla kullanım alanı
- Ölçüm sonuçları garanti edilmiş doğruluk
- Hızlı örnekleme oranı
- Bir çok elektronik kartla uyuşabilme
- İleri seviyede sayma/ zamanlama
- Koruyuculu I/O bağlantıları

Adım 4: Sinyal Koşullama Aksesuarları ve Ölçme Sistemi İçin Uygun Kabloların Seçimi

Koruyucu Kablolar

- Yüksek doğruluk
- Gürültü izolasyonu
- Sağlam bağlantı
- Enstrümantasyon sınıfı

Şerit Kablolar

- Düşük fiyat
- Esnek
- Sağlam

Adım 5: Uygun Yazılım Programının Seçimi

BÖLÜM IV

YAPILAN TEST ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARI

Bu bölümde verilen test örnekleri, II. ve III.üncü bölümlerde verilen temel prensiplerin genişletilmiş uygulamalarını içermektedir.

IV.1. GİRİŞ

Mercedes-Benz Türk A.Ş. Test ve Geliştirme Departmanı'nda strain gaugelerle gerilme ve termokupllarla da sıcaklık ölçme tekniği kullanılarak şehirlerarası yolcu otobüsleri üzerinde yolcu sağlığı ve konforunun arttırılmasına yönelik olarak yapılan elektriksel ölçümlerin sonuçları bu bölümde verilmiştir.

IV.2. STRAIN GAUGE ÖLÇME TEKNİĞİ İLE ŞEHİRLERARASI YOLCU OTOBÜSLERİ HIZ SINIRLANDIRMA PROJESİ

IV.2.1. Problemin Tanımı

Mercedes 0560 RH Intouro şehirlerarası yolcu otobüslerinde Türkiye yol koşullarında hız sınırının 100 km/h'ten 125 km/h'e çıkarılması durumunda seride kullanılan mekanik aksamların strain gauge ölçme tekniği ile mukavemetlerinin karşılaştırılması.

IV.2.2. Yapılan Çalışma

Şehirlerarası yolcu otobüslerinde araç hızının 100 km/h'den 125 km/h'e çıkartılması.

IV.2.3. Problemle İlgili Detaylı Açıklama

Mercedes 0560 RH Intouro araçlarında hız sınırını 100 km/h'den 125 km/h'e çıkarmak planlanmaktadır. Alman EvoBus firması ile birlikte yürütülen çalışmada, 0560 RH Intouro 7 nolu araç kullanılmıştır. Türkiye'de yapılan testlerde, araç üzerine EvoBus firmasından gönderilen deneme arka salıncak, arka amortisör ve arka bugi kolları monte edilmiş ve ölçümler için parçalara yapıştırılan DMS(Dehnungsmessstreifen) (Strain Gauge) gerilme ölçer tekniği kullanılmıştır.

IV.2.4. Yapılan Test Çalışmalarının Amacı

EvoBus firması ile ortak yürütülen çalışmanın amacı, düşük hızlardaki (100 km/h) belirli parçaların üzerlerine gelen streslerin, yüksek hızda(125 km/h) parçalar üzerinde oluşan streslerle kıyaslanmasıdır.

IV.2.5. Testle İlgili Ön Bilgiler

Test Yeri: Yapılan testlerde Hadımköy–Çorlu–Hadımköy TEM otoyolu güzergahı kullanılmıştır(Şekil IV.1).

Ölçüm Güzergahları: Test Merkezi(Mercedes-Benz Türk A.Ş. Test ve Geliştirme Merkezi Hoşdere-İstanbul) – Çorlu – Test Merkezi Güzergahı.

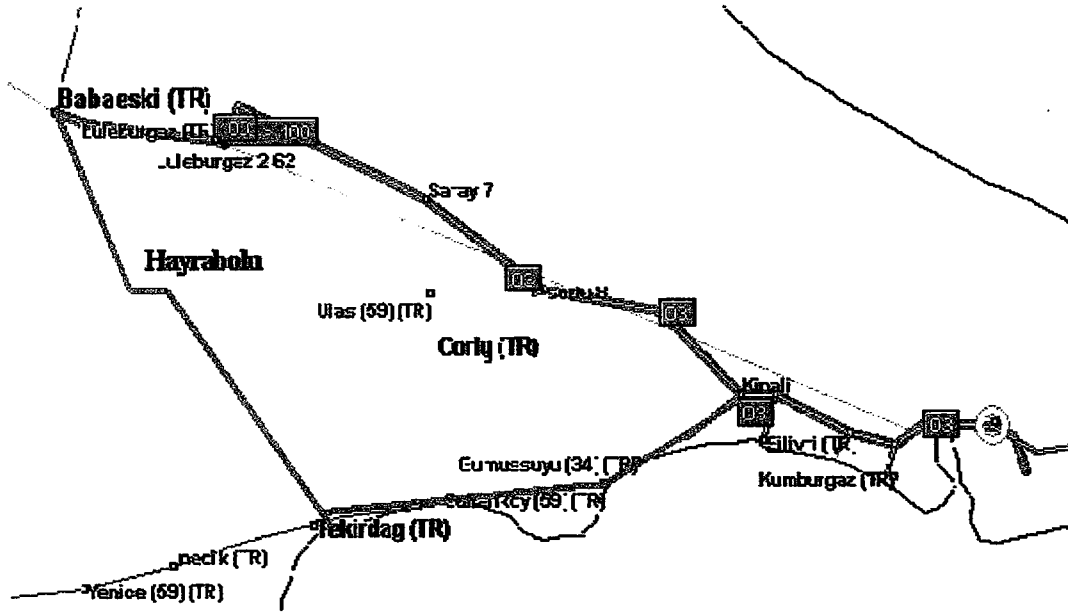
1.Ölçüm Yerleri ve Mesafeleri:

Test Merkezi - Hadımköy gişeler	: 4,5 Km
Hadımköy gişeleri - Çatalca	: 12 Km
Çatalca - Kumburgaz	: 6 Km
Kumburgaz - Selimpaşa	: 7 Km
Selimpaşa - Silivri	: 13 Km
Silivri - Kınalı	: 5 Km
Kınalı - Çerkezköy	: 16 Km
Çerkezköy - Çorlu gişeler	: 16 Km
Çorlu gişeler - Çerkezköy	: 16 Km

Çerkezköy - Kınalı	: 16 Km
Kınalı - Silivri	: 5 Km
Silivri - Selimpaşa	: 13 Km
Selimpaşa - Kumburgaz	: 7 Km
Kumburgaz - Çatalca	: 6 Km
Çatalca - Hadımköy gişeleri	: 12 Km
Hadımköy gişeleri - Test Merkezi	: 5 Km
Gidilen yaklaşık mesafe	: 159 Km

Tablo IV.1 İkinci Ölçüm Test Güzerqahı ve Mesafeleri

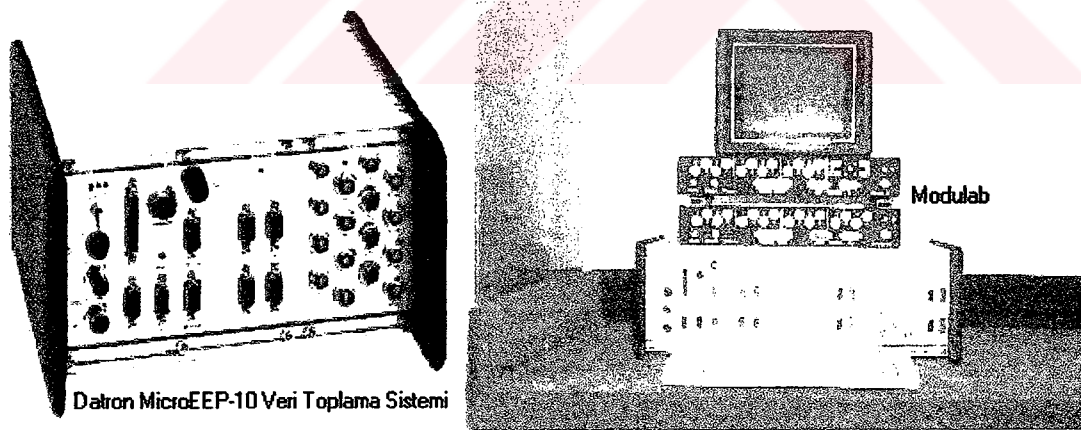
Güzerqah ve Açıklama	Güzerqah mesafesi (Km)
Hadımköy - Çorlu - Hadımköy	Kalkış : 29926.1
Saat : 15:00 - 16:40	Varış : 30084.4
Serideki paket / 125 Km/h / Yüksüz	Toplam : 158.3
Hadımköy - Çorlu - Hadımköy	Kalkış : 30084.4
Saat : 17:00 - 18:45	Varış : 30242.8
Serideki paket / 100 Km/h / Yüksüz	Toplam : 158.4
Hadımköy - Çorlu - Hadımköy	Kalkış : 30254.9
Saat : 09:00 - 10:45	Varış : 30413.3
Serideki paketi / 125 Km/h / Yüklü	Toplam : 158.4
Hadımköy - Çorlu - Hadımköy	Kalkış : 30413.3
Saat : 11:00 - 13:00	Varış : 30571.8
Serideki paketi / 100 Km/h / Yüklü	Toplam : 158.5
Hadımköy - Çorlu - Hadımköy	Kalkış : 30589.3
Saat : 09:00 - 11:00	Varış : 30747.9
Önlem paketi / 125 Km/h / Yüksüz	Toplam : 158.6
Hadımköy - Çorlu - Hadımköy	Kalkış : 30747.9
Saat : 11:15 - 12:50	Varış : 30906.3
Önlem paketi / 100 Km/h / Yüksüz	Toplam : 158.4
Hadımköy - Çorlu - Hadımköy	Kalkış : 30906.5
Saat : 11:15 - 12:50	Varış : 31065.1
Önlem paketi / 125 Km/h / Yüklü	Toplam : 158.6
Hadımköy - Çorlu - Hadımköy	Kalkış : 31076.5
Saat : 13:00 - 14:50	Varış : 31235.0
Önlem paketi / 100 Km/h / Yüklü	Toplam : 158.5
Trakya turu	Kalkış : 31240.7
Saat : 10:30 - 17:00	Varış : 31555.4
Önlem paketi / Değişken hız/Yüksüz	Toplam : 314.7



Şekil IV.1 Test Güzergah Haritası

IV.2.5.1. Test Çalışmalarında Kullanılan Ölçüm Cihazları ve Özellikleri

Strain gaugelerden gelen sinyalleri yükseltmekte MODULAB sistemi ve yükseltilecek sinyalleri toplamakta DATRON μ EEP-10 Veri Toplama Sistemi kullanılmıştır.



Şekil IV.2 Datron μ EEP-10 Veri Toplama ve Modulab Sinyal Yükseltici Sistemi

Mercedes 0560 RH Intouro hız sınırlandırma projesinde kullanılan DATRON μ EEP-10 ile Modulab sistemlerinin teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

DATRON μ EEP-10: Datron μ EEP-10 modeli, bilgisayar destekli olarak çalışmaktadır. Travel-System(seyahat sistemi) olarak tasarlanan μ EEP-10, çok güçlü sarsıntılara, darbelere karşı dayanıklı ve sağlam bir gövdeye sahiptir.

32 Analog / 32 SE ve 8 Counter girişine sahip olan sistem, geniş ölçüm seçenekleri sunmaktadır. Mini-LCD Ekranı ve mini klavyesi ile kullanımı çok kolay olan bu sistem, 486 işlemcili, 16MB RAM ile DOS Version'unda çalışmaktadır.

Ölçüm esnasında, ölçümü RAM kapasitesi ile sınırlandırmamak için, toplanan dataları sabit diske(HD) kayıt etmektedir. Bu nedenle ölçüm süresini RAM değil, HD kapasitesi belirlemektedir.

Data toplama ve data analiz programları, DAVIT® Acquisition and Evaluation Software, anlaşılır bir dille yazılmıştır.

DATA TOPLAMA PROGRAMI PENCERELERİNİN ÖZELLİKLERİ :

Definition : Ölçüm ayarları tanımlanır.

Project : Ölçüm datalarına bir proje tanımlama olanağı verir. "DMS" adında bir proje oluşturmak için, C:\MEEP\Projects\DMS yazılmalıdır.

Signal : Sinyallerin(ölçüm noktalarının) Analog, Counter, Switch, Formula vb. kanalları ile İsim, Fiziksel Aralık, Faktör vb. gibi tanımlandığı pencere,

Job : Ölçümlerin; tanımlanan proje, sinyal, ekran göstergesi, trigger vb. tanımlandığı pencere,

Export : Ölçüm datalarının transferleri için tanımlanan pencere,

Acquisition : Ölçümlerin online olarak başlatıldığı ve bitirildiği penceredir.

DATA ANALİZ PROGRAMI PENCERELERİNİN ÖZELLİKLERİ :

Open File : Ölçümü alınan dataların analizi için dosyanın açılmasını sağlayan penceredir.

Curve : Açılan dosyanın ölçüm noktalarını tek tek çağırması sağlayan penceredir.

Methods : Bu pencere ile, grafiği çıkarılan ölçüm noktasının Level Crossing, Range Pair, Excel, ASCII vb. formatlarda transfer ve analizi yapılabilir.

MODULAB AMPLIFIER SİSTEMİ :

Modulab Amplifier 16 Analog girişli, LPT1 Analog çıkışlı ve çok amaçlı yüksekteç sistemidir. Alüminyum gövdesine rağmen çok sağlam tasarlanmış bir travel-sistemidir. Ana kart üzerinde bulunan 16 adet DC1 çevirici modüller

bilgisayar desteği ile kontrol edilmektedirler. Çevirici kartların özelliğine göre değişebilen soketleri şu şekildedir:

DC1 çevirici kartları için 5 Pin'li FIPS dişi soketleri, ISO çevirici kartları için 5 Pin'li FIPS soketleri, TFM K20 ve PTV K10 çevirici kartları için Termocouple soketleri, LDV K00 çevirici kartlar için 6 Pin'li Lemosa soketleri kullanılmaktadır. Çevirici kartların tanımları ise şu şekildedir:

DC1 çevirici kartı, genel amaçlı doğru gerilim yükseltecidir. ISO çevirici kartı, genel amaçlı izole edilmiş doğru gerilim yükseltecidir. TFM K20 çevirici kartı, taşıyıcı frekans bazlı çalışan çok amaçlı yükselteçtir. PTV K10 çevirici kartı, TEV ve Pt100 sıcaklık yükseltecidir. LDV K00 çevirici kartı, alternatif gerilimle çalışan piezoelektrik sensörler için çok amaçlı yükselteçtir.

DMS ölçüm tekniğinde kullanılan DC1 çevirici kartlar, 5 Pin'li FIPS dişi soketleridir.

MODULAB PROGRAMI :

Eingang : Girişin simetrik olup olmadığı seçeneğidir.

Brücke : Tam ya da yarım köprü seçeneğidir.

Übersteuerung : Aşırı yük ikazıdır. Sinyal ucunda veya fazla yükseltme yapıldığında Ja/Nein olarak çalışmaktadır.

V-Grob : Giriş sinyalinin kaba yükseltme ayarıdır.

Null-Grob : Çıkış sinyalinin kaba sıfırlama ayarıdır.

Null-Fein : Çıkış sinyalinin hassas sıfırlama ayarıdır. Otomatik olarak da sıfırlamaktadır.

Polarität : Çıkış sinyalinin polarite seçeneğidir. Besleme uçlarının ters bağlama sonucunda meydana gelecek ters polariteyi uygulama noktasına müdahale etmeden +/- olarak değiştirme imkanı tanımaktadır.

V-Fein : Giriş sinyalinin hassas yükseltme ayarıdır.

Low-Pass : 35 ve 100 Hz'lik alçak geçişli filtre seçme olanağı bulunmaktadır.

Speisung : Sensörlerin beslemesidir. 2,5 V, 5 V, 8 V, 10 V besleme seçenekleri bulunmaktadır.

Testspannung : Sensörlerin testinde kullanılan test gerilimi olarak 2 mV ve 200 mV seçenekleri vardır.

Ua : Yükseltilmiş çıkış sinyalidir.

