



**DİNAMİK BASINÇ DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİN
LABORATUVAR ORTAM SICAKLIĞI VE
BASINCINDAKİ DEĞİŞİKLİKLERE TEPKİSİNİN
YARI STATİK/YARI DİNAMİK VE TAM DİNAMİK
KALİBRASYON YÖNTEMLERİYLE
İNCELENMESİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

Ali Serkan ÖZAL

**Tez Danışmanları
Prof. Dr. Halil DEMİR
Doç. Dr. Barış ÖZLÜ**

**DİNAMİK BASINÇ DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİN LABORATUVAR ORTAM
SICAKLIĞI VE BASINCINDAKİ DEĞİŞİKLİKLERE TEPKİSİNİN YARI
STATİK/YARI DİNAMİK VE TAM DİNAMİK KALİBRASYON
YÖNTEMLERİYLE İNCELENMESİ**

Ali Serkan ÖZAL

Tez Danışmanları
Prof. Dr. Halil DEMİR
Doç. Dr. Barış ÖZLÜ

T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK
Temmuz 2023

Ali Serkan ÖZAL tarafından hazırlanan “DİNAMİK BASINÇ DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİN LABORATUVAR ORTAM SICAKLIĞI VE BASINCINDAKİ DEĞİŞİKLİKLERE TEPKİSİNİN YARI STATİK/YARI DİNAMİK VE TAM DİNAMİK KALİBRASYON YÖNTEMLERİYLE İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Halil DEMİR
Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. Barış ÖZLÜ
Tez 2. Danışmanı, Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalınız Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 05/07/2023

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Harun YAKA (AÜ)Online.....
Üye : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Serdar GÜLDİBİ (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ali Serkan ÖZAL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİNAMİK BASINÇ DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİN LABORATUVAR ORTAM SICAKLIĞI VE BASINCINDAKİ DEĞİŞİKLİKLERE TEPKİSİNİN YARI STATİK/YARI DİNAMİK VE TAM DİNAMİK KALİBRASYON YÖNTEMLERİYLE İNCELENMESİ

Ali Serkan ÖZAL

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanları:

Prof. Dr. Halil DEMİR

Doç. Dr. Barış ÖZLÜ

Temmuz 2023, 71 sayfa

Bu çalışmada, dinamik basınç dönüştürücülerin laboratuvar ortam sıcaklığı ve basıncındaki değişikliklere tepkisinin yarı statik/yarı dinamik ve tam dinamik kalibrasyon yöntemleriyle incelenmesine odaklanılmıştır. Testler laboratuvar ortamında üç farklı basınçta (300 bar, 400 bar ve 500 bar) ve 4 farklı sıcaklıkta (19°C, 20°C, 21°C ve 22°C) gerçekleştirilmiştir. Çalışmasında kalibrasyon ve test uygulamalarında kullanılan dinamik alanda KİSTLER 6909 ve yarı Statik/yarı dinamik KİSTLER 6906 cihazları seçilmiştir. Yapılan ölçümlerde kullanılacak referans ve test olmak üzere 2 adet sensör tanımlanmıştır. Referans olarak KİSTLER 6229AK ve test numunesi olarak da KİSTLER 6962C2000 hazırlanmıştır. Hazırlanan test düzeneği ile belirlenen ortam sıcaklıklarında hem dinamik hem de yarı statik/yarı

dinamik ölçümler alınarak test numunesinin hassasiyet katsayı belirlenerek iki yöntem arasında oluşacak farklar tespit edilmiştir. Sonuç olarak; Hassasiyet katsayılarının noktasal basınç değerlerine göre belirlenen sıcaklık aralığının ortalama ölçümünden noktasal sıcaklık değerinin hassasiyet katsayı farkları yarı statik/yarı dinamik ölçüm için en yüksek %0,084 dinamik ölçüm için ise %0,036 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca hassasiyet katsayıları baz alınarak yarı statik/yarı dinamik sistem ile dinamik sistemin farkı % 0,29 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Dinamik basınç dönüştürücüleri, Kalibrasyon yöntemleri, Ortam şartları.

Bilim Kodu : 91429

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CHANGE IN ENVIRONMENTAL TEMPERATURE CONDITIONS OF THE LABORATORY ON DYNAMIC AND QUASI-STATIC/QUASI-DYNAMIC PRESSURE MEASUREMENTS

Ali Serkan ÖZAL

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisors:

Prof. Dr. Halil DEMİR

Assoc. Prof. Dr. Barış ÖZLÜ

June 2023, 71 pages

In this study, the focus is on investigating the response of dynamic pressure transducers to changes in laboratory ambient temperature and pressure using quasi-static/semi-dynamic and full-dynamic calibration methods. The tests were carried out in a laboratory environment at three different pressures (300 bar, 400 bar and 500 bar) and at 4 different temperatures (19°C, 20°C, 21°C and 22°C). In the study, KİSTLER 6909 and semi-dynamic/semi-static KİSTLER 6906 devices were selected in the dynamic field used in calibration and test applications. Two sensors have been defined as reference and test to be used in the measurements. KISTLER 6229AK was prepared as a reference and KISTLER 6962C2000 as a test sample. The differences between the two methods were determined by determining the sensitivity coefficient of the test sample by taking both dynamic and semi-dynamic/semi-static measurements at the

ambient temperatures determined by the prepared test setup. In conclusion; The sensitivity coefficient differences of the point temperature value from the average measurement of the temperature range determined according to the point pressure values of the sensitivity coefficients were calculated as 0.084% for the semi-dynamic semi-static measurement and 0.036% for the dynamic measurement. In addition, based on the sensitivity coefficients, the difference between the semi-dynamic and semi-static system and the dynamic system was calculated as 0.29%.

Key Word : Dynamic Pressure Transducers, Calibration Methods, Ambient Conditions.

Science Code : 91429

TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Halil DEMİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalıŐmam sürecinde, katkılarını esirgemeyen örnek çalışma ahlakıyla bana çalışma arsuzu veren, tez yazımı tamamlanana kadar her aşamada bana yardımcı olan ve yol gösteren, her daim ilgili ve destekleyici tavrıyla yolumu aydınlatan danışman hocam Doç. Dr. Barış ÖZLÜ'ye teşekkür ederim.

Araştırmanın deneysel çalışmalarında bana yardımcı olan değerli arkadaşım Uęur IŐIK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak maddi-manevi her konuda bana destek olan aileme ve sevgili eşime sevgi ve Őükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.....	3
ÖLÇME VE BASINÇ.....	3
2.1. ÖLÇME BİLİMİ.....	3
2.2. BASINÇ.....	3
2.2.1. Basınç Sistemleri.....	5
BÖLÜM 3.....	9
DİNAMİK BASINÇ ÖLÇÜMLERİ.....	9
3.1. DİNAMİK BASINÇ ÖLÇÜMLERİNDE KULLANILAN BASINÇ SENSÖRLERİ.....	9
3.1.1. Piezoelektrik Sensörler.....	9
3.1.2. Piezodirençli Sensörler.....	11
3.2. DİNAMİK BASINÇ ÖLÇÜM SİSTEMLERİ VE METODLARI.....	13
3.2.1. Yarı Statik Ölçüm Sistemi.....	13
3.2.2. Dinamik Ölçüm Sistemi.....	13
3.2.2.1. Şok Tüpü (Shock Tube).....	14
3.2.2.2. Hızlı açılan valfler (Quick Open Valve).....	14
3.2.2.3. Darbe Üreteçleri (Pulse Generator).....	15

	<u>Sayfa</u>
3.2.2.4. Aronson Basınç Adım Jeneratörü (Aronson Pressure Step Generator)	16
3.2.2.5. Dead-Weight Negatif Basınç Düşüşü	17
BÖLÜM 4	19
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	19
BÖLÜM 5	22
MALZEME VE METOT	22
5.1. YARI STATİK-YARI DİNAMİK BASINÇ ÖLÇÜM SİSTEMİ	22
5.2. DİNAMİK BASINÇ ÖLÇÜM SİSTEMİ.....	24
5.3. VERİ TOPLAMA SİSTEMİ.....	26
BÖLÜM 6	28
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	28
6.1. DENEYSEL SONUÇLAR.....	28
6.1.1. Yarı Dinamik Sistem Deneysel Sonuçları	28
6.1.2. Dinamik Sistem Deneysel Sonuçları	29
6.1.3. Yarı Statik/Yarı Dinamik ile Dinamik Sistem Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	31
6.2. DENEYLERDE TESPİT EDİLEN DURUMLARIN DEĞERLENDİRMESİ	34
BÖLÜM 7	36
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	36
7.1. SONUÇLAR	36
7.2. ÖNERİLER	37
KAYNAKLAR	38
EK AÇIKLAMALAR A. KİSTLER CALİBRATE YAZILIMI UYGULAMA GÖRÜNTÜLERİ	41
EK AÇIKLAMALAR B. SERBEST DÜŞME SİSTEMİ KURULUMU	45
EK AÇIKLAMALAR C. YARI DİNAMİK SİSTEMİN KURULUMU	47

	<u>Sayfa</u>
EK AÇIKLAMALAR D. ORTAM SICAKLIKLARININ KAYIDI	49
EK AÇIKLAMALAR E. SENSÖRLERİN KALİBRASYON SERTİFİKALARI...	51
EK AÇIKLAMALAR F. DATASHEETLER	54
ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Basınç Ölçüm Modlarının Şematik Gösterimi.....	4
Şekil 2.2. Hidrolik ve Pnömatik Pistonlu Basınç Standartları	6
Şekil 2.3. Manometre	8
Şekil 2.4. Manometre Ölçümlerinde Kullanılan Elastik Elemanlar.....	8
Şekil 3.1. Piezoelektrik etki	10
Şekil 3.2. Piezoelektrik etkiyi oluşturan hareketler	10
Şekil 3.3. Piezoelektrik basınç sensörü yapısı	11
Şekil 3.4. Wheatstone Köprüsü.....	12
Şekil 3.5. Wheatstone Köprüsü Dirençteki Değişim.....	12
Şekil 3.6. Şok Tüp Sisteminin Şematik Gösterimi.....	14
Şekil 3.7. Hızlı Valf Açma Sisteminin Şematik Gösterimi.....	15
Şekil 3.8. Darbe Üreticinin Şematik Gösterimi.....	16
Şekil 3.9. Aronson Adım Basınç Üreticinin Şematik Gösterimi	17
Şekil 3.10. Basınç Dengesi ile Negatif Basınç Düşürme Sistemi	18
Şekil 5.1. Hidrolik Yüksek Basınç Üretici.	23
Şekil 5.2. Calibrate Yazılımı Ölçüm Sonuç Sayfa Görüntüsü.	23
Şekil 5.3. Yarı Statik/Yarı Dinamik Ölçüm Sistemi Şeması.	24
Şekil 5.4. Kistler 6909 Model Basınç Üretici.....	25
Şekil 5.5. Dinamik Ölçüm Sonuçları Örnek Grafik.	26
Şekil 5.6. Kistler 5959A Kalibrasyon Sistemi.	26
Şekil 5.7. Kistler 5015 Charge Gösterge.....	27
Şekil 5.8. Kistler 5395B Charge Kalibratörü.	27
Şekil 6.1. Yarı statik/yarı dinamik basınç üretici ile yapılan testlerde sıcaklık ve basınç değişimine bağlı Ort.HK değişimi.....	29
Şekil 6.2. Dinamik sistem olarak kullanılan darbe üretici ile yapılan testlerde sıcaklık ve basınç değişimine bağlı Ort.HK değişimi.....	31
Şekil 6.3. Yarı statik/yarı dinamik ölçümlerde noktasal sıcaklıktaki Ort HK'nın sıcaklık aralığındaki Ort. HK göre % sapmaları.....	33
Şekil 6.4. Dinamik ölçümlerde noktasal sıcaklıktaki Ort. HK'nın sıcaklık aralığındaki Ort. HK göre % sapmaları	33
Şekil Ek A.1.Yazılımda tanımlanan referans ve test sensörü.	42

Sayfa

Şekil Ek A.2.Uygulanacak basınç Sürecinin izlendiği ekran görüntüsü.....	42
Şekil Ek A.3. Referans ve Test Sensörüne uygulanan Anlık Basınç Görüntüsü.	43
Şekil Ek A.4. Referans ve Test Sensörüne uygulanan Maksimum Basınç	43
Şekil Ek A.5. Test Sensörüne ait ölçüm sonrası sonuç sayfası	44
Şekil Ek B.1. Sensörlerin Serbest Düşme Cihazına Bağlantısı.....	46
Şekil Ek B.2. Sistemin kütle atımına hazır hale getirilmesi.....	46
Şekil Ek C.1 Sensörlerin Sisteme Bağlanması.....	48
Şekil Ek C.2 Sensörlerin ve Yazılımın Ölçüme Hazır Hale Getirilmesi.	48
Şekil Ek D.1. Ortam Sıcaklığının Ölçülmesi.	50
Şekil Ek E.1. 6229AK Model Sensörün Kalibrasyon Sonuçları.....	52
Şekil Ek E.2. 6262C200 Model Sensör Kalibrasyon Sonuçları.....	53
Şekil Ek F.1. KİSTLER 5959A Teknik Özellikleri.	56
Şekil Ek F.3. KİSTLER 6906 Teknik Özellikleri.	59
Şekil Ek F.4. KİSTLER 6229AK Teknik Özellikleri.	61
Şekil Ek F.5. KİSTLER 6962C2000 Teknik Özellikleri.	63
Şekil Ek F.6. Sıcaklık ve Nem Ölçer Teknik Özellikleri.....	64
Şekil Ek F.7. KİSTLER 5395B Teknik Özellikleri.	67
Şekil Ek F.8. KİSTLER 5395B Teknik Özellikleri.	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. İkincil Basınç Ölçerlerde Kullanılan Fiziksel Özellikler.....	7
Çizelge 5.1. Dinamik Ölçüm Sonuçları Tablosu.....	25
Çizelge 6.1. Yarı statik/yarı dinamik basınç üretici ile sıcaklık ve basınç değişimine bağlı hassasiyet katsayısı değişim sonuçları.	28
Şekil 6.2. Dinamik sistem olarak kullanılan darbe üretici ile yapılan testlerde sıcaklık ve basınç değişimine bağlı Ort.HK değişimi.....	31
Çizelge 6.3. Yarı statik/yarı dinamik basınç üretici ile dinamik sistem olarak kullanılan darbe üretici noktasal sıcaklık değerlerine göre Ort.HK değişimi.....	32
Çizelge 6.4. Sıcaklık aralığına göre Ort. HK.	32
Çizelge 6.5. Noktasal sıcaklıktaki Ort. HK'nın sıcaklık aralığındaki Ort. HK'na göre % sapmaları.....	32
Çizelge 6.6. Noktasal Sıcaklıklara Göre YS-YDÖ ile DÖ arasındaki sapmalar.....	34
Çizelge 6.7. 19°C ile 22°C'de YS-YDÖ ile DÖ arasındaki Ort. HK'nın sapmaları (%)......	34

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

P	: Basınç
F	: Kuvvet
ms	: milisaniye
μ s	: mikrosaniye
pC	: picocoloumb (yük)
R	: Direnç
Si	: Silisyum
O	: Oksijen
m	: Kütle
kg	: Kilogram
mV	: milivolt
HK	: Hassasiyet Katsayısı

KISALTMALAR

ASME	: American Society of Mechanical Engineers (Amerikan Makina Mühendisleri Topluluğu)
EURAMET	: European Association of National Metrology Institutes (Avrupa Metroloji Enstitüleri Birliği)
EMRP	: European Metrology Research Programme (Avrupa Metroloji Araştırma Programı)
IMECO	: International Measurement Confederation (Uluslararası Ölçüm Konfederasyonu)

- ISA : The Instrumentation, Systems, and Automation Society
(Enstrümantasyon, Sistemler ve Otomasyon Topluluğu)
- PTB : Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Fiziksel-Teknik Federal
Enstitüsü)
- SP : Technical Research Institute of Sweden (İsveç Teknik Araştırma
Enstitüsü)
- SI : Systeme International d'Unites-SI (Uluslararası Birimler Sistemi)
- TÜBİTAK : Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
- UME : Ulusal Metroloji Enstitüsü

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Metroloji ölçme bilimi anlamına gelmektedir ve hedefi bütün ölçme sistemlerindeki birimleri tanımlayarak ölçümlerin doğru ve güvenilir olmasını sağlamaktır [1,2]. Basınç ölçümleri de metroloji biliminin ele aldığı konulardan bir tanesidir. Basınç ölçümü tanımlanmasında şimdiye kadar birçok yöntem ve bu yöntemlerin uygulamaya konulmasına yönelik birçok ölçü aleti geliştirilmiştir.

Basınç alanında yaşanan gelişmelerin tetikleyicisi olarak teknolojik gelişmelerin hızlanması ve çeşitli alanlara yayılmasını gösterebiliriz. Basınç ölçümlerinde kullanılmak üzere birçok farklı tipte ve yapıda basınç ölçer tanımlanmıştır ve ihtiyaçlar doğrultusunda farklı ölçüm metotları tanımlanarak kullanıma alınmıştır.

Basınç ölçümlerinin başlangıcından bu yana gelişmeler ışığında basınç ölçümlerinde kullanılan ölçü aletleri de gelişmiştir. Bu kapsamda dinamik basınç ölçümleri de çeşitli alanlarda karşımıza çıkmaktadır. Bu alanlara otomotiv endüstrisi, aerodinamik, savunma sanayii, yanma analizleri, tıp ve akışkan basıncı gibi sektörler örnek olarak verilebilir. Dinamik basınç ölçümünde kullanılan sensörlere örnek olarak piezoelektrik, piezoresistive vb. quartz metallerin kullanıldığı sensor tiplerini gösterebiliriz. Bunlara ek olarak yarı statik/yarı dinamik basınç sensörlerinin bulunduğu piezoelektrik tipte basınç sensörleri mevcuttur ve bu sensörler dinamik olarak da verilen basınca tepki gösterebilmektedir [3].

Bu tez çalışmasında ölçüm uygulamalarında kullanılan yarı statik/yarı dinamik ve dinamik ölçümlerin Laboratuvar şartlarındaki sıcaklık değişimlerini aynı sensörün üzerinden test ederek karşılaştırılması hedeflemiştir. Metodlar arasında sıcaklık değişiminin ölçümlere olan etkisi belirlenerek ölçüm yapılan sensörlerin kullanımı açısından kullanıcılara yol göstermesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda kontrollü

laboratuvar şartlarında 19°C ile 22°C arasında ve her sıcaklık değerinde 300, 400, 500 bar noktalarında yarı statik/yarı dinamik ve dinamik metotlarla ölçüm alınmıştır.