IV.2.5.2. Test Koşulları İle İlgili Bilgiler

Yapılan testler sekiz ölçümden oluşmaktadır. Bunlar;

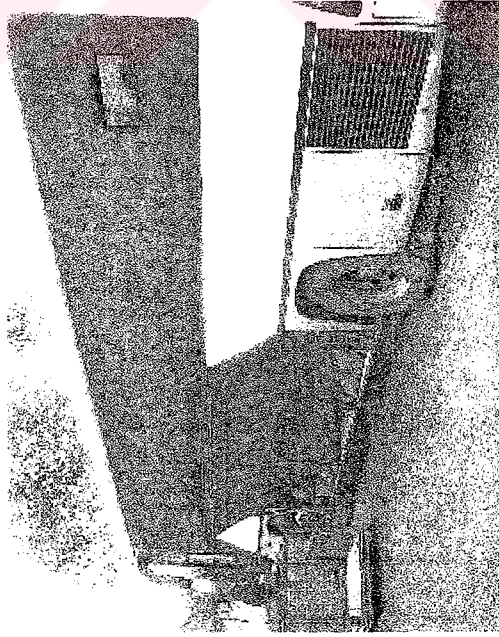
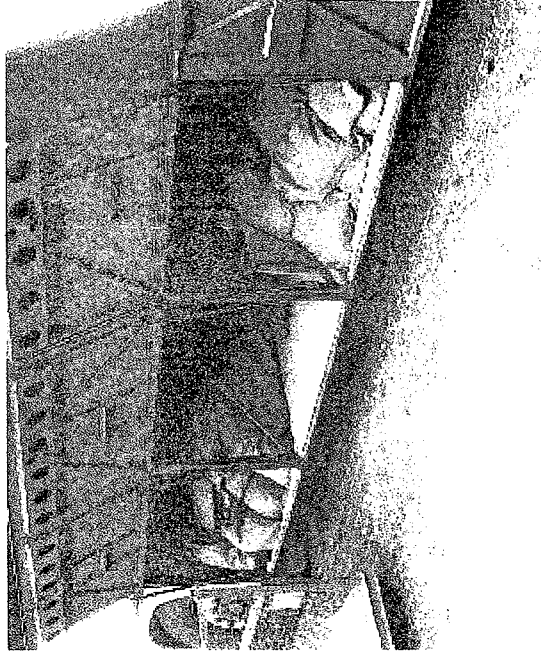
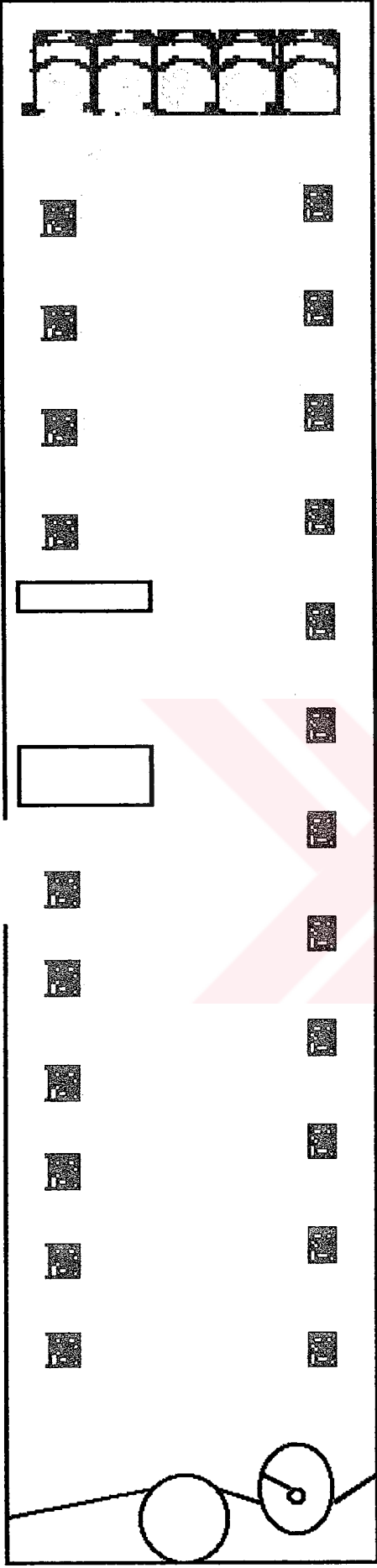
- Seride kullanılan parçaları, 125 Km/h ve boş ağırlıkta,
 - Seride kullanılan parçaları, 100 Km/h ve boş ağırlıkta,
 - Seride kullanılan parçaları, 125 Km/h, kanuni ve teknik olarak izin verilen azami ağırlıkta,
 - Seride kullanılan parçaları, 100 Km/h, kanuni ve teknik olarak izin verilen azami ağırlıkta,
 - Önlem paketi parçaları, 125 Km/h ve boş ağırlıkta,
 - Önlem paketi parçaları, 100 Km/h ve boş ağırlıkta,
 - Önlem paketi parçaları, 125 Km/h, kanuni ve teknik olarak izin verilen azami ağırlıkta,
 - Önlem paketi parçaları, 100 Km/h, kanuni ve teknik olarak izin verilen azami ağırlıkta,
- şeklindedir.

IV.2.5.3. Aracın Koltuklandırma ve Yükleme Durumu

Ölçümü yapılan O560 RH Intouro aracı aşağıda belirtildiği gibi kanuni ve teknik olarak izin verilen azami yük kapasitesine kadar yüklenmiştir.

Aracın bagajı: Araç içindeki yükte dikkate alınarak ölçüm aracının bagajı kanuni ve teknik olarak izin verilen azami yük kapasitesine kadar yüklenmiştir.

Yolcu kabini: O560 RH Intouro'nun yolcu koltuklarına 60'şar litrelik depolar su ile doldurularak yüklenmiştir(Şekil IV.3).



Şekil IV.3 Araç Koltuklandırma ve Yükleme Resimleri

IV.2.5.4. Test Edilen Parçalar

Ölçüm Parçaları Listesi

Tablo IV.2 Serideki Ölçüm Parçaları

Arka Aks	Adet	Açıklama
Sağ körük taşıyıcısı	1	Mevcut parça
Sağ üst salıncak	1	Yeni parça
Sağ alt salıncak	1	Yeni parça
Rot kolları (sağ/sol)	2	Yeni parça
Amortisör tutucusu	1	Mevcut parça
Sağ stabilizatör desteği	1	Yeni parça
Amortisör	2	Değiştirildi

Arka Aks	Adet	Açıklama
Sağ körük taşıyıcısı	1	Yeni parça
Salıncak	1	Yeni parça
Bugü kolları (sağ/sol)	2	Yeni parça
Sağ stabilizatör desteği	1	Yeni parça
Amortisör	2	Değiştirildi

Önlem Paketi Parçaları:

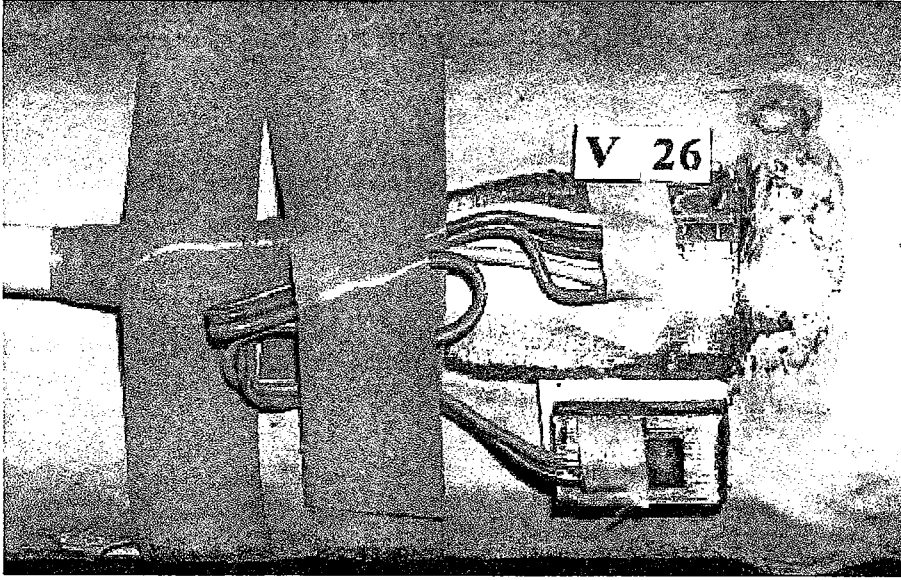
Arka Aks	Adet	Açıklama
Salıncak	1	Yeni parça
Bugü kolları (sağ/sol)	2	Yeni parça
Amortisör	1	Deneme amortisör

Tablo IV.3 Test Edilen Aracın Alt Yapı Parça Listesi

Ön Aks		Arka Aks	
Parça	Miktar	Parça	Miktar
Üst salıncak	1 (sağ)	Körük taşıyıcı	1 (sağ)
Alt salıncak	1 (sağ)	Bugı kolu	2 (sağ/sol)
Körük taşıyıcı	Takım	Arka salıncak	1
Stabi kolu	1 (sağ)	Stabi kolu	1 (sağ)
Rot kolu yeni	2 (sağ/sol)		
Rot kolu eski	2 (sağ/sol)		

Tablo IV.4 Ölçüm Noktaları ve Kullanılan Strain Gauge Özellikleri

Ön Aks			Arka Aks		
Parça	1.5 mm	3 mm	Parça	1.5 mm	3 mm
Körük taşıyıcı	V6	V18,V19, V21	Körük taşıyıcı	H8, H10	
Üst salıncak	V24,V26		Bugı kolu *2		Tam köprü
Alt salıncak	V31,V32, V35		Arka salıncak	4Yarım Köprü	
Rot kolu sağ/sol		Tam köprü	Stabi kolu sağ		Tam köprü
Stabi kol sağ		Tam Köpr			



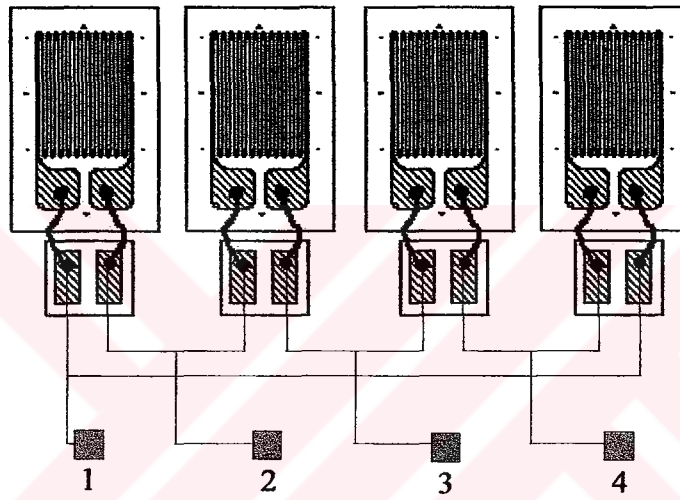
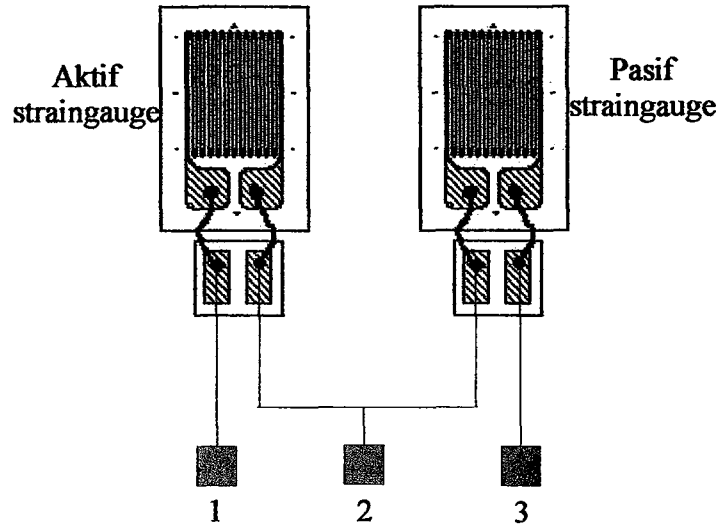
Şekil IV.4 Ön Aks Üst Salıncak Üzerine Yapılan Strain Gauge Uygulaması

IV.2.6. Test Yöntemi ve Akışı

1- Ölçüm parçalarının hazırlanması: Amaç, yukarıdaki tablolarda verilen parçalar için ölçüm bölgesinde yeterli pürüzlüğe sahip, kimyasal açıdan temizlenmiş ve ölçme doğrultusunun işaretlendiği bir yüzey elde etmektir.

2- Yüzey temizleme, işaretleme ve yapıştırma işlemleri: Bölüm III.4.4’de açıklandığı şekliyle uygulandı.

3- Terminal ve kablo bağlantıları: Ölçümlerde kullanılan strain gauge, kablo ve soket bağlantıları şema ve tablodaki gibidir.



Şekil IV.5 Yarım ve Tam Köprü Strain Gauge Kablo Bağlantıları

Not: Yukarıdaki şekillerde gösterilen kablo renkleri örnek olması ve iyi görünmesi için seçilmiştir. Esas ve doğru kablolama renkleri aşağıdaki tablodaki şekildedir.

Tablo IV.5 Starin Gauge FIPS Soketi Bağlantısı Kablo Renkleri

FIPS soketi	5'li kablo	3'lü kablo	Strain Gauge
1 (boş)	Beyaz	-	-
2 (-sinyal)	Sarı	Beyaz	2
3 (+besleme)	Gri	Kırmızı	1
4 (-besleme)	Kahve	Kahve	3
5 (+sinyal)	Yeşil	-	4

4- Strain Gauge Kontrolü ve Kalibrasyon

Strain Gauge'in ölçüme uygun olarak yapıştırıldığını tespit edebilmek için bir kaç kontrol yapılması gerekmektedir. Bunlar;

Silgi kontrolü: Analog göstergeli galvanometreye bağlanan ve sıfırlaması yapılan gauge'in üzerine bilgi ile kuvvet uygulanmalıdır. Uygulanan kuvvet nedeniyle galvanometre ibresi sapacaktır. Bilgi, gauge üzerinden çekildiğinde ibre hızla sıfır konumuna geri dönmelidir. Strain gauge ölçüme uygun yapıştırılmadıysa galvanometre ibresi sıfıra gelmeyip herhangi bir değerde kalacaktır. Strain gauge'in ölçüme uygun yapıştırılmama nedenlerinden başta;

- Uygulanan yapıştırıcı miktarının az olması,
- Strain gauge'in gridleri altında hava kabarcığı veya pislik (tortu, zımpara çapağı gibi) kalması,

gelir. Strain gauge uygulamasının onarımı olmadığından, uygulama tekrarlanmalıdır.

Ohmmetre kontrolü: Uygulaması doğru olan strain gauge'lerin omajları kontrol edilmelidir. Wheatstone köprüsündeki bağlantı noktaları şu şekildedir;

1 = R1 ile R4'de

2 = R1 ile R2'ye

3 = R2 ile R3'e

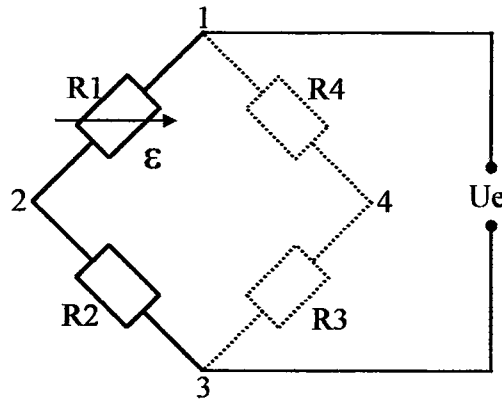
4 = R3 ile R4'de bağlanmaktadır.

Buna göre multimetreden aşağıda verilen hesaplarla şu değerler okunmalıdır:

a)Yarım köprülerde: Strain gauge dirençleri: $R_1=R_2 = 120 \Omega$ ve R_1 aktif strain gauge olursa,

1 ve 2 uçlarından : 120Ω

1 ve 3 uçlarından : 240Ω



Şekil IV.6 Testlerde Kullanılan Yarım Köprü Strain Gauge Devresi

Yarım köprü devrelerinde sadece bir strain gauge aktif, diğeri sıcaklık kompanzasyonu içindir.

b) Tam köprülerde: Strain gauge dirençleri : 120 Ω olursa,

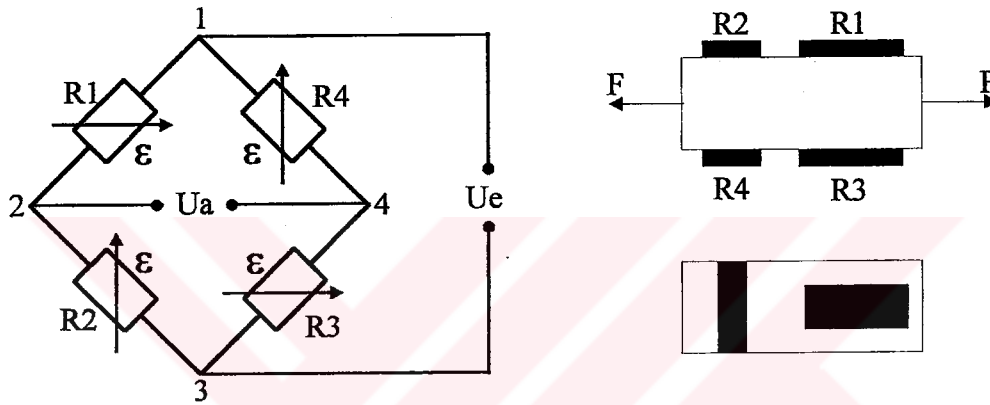
(1,2),(2,3),(3,4),(4,1) uçları için:

$$R(1,2) = R(2,3) = R(3,4) = R(4,1) = \frac{R1 * (R2 + R3 + R4)}{R1 + R2 + R3 + R4} = 90\Omega$$

ve

1,3 ve 2,4 uçları için :

$$R(1,3) = R(2,4) = \frac{(R1 + R2) * (R3 + R4)}{R1 + R2 + R3 + R4} = 120\Omega \text{ okunmalıdır.}$$



Şekil IV.7 Testlerde Kullanılan Tam Köprü Strain Gauge Devresi

Oklar, strain gauge'lerin aktif olduğunu ve gauge yönlerini göstermektedir.

Yukarıda verilen değerler okunmadığı takdirde, arızanın nereden kaynaklandığı bulunmalı ve giderilmelidir.

Kalibrasyon: Yarım köprü uygulamalarında ölçüm noktalarını koruyucu malzeme ile kapatmadan önce ölçüm sistemi kalibre edilmelidir. Tam köprü uygulamalarında ise, bunlar kuvvet, moment vb ölçümleri olduğundan, ölçüm noktaları koruyucu malzeme ile kapatıldıktan sonra Hidropuls gibi başka yardımcı üniteler ile kalibre edilirler.

Yarım köprü uygulamalarında genellikle “Kalibrasyon Direnci” kullanılmaktadır.