BÖLÜM 2

ÖLÇME VE BASINÇ

2.1. ÖLÇME BİLİMİ

Bir büyüklüğe atanabilecek bir veya daha fazla büyüklük değerinin deneysel olarak elde edilme sürecine ölçüm denir [2]. Ölçme tanım olarak bilinmeyen bir niceliğin, bilinen bir nicelikle karşılaştırma yoluyla değerlendirilmesidir. Günlük yaşamın her alanında karşımıza çıkmaktadır. Bir cismin ağırlığı, sıcaklığı, uzunluğu, hacmi v.s gibi özellikleri ancak ölçme yardımıyla değerlendirilebilir [4]. Ölçülen değer birimini ise aynı türde verilen iki büyüklüğün değerlerini matematiksel olarak ifade ederek bunları birbirleriyle karşılaştırılmasını sağlayan, genel kabulü ile belirtilmiş gerçek skaler büyüklüğü olarak tanımlayabiliriz. Her ne kadar insan olarak bu özellikleri algıyabilesek de kesin bir değer belirlemek ancak ölçü aletleri yardımıyla olmaktadır [4].

Ölçme işleminin hemen hemen bütün mühendislik, araştırma geliştirme alanlarıyla ilişkisi mevcuttur. Özellikle Laboratuvarlarda belirlenmesi gereken niceliklerin hangi ölçü aletiyle, hangi hassasiyetle yapılacağı ve sonuçların nasıl değerlendirilmesi gibi işlemler ölçme alanı ile ilgilidir [3].

Ölçü aletleri de kendi aralarında belirli seviyelere ayrılmıştır. Birincil seviye olarak değerlendirilen cihazlar, ikincil seviye olarak değerlendirilen cihazlar ve endüstriyel olarak kullanılan cihazlar olarak nitelendirilmektedir. Ölçüm yapılacak niceliğin istenen hassasiyete sahip olabilmesi için ölçü aleti de buna uygun şekilde seçilmelidir.

2.2. BASINÇ

Basınç birim alana uygulanan dikey kuvvet yada kapalı bir kap içinde bulunan akışkan maddenin herhangi bir noktasındaki gerilim olarak tanımlanır. Basınç birimsel olarak

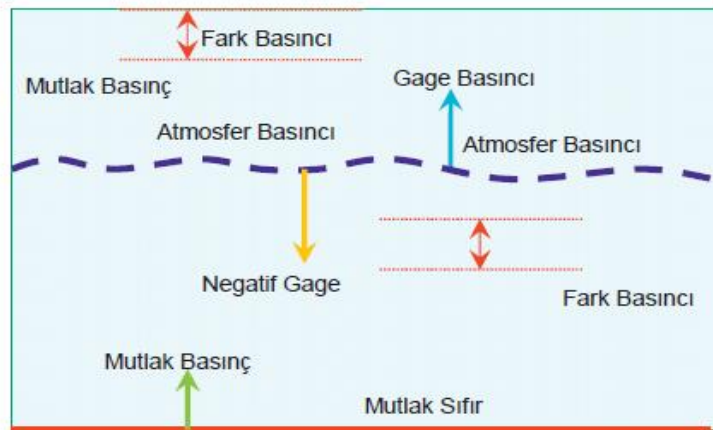
tanımlamak için temel SI birimleri kullanılarak tanımlama yapılmıştır. Temelde basınç birimleri türetilmiş SI birimi olarak kabul edilmektedir. Basınç, temel bir büyüklük olmayıp uzunluk (metre), kütle (kilogram), zamandan (saniye) türetilmiş bir büyüklüktür. Uluslararası Birimler Sistemi basınç Birimi Pascal'dır [2].

Diğer alanlarda da olduğu gibi basınçta da ölçümün seviyelendirmeleri ve bu seviyelere uygun kabul edilen ölçü aletleri mevcuttur [2].

Referans olarak belirlenen noktaya göre basınç ölçümleri beş farklı biçimde gerçekleştirilir (Şekil 2.1).

Bunlar [2];

- Mutlak basınç ölçümü: Mutlak sıfır referans alınarak yapılan ölçüm.
- Atmosfer basıncı ölçümü: Mutlak sıfır referans alınarak ortam hava basıncının ölçümü.
- Gauge (bağıl) basınç ölçümü: Atmosfer basıncı referans alınarak, yapılan basınç ölçümü.
- Negatif gage basınç ölçümü: Atmosfer basıncı referans alınarak, atmosfer basıncı altında yapılan basınç ölçümü.
- Fark basıncı ölçümü: Bilinmeyen (herhangi) iki basınç arasında yapılan basınç ölçümüdür.



Şekil 2.1. Basınç Ölçüm Modlarının Şematik Gösterimi [2].

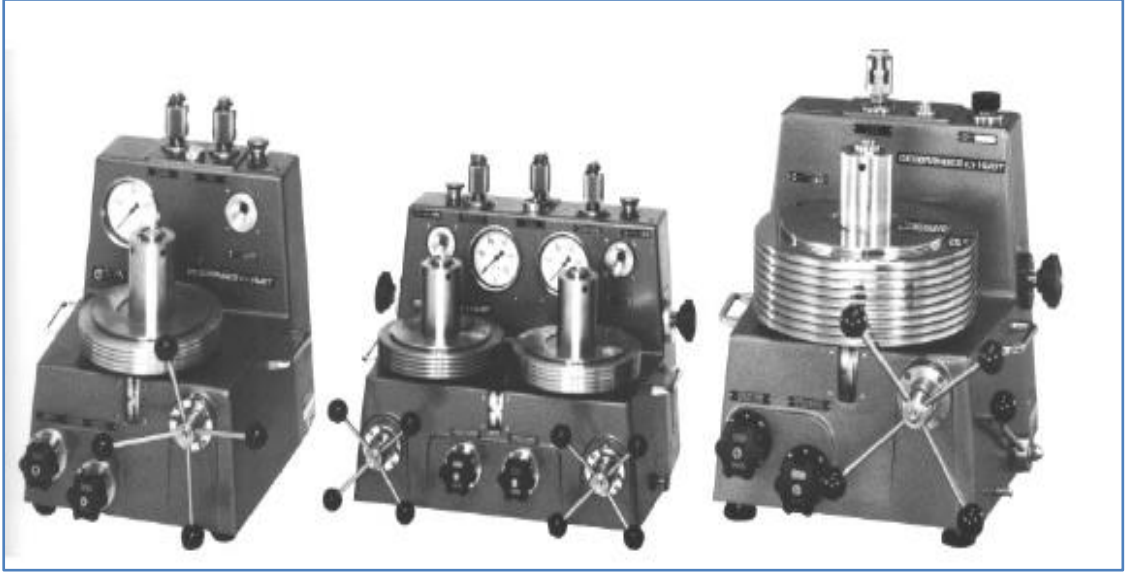
Teknik olarak çeşitli yerlerde çok küçük vakum değerlerinden çok yüksek basınç değerleri arasında ölçüm yapılması ihtiyacı ile karşılaşmaktadır [2]. Pratik olarak bu kadar geniş bir aralıkta ölçüm yapılması ihtiyacı değişik basınç ölçü aletlerinin geliştirilmesine sebep olmuştur. Kullanım yerine göre sensör elemanlarının tipleri, ölçüm prensipleri ve şekilleri farklılıklar göstermektedir. Doğru ve hassas bir ölçüm için doğru sensörün doğru yerde kullanılması büyük bir önem arz etmektedir. Ayrıca karşılaşılan basınçlarda statik basınç veya yüksek frekanslı dinamik karakterli olabilir. Bunlara ek olarak yarı statik/yarı dinamik tepki veren sensörlerde geliştirilmiştir.

Dinamik uygulamalarda sadece dinamik ve hem yarı statik/yarı dinamik tepki verebilen yüksek hızlı sensörler kullanılabilir. Dinamik basınç sensörleri genelde ani basınç değişimlerini ölçmekte kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak motor yanma odasındaki basınç değişimlerinin ölçülmesi, anlık basınç oluşturulan yüzeydeki değişimlerin ölçülmesi, patlama gibi şok dalgası yaratacak basınçların ölçülmesinde kullanılmaktadır.

2.2.1. Basınç Sistemleri

Basınç ölçümleri gelişen teknolojiyle ve artan ihtiyaçlar doğrultusunda sürekli gelişme göstermektedir. Sağlık, imalat, savunma sanayi, enerji sektörü gibi alanlarda farklı seviyelerde ve yöntemlerle basınç ölçümü önem arz etmektedir.

Statik basınç ölçüm alanlarında insanlar basınç ölçüm standartlarını ve yöntemlerini birincil ve ikincil olarak sınıflandırmayı uygun görmüşlerdir. Birincil seviye basınç standartlarına örnek olarak Pistonlu basınç ölçerleri örnek olarak gösterebiliriz. Pistonlu basınç ölçerlerde uygulanan pistonun baskı yaparak oluşturacağı akışkan basıncı sıvı veya gaz olarak kullanılabilir. Burada bunları hidrolik ve pnömatik değerlendirmek uygun olacaktır. Hidrolik pistonlu basınç ölçerler daha yüksek basınç ölçümlerinde, pnömatik pistonlu basınç ölçerler ise atmosfer basıncı noktasında ve yüksek basınç aralığındaki düşük basınç ölçümlerinde kullanılmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Hidrolik ve Pnömatik Pistonlu Basınç Standartları [2]

Hidrolik basınç ölçümleri atmosfer basıncının referans alındığı bağıl ve fark basıncı ölçümlerinde kullanılırken, pnömatik basınç ölçümleri ise hem bağıl hemde mutlak basınç ölçümlerinde kullanılmaktadır [2]. Pistonlu basınç standartlarında basınca karşılık gelen kuvvet akışkanın üstünde yüzen piston ve üzerinde yerleştirilen kütleler aracılığıyla oluşturulmaktadır.

İkincil seviye basınç standartlarında ise genelde maddelerin fiziksel özelliklerinden yararlanarak basınç ölçümü gerçekleştirilir (Çizelge 2.1). İkincil basınç ölçümleri için kullanılan cihazları basınç dönüştürücüler ve manometre olmak üzere iki başlık üstünde inceleyebiliriz. Basınç dönüştürücüler uygulanan basınç ve bunun sonrasında oluşacak geri besleme sinyalindeki değişim basıncın büyüklüğünü vermektedir [2].

Çizelge 2.1. İkincil Basınç Ölçerlerde Kullanılan Fiziksel Özellikler [2]

Özellikler	Değişiklik Gösteren Büyüklük	Basınç Sensörü	Dedekte Etme ve Gösterme Metodu
elastik	eğilme gerinim kuvvet	diyafram tüp körük kapsül	mekanik oranlı gösterge cihazı, deplasman dönüştürücüsü, fark transformatörü, kapasitif potansiyometrik, elektro-direnç gerinim ölçer, manyetik büzülme
piezo direnç	elektrik direnç	metal tel dirençli malzeme yarı iletken	Elektriksel
piezo elektrik	elektrik yükü	piezo elektrik transdüser kuartz yarı iletken	Elektriksel

Basınç ölçerlerin veya transdüserin çalışmasını etkileyecek temel etkenler malzemesi, imalat yöntemi, tasarımı ve kullanıldığı ortam olarak belirlenebilir. Bu etkilerdeki ufak bir değişim bile aynı üretim hattından çıkan sensörlerin performanslarının birbirinden çok farklı olmasına yol açacaktır.

Diğer bir ikincil sistem olan manometreler ise içinde bulunan basınç duyargasına göre sınıflandırılabilir (Şekil 2.3). Manometrelerin çalışma şekli ise, içinde bulunan elastik elemanına uygulanan basıncın ibreye iletilmesi şeklindedir [2].



Şekil 2.3. Manometre [2].

Manometrelerde ölçülen değerin doğruluğu hareketi yaratan elastik elemanın tipine bağlıdır (Şekil 2.4) [2].



Şekil 2.4. Manometre Ölçümlerinde Kullanılan Elastik Elemanlar [2].

BÖLÜM 3

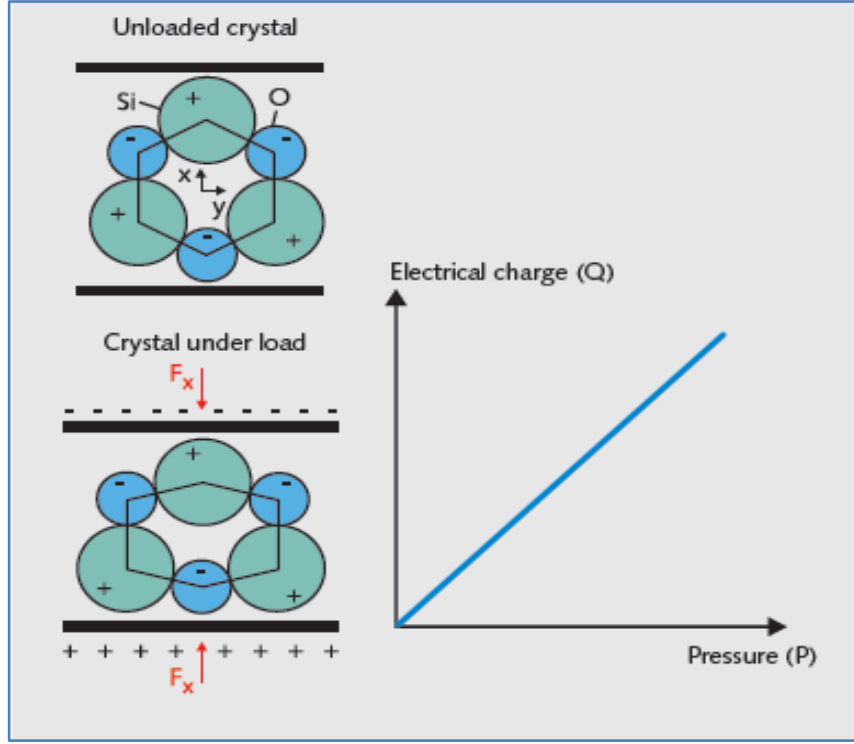
DİNAMİK BASINÇ ÖLÇÜMLERİ

3.1. DİNAMİK BASINÇ ÖLÇÜMLERİNDE KULLANILAN BASINÇ SENSÖRLERİ

Günümüzde piyasanın ihtiyaçları doğrultusunda çeşitli alanlarda kullanılmak üzere tasarlanan çok çeşitli dinamik basınç sensörleri bulunmaktadır. Bununla birlikte Pratik olarak iki ilke üstünden sensörler değerlendirilebilir. Bunlar piezoelektrik ve piezodirençli olarak iki alanda bilinmektedir. Bu bölümde sensörlerin yapıları, kullanıldığı alanlar, ölçüm metotları hakkında bilgi verilmesi amaçlanmaktadır.

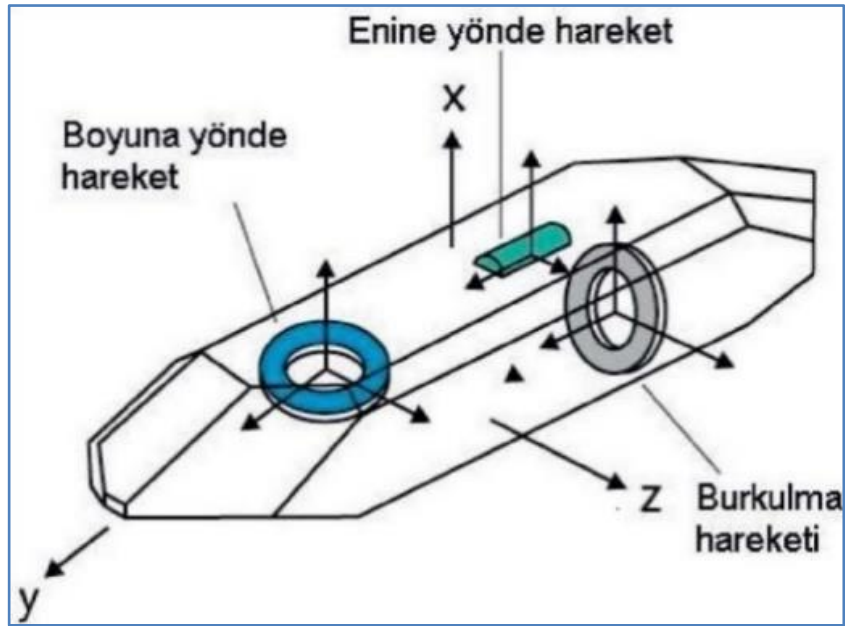
3.1.1. Piezoelektrik Sensörler

Piezoelektrik etki, dış yüzeylerine mekanik bir yük uygulandığında pozitif veya negatif elektrik yükleri üreten kuvars gibi malzemeler tarafından sergilenmektedir (Şekil 3.1). Piezoelektrik ölçüm teknolojisi, günlük ölçümlerimizde kullanılan cihazlarla ölçüm yapılması zor olan bazı uç dinamik, sıcaklık ve geometri uygulamaları barındıran koşullar altında kullanılabilen iyi bir araç olarak karşımıza çıkar. Curie kardeşler tarafından 1880'li yıllarda keşfedilen piezoelektrik etki simetri merkezi içermeyen kristallerin uygun yönlerde gerilime maruz kaldığında oluşan yüzey potansiyel farkı prensibine dayanır. Genellikle temel elektrik yük birimi pikocoulomb (pC) cinsinden ölçülmektedir. Bir kristal üzerindeki mekanik yük, elektriksel bir yük üretir ve bu basınçla doğru orantılıdır. Bu yapılarla geliştirilen basınç algılayıcılarında, piezoelektrik etki özelliği gösteren yapıların kristal geometrisi piezoelektrik etkinin maksimum olacağı şekilde döndürülmektedir [2]. Piezoelektrik yapıya sahip bir sensörün yapısı (Şekil 3.3)' de verilmektedir.

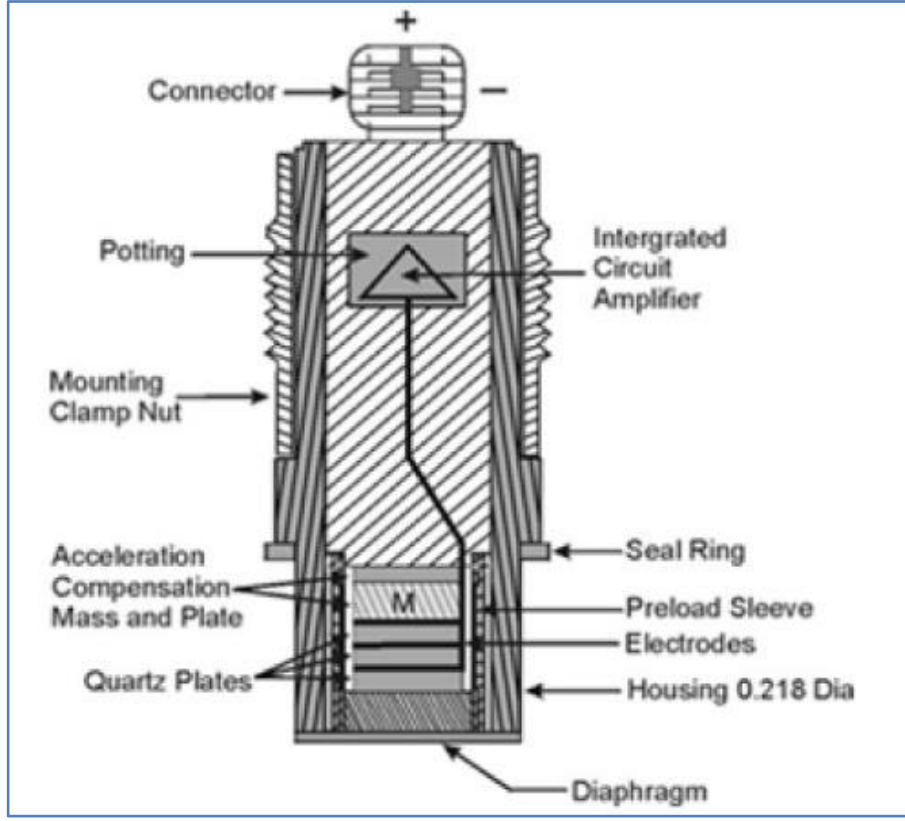


Şekil 3.1. Piezoelektrik etki [5].

Bir kristal kullanılacağı alana ve ihtiyaç duyulan sensörün özelliğine göre farklı şekillerde kesilerek kullanılmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Piezoelektrik etkiyi oluşturan hareketler [2].



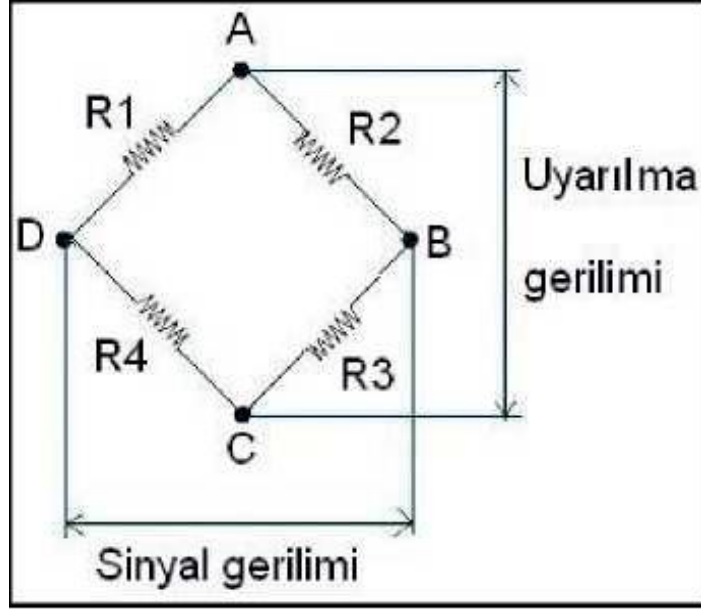
Şekil 3.3. Piezoelektrik basınç sensörü yapısı [6].

3.1.2. Piezodirençli Sensörler

Piezoresistif etki, mekanik gerilim uygulandığında bir malzemenin elektriksel direncindeki değişimi olarak tanımlanmaktadır. Direnç değişimi iki nedenden kaynaklanır; malzemenin geometrisindeki değişim veya iletkenliğindeki değişimdir. Yük altında bulunan telin elektriksel direnç altında boyunun değişmesi ilkesine dayanır. Bu gerinim ölçerlerinde elastik değişim uygulanan basınçla orantılıdır. Elastik elemandaki bu değişim direnç değerinin elektriksel olarak ölçülmesine sebep olmaktadır.

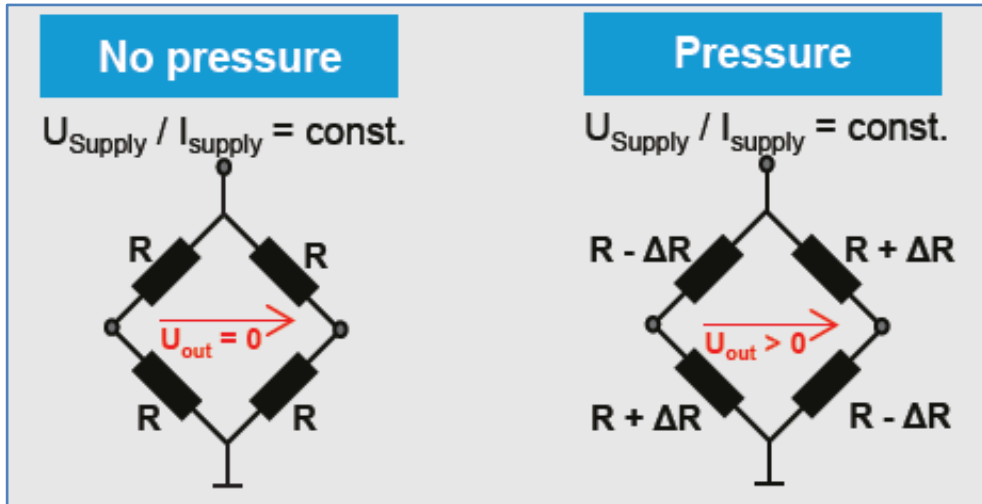
Basınca duyarlı elastik elemanlara veya şekil değişimine uğrayabilen elemanlara gerinim ölçerler doğrudan bağlanmalıdır. Basınç dönüştürücülerinde kullanılan form elastik olarak şekil değiştiren plakalardır. Dört adet gerinim ölçer direnç teli plaka üzerine, plakanın şekil değişimi sonucunda ikisi sıkışma, diğer ikisi de gerilme yönünde yerleştirilmektedir [2]. Bu dört elamanın çıkışı Şekil 3.4'de görülen

Wheatstone köprüsüne bağlanmaktadır. Dirençlerdeki değişim Şekil 3.5’de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Wheatstone Köprüsü [2].

Dirençteki değişim uygulanan basınç ile orantılıdır [5].



Şekil 3.5. Wheatstone Köprüsü Dirençteki Değişim [5].

3.2. DİNAMİK BASINÇ ÖLÇÜM SİSTEMLERİ VE METODLARI

3.2.1. Yarı Statik Ölçüm Sistemi

Bu tür kalibrasyon sistemi, basınç sensörünün devamlı etki altında kalmasına dayanmaktadır. Basınç üretici, bir mil yardımıyla basınç uygulanan pistondan oluşur. Bu piston, hacimde bulunan yağda bir basınç oluşturur ve bu basınç referans ve test sensörüne etki etmektedir. Basınç, nispeten yavaş bir şekilde 10 ile 30 saniye süreyle oluşturulmaktadır. Bu ölçüm yöntemin 'yarı statik' tanımlanmasının sebebi budur. Bu yöntem özellikle Piezoelektrik basınç sensörlerini kalibre etmek için uygun bir yöntemdir. Kısa süreli sabitli basınç sensörlerinde kullanılan entegre elektronik sensörler için uygun değildir [7].

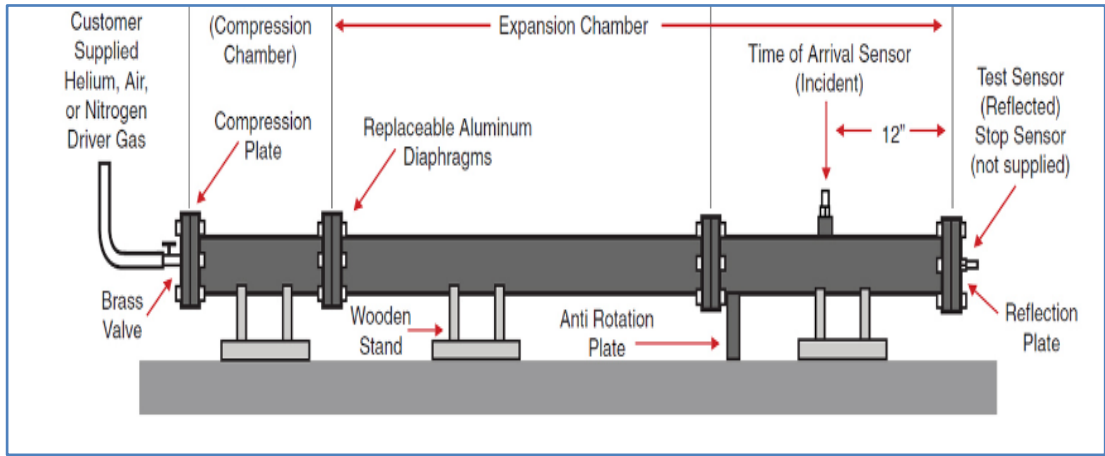
3.2.2. Dinamik Ölçüm Sistemi

Dinamik Basınç ölçümlerinde sensörün kullanılacağı yerin, kapasitesinin, yapısının hassasiyetinin, tepki süresinin ölçüm metodolojisi açısından büyük önemi vardır. Bu sebeplerden ötürü sensörler test edilirken seçilecek ölçüm sistemi de farklılık göstermektedir. Basınç transdücerlerin ölçümlerinde basınç-zaman ilişkisi hakkında doğru bir şekilde çıkarım yapılabilmektedir. Günümüzde ölçüm sistemlerinde üretilen basıncın tekrar ve doğru bir şekilde oluşturulması arzu edilsede bu özellik dinamik basınç sistemlerini tanımlayan temel bir özellik değildir. Bu sebeple ölçüm yapılırken ölçülen değerler referans sensöre bağlı şekilde kullanılmaktadır [8].

Dinamik basınç üreteçleri periyodik ve periyodik olmayan olarak temelde 2 sınıfa ayrılabilir. Periyodik olmayan üreteçler; ürettikleri darbe şekilleri, örneğin adım ve tepe darbesi şeklinde karakterize edilmektedir. Örnek olarak milisaniye mertebesinde basınç artış süreleri oluşturabilen valf cihazları ve anlık basınç oluşturan üreteçler verilebilir. Burada periyodik olmayan üreteçler basıncın oluşulma süresi ve genlikleri birbirini arasında belirgin şekilde farklılık göstermektedir. Aşağıda belirtilen sistemlerden bir kısmı teorik olarak çalışmalarda yer alsa da ticari olarak da yerini almış üreteçler bulunmaktadır [8].

3.2.2.1. Şok Tüpü (Shock Tube)

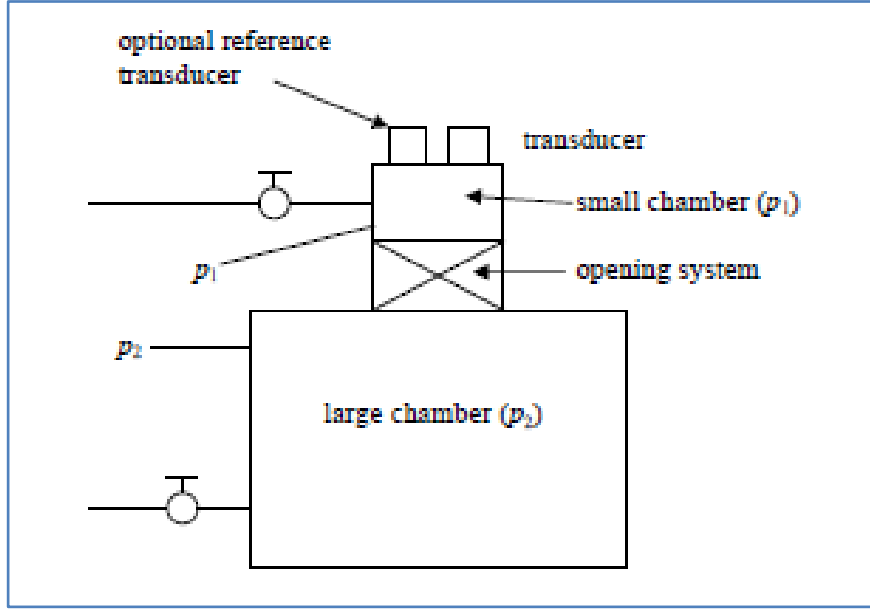
Şok tüpü, sabit bir enine kesite sahip olan iki uzunlamasına silindirik bölmeden oluşan ve birbirinden bir diyafram yardımıyla ayrılmış bir sistemdir (Şekil 3.6). Diyafram patladığında haznelerde bulunan basınç yüksek basınç değerinden alçak basınç değerine doğru ve alçak basınç üzerinde sabit bir hızda hareket etmektedir. Alçak basıncın üzerinde diyaframın patlaması sonrası oluşan şok dalgası alçak basıncı yeni bir basınç değerine yükseltmektedir. Alçak basınca gelen şok dalgası sonrası oluşan ani değişim bir basınç sensörü yardımıyla ölçülür [9-13].



Şekil 3.6. Şok Tüp Sisteminin Şematik Gösterimi [9].

3.2.2.2. Hızlı açılan valfler (Quick Open Valve)

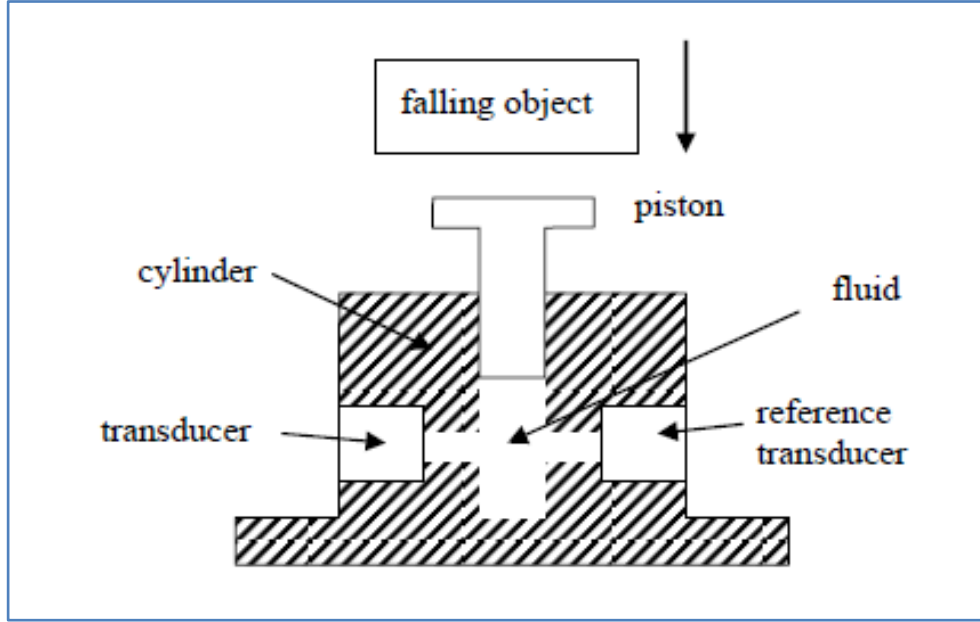
Bu sistemde basıncın bulunduğu haznedeki basıncın diğer hazneye çok hızlı açılan valfler aracılığıyla anlık olarak aktarılmasıdır (Şekil 3.7). Basıncın iletilmesi sonrası basınçtaki oluşan değişimin referans sensor değerleri ile test sensörü değerlerinin karşılaştırıldığı bir ölçüm metodudur [10,12,14,15].



Şekil 3.7. Hızlı Valf Açma Sisteminin Şematik Gösterimi [10].

3.2.2.3. Darbe Üreteçleri (Pulse Generator)

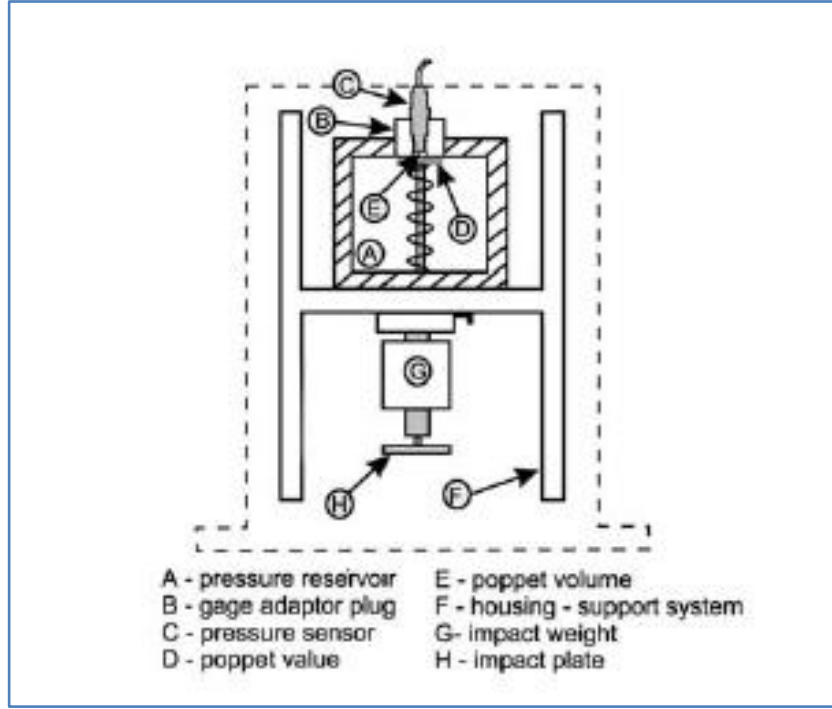
Darbe yardımıyla basınç üreten üreteçler, tek bir şekilde yapılan kütle bırakma sonrası dinamik bir ölçüm üretmektedir fakat bunun bir devam yeteneği yoktur. Bu teknik içinde sıvı bulunan hazneye bağlı pistonla kütle bırakma şeklindedir. Bu tip cihazlar piyasada pulse generator olarak bilinmektedir (Şekil 3.8). Bu cihazlarda referans ve test sensörü hazneye bağlıdır ve haznenin üstünde tüp şeklinde silindirik bir düşürme tüpü bulunur. Oluşan basınç kütlenin bırakıldığı yüksekliğe, darbenin genliğine, kütle sine, pistonun alanına ve sıvının sıkıştırılabilirliğine bağlıdır. Darbe cihazların kendisi bir kalibratör olarak kullanılmaz. Cihazdan elde edilen veriler referans bir sensörle karşılaştırma yoluyla elde edilmektedir [10,12].



Şekil 3.8. Darbe Üreticinin Şematik Gösterimi [10].

3.2.2.4. Aronson Basınç Adım Jeneratörü (Aronson Pressure Step Generator)

Bu sistemde bir statik basınçla basınçlandırılan ana hazne, bir sensör diyaframına kesin olarak tespit edilen bir statik basıncı hızlı bir şekilde aktarmayı ve sonra hızlı açılan valfin serbest bırakılması ile basınç sensörünün basınca maruz bırakılmasını içermektedir. Kesin olarak bilinen genliğe sahip pozitif veya negatif basınç darbeleri üretmek için kademeli basınç üretici olarak kullanılabilir (Şekil 3.9) [9,16].



Şekil 3.9. Aronson Adım Basınç Üreticinin Şematik Gösterimi [8].

3.2.2.5. Dead-Weight Negatif Basınç Düşüşü

Dead-Weight temelde statik bir basınç oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu sistemde referans sensör Dead-Weight'e bağlanır ve istenilen basınca kütleler aracılığıyla getirilmektedir. Burada sensörde alınacak gerilim sıfırlanarak sensörün üstündeki yük boşaltılır. Daha sonra Dead-Weight'te yer alan basınç anlık olarak boşaltılır. Böylelikle ölçümü sıfır değerini gösteren sensör negatif yönlü bir gerilim oluşturacaktır. Negatif yönlü gerilimin maksimum değeri ise bize tepe noktasını yani dinamik basınç değerini vermektedir (Şekil 3.10) [3].