Kalibrasyon direnci (KD), Gauge Faktörü = 2 olan çeşitli değerlerde tasarlanan hassas bir dirençtir. KD'lerinin direnç değerleri uzama birimi karşılıkları;

$$59880 \text{ ohm} = 1000 \mu\text{m/m}$$

$$29880 \text{ ohm} = 2000 \mu\text{m/m} \text{ vb gibidir.}$$

Diğer yönden $2000 \mu\text{m/m} = 1\text{mV/V}$ olduğu çeşitli ölçümler sonucu DMS üreticileri tarafından kanıtlanmıştır. Buna göre birim uzamadan elektriksel büyüklüğe geçilebilir.

KD'ni parçaya uygulanan aktif strain gauge'in uçlarına değdirmek suretiyle amplifier'in(Modulab) çıkışını KD değerine karşılık gelen mV/V 'a V-fein'den ayarlanmalıdır. Böylece Modulab, strain gauge'den gelen sinyal KD değerine ayarlanmış olur.

Dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise, aktif strain gauge'in k-faktörüdür. Aktif strain gauge'lerin k-faktör'leri çeşitli değerlerde imal edilmektedir.

1.5/120 LY11 tip SG için $k=2.07$ veya $k=2.04$ olması gibi.

Bu durumda cihaz ayarı(kalibrasyon) için bir hesaplama yöntemi bulunmaktadır.

Yeni birim uzama değeri = [(KD k-faktörü)/(Aktif SG k-faktörü)].KD birim uzama

Örnek: Yeni birim uzama değeri = $2/2.07 \cdot 2000 = 1932 \mu\text{m/m}$

Buna göre; KD($k=2$) uçları, aktif strain gauge'in($k=2.07$) uçlarına değdirildiğinde fiziksel büyüklük birim uzama olarak $1932 \mu\text{m/m}$ görülmelidir. Bu durumda;

*Gösterge değeri = yeni birim uzama*1mV/V / KD birim uzama*

Örnek: Gösterge değeri = $1932 \mu\text{m/m} \cdot 1\text{mV/V} / 2000 \mu\text{m/m} = 0.966 \text{ mV/V}$

KD($k=2$) uçları, aktif strain gauge'in($k=2.07$) uçlarına değdirildiğinde elektriksel büyüklük olarak 0.966 mV/V görülmelidir.

Tam köprü uygulamalarında ise kalibrasyon işlemi yardımcı bir cihaz ile yapılır. Bunlar, kuvvet (N) için hidropuls, moment (Nm) için tork anahtarı olabilir. Ölçülecek parça hidropuls'a monte edildikten sonra amplifikatör(Modulab) üzerinden sıfırlaması yapılmalıdır. Hidropuls ünitesinden statik bir kuvvet (çekme veya basma) verilerek kalibrasyon işlemi yapılır. Yükseltici göstergesinden okunan değer, ölçülecek kuvvetler için referans değeri olacaktır. Örneğin rot kolları için:

Ayar öncesi okunan değerler:

5 kN = 0.485 mV/V

10 kN = 0.970 mV/V

15 kN = 1.455 mV/V

Ayar sonrası okunan değerler:

5 kN = 0.500 mV/V

10 kN = 1.000 mV/V

15 kN = 1.500 mV/V

şeklinde olacaktır.

Bu ölçümde moment ölçülmedi, ancak moment ölçümlerinde tork anahtarı kullanılarak kalibrasyon değeri elde edilmektedir. Ölçülecek parça tek tarafı dönmeyecek şekilde bir yere sabitlenir. Amplifikatör üzerinden sıfırlaması yapılır ve diğer tarafından değeri ayarlanmış tork anahtarı ile torklanır.

Örnek:

Ayar öncesi okunan değerler:

$$5 \text{ Nm} = 0.450 \text{ mV/V}$$

$$10 \text{ Nm} = 0.900 \text{ mV/V}$$

$$15 \text{ Nm} = 1.350 \text{ mV/V olabilir.}$$

Ayar sonrası okunan değerler :

$$5 \text{ Nm} = 0.500 \text{ mV/V}$$

$$10 \text{ Nm} = 1.000 \text{ mV/V}$$

$$15 \text{ Nm} = 1.500 \text{ mV/V}$$

şeklinde olacaktır.

Sadece tam köprülü çalışmalarda köprü faktörü kullanılmaktadır. Köprü faktörü, tam köprünün hangi şekilde uygulandığını göstermektedir. Aşağıda parça üzerine yapılan bir strain gauge uygulaması için hesaplama yöntemi gösterilmiştir.

T = Sıcaklık etkisi, P = Kuvvet, M_B = Bükme etkisi, M_D = Burulma etkisidir.

$$T=0 \quad P=2(1+\mu) \quad M_B=0 \quad M_D=0 \quad (\mu=0.3)$$

$$P = 2(1+0.3) = 2.66$$

Yukarıda verilen formüle göre bu uygulama için sıcaklık etkisi yoktur, 2.66'lık köprü faktörü bulunmaktadır. Bu ifade bükme ve burulma etkisi yoktur anlamını taşımaktadır. Tam köprülerde sıcaklık etkisi görülmediği aşağıdaki formüllerle açıklanmıştır.

Tam köprülerde strain gauge'lerin tümü aktiftir.

$$\varepsilon_1 \neq 0 \quad \varepsilon_2 \neq 0 \quad \varepsilon_3 \neq 0 \quad \varepsilon_4 \neq 0$$

Tam köprüde giriş-çıkış gerilimleri ile gerilme değişimleri arasındaki bağıntı,

$$\frac{E(U_a)}{V} = \frac{K}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

denklemleri ile verilir. Yine örnek olarak yukarıdaki yüklemde bütün gerinim ölçerler aynı dış ortam içinde bulunduklarından eşit oranda direnç değişimine uğrarlar. Bu durumda:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_3 = \varepsilon \quad \text{ve} \quad \varepsilon_2 = \varepsilon_4 = 0 \text{ 'dır. Buna göre;}$$

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 = (\varepsilon + \varepsilon_T) - (0 + \varepsilon_T) + (\varepsilon + \varepsilon_T) - (0 + \varepsilon_T) = \varepsilon + \varepsilon_T - \varepsilon_T + \varepsilon + \varepsilon_T - \varepsilon_T = 2\varepsilon$$

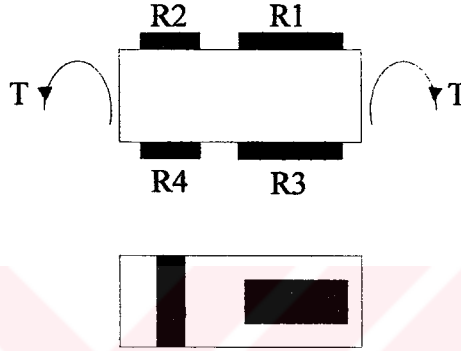
olur.

Bükme etkisi, R_1, R_3 ve R_2, R_4 dirençleri eşit oranda zıt polaritede değişim gösterdiğinden dolayı yoktur.

Parça büküldüğünde R_1 direnci X birim uzama ve R_3 direnci $-X$ birim büzülme gösterecektir. Strain gauge'lerin ölçüm alanı grid boyu olduğundan ve bükme etkisinde R_2, R_4 dirençlerine grid enine etki geldiğinden eğer strain gauge'in transvers sensitivity değeri sıfırdan farklı ise iki direnç de y birimi kadar birbirine zıt yönde etkilenecektir.

$\epsilon_1 = \epsilon$, $\epsilon_2 = \epsilon'$, $\epsilon_3 = -\epsilon$, $\epsilon_4 = -\epsilon'$ dür. Buna göre;

$$\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4 = (\epsilon + \epsilon_T) - (\epsilon' + \epsilon_T) + (-\epsilon + \epsilon_T) - (-\epsilon' + \epsilon_T) = 0$$



Burulma etkisi, R_1, R_2 ve R_3, R_4 dirençleri eşit oranda zıt polaritede değişim gösterdiğinden dolayı yoktur. Burulma etkisi, R_1, R_2 ve R_3, R_4 dirençleri yönündeki kuvvetlerin birbirine zıt yönlü bileşkesidir. Bundan dolayı R_1, R_2 ve R_3, R_4 dirençleri eşit oranda birbirine zıt polaritede değişim gösterecektir.

5-Strain Gauge uygulanan bölgenin koruyucu ile kapatılması :

Özellikle uzun süreli ölçümlerde ve kötü çevre koşullarında (Rutubet, kimyasal malzeme etkisi, darbe etkisi vs gibi) yapıştırılan strain gauge'in yüzeyi ve kablunun kısa bir bölümü koruyucu özel bir malzeme ile kaplanır. Strain gauge'i darbelerden korumak için yumuşak koruyucunun üzeri sertleşen bir malzeme ile kaplanmalıdır. Sızdırmazlığını tam olarak sağlamak amacı ile üzeri silikon ile de kaplanabilir.

6- Datron μ EEP-10'da Faktör Tanımlanması :

Kısım IV.2.5.1'de belirtilen cihaz ayarları tanımlandıktan sonra, kalibrasyonu yapılan parçaların referans değerleri sinyal tanımlama penceresindeki "Faktör" hanesine yazılmalıdır. Yukarıda verilen örneklere göre; stress ölçümü için 1932 rakamı, kuvvet ölçümü için 0.500 rakamı yazılmalıdır.

7- Ölçümün alınması :

Ölçümler, şu şekilde yapılmıştır:

Ölçüme çıkılmadan önce Modulab ile sistem sıfırlaması şu yöntem ile yapılmıştır. Modulab programında “Null-grob” veya “Null-fein” kısmına girerek otomatik olarak sıfırlama yapılmıştır. Şekil IV.1’de belirtilen güzergah üzerinde sabit 125 Km/h ile ölçüm alınmıştır.

Ölçümün başlangıç yerine döndükten sonra ölçüm durdurulmuştur. Birinci ölçüm ardından hemen ikinci ölçüm için hazırlık yapılmıştır. Sistem, Modulab ile sıfırlanmıştır. Aynı güzergah üzerinde sabit 100 Km/h ile ölçüm alınmış ve ölçümün başlangıç yerine döndükten sonra ölçüm durdurulmuştur. Bu çevrimler diğer koşullar için de yapılmıştır.

8- Dataların transferi :

Ölçüm datalarının öncelikle “ZIP driver” ile transferi gerçekleştirilmiştir. Zip driver 100MB’lık kapasiteye sahip disket sürücüsüdür. İşlem hızı 20MB/dk olmasına rağmen, ölçüm datalarının büyüklüğünden dolayı datalar LAPLINK programı ile Datron data toplama sisteminden Laptop’a aktarılmıştır. LAPLINK programı, DOS ortamında çalışan, iki PC arasına “paralel port” kablosu bağlanarak ve 4MB/dk transfer hızı olan bir programdır.

9- Dataların işlenmesi :

Laptop’a transfer edilen datalar, Davitwin programıyla şu şekilde işlenmiştir:

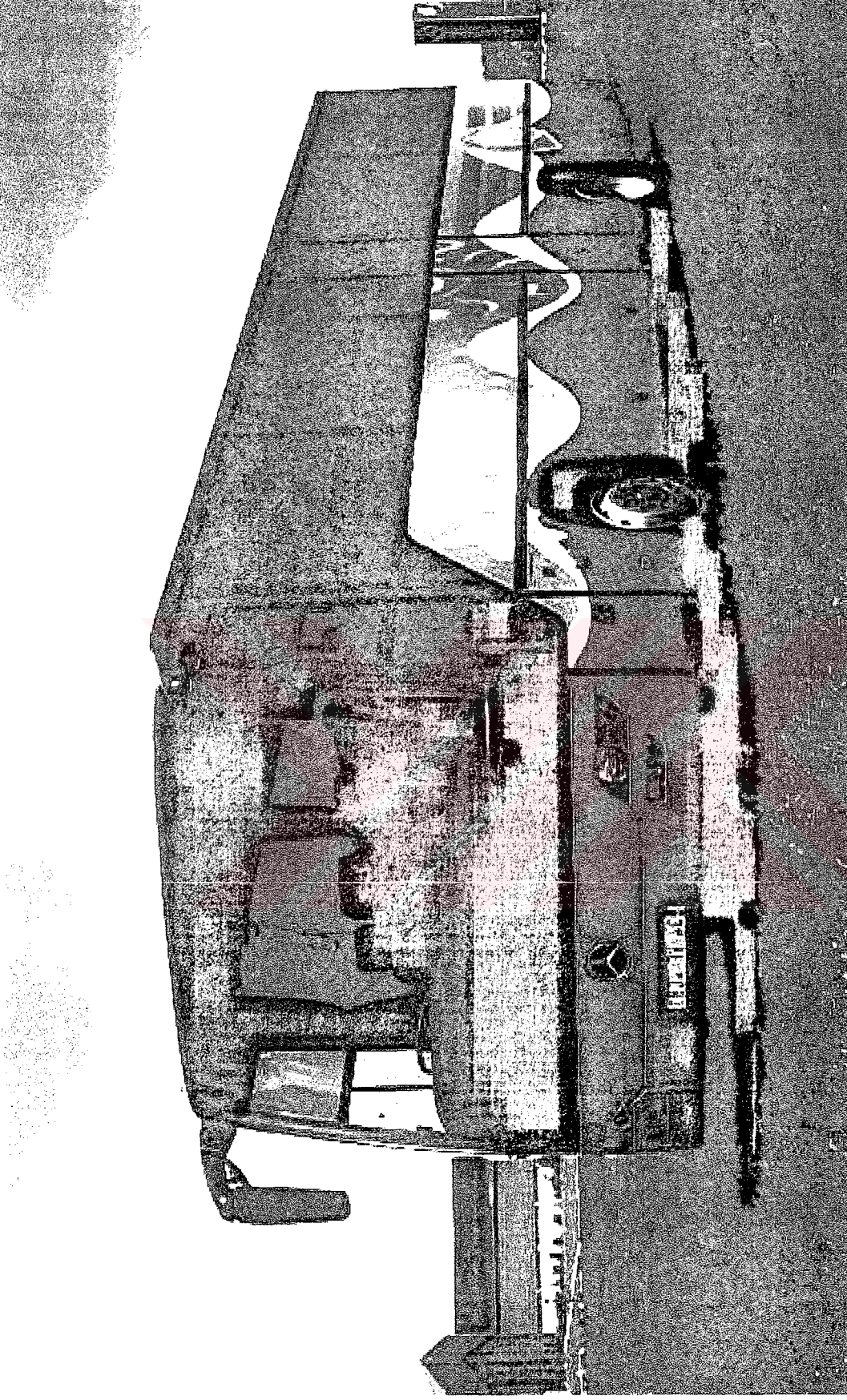
Program menüsündeki “Datei/Öffnen” kısmından dosyalar açılmıştır.

Açılan dosyalardaki ölçüm noktalarına göre dataların “Curve”den Time History’leri çıkarılmıştır(ölçüm grafikleri kısmı).