Şekil 3.10. Basınç Dengesi ile Negatif Basınç Düşürme Sistemi [3].

BÖLÜM 4

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yasin DURGUT 2016 yılında dinamik basınç sensörlerinin kalibrasyon yöntemi oluşturulmasına ve ölçümlerin bir standart üzerinden tanımlanması amacıyla primer seviye bir cihaz geliştirmek ve sensörlerin kalibrasyonu sonrası bağıl olarak %1'in altında bir belirsizlik hesaplamasının oluşturulması üzerine çalıştı. Serbest düşme cihazı olarak da anılan bu cihaz; bilinen bir basınç oluşturmak için kütlenin belirlenen yükseklikten atılarak küçük bir yağ haznesine bağlı pistonu vurması sağlanmıştır. Küçük hazne içindeki yağın anlık sıkışması sebebiyle oluşan basıncı ölçmek amaçlanmıştır. Burada kütlenin belirli bir yükseklikten atılması sonucu mevcut potansiyel enerjinin yağın sıkışma enerjisine dönüşür. Yağın üstünde bulunan pistonunu yer değişimi yoluyla basıncın hesaplanması yoluna gidilmektedir. Sonuç olarak dinamik basınç sensörlerinin kalibrasyonunda kullanılmak üzere bir standart ve hesaplamalar için bir matematiksel model oluşturmayı amaçlamıştır [3].

Antti LAKKA ve Sari Saxholm 2009 yılında dinamik basınç sensörlerinin kalibrasyonu üzerinde EURAMET tarafından başlatılan EMRP-Project IND09 Dynamic adlı proje kapsamında açmış olduğu mekanik büyüklüklerin izlenebilir dinamik basınç ölçümü için ölçüm standardı geliştirilmesi konusunda çalışmışlardır. Bu çalışmada ağırlık düşürme ilkesine dayanarak 100 MPa'dan 500 MPa'a kadar %1 mertebesinde bağıl ölçüm belirsizliği hedeflenmiştir. Belirli bir yüksekliğe bir miktar yardımıyla çıkarılan kütle yağ dolu hazneye bırakılır (Sürtünme ihmal edilmiştir). Haznenin üstündeki piston yağın bulunduğu hacmi sıkıştırır ve yağ tekrar pistonu yukarı yönlü zorlar. Yukarı itilen kütle ikincil oluşacak basıncı önleme amacıyla bir rebound sistemi ile yakalanır. Burada yağda oluşan deplasman lazer interferometre yardımıyla ölçülür. Ölçüm esnasında yağın davranışı bir yay gibi davranmaktadır. Bu ölçümlerde yer değiştirme için oluşturulan matematiksel model

olarak Sönümlü Harmonik Osilatör ve General Hooke olmak üzere 2 yöntem kullanmışlardır [17].

Jan Hjelmgren 2002 yılında basınç transducerlerinin dinamik kalibrasyonu üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada dinamik basınç sensörlerinin hangi alanlarda kullanıldığı ve yapılarına ilişkin bilgi verilmiştir. Ayrıca basınç kalibrasyonlarının statik ve dinamik olarak kalibrasyon yöntemlerini incelemiş ve tanıtmıştır. Çalışmada dinamik basınç sensörlerinin kalibrasyonları için belirsizlik hesaplaması konusunda örnekleme yapmıştır. Çalışmasında gelecekte dinamik basınç kalibrasyonlarının alacağı yön ve dinamik kalibrasyon yöntemlerinin geliştirilmesine ilişkin yönlendirmelerde bulunmuştur [10].

Sofia Razzak ve arkadaşları 2015 yılında yapmış olduğu çalışmada dinamik basınç kalibrasyonu üzerine bir kalibrasyon yöntemi geliştirmek amacıyla çalışma yapmışlardır. Çalışmada sensörün basınç değerinin doğrudan sensörün hassasiyet katsayısına bağlı olduğuna, hassasiyet katsayısının doğru bir şekilde belirlenmesi için hangi parametrelerin etkili olduğuna dair bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada seçilen parametreler olan yükselme süresi ve deşarj süresi üzerinden inceleme yapılmıştır. Çalışmada simülasyon türünden bağımsız olarak bulunan yükselme süresi ve deşarj süresi eğimlerinin doğrusal olduğu tespit edilmiştir [18].

Alberto C. G. C. Diniz ve arkadaşları 2006 yılında dinamik basınç sensörlerinin kalibrasyonları için yöntem geliştirmek ve dinamik basınç için standart cihazların geliştirilmesi amacıyla çalışma yapmışlardır. Çalışmada dinamik ölçüm yöntemleriyle yapılan çalışmalarına ve sonuçlarına ilişkin bilgi vermişlerdir. Dinamik basınç kalibrasyon yöntemlerinin kapsadığı basınç aralıklarına ilişkin çalışma yapmışlardır. Çalışmada hızlı açılan valflerin en düşük frekans aralıklarını kapsarken şok tüplerinin en yüksek frekans alanlarını kapsadığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında kendi cihazları olan şok tüpün ölçüm belirsizliği hesaplamalarında ölçüm aralıklarına karşılık gelen hangi genişletilmiş belirsizliğe sahip olduğuna dair bilgi vermişlerdir [19].

Qiang Li, Zhongyu Wang ve arkadaşları kalibre edilmiş bir dinamik basınç sensörünün çıktısı için işleme yöntemine odaklanarak temelde güçlü parazit gürültüsü altında adım yanıtının gerçek bilgisinin çıkarılması yönünde çalışma yapmışlardır. Sensörün çıkış sinyalinin özelliklerine ve kalibrasyon esnasında girişim seslerine dayanarak, sensör çıktısından doğru bilgi çıkarma problemini çözmek için bir algoritma kullanmışlardır. Bu sistemin ve algoritmanın işlevselliğini test etmek amacıyla arka arkaya şok tüp üzerinden testler gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada çıktı değerlerinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması için Kalman filtreleme yöntemi ve bu çalışmada yer alan yöntem kullanılmıştır. Karşılaştırma sonuçları sunulan yöntemin filtreleme sonuçlarına dayalı olarak modelden elde edilen frekans verilerinin değeriyle tutarlı olduğu görülmüştür [20].

PCB firmasından Patrick L. Walter'ın "Intorduction to Air Blast Measurements Part-III" çalışmasında dinamik basınç kalibrasyonlarının metotlarını tanıtmıştır. Çalışmasında daha yüksek frekans aralığında çalışan sensörlerin geliştirilmesinin dinamik basınç kalibrasyonlarına ve bu kapsamda yeni sistemlerin ortaya çıkmasına neden olduğunu belirtmiştir. Çalışmasında bu alanda kullanılan basınç sensörlerinin genel yapısını hangi aralıkta hangi sistemin kullanıldığına ilişkin genel bilgilendirmelerde bulunmuştur. Ayrıca dinamik basınç kalibrasyonu alanında kullanılan sistemlerin genel bir tanımını yaparak şematik olarak sistemleri tanıtmıştır [8].

Kistler firmasının yayınlamış olduğu "Test&Measurement Pressure" adlı dökümanında basınç sensörlerinde kullanılan piezoelektrik ve piezoresistive olarak adlandırılan iki çeşidi de ayrıntılı olarak açıklamıştır. Basınç sensörlerin kalibrasyonlarında ise ölçümlerde kullanılan yarı-statik ve dinamik metotlarını tanımlayarak birbirleri karşılaştırmıştır. İki metodun arasındaki farkları, ölçüm esnasında oluşabilecek etkileri, veri toplarken hangi metod için nasıl veri toplanması gerektiğine dair bilgilendirmelerde bulunmuştur [5].

BÖLÜM 5

MALZEME VE METOT

Bu deneysel çalışmada hem yarı statik-yarı dinamik hemde dinamik basınca tepki verebilen 200 bar kapasiteli KİSTLER 6962C200 model sensörün 5000 bar kapasiteli referans olarak belirlenen KİSTLER 6229AK model sensörle 19°C ile 22°C arasındaki ölçümleri yapılarak hassasiyet katsayısının değişiminin gözlenmesi amaçlanmıştır. Referans sensör 5000 bar'a kadar Test sensörü ise 1400 bar'a kadar kalibrasyonları yapılmıştır. Ölçüm değerleri olarak 300, 400, 500 bar noktaları seçilmiştir.

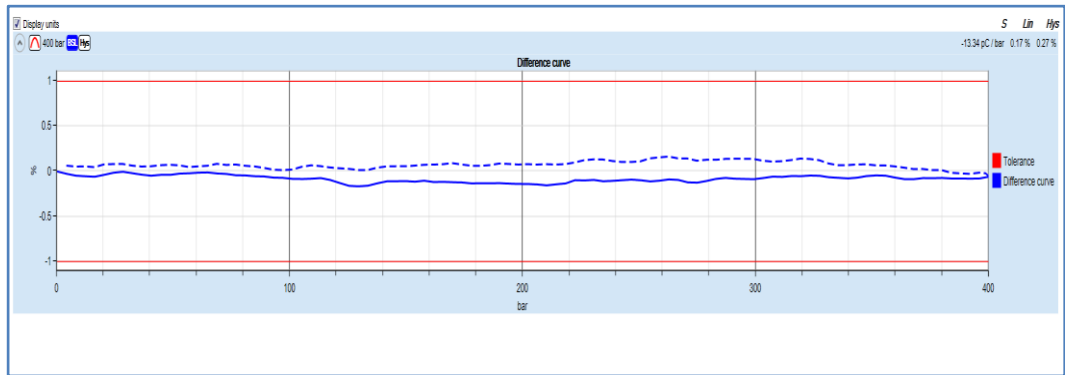
5.1. YARI STATİK-YARI DİNAMİK BASINÇ ÖLÇÜM SİSTEMİ

Sensöre uygulanan yük sıfırdan maksimum hedef noktasına kadar çıkarılır ve daha sonra tekrar sıfıra indirilir. Bu sistemle uygulama esnasında statik etkileri hesaba katmayacak kadar hızlı, dinamik etkilerin de dahil olmasına engel olacak şekilde yavaş yükleme yapılmalıdır. Bu sistem piezoelektrik sensörlerde basınç, kuvvet, tork gibi alanlarda kullanılması uygun bulunmaktadır. Ayrıca statik olmayan işlemlerde de kullanılmak için uygun bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılacak olan sistem KİSTLER 6906 (Şekil 5.1) model hidrolik yüksek basınç üretici belirlenmiştir. Hazneye bağlı ölçüm noktalarına referans sensör (6229AK) ile test sensörü (6962C) bağlanmıştır.

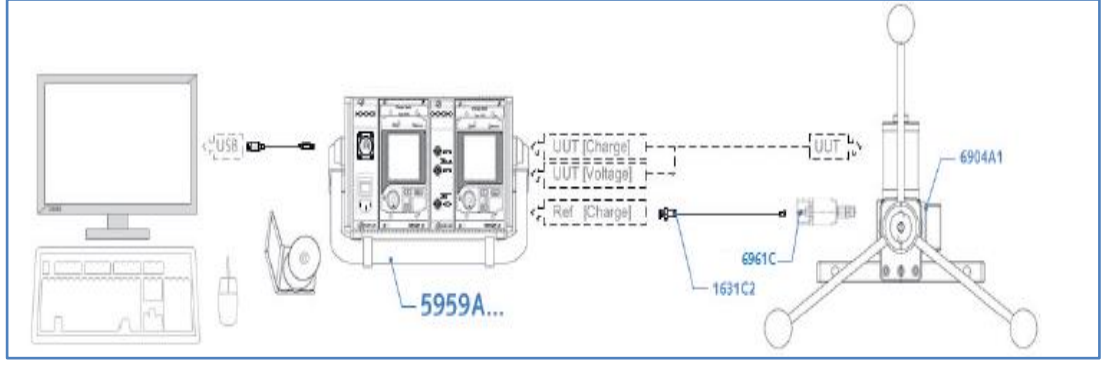


Şekil 5.1. Hidrolik Yüksek Basınç Üretici.

Yarı statik/yarı dinamik basınç ölçüm sonuçları KİSTLER CALİBRATE yazılımı aracılığıyla elde edilmiştir. Yazılım aracılığıyla ölçümün başından sonuna kadar olan değerler tespit edilmekte ve ölçüm sonrası test sensörünün hassasiyet katsayısı, histerizis ve linearity değerleri verilmektedir. Aşağıda Şekil 5.2’de ölçüm sonuçları için örnek verilmiştir. Kurulan ölçüm sistemi Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Calibrate Yazılımı Ölçüm Sonuç Sayfa Görüntüsü.



Şekil 5.3. Yarı Statik/Yarı Dinamik Ölçüm Sistemi Şeması.

5.2. DİNAMİK BASINÇ ÖLÇÜM SİSTEMİ

Bu çalışmada ölçüm metodu olarak kütle bırakma sistemi kullanılmıştır. Dinamik ölçümler için KİSTLER Marka 6909A (Şekil 5.4) model hidrolik basınç üretici kullanılmıştır. Sistemin yapısı gereği referans sensör (6229AK) ile test sensörü (6962C) basınç üreticine bağlanmıştır. Kütle belirli bir yükseklikten bırakılarak istenen basınç oluşturulmaktadır. Referans değerler basınç olarak okunurken test sensörün ise pC değerleri kaydedilmiştir. Dinamik basınç ölçüm sonuçları referans sensörden okunan basınç değerine karşılık olarak pC değerlerinin kaydedilmesi yoluyla elde edilmiştir. Mevcut aralığın 5 adet kütle atışı sonrası elde edilen ölçümler sonrası test sensörünün hassasiyet katsayısı verilmektedir. Ölçüm esnasında referans sensörün verileri KİSTLER 5959A'dan test sensörün verileri ise KİSTLER 5015'den okunarak kayıt altına alınmıştır. Aşağıda ölçümler için örnek olarak Şekil 5.5'de ölçüm sonucu verilmiştir.

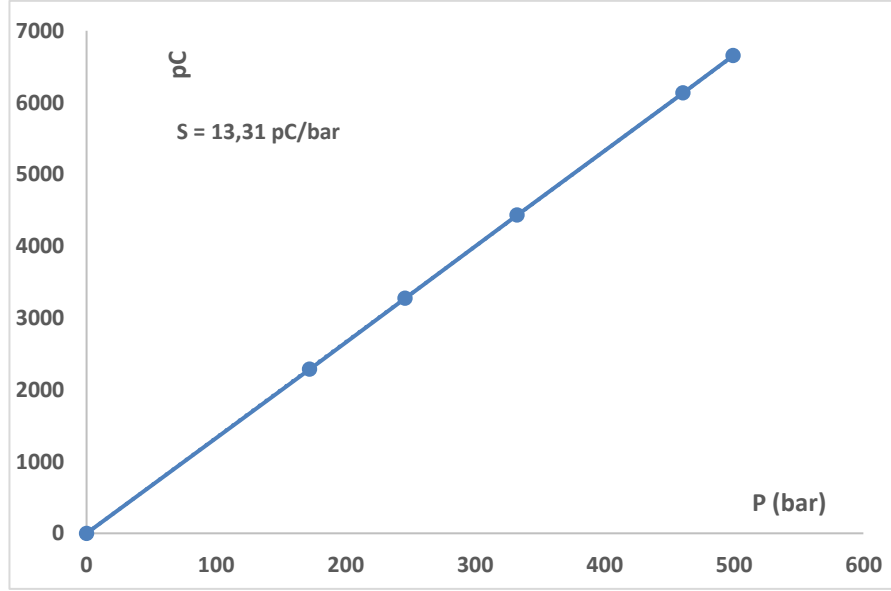


Şekil 5.4. Kistler 6909 Model Basınç Üretici.

Dinamik basınç üretici ile oluşturulan basınç değerleri ve karşılık gelen pC değerleri kaydedilerek bulunan hassasiyet katsayıları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Dinamik Ölçüm Sonuçları Tablosu.

Bar	PC	Hassasiyet Katsayısı pC/bar
0	0	-
172,3	2289	13,28
246	3275	13,31
332,7	4430	13,32
460,7	6131	13,31
499,6	6655	13,32
Ortalama Hassasiyet Katsayısı		13,31



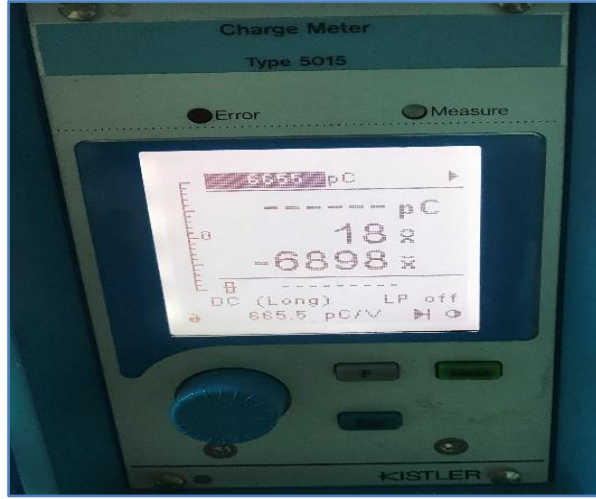
Şekil 5.5. Dinamik Ölçüm Sonuçları Örnek Grafik.

5.3. VERİ TOPLAMA SİSTEMİ

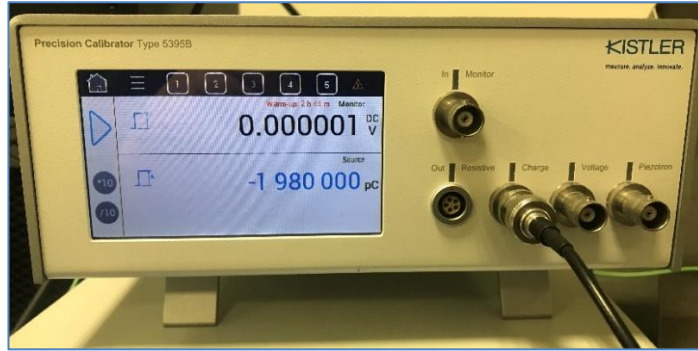
Her iki sistemle de yapılan ölçümlerde verilerin toplanması işleminde KİSTLER 5959A model 2 kanallı kalibrasyon sistemi (Şekil 5.6) ve KİSTLER 5015 (Şekil 5.7) charge amplifier kullanılmıştır. Ayrıca dinamik ölçümlerde KİSTLER 5015’de verilerin toplanması konusunda kullanılmıştır. Bu cihazlar hem sensörlerin şartlandırılmasını sağlarken hemde veri toplama işlemini yapabilmektedir. Calibrate yazılımı ile birlikte ölçüm yapmanın avantajı ise ölçüm öncesi Charge Kalibratörü (Şekil 5.8) yardımıyla yük yükseltecinin korelasyon katsayısının hesaplanarak işleme başlanmasıdır.



Şekil 5.6. Kistler 5959A Kalibrasyon Sistemi.