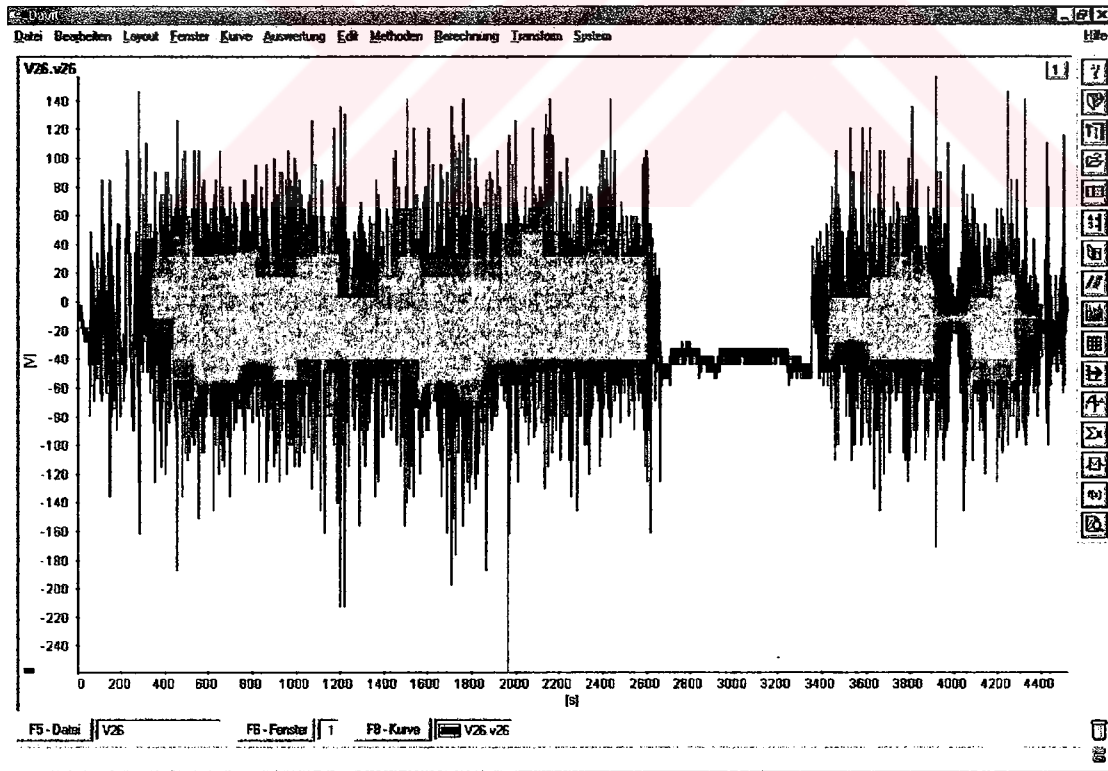
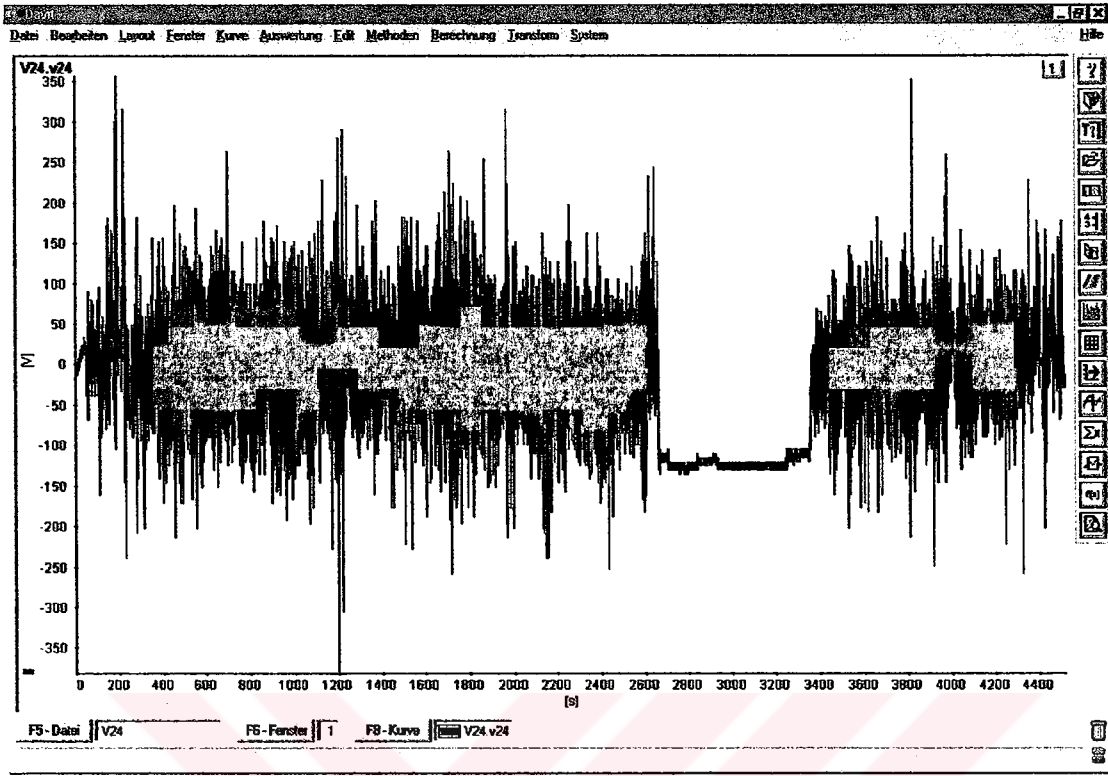
Time History’leri çıkarılan dataların Level Crossing’leri(diğer bir deyişle collectiv’leri) “Berechnung/Klassierung” kısmından çıkarılmıştır.

IV.2.7. Strain Gauge Ölçümlerinden Alınan Veriler

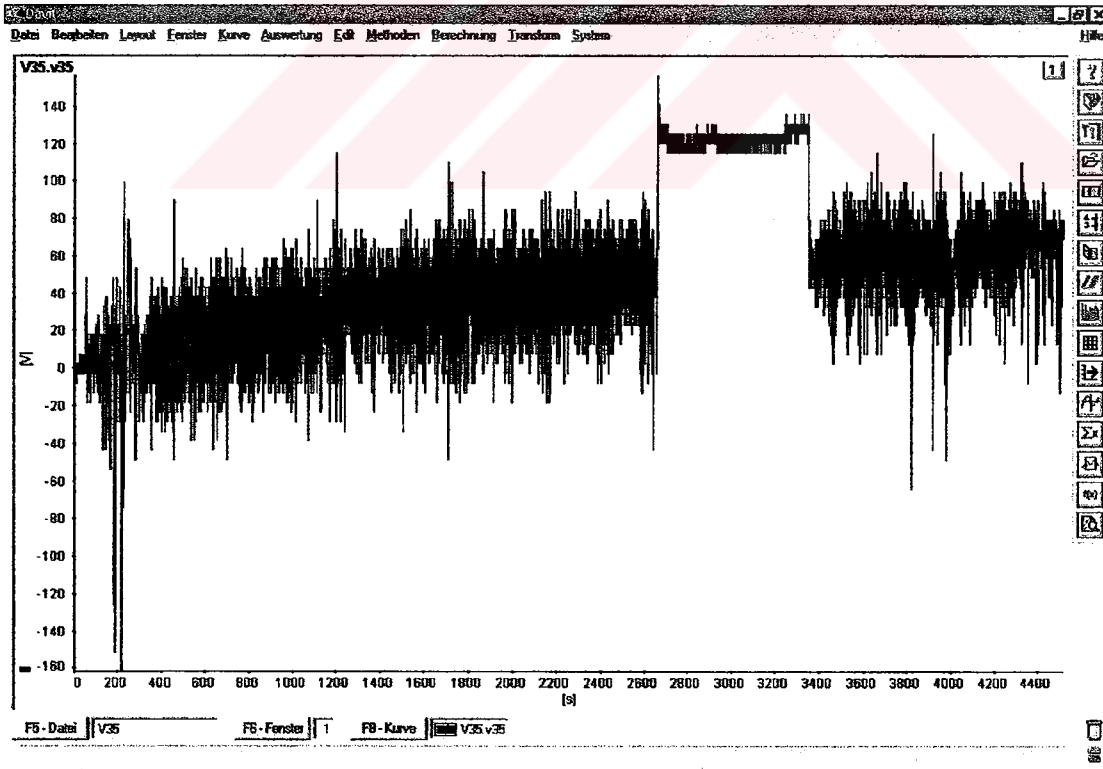
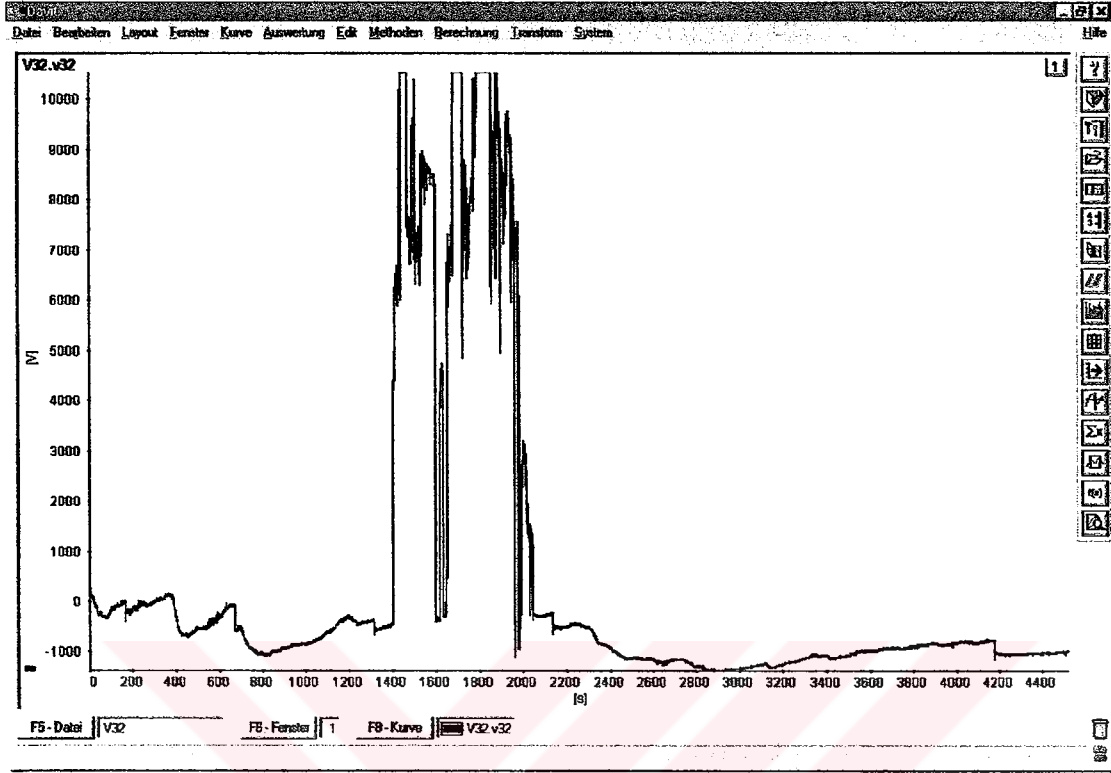
Kısım IV.2.5.2’de verilen her bir yükleme ve hız durumuna göre Tablo IV.4’de verilen ölçüm noktaları için strain gaugelerden alınan veriler kaydedilmiştir. Alınan ölçüm datalarının çok fazla sayıda olması nedeniyle burada örnek olması için sadece bazı noktaların grafikleri verilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesinde, testte alınan tüm grafikler göz önüne alınmıştır. Grafiklerde; X eksenini saniye olarak zamanı ve Y eksenini $\mu\text{m/m}$ olarak strain değerini göstermektedir.



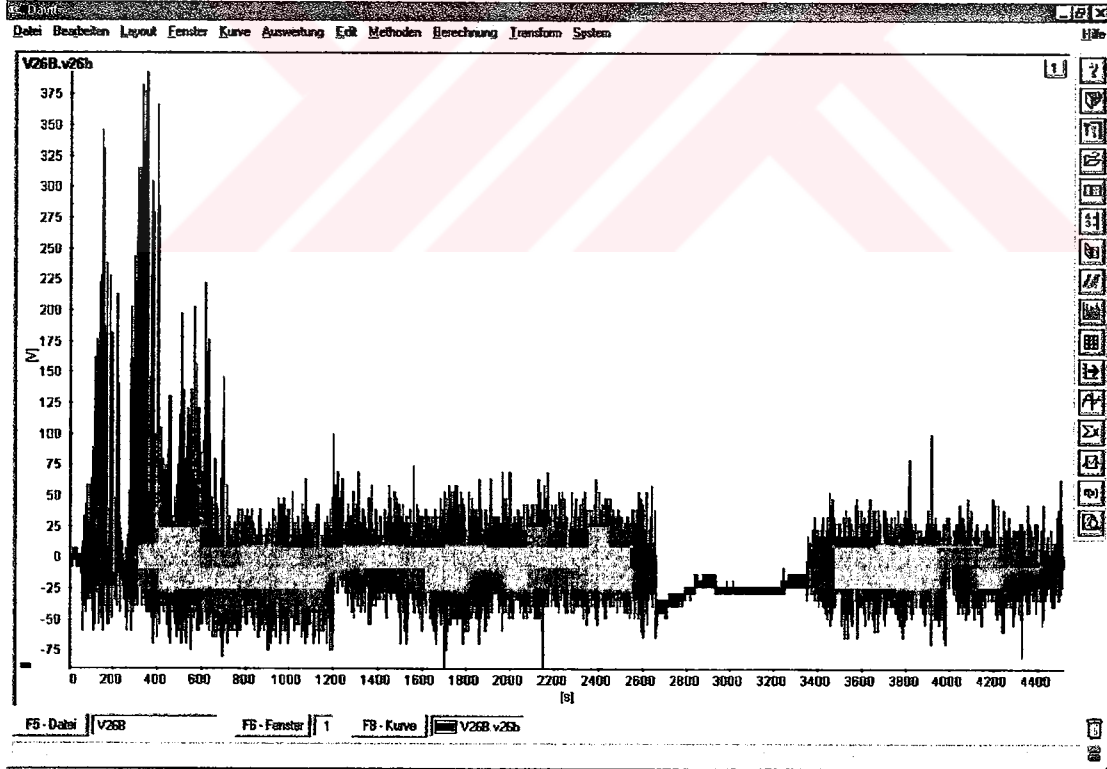
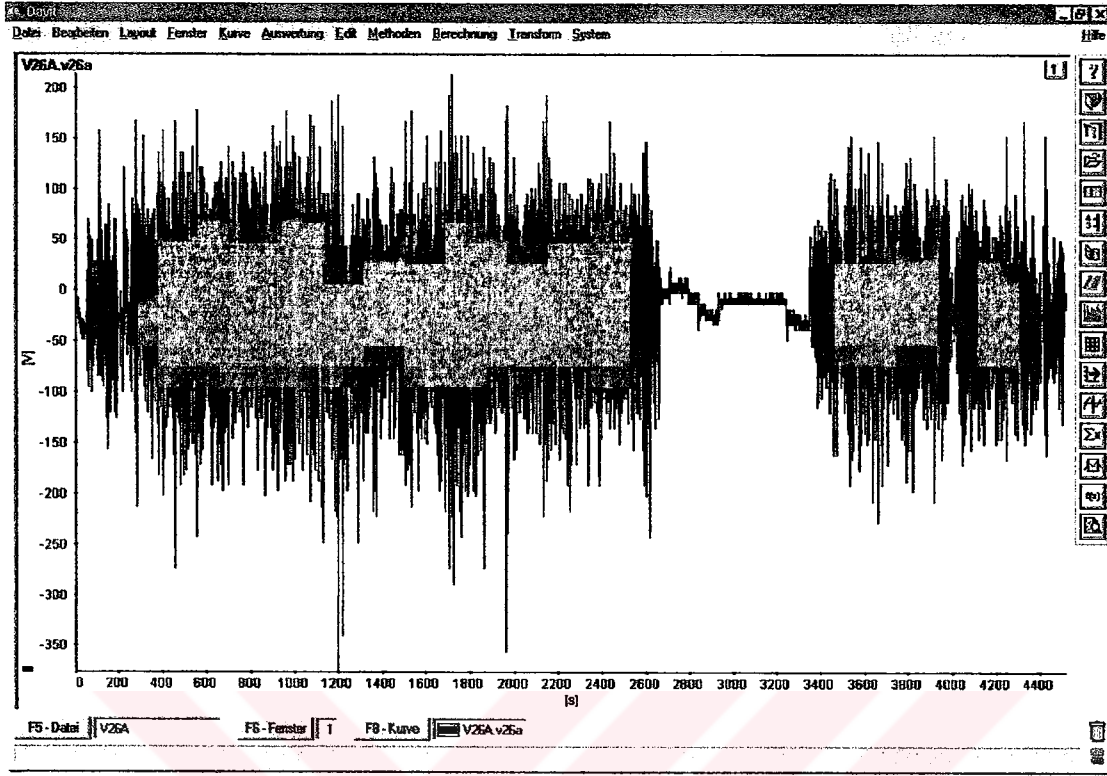
Şekil IV.8 Hız Sınırlandırma Projesinde Kullanılan Mercedes-Benz 0 560 RH Intoruo Şehirlerarası Yolcu Otobüsü



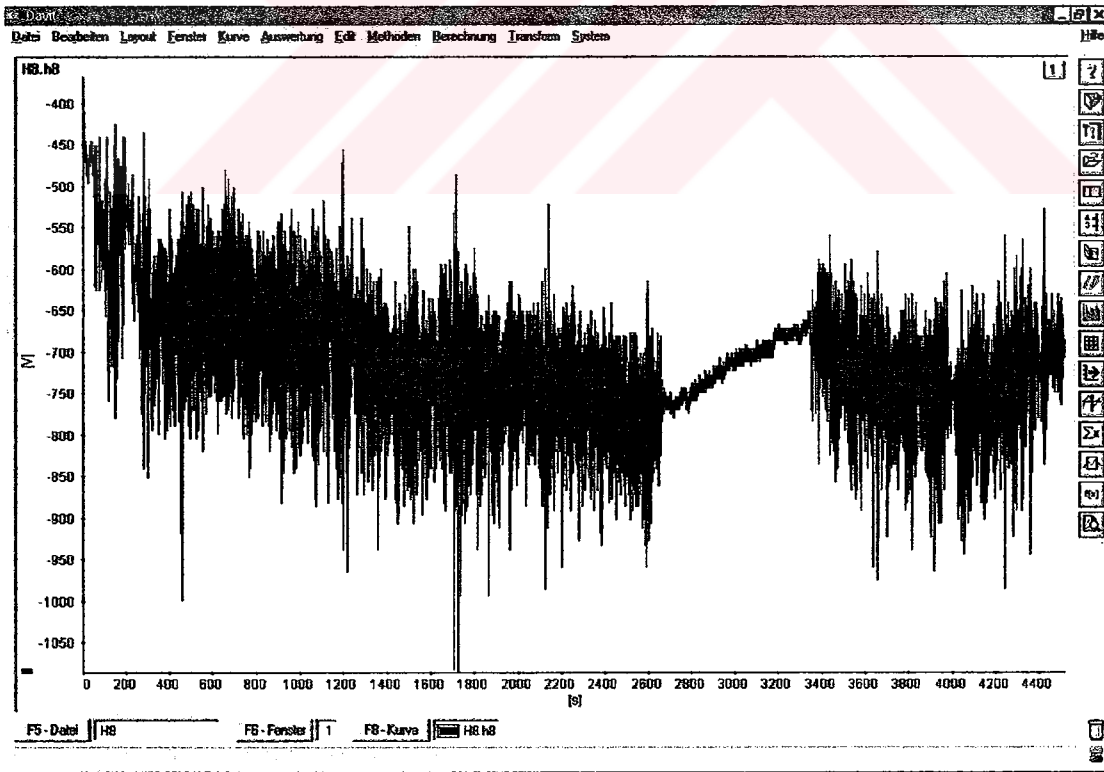
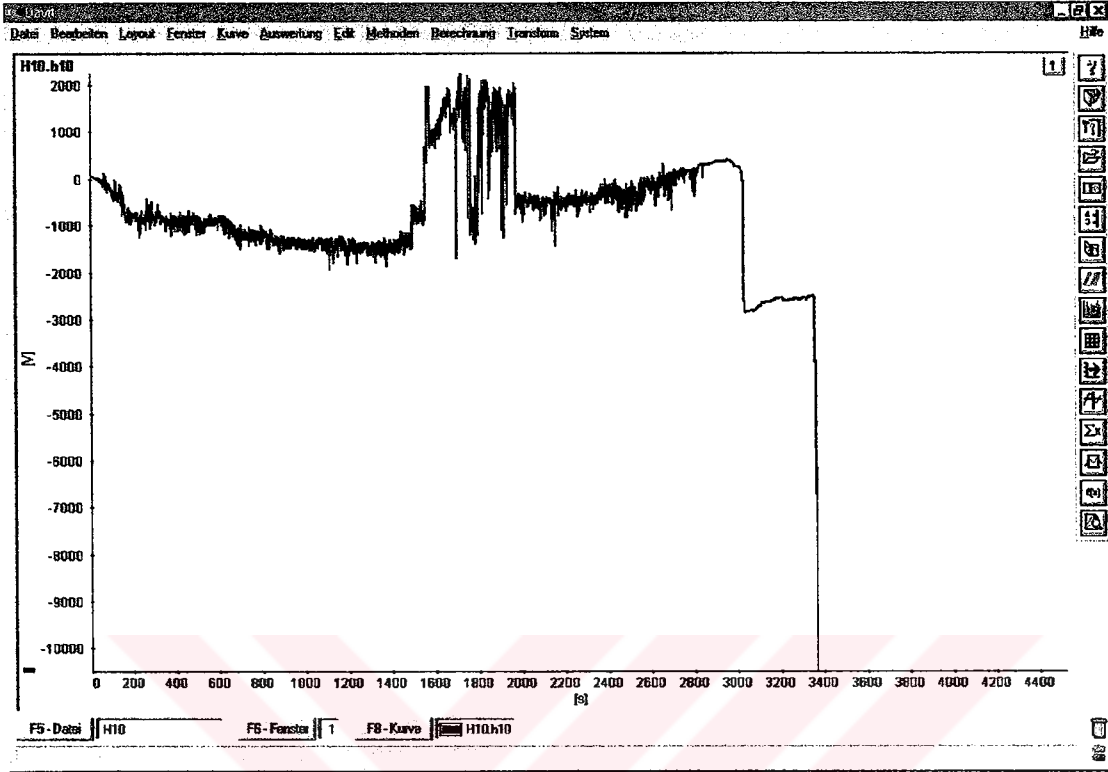
Şekil IV.9 Ön Aks Üst Salıncak V-Bugi Kolu Malzemesinden Alınan Gerilme Değişimleri



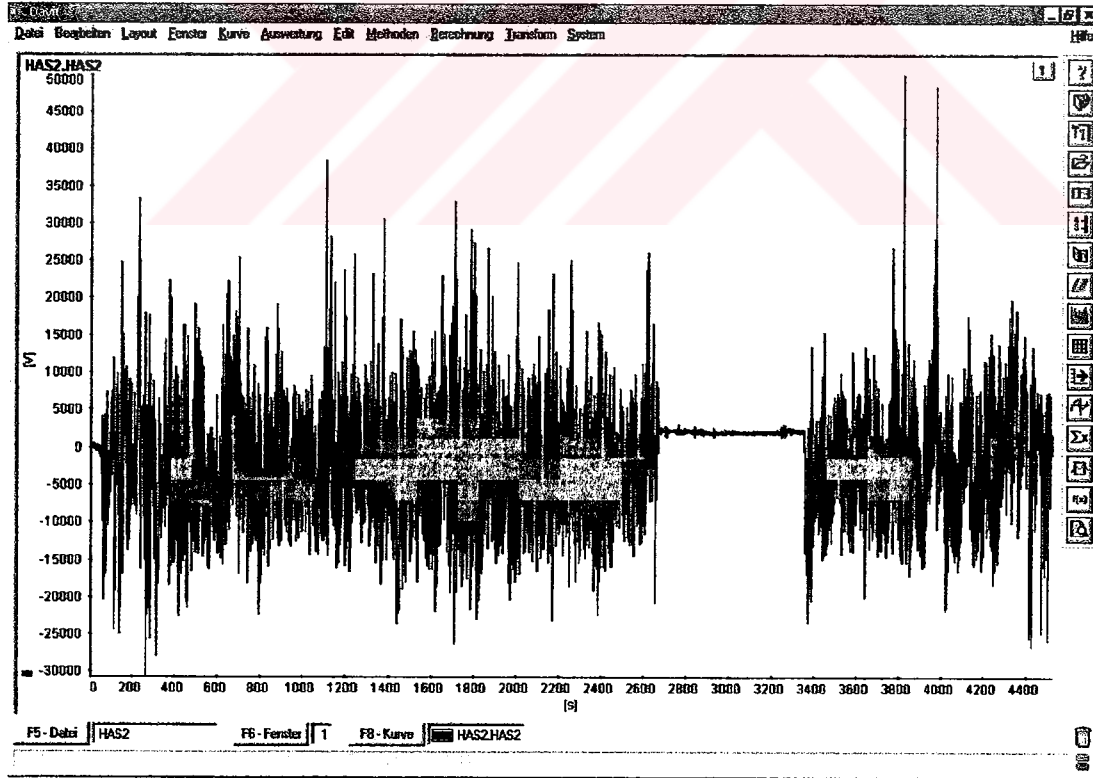
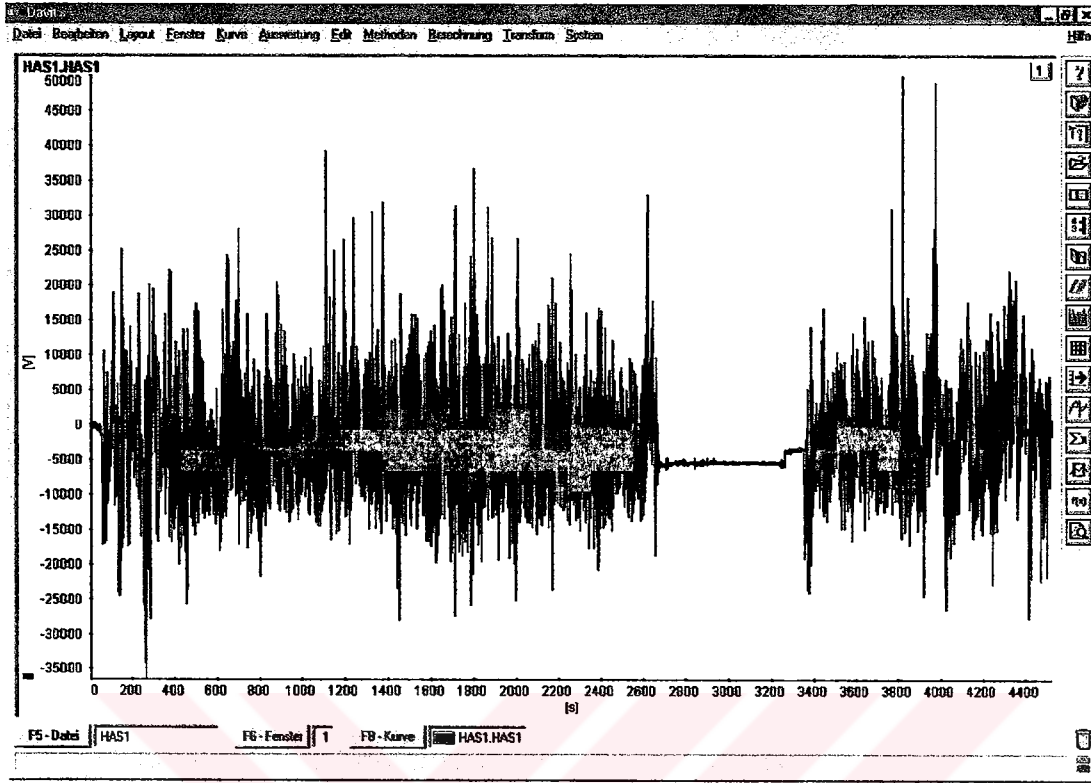
Şekil IV.10 Ön Aks Alt Salıncak V-Buği Kolu Malzemesinden Alınan Gerilme Değişimleri



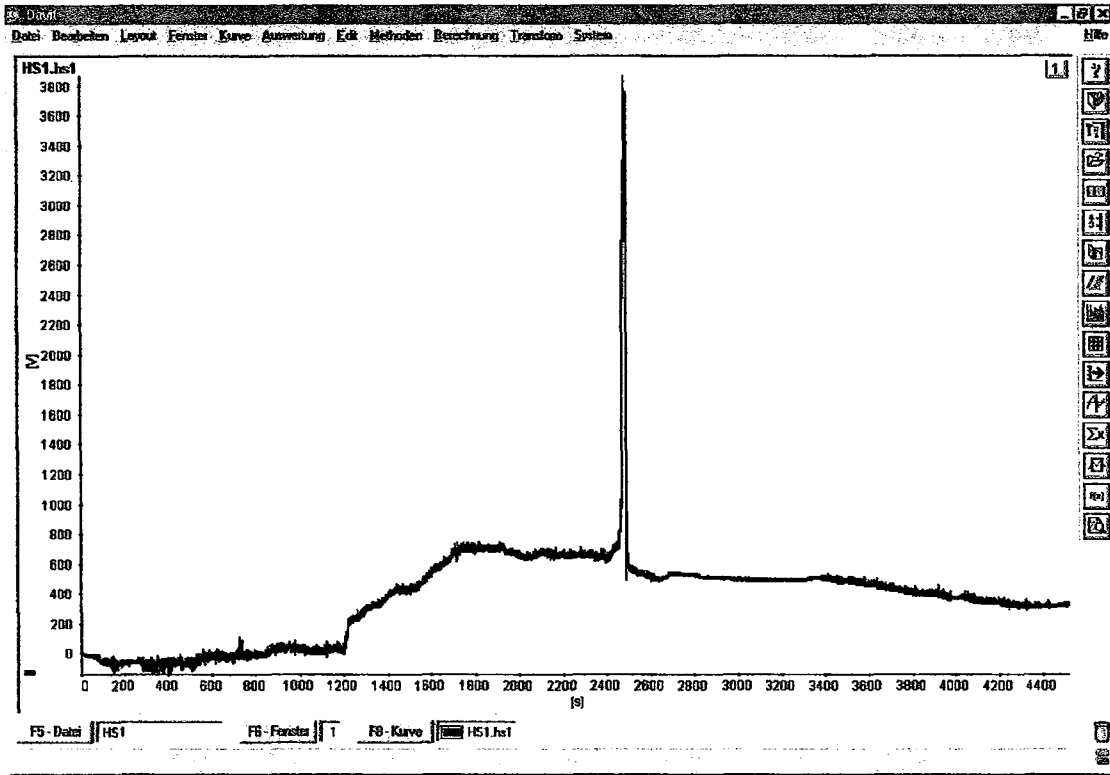
Şekil IV.11 Ön Aks Üst V-Bugi Kolu Malzemesinin Gerilme Değişimleri



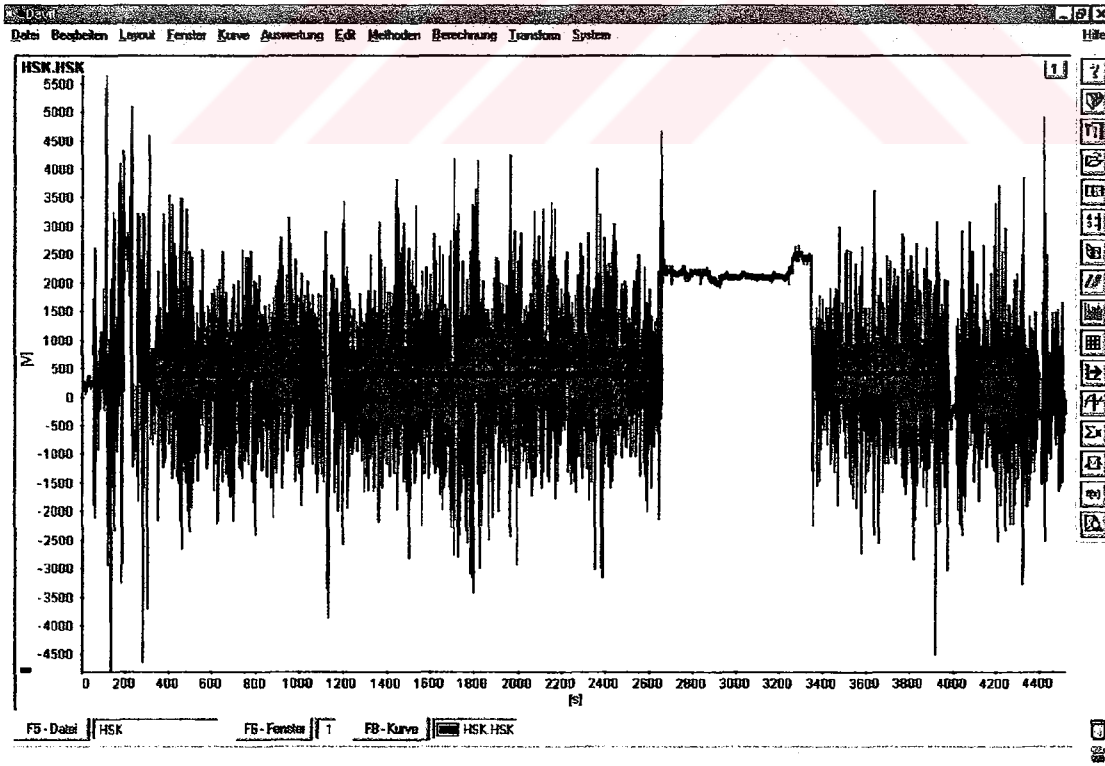
Şekil IV.12 Arka Aks Körük Taşıyıcısı Gerilme Değişimleri



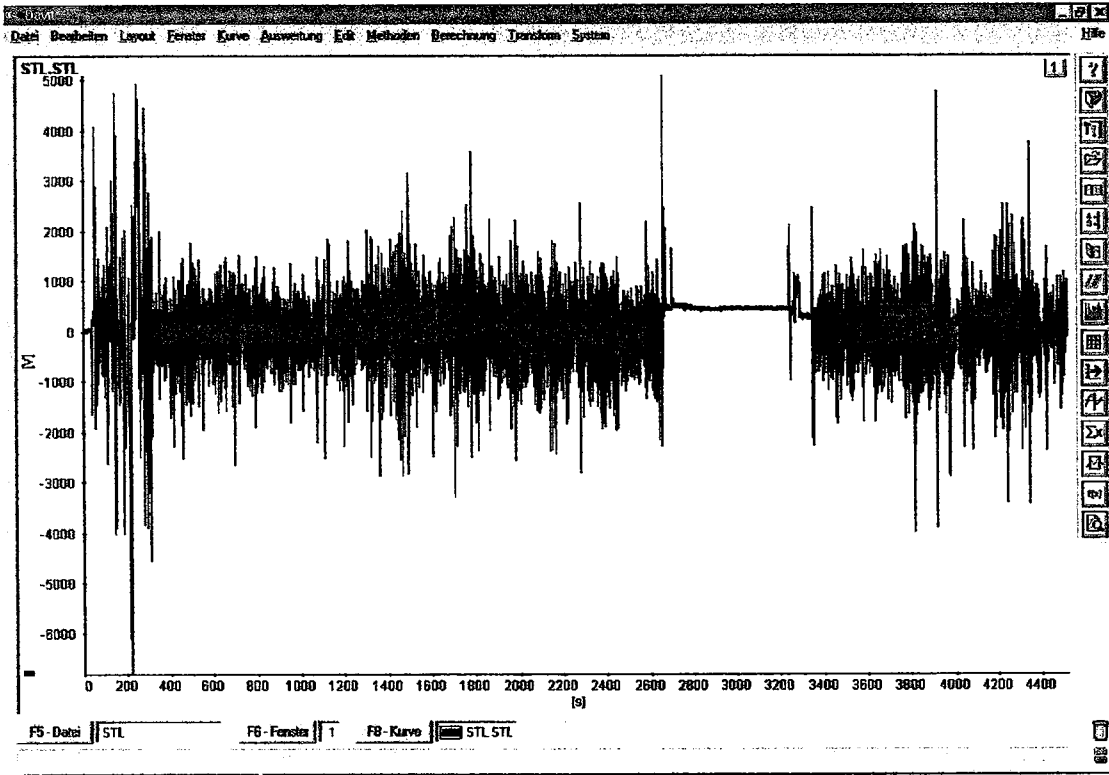
Şekil IV.13 Arka Aks Boyuna Bugi Kol Gerilme Değişimleri