Şekil 5.7. Kistler 5015 Charge Gösterge.



Şekil 5.8. Kistler 5395B Charge Kalibratörü.

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. DENEYSEL SONUÇLAR

6.1.1. Yarı Dinamik Sistem Deneysel Sonuçları

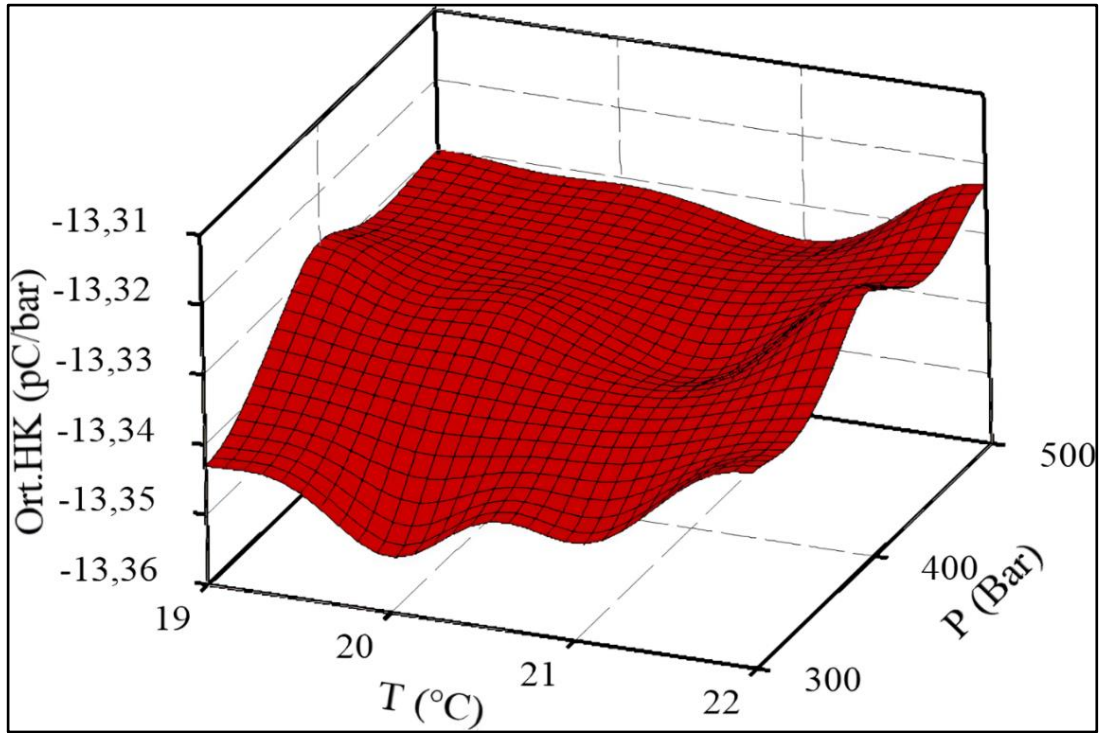
Yarı statik/yarı dinamik basınç üretici ile dört farklı sıcaklıkta ve üç farklı basınçta her deney kombinasyonu için yapılan 10 testler sonucu elde edilen hassasiyet katsayıları ve 10 test sonuçlarına ait ortalama hassasiyet katsayıları (HK) Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Yarı statik/yarı dinamik basınç üretici ile sıcaklık ve basınç değişimine bağlı hassasiyet katsayısı değişim sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Basınç (Bar)	Ölçümler										Ort.HK (pC/bar)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
19	300	-13,34	-13,34	-13,34	-13,34	-13,34	-13,34	-13,34	-13,34	-13,35	-13,35	-13,35	-13,343
	400	-13,33	-13,33	-13,33	-13,32	-13,33	-13,32	-13,32	-13,33	-13,33	-13,33	-13,33	-13,327
	500	-13,33	-13,33	-13,33	-13,33	-13,33	-13,33	-13,33	-13,33	-13,33	-13,33	-13,33	-13,33
20	300	-13,35	-13,35	-13,35	-13,35	-13,35	-13,35	-13,36	-13,36	-13,35	-13,35	-13,352	
	400	-13,34	-13,33	-13,32	-13,33	-13,33	-13,33	-13,33	-13,34	-13,33	-13,33	-13,331	
	500	-13,33	-13,33	-13,33	-13,33	-13,33	-13,33	-13,34	-13,33	-13,33	-13,33	-13,331	
21	300	-13,35	-13,35	-13,34	-13,35	-13,34	-13,34	-13,35	-13,35	-13,35	-13,34	-13,346	
	400	-13,34	-13,33	-13,33	-13,34	-13,34	-13,34	-13,34	-13,34	-13,34	-13,34	-13,338	
	500	-13,34	-13,33	-13,33	-13,34	-13,33	-13,34	-13,34	-13,34	-13,33	-13,33	-13,335	
22	300	-13,34	-13,32	-13,34	-13,34	-13,33	-13,33	-13,34	-13,32	-13,33	-13,33	-13,332	
	400	-13,33	-13,32	-13,32	-13,32	-13,32	-13,32	-13,32	-13,32	-13,33	-13,32	-13,322	
	500	-13,33	-13,32	-13,33	-13,32	-13,32	-13,32	-13,33	-13,32	-13,32	-13,32	-13,323	

Yarı statik/yarı dinamik basınç üretici ile yapılan testlerde sıcaklık ve basınç değişimine bağlı elde edilen Ort.HK değişim sonuçları Şekil 6.1’de verilmiştir. Şekil 6.1’e bakıldığında yarı statik/yarı dinamik basınç üretici ile yapılan testlerde Ort.HK

değişim -13,322 pC/bar ile -13,352 pC/bar arasında değiştiği görülmektedir. 300 bar basınç'ta ve 19°C sıcaklıkta Ort.HK -13,343 pC/bar ölçülmüştür. Aynı basınç değerinde sıcaklığın 20°C'ye çıkarılması ile Ort.HK -13,352 pC/bar olmuştur. Bu noktadan sonra sıcaklığın sırası ile 21°C ve 22°C çıkarılması ile Ort.HK değerlerinin sırası ile % 0,045 ve % 0,105 arttığı görülmektedir. 19 °C sıcaklıkta basıncın sırası ile 400 bar ve 500 bar çıkarılması ile Ort.HK değerinin sırası ile % 0,120 ve % 0,098 oranlarında arttığı görülmektedir. 20°C sıcaklıkta basıncın sırası ile 400 bar ve 500 bar çıkarılması ile Ort.HK değerinin her ikisinde de % 0,158 oranında arttığı görülmektedir. 21°C sıcaklıkta basıncın sırası ile 400 bar ve 500 bar çıkarılması ile Ort.HK değerinin sırası ile % 0,060 ve % 0,082 oranlarında artma olmuştur. 22°C sıcaklıkta basıncın sırası ile 400 bar ve 500 bar çıkarılması ile Ort.HK değerinin sırası ile % 0,075 ve % 0,068 oranlarında artmaktadır.



Şekil 6.1. Yarı statik/yarı dinamik basınç üretici ile yapılan testlerde sıcaklık ve basınç değişimine bağlı Ort.HK değişimi

6.1.2. Dinamik Sistem Deneysel Sonuçları

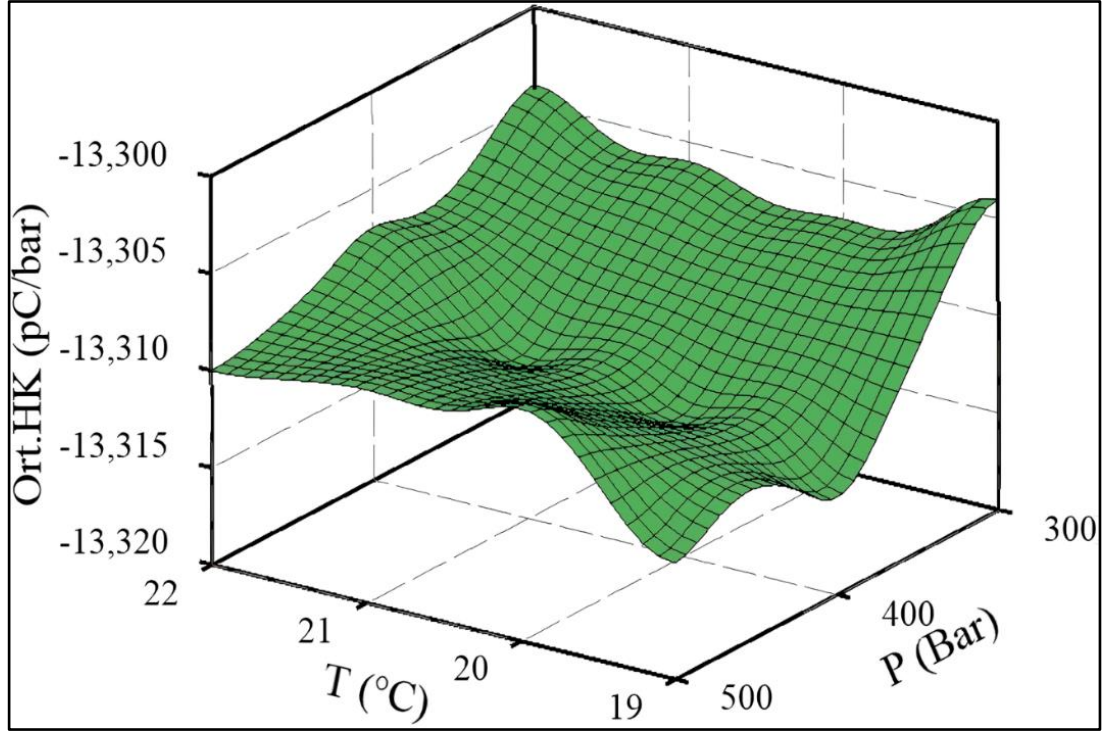
Dinamik sistem olarak kullanılan darbe üretici ile dört farklı sıcaklıkta ve üç farklı basınçta her deney kombinasyonu için yapılan 10 testler sonucu elde edilen hassasiyet

katsayıları ve 10 test sonuçlarına ait ortalama hassasiyet katsayıları (HK) Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Dinamik sistem olarak kullanılan darbe üretici ile sıcaklık ve basınç değişimine bağlı hassasiyet katsayısı değişim sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Basınç (Bar)	Ölçümler										Ort.HK (pC/bar)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
19	300	-13,32	-13,31	-13,3	-13,31	-13,3	-13,31	-13,3	-13,3	-13,3	-13,3	-13,29	-13,304
	400	-13,31	-13,32	-13,31	-13,32	-13,32	-13,31	-13,31	-13,32	-13,31	-13,32	-13,32	-13,315
	500	-13,3	-13,31	-13,31	-13,32	-13,32	-13,32	-13,31	-13,32	-13,31	-13,32	-13,32	-13,314
20	300	-13,32	-13,32	-13,31	-13,31	-13,31	-13,3	-13,3	-13,3	-13,3	-13,3	-13,3	-13,307
	400	-13,31	-13,31	-13,32	-13,32	-13,31	-13,31	-13,31	-13,32	-13,31	-13,31	-13,31	-13,313
	500	-13,31	-13,31	-13,32	-13,31	-13,3	-13,3	-13,31	-13,31	-13,31	-13,31	-13,3	-13,308
21	300	-13,32	-13,32	-13,31	-13,3	-13,31	-13,3	-13,3	-13,3	-13,3	-13,3	-13,3	-13,306
	400	-13,31	-13,31	-13,31	-13,32	-13,32	-13,31	-13,31	-13,31	-13,31	-13,31	-13,31	-13,312
	500	-13,31	-13,31	-13,3	-13,31	-13,31	-13,31	-13,31	-13,32	-13,31	-13,3	-13,309	
21	300	-13,32	-13,32	-13,31	-13,31	-13,3	-13,3	-13,29	-13,3	-13,29	-13,3	-13,304	
	400	-13,3	-13,31	-13,31	-13,31	-13,31	-13,31	-13,3	-13,31	-13,3	-13,31	-13,307	
	500	-13,31	-13,31	-13,32	-13,31	-13,31	-13,31	-13,31	-13,3	-13,31	-13,31	-13,310	

Dinamik basınç üretici ile yapılan testlerde sıcaklık ve basınç değişimine bağlı elde edilen Ort.HK değişim sonuçları Şekil 6.2’de verilmiştir. Şekil 6.2’e bakıldığında dinamik basınç üretici ile yapılan testlerde Ort.HK değişim -13,304 pC/bar ile -13,315 pC/bar arasında değiştiği görülmektedir. 300 bar basınç’ta ve 19°C sıcaklıkta Ort.HK -13,304 pC/bar ölçülmüştür. Aynı basınç değerinde sıcaklığın 20°C’ye çıkarılması ile Ort.HK -13,307 pC/bar olmuştur. Bu noktadan sonra sıcaklığın sırası ile 21°C ve 22°C çıkarılması ile Ort.HK değerlerinin sırası ile % 0,008 ve % 0,015 arttığı görülmektedir. 19 °C sıcaklıkta basıncın sırası ile 400 bar ve 500 bar çıkarılması ile Ort.HK değerinin sırası ile % 0,083 ve % 0,075 oranlarında azaldığı görülmektedir. 20°C sıcaklıkta basıncın sırası ile 400 bar ve 500 bar çıkarılması ile Ort.HK değerinin sırası ile % 0,045 ve % 0,008 oranında azaldığı görülmektedir. 21°C sıcaklıkta basıncın sırası ile 400 bara ve 500 bara çıkarılması ile Ort.HK değerinin sırası ile % 0,045 ve % 0,023 oranlarında azalma olmuştur. 22°C sıcaklıkta basıncın sırası ile 400 bar ve 500 bar çıkarılması ile Ort.HK değerinin sırası ile % 0,023 ve % 0,045 oranlarında azalmaktadır.



Şekil 6.2. Dinamik sistem olarak kullanılan darbe üretici ile yapılan testlerde sıcaklık ve basınç değişimine bağlı Ort.HK değişimi

6.1.3. Yarı Statik/Yarı Dinamik ile Dinamik Sistem Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Yarı statik/yarı dinamik basınç üretici sistem ile dinamik sistem olarak kullanılan darbe üretici sistem ile yapılan ölçümler sonucu elde edilen ortalama hassasiyet katsayıları (HK) Çizelge 6.3 verilmiştir. Genel olarak basınç ve sıcaklığa bağlı yapılan testlerde dinamik sistem olarak kullanılan darbe üretici sistem ile yapılan ölçümlerde ölçülen Ort. HK değerleri Yarı Statik/Yarı Dinamik basınç üretici sistem ile yapılan ölçümlerde ölçülen Ort. HK değerlerinden düşük ölçülmüştür.

Çizelge 6.3. Yarı statik/yarı dinamik basınç üretici ile dinamik sistem olarak kullanılan darbe üretici noktasal sıcaklık değerlerine göre Ort.HK değişimi.

Deney No.	Sıcaklık (°C)	Basınç (Bar)	YS-YDÖ Ort. HK (pC/bar)	DÖ Ort. HK (pC/bar)
1	19	300	-13,343	-13,304
2		400	-13,327	-13,315
3		500	-13,33	-13,314
4	20	300	-13,352	-13,307
5		400	-13,331	-13,313
6		500	-13,331	-13,308
7	21	300	-13,346	-13,306
8		400	-13,338	-13,312
9		500	-13,335	-13,309
10	21	300	-13,332	-13,304
11		400	-13,322	-13,307
12		500	-13,323	-13,310

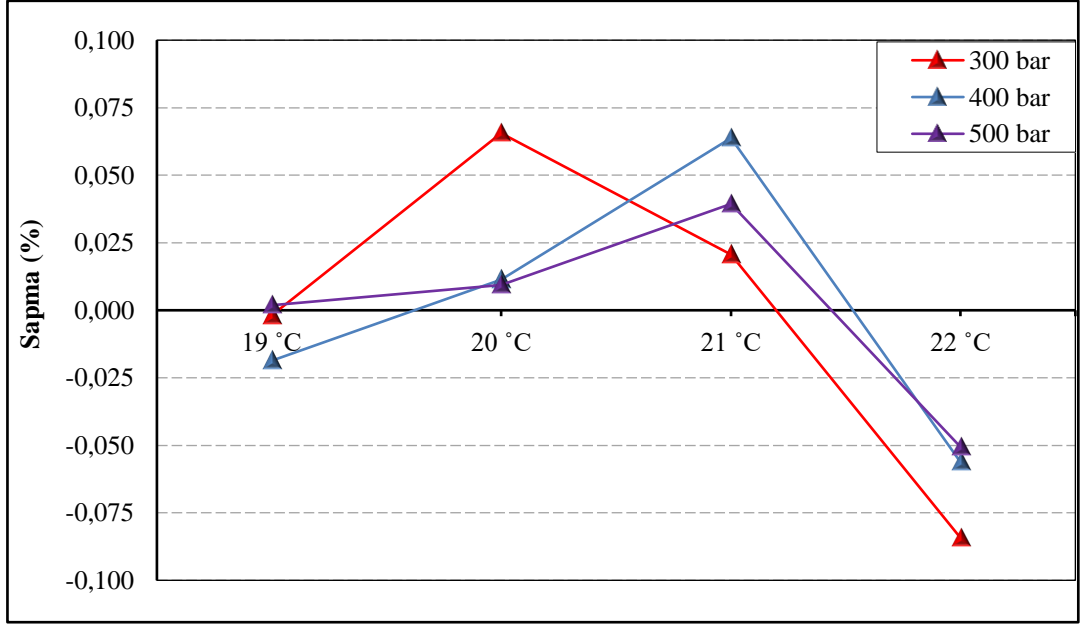
Yarı statik/yarı dinamik basınç üretici sistem ile dinamik sistem olarak kullanılan darbe üretici sistemleri ile yapılan ölçümlerde elde edilen sıcaklık aralığına göre Ort. HK ve noktasal sıcaklıktaki Ort. HK'nın sıcaklık aralığındaki Ort. HK'na göre % sapmaları sırası ile Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5'de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Sıcaklık aralığına göre Ort. HK.

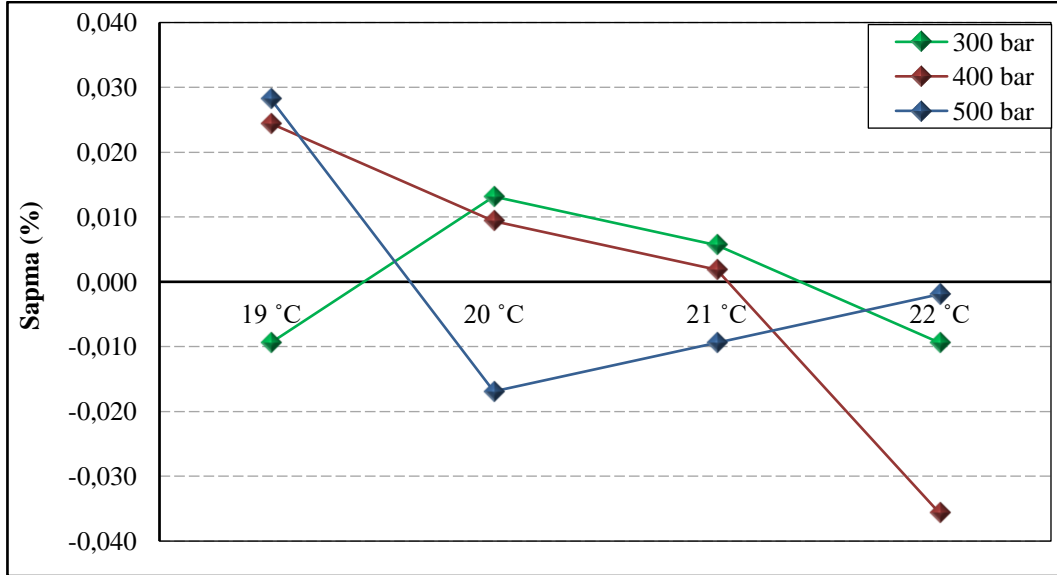
Sıcaklık (°C)	YS-YDÖ Ort. HK (pC/bar)			DÖ Ort. HK (pC/bar)		
	Basınç (Bar)					
	300	400	500	300	400	500
19°C ile 22°C arası	-13,343	-13,330	-13,330	-13,305	-13,312	-13,310

Çizelge 6.5. Noktasal sıcaklıktaki Ort. HK'nın sıcaklık aralığındaki Ort. HK'na göre % sapmaları.

Sıcaklık	YS-YDÖ Sapmalar %			DÖ Sapmalar %		
	300 bar	400 bar	500 bar	300 bar	400 bar	500 bar
19°C	-0,002	-0,019	0,002	-0,009	0,024	0,028
20°C	0,066	0,011	0,009	0,013	0,009	-0,017
21°C	0,021	0,064	0,039	0,006	0,002	-0,009
22°C	-0,084	-0,056	-0,051	-0,009	-0,036	-0,002



Şekil 6.3. Yarı statik/yarı dinamik ölçümlerde noktasal sıcaklıktaki Ort. HK'nın sıcaklık aralığındaki Ort. HK göre % sapmaları.



Şekil 6.4. Dinamik ölçümlerde noktasal sıcaklıktaki Ort. HK'nın sıcaklık aralığındaki Ort. HK göre % sapmaları

Yapılan ölçümler sonrası sıcaklığa dayalı karşılaştırmaların yanında deneyde kullanılan iki yöntemde karşılaştırmaya tabi tutulabilir. Bu açıdan iki yöntemin metot farklılığından kaynaklanan sapma oranları da aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.6. Noktasal Sıcaklıklara Göre YS-YDÖ ile DÖ arasındaki sapmalar.

Sıcaklık (°C)	YS-YDÖ Ort. HK (pC/bar)			DÖ Ort. HK (pC/bar)			YS-YDÖ'mün DÖ sonuçlarına göre sapmaları (%)		
	300 bar	400 bar	500 bar	300 bar	400 bar	500 bar	300 bar	400 bar	500 bar
19	-13,343	-13,327	-13,330	-13,304	-13,315	-13,314	0,29	0,09	0,12
20	-13,352	-13,331	-13,331	-13,307	-13,313	-13,308	0,34	0,14	0,17
21	-13,346	-13,338	-13,335	-13,306	-13,312	-13,309	0,30	0,20	0,20
22	-13,332	-13,322	-13,323	-13,304	-13,307	-13,310	0,21	0,11	0,10

Çizelge 6.7. 19°C ile 22°C'de YS-YDÖ ile DÖ arasındaki Ort. HK'nın sapmaları (%).

YS-YDÖ Ort. HK (pC/bar)	DÖ Ort. HK (pC/bar)			YS-YDÖ'mün DÖ sonuçlarına göre sapmaları (%)				
	400 bar	500 bar	300 bar	400 bar	500 bar	300 bar	400 bar	500 bar
300 bar								
-13,343	-13,330	-13,330	-13,305	-13,312	-13,310	0,29	0,13	0,15

6.2. DENEYLERDE TESPİT EDİLEN DURUMLARIN DEĞERLENDİRMESİ

Her iki cihaz ile aynı ortam şartlarında yapılan deneysel çalışmada sırasıyla hassasiyet katsayılarının ölçümü yapılmıştır. Deneysel çalışmada iki farklı yöntem kullanarak farklı ortam sıcaklıklarında yapılan ölçümler sonrası hassasiyet katsayılarının yöntemlerin kendi içerisinde değerlendirilmesi durumunda hesaplanan ortalama hassasiyet katsayısına göre yarı dinamik yöntemde sapmalarının relative olarak %0,1'i, dinamik yöntemde ise %0,05'i geçmediği gözlenmiştir. Sıcaklık noktaları referans olarak alınıp iki yöntemin aynı sıcaklık noktalarındaki hassasiyet katsayı ortalamaları değerlendirildiğinde relative sapmasının maksimum % 0,34 olarak hesaplanmıştır. Ölçüm yapılan 19°C ile 22°C arası sıcaklık aralığındaki genel ortalamaya göre de maksimum sapma relative olarak % 0,29 olarak hesaplanmıştır.

Burada etki sebebinin sistemlerin birinin yarı statik-yarı dinamik sistem diğerinin dinamik sistem olması fiziksel olarak ölçüm farkını ortaya çıkarmıştır. İki yöntemi metodolojik olarak bir değerlendirmeye tabi tutarsak ise % 0,29'lük farkın fiziksel olarak ölçüm farkından kaynaklandığı düşünülmektedir.

İki yöntem ortalama hassasiyet katsayılarına göre değerlendirirsek yöntemlerin kendi içinde hassasiyet katsayılarındaki dağılımı test sensörünün üretici firmasının belirttiği doğruluk düzeyinde olduğu görölmektedir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Yapılan tez çalışması ile yarı statik/yarı dinamik ve dinamik sistemlerle elde edilen sonuçlar detaylı olarak ele alınmıştır. Her iki ölçüm sistemi ile ölçülmek üzere referans ve test sensörü kullanılmıştır. Deney çalışmasında ölçüm sistemleri ortam sıcaklığının değişimi referans alınarak hassasiyet katsayılarındaki değişimi incelenmiştir. Yapılan deney çalışmaları ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Yarı statik/yarı dinamik sistemin dinamik sisteme göre çalışma prensibi ölçümün süresi, tekrarlanabilirliği, kurulum ve ölçüm kolaylığı açısından daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.
- Deney sonuçları incelendiğinde fiziksel ölçümlerdeki farklı yöntemlerin sonuçlara olan etkisi tespit edilmiştir.
- Deney sonuçlarından elde edilen veriler incelendiğinde sıcaklığın da ölçümlere önemli bir etkisinin olduğu görülmüştür.
- Deney sonucunda bulunan çıktıları bakıldığında, sıcaklığın değişimi arasındaki ilişki açısından iki yöntem karşılaştırılarak yarı statik/yarı dinamik yöntemde daha fazla olduğu gözlenmiştir.
- Deney çalışmalarının gerçekleştirilmesi esnasında dinamik sistemin tekrarlanabilir bir ölçüm sonucunun elde edilmesinde yarı statik/yarı dinamik sisteme göre daha dezavantajlı olduğu görülmüştür.
- Yarı statik/yarı dinamik sistemin ölçüm sonuçlarının verilerinin toplanması bakımından değerlendirildiğinde daha avantajlı olduğu görülmüştür.
- Yarı statik/yarı dinamik sistemin ölçümler alınırken yazılımın yardımı sebebiyle sonuçların değerlendirilmesinin dinamik sisteme göre daha avantajlı olduğu görülmüştür.

İki sistemin birbirleriyle yapısal olarak değerlendirilmesi açısından yarı statik/yarı dinamik sistemin dinamik sisteme göre daha güvenli olduğu tespit edilmiştir.

7.2. ÖNERİLER

Yarı statik/yarı dinamik sistemin dinamik sisteme göre ölçüm tekniği açısından daha avantajlı olduğu görülmüştür. Sistemsel açıdan yarı statik/yarı dinamik sistem daha avantajlı olsa da ölçümün fiziksel yeterliliklerini dinamik sisteme göre daha az karşıladığı görülmüştür. Sensör teknolojisi açısından her iki yönteme de uygun sensörle deneyler gerçekleştirildiğinden sadece dinamik olarak tasarlanan yada tepki hızı yarı static/yarı dinamik sistemin ölçüm çıktılarını okuyamayacağı kadar hızlı olan sensörlerde kullanımı yeterli olmayacaktır. Böyle bir durumda metodolojik açıdan dinamik bir yöntemin zorunluluğu ortaya çıkacaktır.

Dinamik yöntemlerle alakalı olarak araştırmacıların, kurum, kuruluş ve firmaların çalışmaları devam etse de ticari olarak geliştirilen az sayıda sistemin de ölçümün güvenilirliği açısından karşılaştırma yapılmasına yeterli olmaktan uzaktır. Hali hazırda dinamik sensörlerin üretimi ile ilgili standartlar mevcut olsada izlenebilirlik açısından çalışmalar devam etmektedir. Özellikle bu tip sensörlerin kalibrasyonu için referans alınacak bir standart olmaması da bu alandaki çalışmaları gerekli kılmaktadır. Bu kapsamda Avrupa Ulusal Metroloji Enstitüleri Birliği tarafından hem bilimsel olarak hem de ticari uygulamalar açısından sistemlerin tasarlanması, kalibrasyonlar için belirsizlik bütçelerinin oluşturulması için projeler başlatılmış ve devam etmektedir.

Bu çalışmanın devamı olarak ortam sıcaklığının etkilerinin ve yöntemler arası farkların sensörlerin kalibrasyonunda ve kullanımındaki etkilerinin sistemsel, sıcaklık aralığı ve fiziksel olarak daha geniş bir çapta incelemeleri yapılarak sensörlere olan etkileri incelenebilir ve birbirleri ile karşılaştırılabilir. Ölçüm yapılan sensörlerin ortam sıcaklığına göre karşılaştırılması açısından daha sık, geniş ve kararlı bir sıcaklık aralığı kullanarak elde edilen verilerin diğer çalışmalara referans olması sağlanabilir. Ayrıca çalışmada kullanılan piezoelektrik sensör tipi yerine daha farklı yapıdaki sensörlerle de bu çalışma yapılarak araştırma aralığı genişletilebilir.

KAYNAKLAR

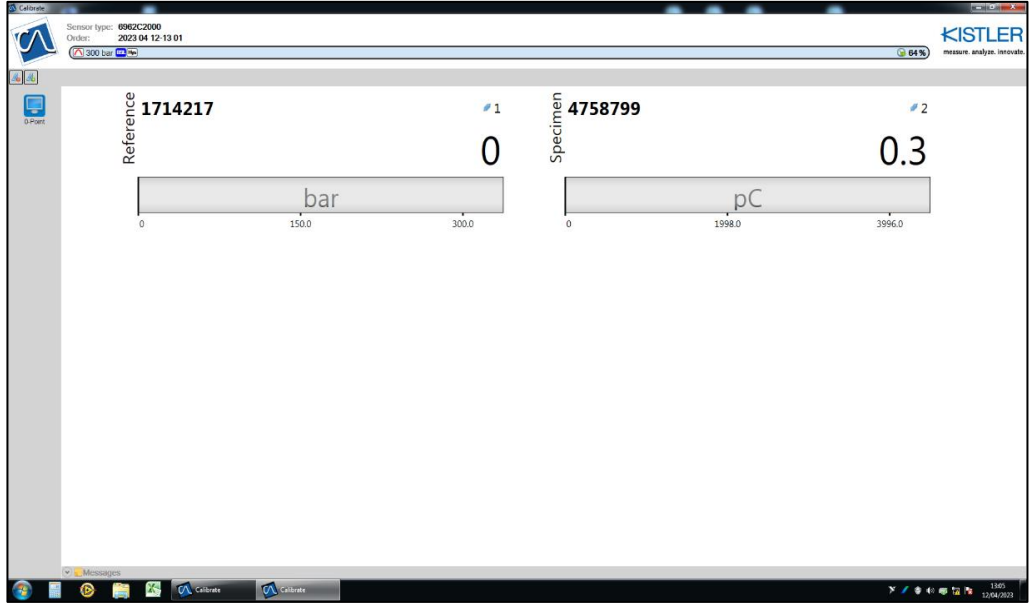
1. İnternet: TÜBİTAK UME, Kısaca Metroloji,3.baskı www.ume.tubitak.gov.tr,2008
2. TÜBİTAK UME “Metroloji Kitabı”, ISBN 978-975-403-731-9 (02/2013)
3. Durgut Y. “Dinamik basınç ölçüm standardının araştırılması ve geliştirilmesi”, *Doktora Tezi, Yeditepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2016).
4. Genceli O. “Ölçme Tekniği Kitabı”, (Birsen Yayınevi,2000)
5. İnternet: KİSTLER, “Test & Measurement Pressure”, https://kistler.cdn.celum.cloud/SAPCommerce_Download_original/960-695e.pdf
6. İnternet: PCB Piezotronics “Introduction to Air Blast Measurements-Part III TN-18” https://www.pcb.com/contentstore/MktgContent/Linkedddocuments/technotes/TN-18_1005_lowres.pdf
7. İnternet: “KİSTLER Pressure Sensor Calibration” <https://www.kistler.com/INT/en/pressure-sensor-calibration/C00000147>
8. ISA 37.16.01-2002. “A Guide for the Dynamic Calibration of Pressure Transducers”. *The Instrumentation, Systems and Automation Society*. North Carolina, 2002.
9. İnternet: PCB Piezotronics “Introduction to Air Blast Measurements - Part III- Technica Note-15” https://www.pcb.com/techsupport/docs/prs/tn-15-0205_dynamic_pressure_calibration.pdf
10. Hjelmgren J. “Dynamic Measurement of Pressure-A Literature Survey”, SP Report 2002:34, *SP Swedish National Testing and Research*, Boras, Sweden, (2002).
11. Bean, V. E., Bowers Jr, W. J., Hurst, W. S. and Rosasco, G. J., “Development of a Primary Standard for the Measurement of Dynamic Pressure and Temperature”, *Metrologia*, Vol. 30, 1993/94, pp. 747-750
12. Schweppe, J. L., Eichberger, L. C., Muster, D. F., Michaels, E. L. and Paskusz, G. F., “Methods for the Dynamic Calibration of Pressure Transducers“, *National Bureau of Standards Monograph 67*, 1963

13. Internet: Modalshop, "High Frequency Shock Tube", <https://www.modalshop.com/calibration/products/dynamic-pressure-sensor-calibration-systems/shock-tube>
14. Bean, V. E., "Dynamic Pressure Metrology", *Metrologia*, Vol. 30, 1993/94, pp. 737-741
15. Damion, J. P., "Means of Dynamic Calibration for Pressure Transducers", *Metrologia*, Vol. 30, 1993/94, pp. 743-746
16. P. M. Aronson and R. H. Waser. "Pressure - Pulse Generator for the Calibration of Pressure Gages". Naval Ordnance Laboratory Technical Report, pages 63-143, August 1963.
17. Lakka. A. and Saxholm S., "Drop-Weight System for Dynamic Pressure Calibration" *EMRP project IND09 European Union on the basis of Decision No 912/2009/EC, Finland* (2009)
18. Razak S., Damion J.P and Hsouna N.B. "Dynamic Pressure Calibration" *XXI IMEKO World Congress, Prague*, (2014).
19. D. Alberto, O. Alessandro, J. S.Vianna and J.R. Neves "Dynamic Calibration Methods For Pressure Sensors and Development of Standard Devices For Dynamic Pressure", *XVIII IMEKO WORLD CONGRESS*, Rio de Janeiro, Brazil (2006)
20. Wang Z., Li Q., Wang Z. and Yan H. "Novel Method for Processing the Dynamic Calibration Signal of Pressure Sensor" Academic Editor: Vittorio M.N. Passaro, *Sensors* (2015) ,15,17748-17766; doi:10.3390/s150717748
21. Melaaen S. A. ., "Calibration and uncertainty analysis of pressure sensors used for dynamic measurements", *Norwegian University of Science and Technology Department of Energy and Process Engineering*, Norway (2017).
22. Bartoli C., Beug M. F., Bruns T., Elster C., Esward T., Klaus L., Knott A., Kobusch M., Saxholm S. and Schlegel. C. "Traceable Dynamic Measurement of Mechanical Quantities: Objectives and First Results of this European Project". *XX. IMEKO World Congress Metrology for Green Growth, Busan, Republic of Korea*, (2012)
23. F. R. F. Theodoro, M. L.C.C. Reis, C. A. Souto and E. Barros "Dynamic Calibration of Pressure Transducers Employed in The Aerospace Sector" **22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013) Brazil**, (2013)

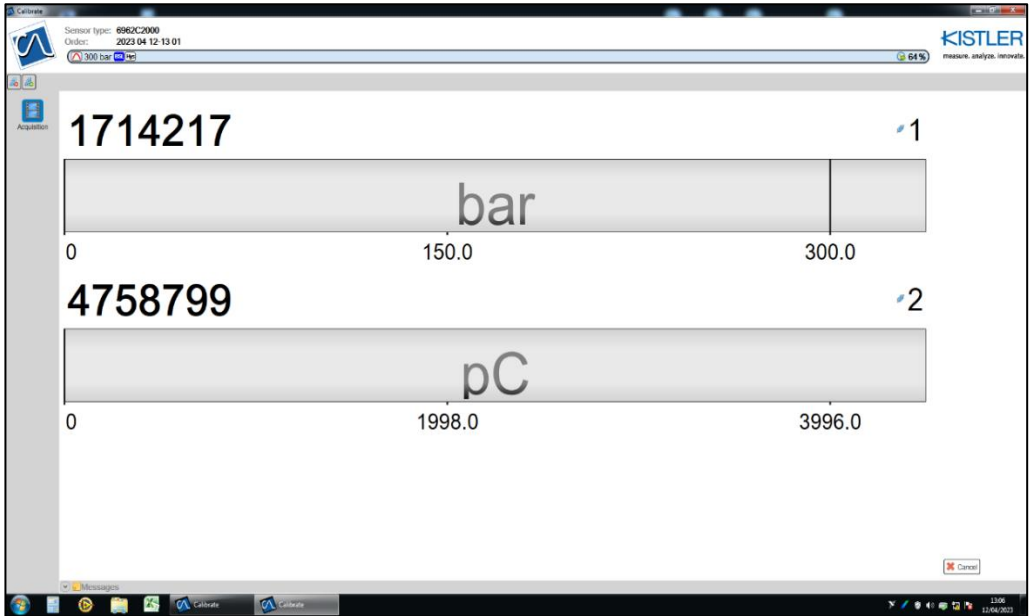
24. Elkarous L., Robbe C., Pirlot M. and Golinval J.P. “Dynamic Calibration of Piezoelectric Transducers for Ballistic High-Pressure Measurement”, *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, EDP Sciences, 10.1051/ijmqe/2016004 (2016)
25. Nilsson M. “Dynamic calibration of Pressure Sensors”, Yüksek Lisans Tezi, **Lund University**, Sweden, (2016)
26. Küçük O., Durgut Y., Özal A.S., Tosun İ, Aydemir B. ve Özgen D. “Applications and Calibrations of Pencil Probes”, **9th International Workshop on Analysis of Dynamic Measurements, PTB, Berlin** (2016)
27. Durgut Y., Bilgiç E., Akşahin E., Küçük O., Özal A.S., Bağcı E. ve Uslukılıç U. “Dynamic Pressure Measurement System at UME” **9th International Workshop on Analysis of Dynamic Measurements, PTB, Berlin** (2016)
28. Durgut Y., Aydemir B., Bağcı E., Akşahin E., İnce A. T. ve Uslukılıç U. “Development of Dynamic Calibration Machine for Pressure Transducers” **XXII World Congress of the International Measurement Confederation**, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1065 (2018)
29. Bean V.E and Rosasco G. J. “NIST Workshop on the Measurement of Transient Pressure and Temperature” **Proceedings, NISTIR-4828**, April 23-24, 1991.
30. ANSI B88.1-1972. “A Guide for the Dynamic Calibration of Pressure Transducers”. **The American Society of Mechanical Engineers**, New York, USA, 1972

EK AÇIKLAMALAR A.