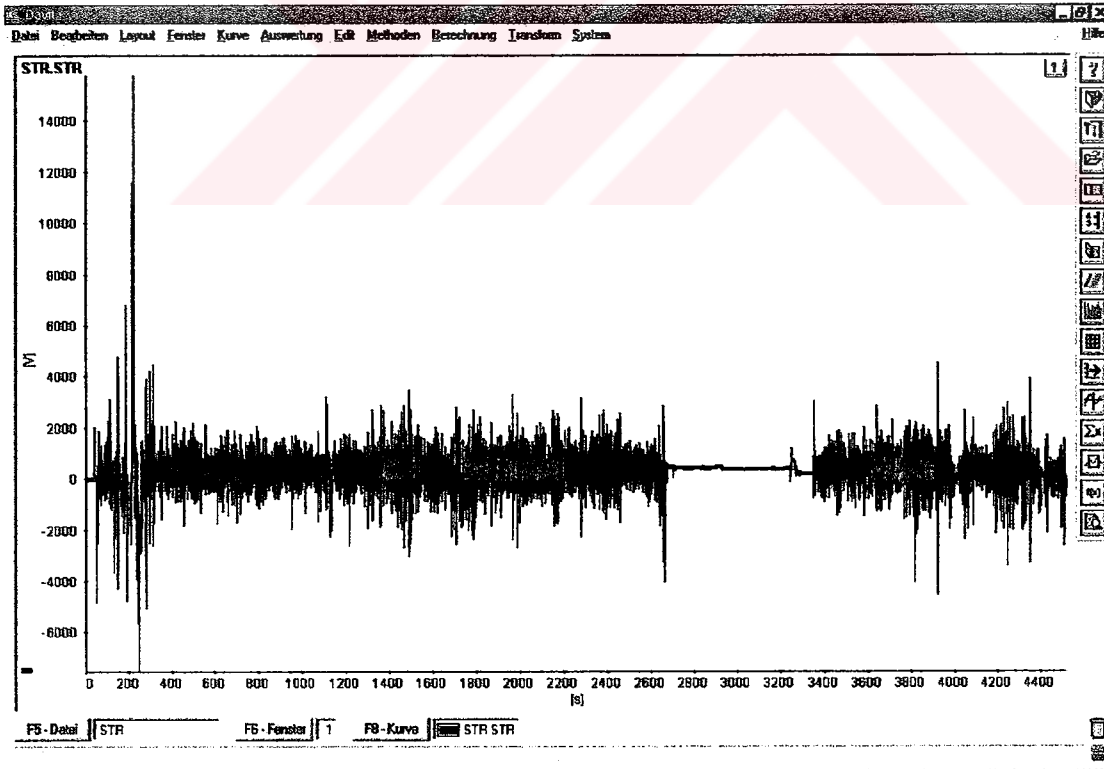
Şekil IV.14 Arka Aks Körük Taşıyıcısı Gerilme Değişimleri



Şekil IV.15 Arka Aksta Stabilisatör Ara Parçasının Gerilme Değişimleri



Şekil IV.16 Sol Rot Kolu Malzemesi Gerilme Değişimleri



Şekil IV.17 Sağ Rot Kolu Malzemesi Gerilme Değişimleri

IV.3. TERMOKUPL ÖLÇME TEKNİĞİ İLE MERCEDES-BENZ 0403/SHD ARACI ŞOFÖR YATMA YERİ KLİMA TESTİ

Araç Tipi: Mercedes-Benz 0403/SHD #3501

Problem Tanımı: 0403/SHD #3501 aracında Konvekta Şoför Yatma Yeri
Klima Testi

IV.3.1. Problemle İlgili Detaylı Açıklama ve Tarifler

0403 SHD araçlarında müşteri isteği üzerine şoför yatma yeri klima sistemi konulması planlanmaktadır. Konvekta firması tarafından tasarlanan şoför yatma yeri klima sistemi 0403/SHD #3501 aracına takılıp soğutma ve ısıtma performansı incelenmiştir.

IV.3.1.1. Yapılan Test Çalışmalarının Amacı

Yürütülen çalışmalar, sıcak iklim koşullarında çalışacak otobüslerin, şoför yatma yeri klima sisteminin çalışma performansının incelenmesi amacını taşımaktadır.

IV.3.1.2. Testle İlgili Ön Bilgiler

Test Yeri

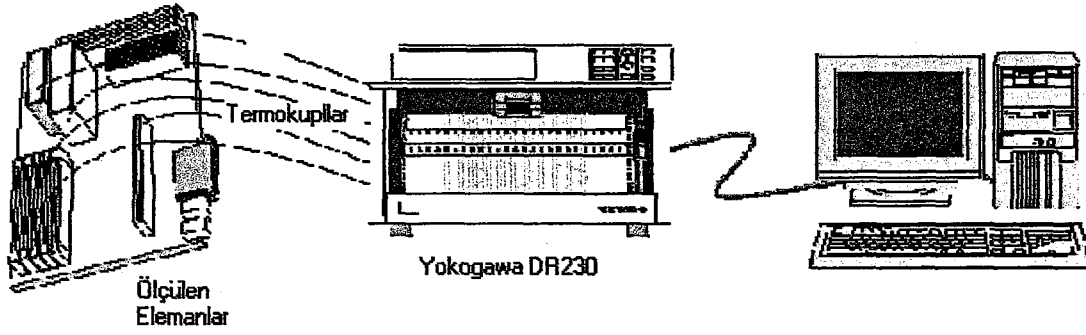
Testler, Konvekta Firması'nın kapalı atölyesinde(Hoşdere-İstanbul) yapılmıştır.

Test Tarihi

Testler, 11.12.2000 – 14.12.2000 tarihleri arası gerçekleştirilmiştir.

IV.3.1.3. Kullanılan Ölçme Cihazları

Yapılan çalışmalarda K tipi Termokupl'lar ve Yokogawa Veri Toplama Sistemi-DR 230 kullanılmıştır.



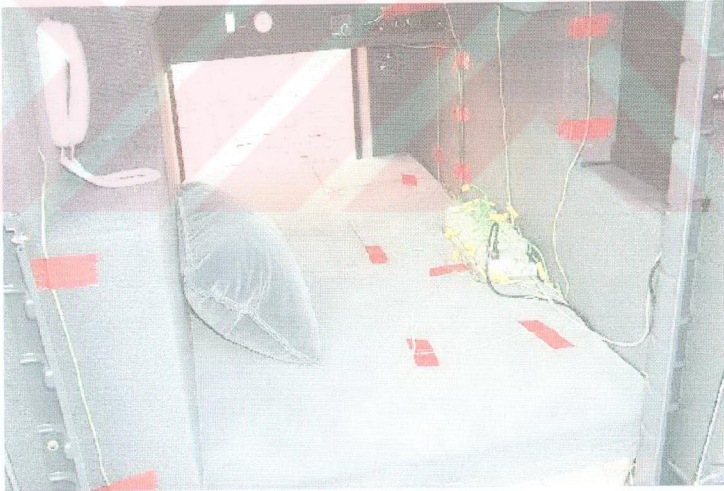
Şekil IV.18 Yokogawa Veri Toplama Sistemi İle Sıcaklık Ölçme

Yokogawa sistemi; genellikle sıcaklık ve gerilim ölçümlerinde kullanılmaktadır. Yokogawa iki ayrı Hardware ve bir Software ile çalışmaktadır. Birincisi Sub-unit'tir. Bu ünite 6 adet 10 kanal modül, toplam 60 kanaldan oluşmaktadır. 60 kanaldan aynı anda ölçüm alınabilir. İkincisi, Plotter'dir. Plotter, seçilen kanalları ölçüm esnasında ayrı ayrı renklerde kağıt üzerine kayıt(plot) edebilmektedir.

Termokupldan gelen mV cinsindeki analog sinyal Sub-unit'e bağlı olan kanala girer ve analog/sayısal çeviricisi sayesinde sayısal sinyale dönüştürülür. Değiştirilen sinyal data transfer kablosu ile plotter'e gönderilir. Burada sinyal, dijital/analog çeviricisi ile tekrar analog sinyale dönüştürülür. Gelen analog sinyal sistem işlemcisi sayesinde işlenir ve °C olarak göstergeye yansıtılır. Sıcaklık mertebesine çevrilen sinyal, sistemin Software'i sayesinde bilgisayar ortamında kayıt edilmektedir.



Şekil IV.19 Yokogawa Sıcaklık Ölçüm Cihazı ve Dizüstü Bilgisayar



Şekil IV.20 Yokogawa Sub-Unit ve Şoför Yatma Yeri Ölçüm Noktalarının Görünümü

IV.3.1.4. Test Koşulları İle İlgili Bilgiler

Test çalışmaları Konvekta firmasının atölyesinde şu koşullarda yapılmıştır:

- Kapalı ve kuru ortamda ölçümler gerçekleştirilmiştir.
- Şoför yatma yeri klima testleri, aracın kendi motor su sıcaklığı ile ısıtılmış ve daha sonra klima sistemi ile soğutulmuş ve sıcaklık dağılımları incelenmiştir.
- Klima sisteminin hava hızları, gürültü düzeyleri ve şoför yatma yeri kabininin su sızdırmazlığı ve ilaveten araç içi arka beşli koltuk grubundaki gürültü düzeyleri ölçülmüştür.

Test Edilen Araç / Sistem / Parçalar

Test edilen şoför yatma yeri klima sistemi ölçüm noktaları Şekil IV.20’de gösterilmiştir.

Test Sonuçları

Yapılan çalışmaların sonuçları grafik olarak verilmiştir.

IV.3.1.5. Ölçümlerin Yorumlanması ve Değerlendirilmesi

Uygulanan prosedürler sonucu şoför yatma yeri ısıtma sistemi devredeyken genel fonksiyon bakımından herhangi bir problem ile karşılaşılması. Ancak önceden yapılan denemelerde, şoför yatma yeri ısıtma vanası 5.kademede iken aşırı derecede rahatsızlık verici bir sıcaklığa çıktığı tespit edilmiştir. Bu nedenle denemeler soğutma testi öncesi şoför yatma yeri hacmini ısıtmak için ısıtma vanası sadece 3.kademeye kadar getirilmiştir.

Konvekta firmasının imal ettiği prototip şoför yatma yeri klima sistem performansı araç içi ve şoför yatma yeri bölgesi ısıtılıp-soğutulmuş performans açısından test edilmiştir. En son test grubu şartlarına göre, şoför yatma yeri klima sisteminin bu hacmin sıcaklığını 9-10 dakikada yaklaşık 10°C’ye düşürebildiği ve Şoför Yatma Yeri bölgesindeki 6 değişik nokta arasındaki azami ΔT sıcaklık farkının 2.7 °C olduğu gözlenmiştir.

1.Grup Ölçümler : MA131200, MB131200, MC131200, MD131200 no ile verilmiştir.

MB131200 ve MD131200 no’lu ölçümlerde soğutma parametreleri şu şekildedir: Isıtma vanası kapalı, klima set değeri minimum’da, yolcu kabini şoför kumanda panosundan 14 °C’ye set edilmiş ve motor devri rölantideyken

uygulanmıştır. Şoför yatma yeri klima sistemi nozul çıkış sıcaklığının 600 dev/dak'da dalgalandığı grafiklerde görülmektedir(Şekil IV.28). Dalgalanma problemi,E-ventilin iyi izole edilmemesinden kaynaklanmaktadır.E ventili(expansion valve) konum olarak evaporatör fanlarının yanındadır(araç tavanındaki klima bölümünde). Görevi klima gaz dolaşımındaki yüksek/alçak basınç geçişini sağlamaktır. Ventil öncesinde sıvı halde ve yüksek basınç altında bulunan klima gazı ventil sonrası alçak basınç altında gaza dönüşür. Çalışma prensibi kompresörün tam tersi şeklindedir.

2. grup ölçümler : ME131200, MF131200, MG131200 no ile verilmiştir.

1. grup ölçümlerde kullanılan parametreler 1800 d/dk'da uygulanmıştır. (Ölçüm: MF131200). Bu ölçümde, yüksek devirde dalgalanmanın olmadığı gözlenmiştir.

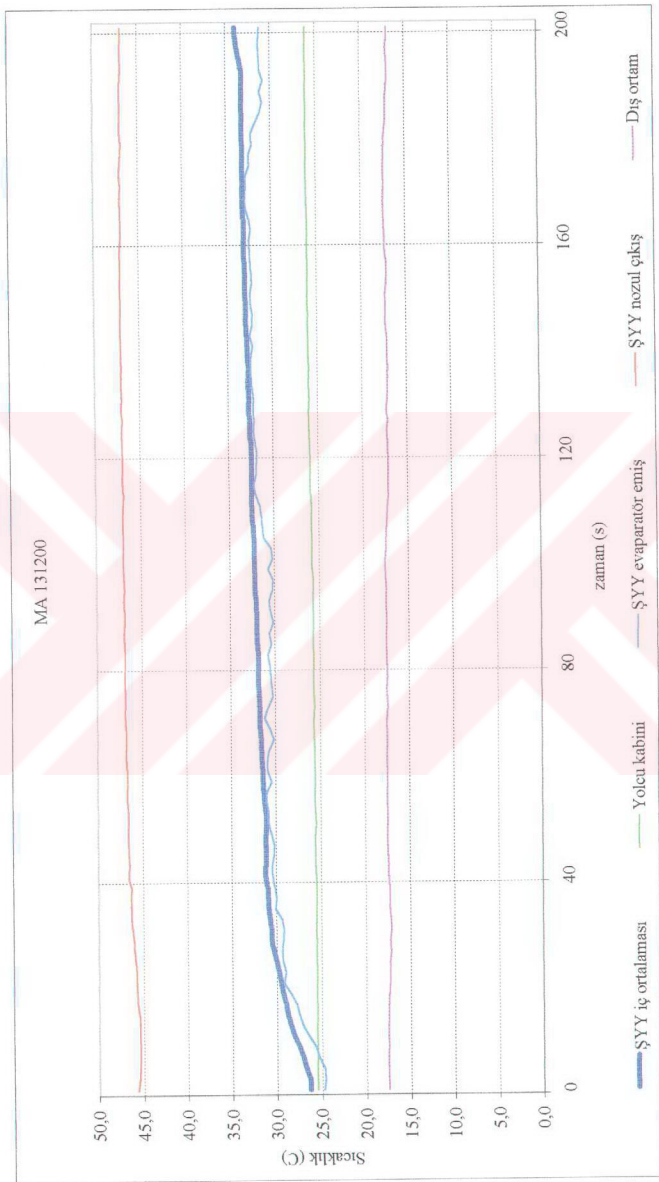
3.grup ölçümler : MH131200, MI131200 no ile verilmiştir.

Durumu tam anlamak için şoför yatma yeri klima sistemi 20 °C set değerine getirilerek denenmiştir. Deneme sonucunda MH131200'da şoför yatma yeri klima sistemi nozul çıkış sıcaklığının dalgalandığı görülmektedir.

Problemi gidermek için E-ventilin çevresi maymun sakızı ile izole edilmiş ve test tekrarlanmıştır. Tekrarlanan testte (MI131200) şoför yatma yeri klima sistemi nozul çıkış sıcaklığının artık dalgalanmadığı görülmüştür.

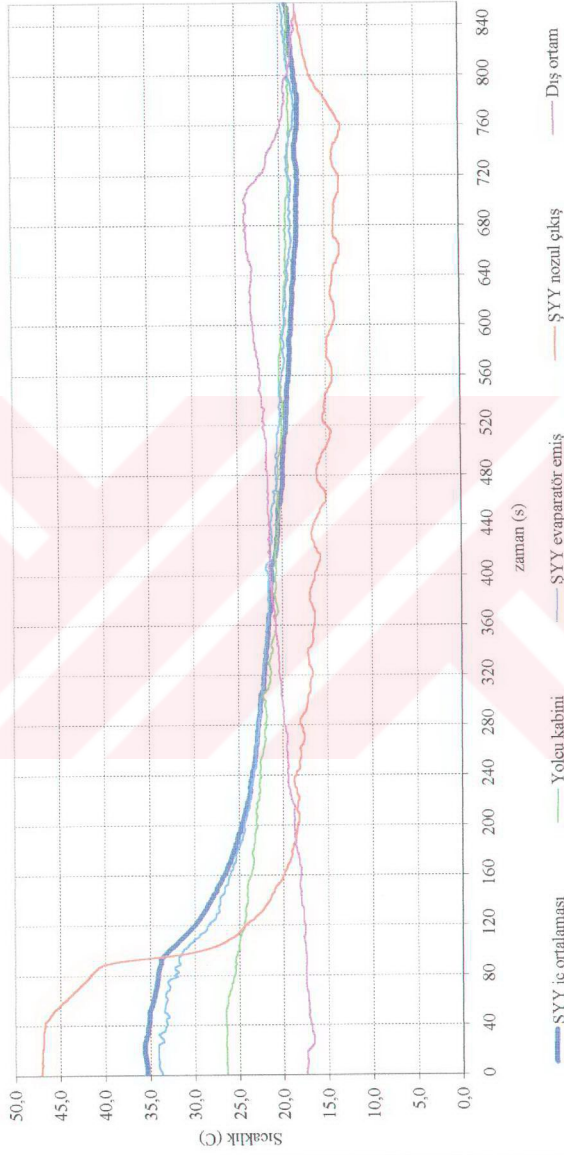
IV.3.1.6. Sonuçlar ve Öneriler

O403/#3501 no'lu araca takılan şoför yatma yeri klima sisteminin yapılan ısıtma ve soğutma performans testleri sonucunda seriye geçilmesi halinde E-ventilin çevresi izole edilirse, yaklaşık 9-10 dakika içinde şoför yatma yeri bölgesinin sıcaklığında $\Delta T \cong 10^{\circ}\text{C}$ 'ye varan soğutma gerçekleştirebilecek kapasitede olduğu gözlenmiştir.