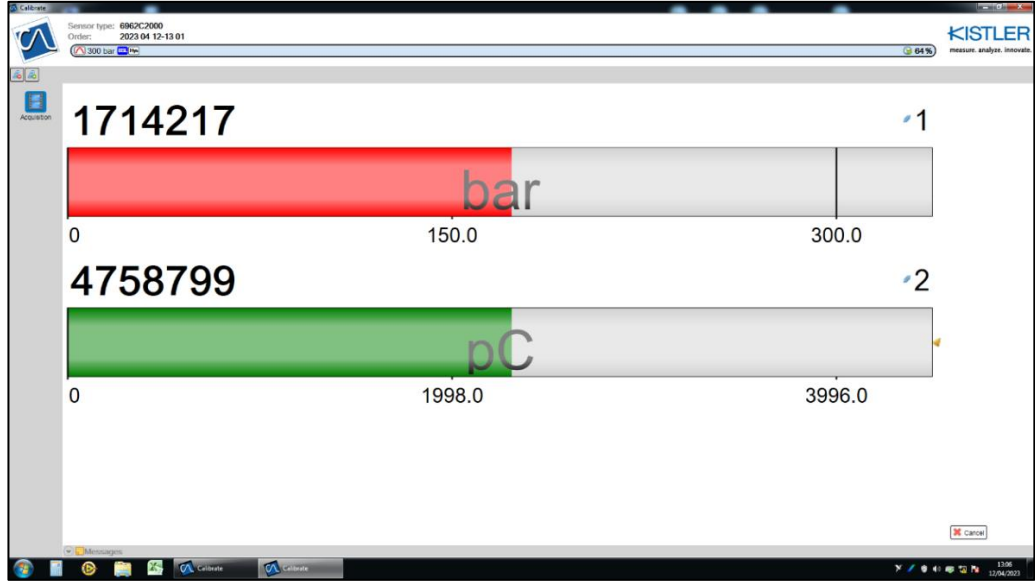
KİSTLER CALİBRATE YAZILIMI UYGULAMA GÖRÜNTÜLERİ



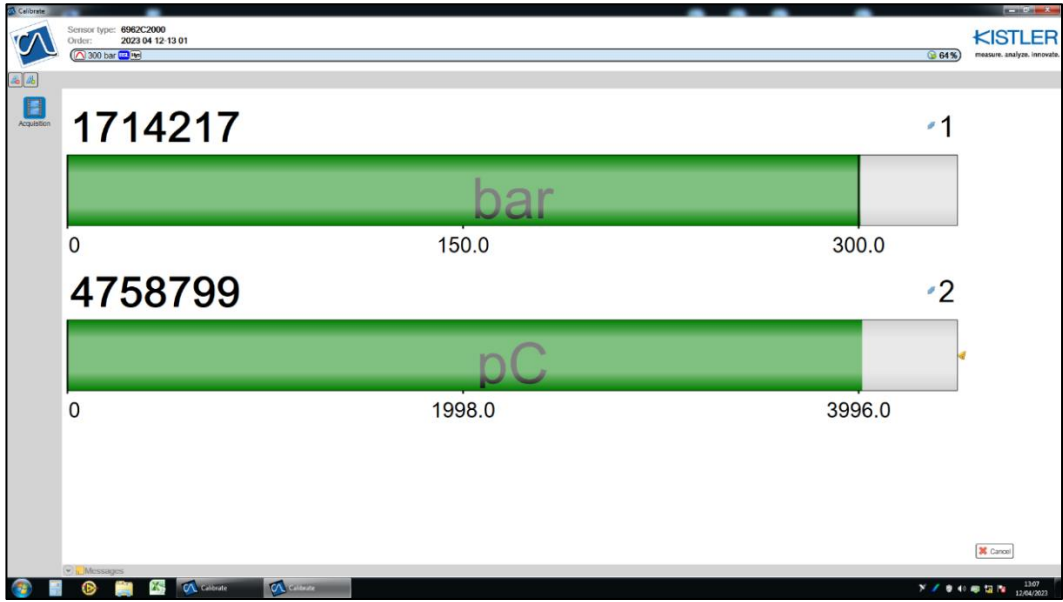
Şekil Ek A.1.Yazılımda tanımlanan referans ve test sensörü.



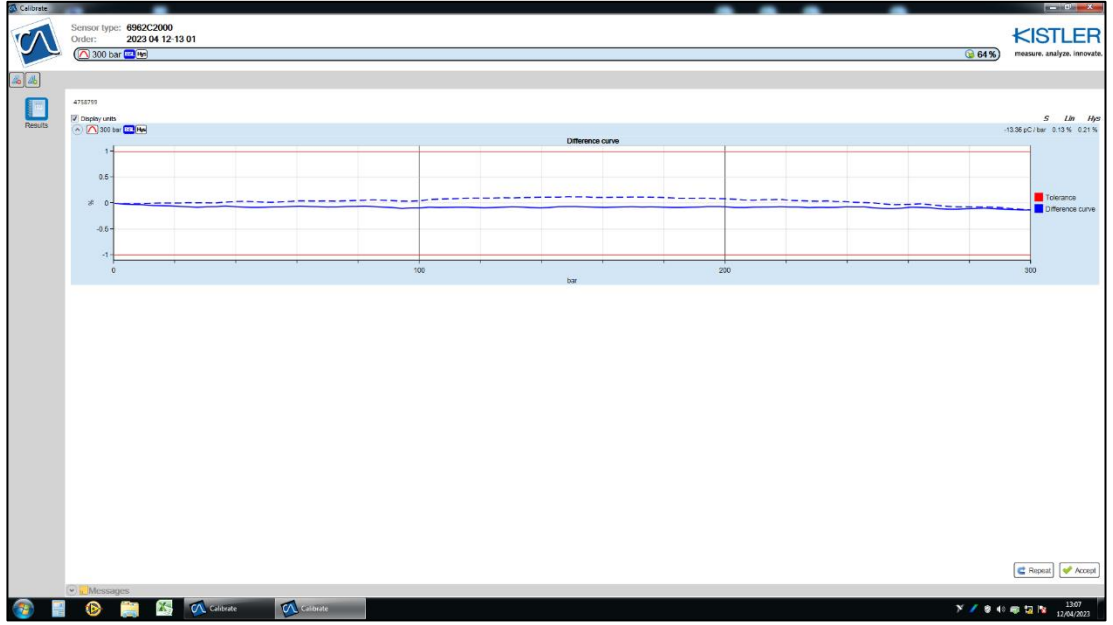
Şekil Ek A.2.Uygulanacak basınç Sürecinin izlendiği ekran görüntüsü.



Şekil Ek A.3. Referans ve Test Sensörüne uygulanan Anlık Basınç Görüntüsü.



Şekil Ek A.4. Referans ve Test Sensörüne uygulanan Maksimum Basınç



Şekil Ek A.5. Test Sensörüne ait ölçüm sonrası sonuç sayfası

EK AÇIKLAMALAR B.

SERBEST DÜŞME SİSTEMİ KURULUMU



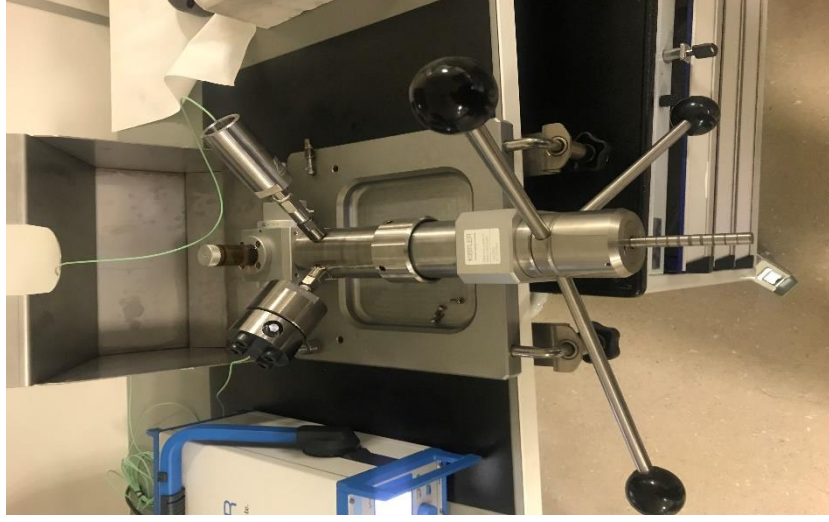
Şekil Ek B.1. Sensörlerin Serbest Düşme Cihazına Bağlantısı.



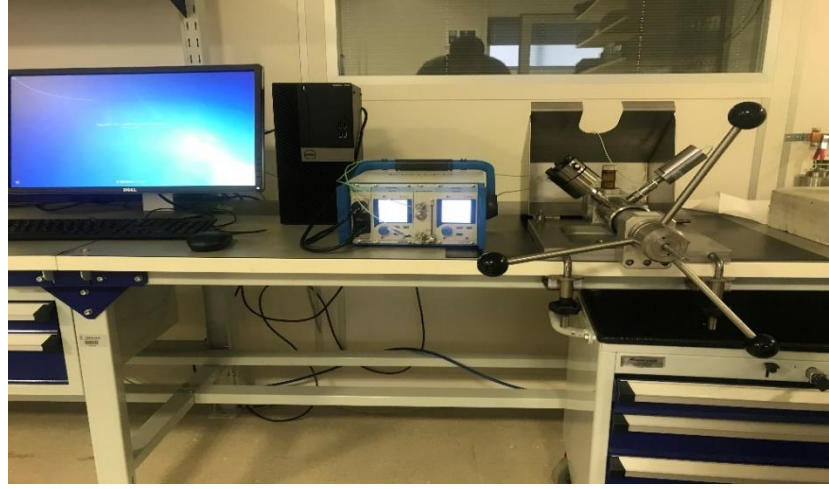
Şekil Ek B.2. Sistemin kütle atımına hazır hale getirilmesi.

EK AÇIKLAMALAR C.

YARI DİNAMİK SİSTEMİN KURULUMU



Şekil Ek C.1 Sensörlerin Sisteme Bağlanması.



Şekil Ek C.2 Sensörlerin ve Yazılımın Ölçüme Hazır Hale Getirilmesi.

EK AÇIKLAMALAR D

ORTAM SICAKLIKLARININ KAYIDI



Şekil Ek D.1. Ortam Sıcaklığının Ölçülmesi.

EK AÇIKLAMALAR E.

SENSÖRLERİN KALİBRASYON SERTİFİKALARI

Tablo 1. Kalibrasyon Sonuçları

p_{nominal} (bar)	Test (pC/bar)	Duyarlılık Katsayısı (pC/bar)	Sapma (%)	Belirsizlik (%)
125	301,88	2,414	-0,027	0,15
250	603,75	2,412	-0,105	0,15
500	1207,50	2,412	-0,110	0,15
1000	2415,00	2,412	-0,118	0,15
1500	3622,50	2,413	-0,076	0,15
2000	4830,00	2,413	-0,085	0,15
2500	6037,50	2,414	-0,043	0,15
3000	7245,00	2,416	0,049	0,15
3500	8452,50	2,416	0,040	0,15
4000	9660,00	2,418	0,133	0,15
4500	10867,50	2,418	0,124	0,15
5000	12075,00	2,415	0,015	0,15

Şekil Ek E.1. 6229AK Model Sensörün Kalibrasyon Sonuçları.

Tablo 1. Kalibrasyon Sonuçları

Pref bar	Modellenmiş Basınç bar	Hata Değeri bar	Test Çıkışı pC	S pC/bar	S ₀ pC/bar	Belirsizlik bar
10,50	10,45	-0,05	139	13,28	13,34	0,02
20,72	20,62	-0,10	275	13,27		0,03
35,86	35,71	-0,15	476	13,28		0,06
71,00	70,63	-0,36	942	13,27		0,11
141,05	140,69	-0,36	1876	13,30		0,23
201,10	200,68	-0,42	2676	13,31		0,32
351,22	350,57	-0,65	4675	13,31		0,56
701,56	700,34	-1,22	9340	13,31		1,12
1001,84	1000,27	-1,56	13340	13,32		1,60
1402,39	1404,43	2,04	18730	13,36		2,24

Şekil Ek E.2. 6262C200 Model Sensör Kalibrasyon Sonuçları.

EK AÇIKLAMALAR F.

DATASHEETLER

Calibrator

Type 5959A...

2-channel calibration system

Portable signal conditioning system for the calibration of piezoelectric sensors.

- Charge inputs for piezoelectric sensors
- Voltage input for measurement chains and piezotron
- Integrated data acquisition
- Incl. Kistler's Calibrate software

Description

The calibrator consists of two Type 5015 charge amplifiers and a data acquisition system, assembled together with Kistler's Calibrate calibration software suite. It forms the backbone of calibration systems for piezoelectric pressure and force sensors.

Application

Calibration systems built around the Type 5959A... are used in all areas where piezoelectric sensors need to be calibrated on-site or in a customer-site calibration laboratory.

Such a calibration system typically consists of the calibrator, a pressure (or force) generator, a reference sensor and the Unit Under Test (UUT) i.e. the sensor to be calibrated. An example of such a system is shown in Fig. 1, which depicts a calibration system for piezoelectric pressure sensors with a Type 5959A... Calibrator in combination with a Type 6904A1 pressure generator and a reference sensor Type 6961C.

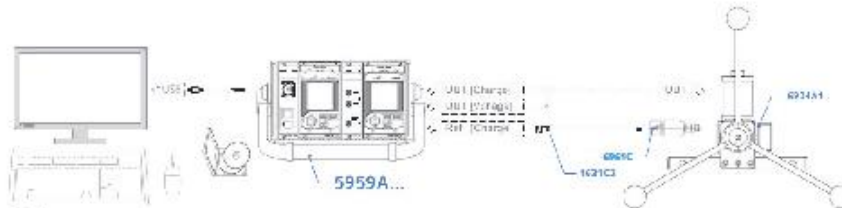


Technical data

Calibrator Type 5959A... with Calibrate

Input signals	Reference	Charge
	UUT	Charge or voltage
Input range	Reference	pC ±2 ... 2,200,000
	UUT	pC ±2 ... 2,200,000
	V	±0 ... 10
Sensor connections		BNC neg.
Number of UUT		1
ADC resolution	bit	16
ADC sampling rate	kHz	400
Supply voltage	V~	110/230
PC interface		USB
Dimensions	mm	235x135x420
PC requirements		Windows 10
Calibration procedures		Continuous
		Step-wise

5959A_003-041 E-09_20



PC or Laptop
Operating system: Windows 10
Serial interface: 1 x USB

Fig. 1: Typical pressure calibration system

Calibrate software

The Type 5959A... with Kistler's calibrate software suite is a comprehensive tool for the calibration of piezoelectric pressure and single component force sensors. The system is also well suited to calibrate most measurement chains and transmitters with a high level output (0 ... 10 V), such as joining modules and force transmitters.

Calibration procedures, typical sensor properties and tolerances are defined and managed in so-called type definitions. The type definition also describes the calibration procedure, ranges, and the documentation of calibration results in a calibration certificate.

Quasi-static calibration

The 5959A... is ideally suited to quasi-static calibration procedures as typically used for piezoelectric pressure and force sensors. The system accommodates so-called continuous and step-wise quasi-static calibration procedures:

- **Continuous calibration procedure:**
The output of the UUT is compared with that of a reference sensor, while continuously ramping the load from 0 to full scale and back. (Fig. 2)
- **Stepwise calibration procedure:**
The output of the UUT is taken at discrete steps, spanning the calibration range. The magnitude at each step is derived from direct loading or measured with a reference sensor. (Fig. 3)

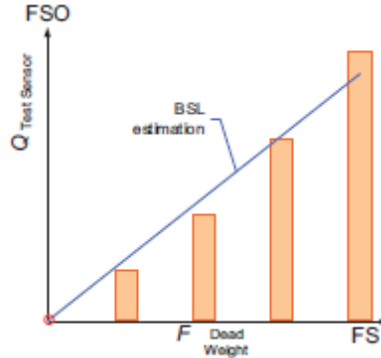


Fig. 3: Step-wise calibration

- Included accessories**
- Calibrate software for Windows 10
 - USB cable (2 m)
 - Power cable (1 m)

Type/Art. No.
Z18906A-01-0
-
-

- Optional accessories**
- Carry case

Type/Art. No.
Z21014-0083

Ordering key

Version	
230 V	1000
115 V	1010



5959A_003-041 e-09.20

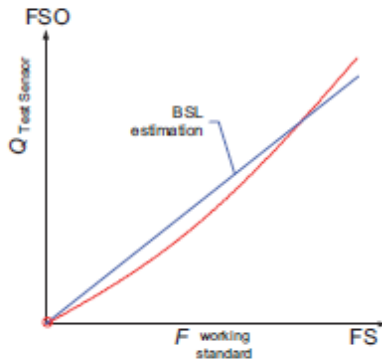


Fig. 2: Continuous calibration

Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation.

Şekil Ek F.1. KİSTLER 5959A Teknik Özellikleri.

Pressure



Pressure Pulse Generator

High pressure function testing

Type 6909A

Pressure generator for function testing of pressure sensors. Optimal for testing sensors in high speed dynamic environments up to 5 000 bar.

- High speed pulse generation
- Peak pressure 25 ... 5 000 bar
- Adaptive mounting with Type 6931A

Description

The pressure pulse is generated by a falling weight acting upon a specifically designed tappet. The pressure chamber is filled with calibration fluid and designed for identical pressure transients acting on the unit under test and the working standard. For simple use, a separate weight for the lower pressures (25 to 500 bar) and higher pressures (up to 5 000 bar) is provided.

Application

Type 6909A pressure pulse generator is optimal for function testing pressure sensors that are used in high speed dynamics and generally all fields of application with highly dynamic signals. For sensors that are subject to high loads and frequent overload conditions this tool enables application specific testing to ensure proper measurements without the need for elaborate calibrations.