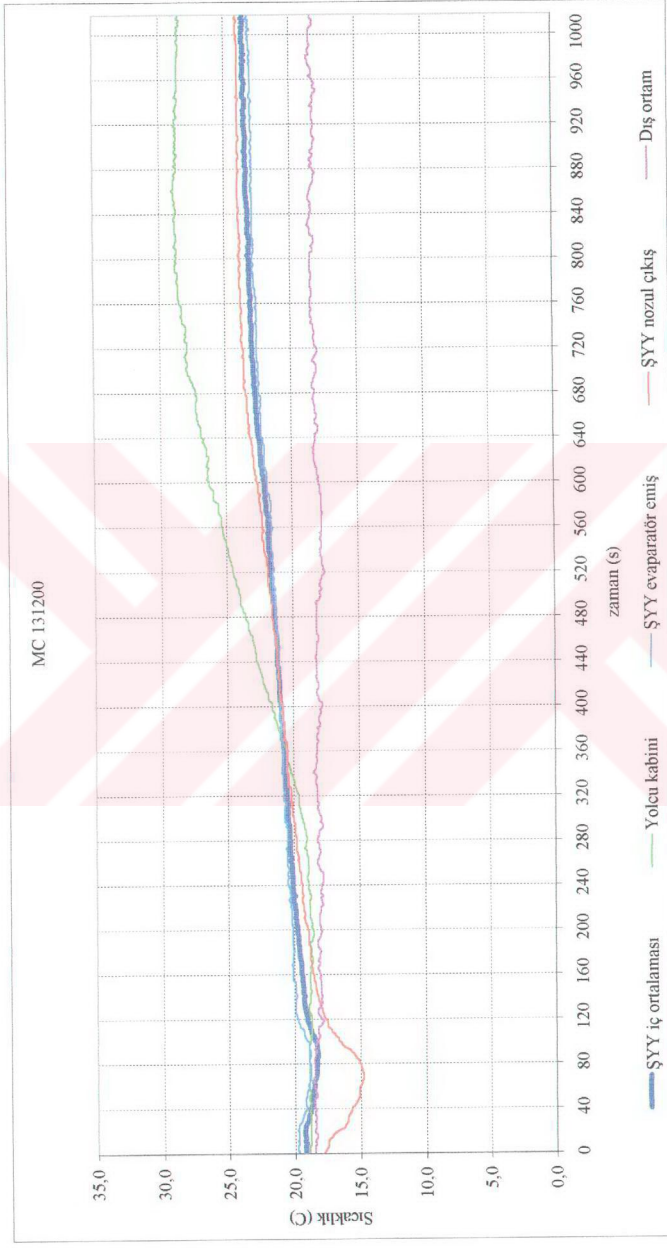


Şekil IV.21 Motor Relanti Devrinde(600 dev/dak) Şoför Yatma Yeri Klima Isıtma Performansı

MB 131200

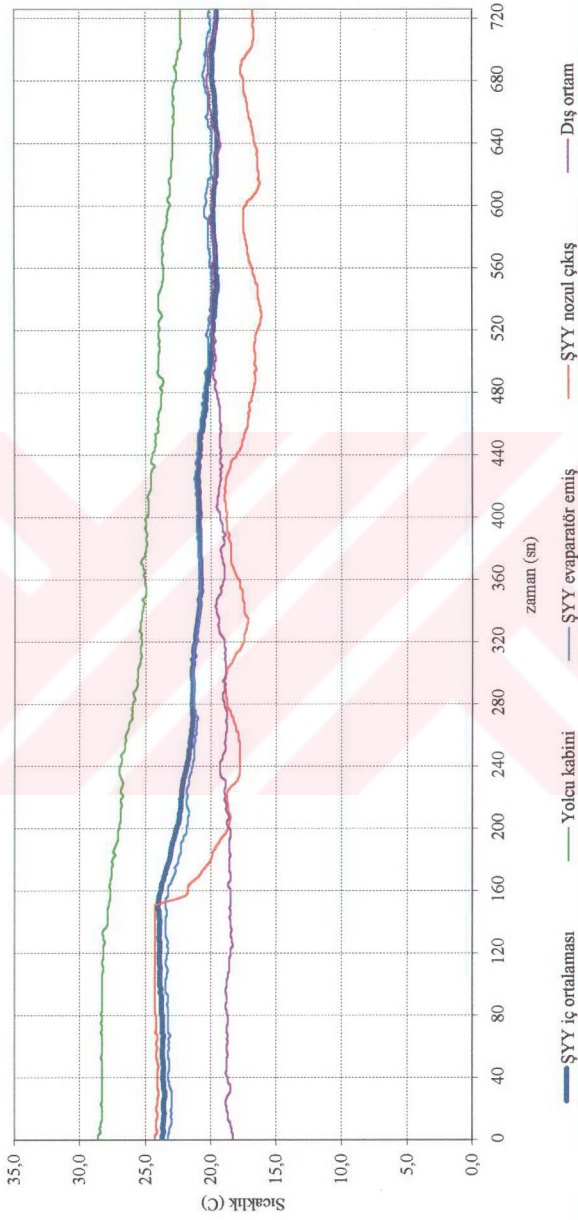


Şekil IV.22 Istima Vanası Kapalı, Klima Set Değeri 14 °C ve Motor Relanti Devrinde, Klima Soğutma Performansı

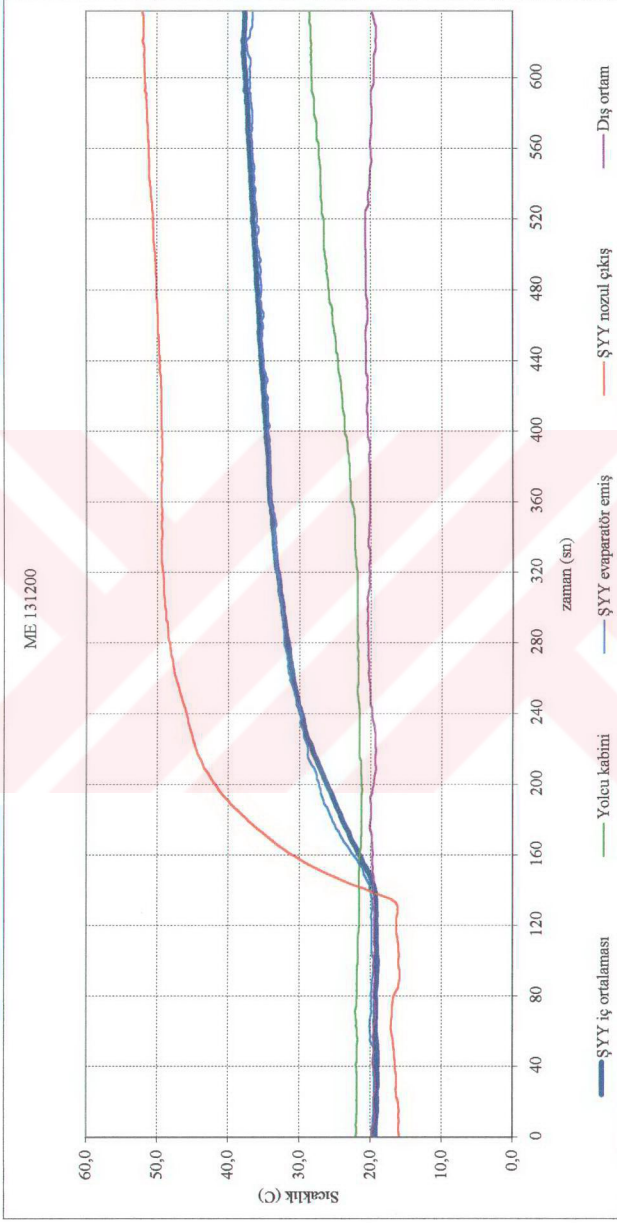


Şekil IV.23 Motor Relanti Devrinde, Tekrar Isıtma Performansı

MD 131200

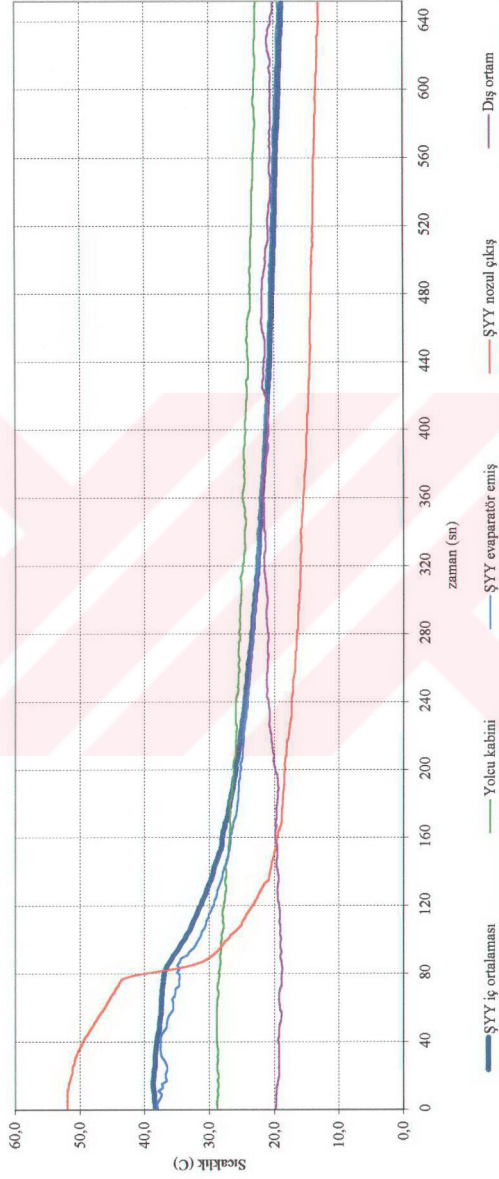


Şekil IV.24 İstima Vanası Kapalı, Klima Set Değeri 14 °C ve Motor Rölantide, Klima Soğutma Performansı

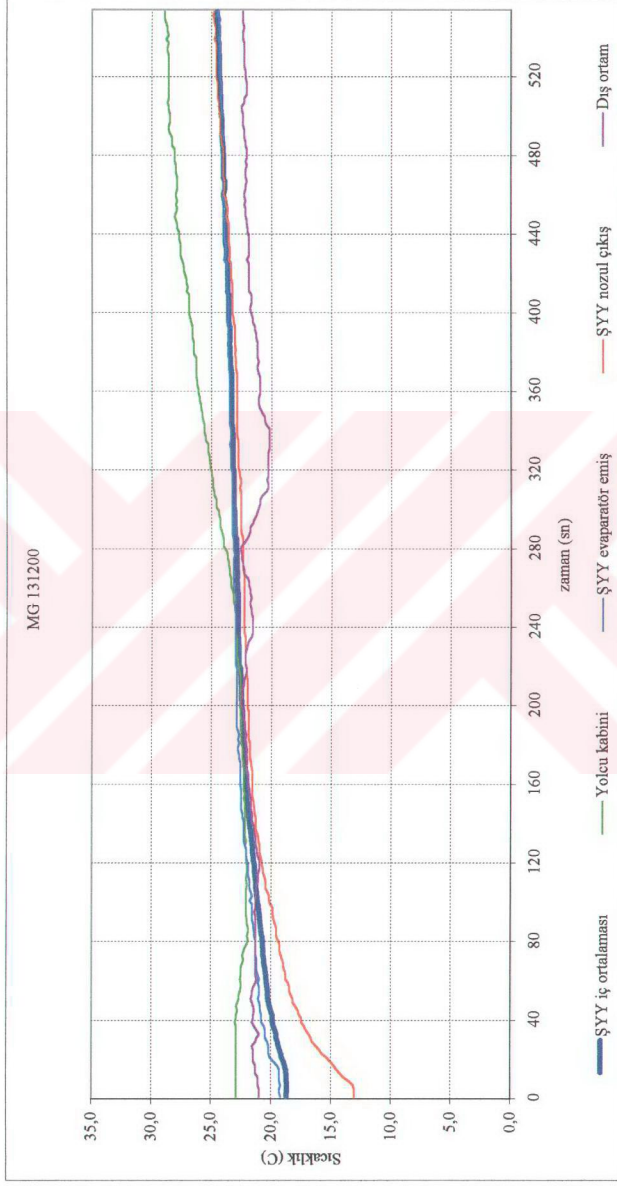


Şekil IV.25 Motor Devri 1800 d/dk, Klima Isıtma Performansı

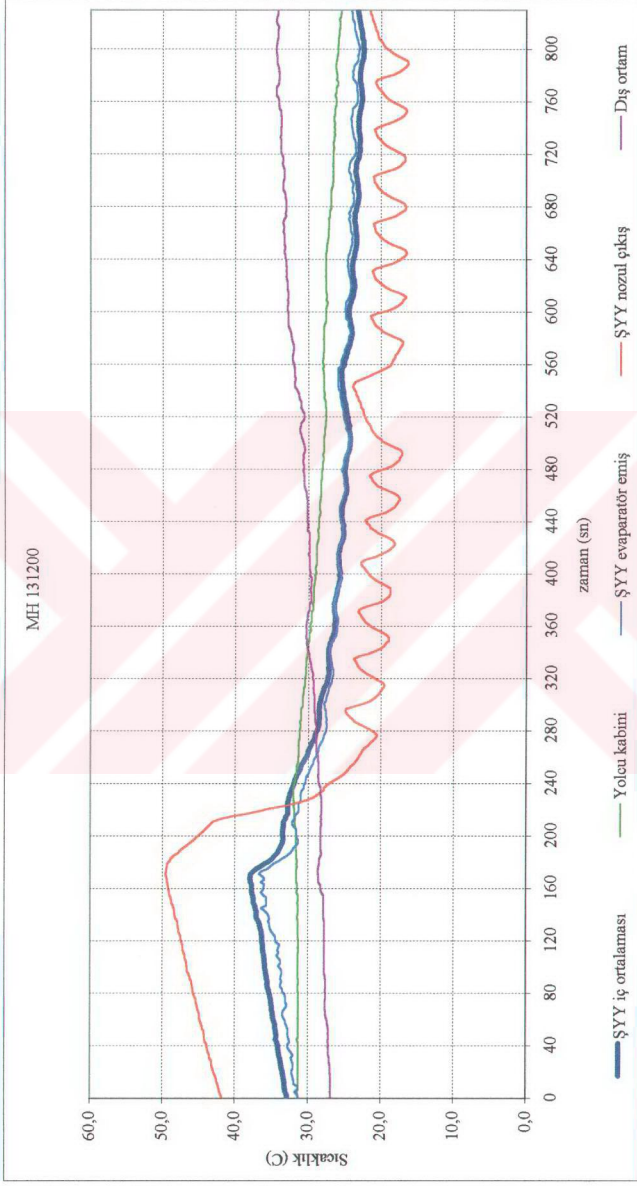
MF 131200



Şekil IV.26 1stma Vanası Kapalı, Klima Set Değeri 14 °C ve Motor Devri 1800 d/dk , Klima Soğutma Performansı

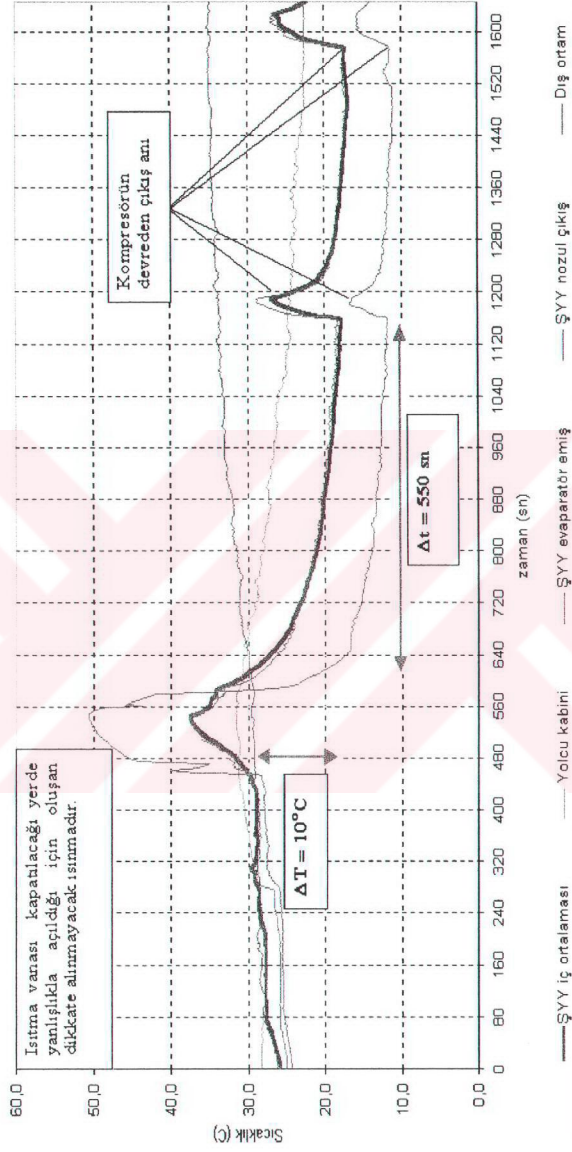


IV.27 Motor 1800 d/dk Devrinde, Tekrar Isıtma Performansı



Şekil IV.28 Klima Sistemi 20 °C Set Değerinde, Nozul Çıkış Sıcaklığı Ventilden Dolaylı Dalgalı

MI 131200



Şekil IV.29 Klima Sistemi 20 °C Set Değerinde, Ventildeki Problem Giderildikten Sonraki Son Durum

IV.4. GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMLERİ

MITSUBUSHI ve MAN S 2000 ARAÇLARININ İÇ GÜRÜLTÜ BAKIMINDAN İNCELENMESİ

IV.4.1. Testle İlgili Ön Bilgiler

Araç Tipleri: Mitsubishi - Man S 2000

Çevre Şartları : Hava açık ve durgun.

ÖLÇÜM CİHAZI

Gürültü ölçümleri; Brüel & Kjær, 2260 Investigator-L_{AF} (SPL) ve Cel 134 Sound Level Meter ile gerçekleştirilmiştir.

ÖLÇÜM TARİHİ

İç gürültü ölçümü 13.04.2001 tarihinde gerçekleştirilmiştir.

ÖLÇÜM YERİ

İç gürültü ölçümü İstanbul-Edirne Otoyolunda gerçekleştirilmiştir.

ÖLÇÜM NOKTASI

Ölçümler arka koltuk sırası kulak hizasından gerçekleştirilmiştir.

IV.4.1.1. Ölçüm Yöntemi

İç gürültü ölçümleri ISO 5128, GOST 27435 ve GBK standartlarına göre yürütülmüştür. Aşağıda bu standartlarda yer alan ölçüm yöntemleri hakkında genel bilgi verilmektedir.

ISO 5128 STANDARDI

Bu standartta sınır değeri yoktur, karşılaştırma amaçlı kullanılmaktadır. Standart ticari vasıtalar için sabit hız, ivmelenme ve dururken olmak üzere üç farklı yöntem içermektedir.

GOST 27435-87 STANDARDI

Şehirlerarası otobüsler için uygulanan sınır değeri, şoför bölgesinde 78 dBA, araç içinde ise 80 dBA'dır. Ölçüm yöntemi aracın motor maksimum güç devrinin %45'inden %90'nına kadar ivmelenmesini içermektedir.

GBK STANDARDI

Almanya'da kullanılmakta olan bu standart araç 80 ve 100 km/h sabit hızlarda giderken(klima kompresörü çalışmaz ve klima fanları en yüksek kademede iken) araç içinde çeşitli yerlerde alınan ölçümleri içermektedir.

dB (A) TANIMI

Gürültü düzeyi dB(desibel) ile verilir. Desibel, gerçek anlamda bir birim olmayıp, bir oranın logaritmasıdır. dB(A), belli durumlar için insan kulağı duyarlılığı ile dengelenmiş bir ölçme biçiminin kullanıldığını gösteren simgesidir. 1 dB, tüm frekanslar için insan kulağının farksal eşliğidir. 3 dB, insan kulağının ancak fark edebildiği belirgin bir yegânlilik ayrımıdır. 10 dB yükselme ya da düşme gürültü düzeyinin 2 katına çıkması ya da yarıya inmesi gibi algılanır.

IV.4.1.2. Ölçüm Sonuçları

Tablo IV.6 GBK Standardına Göre, Mitsubishi İç Gürültü Ölçüm Sonuçları

	GBK			
	Kompresör Kapalı Fan Kapalı	Kompresör Kapalı Fan Kapalı	Kompresör Kapalı Fan En Yüksek Kademe	Kompresör Açık Fan En Düşük Kademe
	Taşıt Sabit	Taşıt Hareketli	Taşıt Hareketli	Taşıt Hareketli
Devir (dev/dak)	500	1100/1400	1100/1400	1100/1400
Hız (km/h)	-	80/100	80/100	80/100
Ses Düzeyi(dBA)				
Arka Sıra	59.2	66.7/70.0	68.5/71.0	69.6/73.2

Tablo IV.7 GOST 27435-87 Standardına Göre, Mitsubishi İç Gürültü Ölçüm Sonuçları

Ölçüm No	Arka Sıra
	Ses Düzeyi(dBA)
1	73.2
2	73.6
3	73.5
Ortalama	73.5

Tablo IV.8 ISO 5128 Standardına Göre, Mitsubishi İç Gürültü Ölçüm Sonuçları

Sabit Hız	
Hız (km/h)/Devir (dev/dak)	Arka Koltuk
50/650	65.6
60/800	63.0
70/1000	64.0
80/1100	65.7
90/1300	68.0
İvmelenme	
45-100 /600-1400	71.0
Dururken	
Relanti Devri(650 dev/dak)	64.5
Tam Gaz(2450 dev/dak)	75.9

Tablo IV.9 GBK Standardına Göre, Man S2000 İç Gürültü Ölçüm Sonuçları

	Kompresör Kapalı Fan Kapalı	Kompresör Kapalı Fan Kapalı	Kompresör Kapalı Fan En Yüksek Kademe	Kompresör Açık Fan En Düşük Kademe
	Taşıt Sabit	Taşıt Hareketli	Taşıt Hareketli	Taşıt Hareketli
Devir (dev/dak)	650	1200/1500	1200/1500	1200/1500
Hız (km/h)	-	80/100	80/100	80/100
Ses Düzeyi(dBA)				
Arka Sıra	61.0	69.0/71.0	71.0/74.0	70.5/73.5

Tablo IV.10 GOST 27435-87 Standardına Göre, Man S2000 İç Gürültü Ölçüm Sonuçları

Ölçüm No	Arka Sıra
	Ses Düzeyi(dBA)
1	76.0
2	74.5
3	74.8
Ortalama	74.4

Tablo IV.11 ISO 5128 Standardına Göre, Man S2000 İç Gürültü Ölçüm Sonuçları

Sabit Hız	
Hız (km/h)	Arka Koltuk (45)
50	66.0
60	67.0
70	68.0
80	69.0
90	71.0
İvmelenme	
45-100	72.5
Dururken	
Relanti Devri (650 dev/dak)	61.0
Tam Gaz(2250 dev/dak)	71.5



Şekil IV.30 Gürültü Ölçümünde Kullanılan Ses Düzeyi Algılayıcısı (Mikrofon)

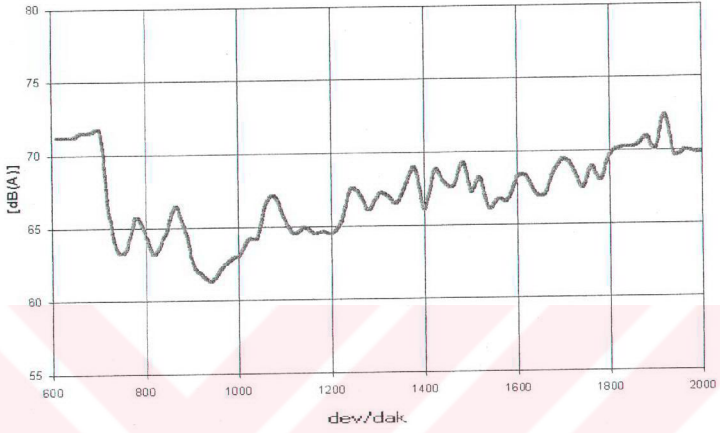
Marka : PCB/Microphone

Kalibrasyon Dataları

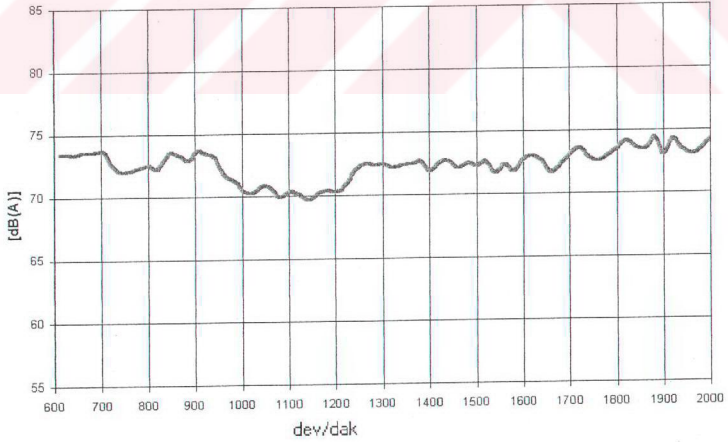
Sensitivity @ 250 Hz : 18.25 mV/Pa

-34.77 dB 1V/Pa

IV.5. MERCEDES-BENZ 0345 EURO 2 ARACI İÇ GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMÜ



Şekil IV.31 Sürücü Koltuk Bölgesinden Alınan Değerler



Şekil IV.32 Arka Koltuk Bölgesinden Alınan Değerler

BÖLÜM V

DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Ülkemizde şehirlerarası ulaşımlarda çoğunlukla yolcu otobüsleri tercih edilmektedir. Özellikle uzun mesafeli seyahatlerde konfor ve sağlık açısından, aracın yolcu beklentilerine cevap vermesi gerekmektedir. Bu amaçla çeşitli otobüs üretici firmalar, bir çok deneme ve test çalışması yapmaktadırlar. Burada, Mercedes-Benz Test ve Geliştirme(GHT) Departmanı'nda konuyla ilgili yapılan elektriksel ölçümlerden; birinci öncelikli olarak güvenlikle birlikte araç hafiflik ve sessizlik beklentisi göz önüne alınarak strain gaugelerle çeşitli komponentler üzerine gelen gerilme ölçümleri, şoför yatma yeri ısıtma ve soğutma kapasitesinin incelenmesi açısından termokupllarla sıcaklık ölçümü ve standartlara göre araç içi gürültü dağılımlarının karşılaştırılması ölçümlerine yer verilmiştir.

Strain gauge ölçümlerinden alınan verilerin tamamı, çok fazla sayıda olduğundan, burada verilmemiştir. Farklı yükleme ve hız durumlarına göre aynı yol koşullarında araç test edilmiştir. Strain gauge ölçümlerinin sonuçları, aynı noktadan alınan verilerin farklı hız ve yükleme durumlarına göre karşılaştırılması esasına dayanmaktadır. $\mu\text{m}/\text{m}$ olarak mikron boyutundaki gerilme değerinden malzeme üzerine gelen kuvvetleri hesaplamak yerine, grafiksel olarak mevcut durum ve hedeflenen durumun aynı koşullardaki grafiklerinin karşılaştırılması esas alınmıştır. Strain gauge ölçümlerinde veri alınan noktalar, aracın izin verilmesi düşünülen(125 km/h) hıza göre tehlike arzedeabileceği düşünülen komponentler üzerinde ve aynı koşullardadır. Verilen grafiklerden bazılarında görülen ani değişimler, malzeme

üzerindeki gerilme ölçerlerin bulunduğu kritik noktalara gelen aşırı ivmelenme olduğu durumları göstermektedir. Normal(100 km/h) ve yüksek hızlarda(125 km/h) alınan grafiksel verilerin yorumlanması sonucu, test edilen mekanik aksamların güvenlik açısından kritik noktaya götürüp götürmeyeceği ilgili malzeme bilimciler tarafından değerlendirilmiştir. Bu kısımda yapılan, malzemeler üzerinde belirlenen noktalara gerilme ölçerler yapıştırmak suretiyle o noktalardan elektriksel veriler alıp, sonuçlarını grafiksel olarak ilgili birimlere iletmek şeklinde olmuştur. Sonuçlar göstermektedir ki, Türkiye yol koşullarında otobanlarda 125 km/h'lik hıza izin verilmesi durumunda, güvenlik ve konfor açısından, önlem paketi parçaları ile birlikte test edilen komponentler uygundur.

Termokupullarla yapılan sıcaklık ölçme çalışmasında, 0403/#3501 aracına takılan şoför yatma yeri klima sisteminin yapılan ısıtma ve soğutma performans testleri sonucunda seriye geçilmesi halinde E-ventilinin çevresi izole edilirse, yaklaşık 9-10 dakika içinde şoför yatma yeri bölgesinin sıcaklığında $\Delta T \cong 10^{\circ}\text{C}$ 'ye varan soğutma gerçekleştirebilecek kapasitede olduğu ve şoför yatma yeri bölgesindeki 6 değişik nokta arasındaki maksimum ΔT sıcaklık farkının 2.7°C olduğu gözlenmiştir.

Man S2000 ve Mitsubishi araçlarının üç standart kriterlerine göre yapılan iç gürültü ölçümleri sonucunda tablolardaki değerler karşılaştırıldığında, her iki aracında GOST 27435-87 standardında belirtilen sınır değerler içerisinde kaldığı fakat Mitsubishi aracının gürültü düzeyinin daha düşük olduğu görülmektedir.

Mercedes-Benz 0345 Euro 2 aracı iç gürültü ölçümlerinde, maksimum gürültü düzeylerinin olduğu sürücü ve arka koltuk bölgesinden değerler alınmıştır. Araç ön kısmındaki gürültü düzeylerinin 62 ila 72,5 db(A) ve en arka koltuk bölgesinde de 69 ila 74 db(A) sınırlarında kalarak uygun değerlerde olduğu görülmüştür.

Bu tip çalışmalarda tek başına ölçümler yeterli olmamaktadır. Ölçülen büyüklüklerin standart değerlere indirgenmesi için çeşitli denemeler ve yeni çözüm önerilerinin yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Pastacı, H., "Elektrik ve Elektronik Ölçmeleri", Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, (2000) 1-27
- [2] Bolton, W., "Measurement and Instrumentation Systems", British Library Cataloguing in Publication Data, (1996) 1-20
- [3] Parr, E.A., "Endüstriyel Kontrol El Kitabı, Cilt 1: Transdüserler", MEB Yayınları, Ankara, (1994) 1-20, 163-184
- [4] Carr, J.J., Brown, J.M., "Introduction to Biomedical Equipment Technology: Sensor Terminology" Third Edition, Prentice Hall PTR, İnternet Adresi: <http://zone.ni.com/devzone>, Erişim Tarihi: 01/06/2001
- [5] Toprak, T. "Deneyisel Gerilme Analizi ve Strain Gauge Uygulamaları", Mercedes-Benz Türk A.Ş Eğitim Notları 1998, İstanbul
- [6] Reisland., M.U., "Genleşme Ölçerlerle Kuvvet Ölçümü", Leybold Didactic GMBH Eğitim Kitabı, (1996) 7-16
- [7] Noltingk, B.E., "Cihaz Teknolojisi 2: Sıcaklık ve Kimyasal Birleşimin Ölçümü", MEB Yayınları, Ankara, (1994)
- [8] Reisland., M.U., "Isı Ölçümü", Leybold Didactic GMBH Eğitim Kitabı, (1996) 1-16
- [9] Strain Gauge Measurement -A Tutorial, İnternet Adresi: <http://zone.ni.com/devzone>, Erişim Tarihi: 05/01/2001
- [10] "Gage Resistance, Strain Gage Selection-Criteria, Procedures, Recommendations" <http://www.measurementsgroup.com/guide/500/intro/500intro.htm> Erişim Tarihi: 07/03/2001
- [11] Elimko, "Termokupllarla İlgili Genel Bilgiler", Ankara 1998
- [12] Data Acquisition Selection Guide, National Instruments Katalog, (2000) 180
- [13] Measuring Temperature with Thermocouples, İnternet Adresi: <http://zone.ni.com/devzone>, Erişim Tarihi: 01/06/2001

- [14] Kerlin, T.W., Shepard, R.L., "Industrial Temperature Measurement", Instrument Society of America, (1982) 85-144
- [15] Johnson, C.D., "Thermocouple Tables", Process Control Instrumentation Technology, Prentice Hall PTR
İnternet Adresi: <http://zone.ni.com/devzone>, Erişim Tarihi: 01/06/2001
- [16] Leeuwen, W.V., Kemink, B., "Yokogawa Eğitim Semineri Notları ", İstanbul, (2000)
- [17] Gürdal, O., "Algılayıcılar ve Dönüştürücüler", Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, (2000)
- [18] "Strain Gage Thermal Output and Gage Factor Variation with Temperature"
İnternet Adresi:
<http://www.measurementsgroup.com/guide/tn/tn504/504m.htm>
Erişim Tarihi: 07/01/2001
- [19] Sensor Fundamentals (Thermocouple Fundamentals), İnternet Adresi:
<http://www.ni.com/sensors/fund.htm>, Erişim Tarihi: 04/04/2001
- [20] Bentley, J.P., "Principles of Measurement Systems", Longman Scientific & Technical, Second Edition, New York
- [21] "Strain Gauges Accessories", İnternet Adresi:
<http://jptechnologies.com/sfsgages.html>
Erişim Tarihi: 09/08/2001
- [22] "Getting the Best Results from Temperature Transmitters", İnternet Adresi:
<http://www.iqinstruments.com/temperature/trnasmit.html>,
Erişim Tarihi: 18/02/2001
- [23] "Why Do We Convert Signals to 4-20 mA?", İnternet Adresi:
<http://www.iqinstruments.com/technicl.html>, Erişim Tarihi: 18/02/2001
- [24] Measurement Group, "Strain Gauge Seminer Dökümanları", Mercedes Benz Türk A.Ş. Geliştirme ve Test Merkezi, İstanbul
- [25] "Data Acquisition Systems: MicroEEP-10 Modular Data Acquisition", "Signal Conditioning Systems: Modulab", İnternet Adresi:
<http://www.yokogawa.com/tm/>, Erişim Tarihi: 12/10/2000
- [26] "Temperature & Thermocouple Probes",
İnternet Adresi: www.unitedsensorcorp.com/temperature_frame.htm,
Erişim Tarihi: 02/06/2001

- [27] <http://www.strain-gauging.co.uk/inst/body.htm>, Erişim Tarihi: 04/04/2001
- [28] “Thermocouples, Thermocouple Information, The Thermocouple Effect”
İnternet Adresi: <http://www.iqinstruments.com/temperature/thermo.html>,
Erişim Tarihi: 18/02/2001
- [29] Baker, B., “Temperature Sensing Technologies”, Microchip Technology Inc.
(1998)
- [30] Baker, B., “Single Supply Temperature Sensing with Thermocouples”,
Microchip Technology Inc., (1999)

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Manisa’da doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Manisa/Osmancalı’da tamamladı. Manisa Teknik Lisesi Elektrik Bölümü’nden 1993 yılında mezun oldu. 1995 yılında girdiği üniversite sınavında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Öğretmenliği Bölümünü kazandı ve 1999 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı Elektrik Eğitimi Programı’nda yüksek lisans öğrenimine ve Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı.

Halen Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.