Mounting

Multiple adapters of the Type 6931A are available to accommodate the unit under test. The sensor to be tested may then be mounted according to its datasheet.

Optional accessories

	Type/Mat. No.
Adapter M12x1/M10x1 shoulder seal	6931A1/18006807
Adapter M12x1/M10x1 front seal	6931A2/18006808
Adapter M12x1/M12x1	6931A3/18006809
Adapter M14x1.25/M14x1,25	6931A4/18006810
Adapter M14x1.25/M10x1	6931A5/18006811
Adapter M10x1/M10x1	6931A6/18006812
Adapter M12x1/M7x0.75 D63.5x27	6931A7/18033741
Adapter M12x1/M10x1 D63.5x27	6931A8/18036713
Adapter M12x1/3/8-24UNF D63.5x27	6931A9/18036714



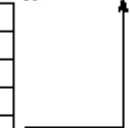
Technical data

Range	bar	25 ... 5 000
Recommended calibration fluid		Kistler Type 1053
Space for operation (h x l x w)	m	1,1 x 1,1 x 0,25
Number of units under test		1
Weight	kg	22

Ordering key

Inkl. Adapter Type 6931A1	01
Inkl. Adapter Type 6931A2	02
Inkl. Adapter Type 6931A3	03
Inkl. Adapter Type 6931A4	04
Inkl. Adapter Type 6931A5	05
Inkl. Adapter Type 6931A6	06
Inkl. Adapter Type 6931A7	07
Inkl. Adapter Type 6931A8	08
Inkl. Adapter Type 6931A9	09

Type 6909A



6909A_003-595e-11_20

Seite 1/1

This information corresponds to the current state of knowledge. Kistler reserves the right to make technical changes. Liability for consequential damage resulting from the use of Kistler products is excluded.

© 2020 Kistler Group, Eulachstraße 22, 8408 Winterthur, Switzerland
Tel. +41 52 224 11 11, info@kistler.com, www.kistler.com. Kistler Group products are protected by various intellectual property rights. For more details visit www.kistler.com.

Şekil Ek F.2. KİSTLER 6909 Teknik Özellikleri.

Hydraulic High-Pressure Generator

Type 6906

Portable pressure generator for calibrating pressure sensors ranging from 500 to 10 000 bar. In combination with the reference sensors and evaluating devices offered by Kistler, a complete calibration system can be assembled for calibrating piezoelectric pressure sensors.

The hydraulic pressure generator makes it possible to generate extremely high pressures of up to 10 000 bar. The pressure created can be maintained over a long period of time. For safety reasons, the pressure generator is provided with a swivelling safety hood.

- For pressures up to 10 000 bar
- With swivelling safety hood
- Highly stable pressure



6906_000-360e-12_20

Technical data

Range	bar	0 ... 10 000
Piston diameter	mm	6
Piston stroke	mm	7.6
Stroke per spindle rotation	mm	1.75
Swept volume	cm ³	2.14
Pressure transmission	Oil	Typ 1053
Oil reservoir	cm ³	22
Weight	kg	15
Sensor connections (for adapter 69...)		2 x M10x1
Pressure loss	bar/min	a 0

(Depending on the volume of air enclosed, the pressure drops slightly before it stabilizes)

Description

Spindle rotation can generate a pressure of up to 10 000 bar, and the pressure created can be maintained for up to five minutes. Depending on the volume of air enclosed, the pressure drops slightly at the start. A swivelling safety hood ensures optimum protection for the user without restricting operation of the pressure generator.

Application

The pressure generator is used for the testing or comparative calibration of dynamically measuring high-pressure sensors. It is possible to maintain the pressure generated over a period of up to 5 minutes (e.g. for calibrating a measuring chain).

Operation

The high-pressure generator can be fixed to a workbench with screws, or with the screw clamps provided. The reference sensor and the sensor to be tested are installed using an adapter (see accessories). The piston is then retracted so that oil is drawn from the oil reservoir.

After the piston has been fully retracted, the valve to the oil reservoir is closed and the safety hood swivelled over the sensors. The piston is now moved forward with the spindle until the required pressure is obtained.

Seite 1/2

This information corresponds to the current state of knowledge. Kistler reserves the right to make technical changes. Liability for consequential damage resulting from the use of Kistler products is excluded.

© 2001 ... 2020 Kistler Group, Eulachstraße 22, 8408 Winterthur, Switzerland
Tel. +41 52 224 1111, info@kistler.com, www.kistler.com. Kistler Group products are protected by various intellectual property rights. For more details visit www.kistler.com.

Reference sensors

Sensors which are used as a reference for a comparison measurement must be checked by means of a standard of a higher category within defined time intervals.

Types 6962B.../6963A...

These types consist of a pressure sensor which is mounted into a special calibrating adapter and which has been calibrated and sealed by an accredited calibrating authority (SCS). The type is approved by all national calibrating laboratories and is especially used as a reference standard.

Type 6229AK

The sensor has an excellent linearity of $\leq \pm 0,3\%$. The remaining technical data correspond to the standard type. The sensor is used together with the corresponding adapter as a working standard.

Important:

Prior to operating, the reference sensor Type 6229AK must be calibrated as a unit together with the adapter in order to rule out sensitivity changes due to mounting. We recommend to order the reference sensors together with the corresponding adapters so that they can be calibrated as a unit at Kistler.

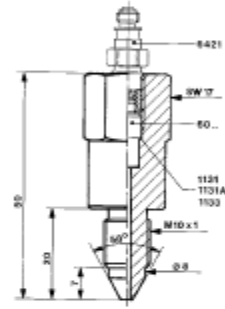
Pressure range	Sensor Type
0 ... 5 000 bar	6229AK
0 ... 8 000 bar	6963AB000
0 ... 2 000 bar	6962B2000

Sensor Type	Tightening torque
6213B	40 N-m
6215	20 N-m
6963AB000	10 N-m
6962B2000	10 N-m

Adapters

Adapters are available for all Kistler pressure sensors which are suitable for calibration with the pressure generator.

All adapters with conical sealings (e.g. 6919) must be tightened exclusively with the specified torque of 10 N-m. For higher tightening torques the sealing part may be damaged. For sealing of the sensor in the adapter the original sealing ring appertaining to the sensor must be used.



Type 6919

Adapter Type	Pressure Sensor Type
6919	60..., 4065A...
6921	6201..., 6211, 6227
6923	6213BK, 6213B
6925	6215, 6229AK, 6229A, 4067A...
7913	70...

For the adapters Type 6919 and Type 7913 the corresponding connecting nipple must be ordered separately.

Şekil Ek F.3. KİSTLER 6906 Teknik Özellikleri.

Quarz-Hochdrucksensor
Capteur de haute pression à quartz
Quartz High-Pressure Sensor

6229A

Frontdichtender Hochdrucksensor, speziell geeignet für Druckmessungen an hydraulischen Systemen, z.B. Brennstoff-Einspritzpumpen von Dieselmotoren.

Capteur de haute pression à étanchéité frontale pour mesures de pressions dans systèmes hydrauliques, p.ex. pompes d'injection de carburant pour moteurs Diesel.

Front sealing high-pressure sensor especially for pressure measurements in hydraulic systems, e.g. fuel injection pumps of Diesel engines.

Durch die patentierte Anti-Strain-Konstruktion unempfindlich gegen unterschiedliche Anzugsmomente und Einbaubedingungen. Der Sensor zeichnet sich durch eine gute Linearität, eine extrem hohe Lebensdauer und durch eine gute Langzeitstabilität aus.

Grâce à la construction brevetée "Anti-Strain", le capteur est insensible aux couples de serrage différents et aux conditions de montage. Il se distingue par sa bonne linéarité, une durée de service extrêmement grande et une bonne stabilité à long terme.

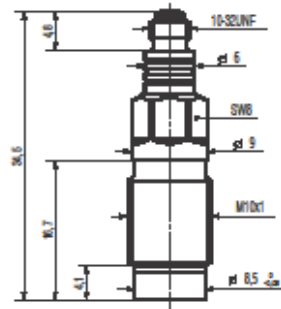
Thanks to patented Anti-Strain construction, the sensor is not critical to different tightening torques and mounting conditions. It excels by its good linearity, an extremely long lifetime and a good long-time stability.

Dank hervorragender Messeigenschaften bestens geeignet für das Messen relativ geringer Drücke von einigen hundert bar.

A cause de ses excellentes propriétés, ce capteur est avantageusement utilisé pour mesurer des pressions relativement basses de quelques centaines de bar.

Due to its excellent measuring properties, this sensor is advantageously used for measuring relatively low pressures of several hundred bar.

- Hohe Eigenfrequenz
Fréquence propre élevée
Built-in temperature compensation
- Lange Lebensdauer >10⁷ Zyklen (bei 3000 bar)
Durée de service prolongée >10⁷ cycles (à 3000 bar)
Long life >10⁷ cycles (at 3000 bar)
- Auch mit eingebautem Impedanzwandler erhältlich
Disponible aussi avec convertisseur d'impédance incorporé
Available with built-in ated impedance converter, too



Technische Daten

Données techniques

Technical Data*

Technische Daten	Données techniques	Technical Data*		
Bereich	Gamme	Range	bar	0 ... 5000
Kalibrierter Teilbereich	Gamme partielle étalonnée	Calibrated partial range	bar	0 ... 500
Überlast	surcharge	Overload	bar	6000
Empfindlichkeit	sensibilité	Sensitivity	pC/bar	-2,5
Eigenfrequenz	Fréquence propre	Natural frequency	kHz	>200
Anstiegszeit	Temps de montée	Rise time	µs	1
Linearität	Linéarité	Linearity	% FSO	±1
für alle Bereiche	pour toutes les gammes	for all ranges		
Beschleunigungsempfindlichkeit	Sensibilité aux accélérations	Acceleration sensitivity	bar/g	<0,004
axial	axiale	axial	bar/g	<0,01
normal zur Achse	normale à l'axe	transverse		
Stoßfestigkeit	Résistance au choc	Shock resistance	g	10'000
axial	axiale	axial	g	5'000
normal zur Achse	normale à l'axe	transverse		
Temperaturkoeffizient der Empfindlichkeit	Coefficient de température de la sensibilité	Temperature coefficient of sensitivity	% / °C	+ 0,02
Betriebstemperaturbereich	Gamme de température d'utilisation	Operating temperature range	°C	-50 ... 200
Kapazität	Capacité	Capacitance	pF	≈8
Isolationswiderstand bei 20 °C	Résistance d'isolement à 20 °C	Insulation resistance at 20 °C	TΩ	50
Anzugsmoment	Couple de serrage	Tightening torque	Nm	20
Gewicht	Poids	Weight	g	12
Lebensdauer (Anzahl Lastwechsel 0 ... 3000 bar)	Durée de service (nombre de sollicitations 0 ... 3000 bar)	Service life (number of load cycles 0 ... 3000 bar)		>10 ⁷

1 bar = 10⁵ Pa (Pascal) = 10⁵ N · m⁻² = 1,0197 ... at = 14,503 ... psi; 1 g = 9,80665 m · s⁻²; 1 Nm = 0,73756 ... lbf·ft; 1 g = 0,03527 ... oz

* In all Kistler documents, the decimal sign is a comma on the line (ISO 31-0:1992).

000-044-m-11-97 (DB 03.62.29/m)

Beschreibung

Die Frontdichtung stellt gegenüber der bisher verwendeten Schulterdichtung eine erhebliche technische Verbesserung dar. Die wichtigsten Vorteile der Frontdichtung sind eine wesentlich geringere mechanische Belastung des Sensors, kein Einbauspalt (kleines Totvolumen) und eine stark reduzierte Flächenpressung in der Dichtpartie.

Anwendung

Druckmessung an hydraulischen Hochdrucksystemen, z.B. Brennstoff-Einspritzpumpen von Dieselmotoren.

Montage

Zur Montage benötigt ein Gewindeloeh M10x1 mit präzise bearbeiteter und mittels Reibwerkzeug Typ 1300A25 nachgeriebener Dichtfläche (Fig. 1).

Ein spezieller Adapter Typ 6533A... ermöglicht die direkte Montage an eine angebohrte Einspritzleitung (siehe Fig. 2).

Für die Montage ist unbedingt die Betriebsanleitung B3.6229 zu beachten.

Zubehör

Zubehör	Type
• Dichtung	1100
• Verschlussstück	6449
• Adapter zu Druckgenerator 6905A	6925
• Bridenadapter	6533A...

Kabel: siehe Datenblatt 15.011
Bridenadapter: siehe Datenblatt 4.015

Montagezubehör

Montagezubehör	Type
• Spezialbohrer	1327
• Gewindbohrer M10x1	1353
• Reibwerkzeug	1300A25
• Drehmomentschlüssel	1300A11
• Maulkeinsatz	1300A29
• Steckschlüssel SW 8 (nur notwendig bei Tieflochmontage)	1300B41

Description

Comparée à l'étanchéification sur épaulement utilisée jusqu'ici, l'étanchéification frontale représente une amélioration technique importante. Les avantages principaux qui en résultent sont une sollicitation mécanique considérablement réduite du capteur, pas de fente de montage (volume mort réduit) et une pression superficielle fortement réduite dans la partie d'étanchéification.

Application

Mesure de pressions dans systèmes hydrauliques à haute pression, tels que pompes d'injection de carburant pour moteurs Diesel.

Montage

Un seul taraudage M10x1 avec surface de joint usinée avec précision avec l'outil à plan dresser Type 1300A25 suffit pour la fixation du capteur (fig. 1).

Un adaptateur spécial type 6533A... permet le montage direct sur un conduit d'injection (voir fig. 2).

Lors du montage la Notice d'emploi B3.6229 doit être consultée.

Accessoires

Accessoires	Type
• Joint d'étanchéité	1100
• Obturateur	6449
• Adaptateur pour générateur de pression 6905A	6925
• Adaptateur à bride	6533A...

Câble: voir notice technique 15.011
Adaptateur à bride: voir notice technique 4.015

Accessoires de montage

Accessoires de montage	Type
• Meche spéciale	1327
• Taraud M10x1	1353
• Outil à plan dresser	1300A25
• Clé dynamométrique	1300A11
• Fourche Insert	1300A29
• Clé à douille à ouverture 8 mm (seulement pour le montage dans des Alésages profonds)	1300B41

Description

Compared to the shoulder sealing used so far, the front sealing technically improves the sensor considerably. The resulting main advantages are a considerably lower mechanical stress of the sensor, no mounting gap (small dead volume) and a largely reduced surface pressure in the sealing part.

Application

Pressure measurements in hydraulic high pressure systems, e.g. fuel injection pumps of Diesel engines.

Mounting

To mount the sensor, a threaded hole M10x1 with accurately machined contact face which has been treated with a surface finishing tool Type 1300A25 is sufficient (Fig. 1).

A special adaptor Type 6533A... allows the direct mounting onto a spot drilled injection (see Fig. 2).

For the mounting procedure the Operating Instructions B3.6229 must be observed.

Accessories

Accessories	Type
• Sealing joint	1100
• Locking tappet	6449
• Adapter to pressure generator 6905A	6925
• Clamp adaptor	6533A...

Cable: see data sheet 15.011
Clamp adaptor: see data sheet 4.015

Mounting Accessories

Mounting Accessories	Type
• Special drilling tool	1327
• Screw tap M10x1	1353
• Surface finishing tool	1300A25
• Torque wrench	1300A11
• Fork wrench insert	1300A29
• Tubular socket wrench hex. 8 mm (only for mounting in deep holes)	1300B41

000-0444m-11.97 (D1803.6229Am)

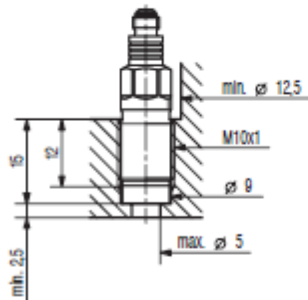


Fig. 1

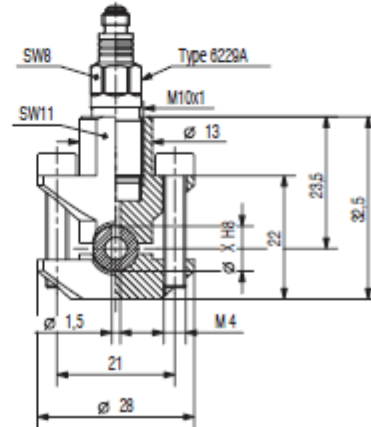


Fig. 2

Kistler Instrumente AG Wilmshur, CH-8408 Wilmshur, Switzerland, Tel. (052) 224 11 11 Kistler Instrument Corp., Amherst, NY 14226-2171, USA, Phone (716) 691-5100

Şekil Ek F.4. KİSTLER 6229AK Teknik Özellikleri.

Pressure Standards

Types 6961, 6962, 6963

Reference sensors for the calibration of piezoelectric pressure sensors

The Type 696X... is a family of reference sensors for pressure sensor calibration systems. The reference sensors are ideally suited to quasi-static calibration procedures typically employed for piezoelectric pressure sensors.

- High sensitivity
- Exceptional linearity
- Minimal drift
- Very good thermal stability
- Insensitive to variations in mounting conditions
- Calibration traceable to national and international standards

Description

The very high sensitivity, exceptional linearity and outstanding thermal stability of the Type 696X... make these sensors ideal pressure standards. The sensing element is integrated into a robust stainless-steel body for mechanical protection and high thermal inertia, optimizing the stability of each calibration.

Application

The Type 696X... serve as transfer, or working standard in calibration and quality assurance laboratories for piezoelectric sensors. The wide range of available pressure standards enables calibration for a broad selection of applications such as:

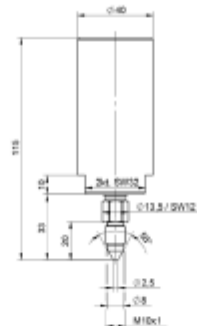
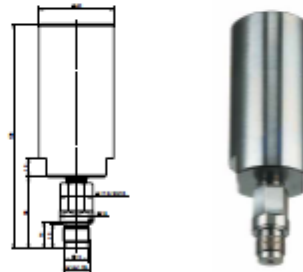
- combustion pressure sensors (up to 300 bar)
- high pressure sensors (up to 8 000 bar)

Working standard

As working standard, the Type 696X... forms an integral part of a pressure sensor calibration system. The working standard is the reference for the definition of pressure during the calibration process, i.e. the output of a unit under test is compared to the pressure measured with the working standard.

Transfer standard

The Type 696X... may also be used as an intermediary to compare standards, i.e. as a transfer standard. The 696X... is calibrated at a primary laboratory and is then used to calibrate a working standard in the calibration system. In this case, the output of the working standard is compared to the pressure measured with the transfer standard.



Calibration

All pressure standards Types 696X... are delivered with a traceable calibration, conforming to the requirements set by ISO/IEC 17025. The calibration results are documented on a multi-page calibration certificate. In addition to the sensitivities for the calibration ranges as per the technical data, sensitivities at 15 step values are provided.

696x_003-593e-11_21

Technica data

Type		6961C	6962C2000	6963A8000	6963AB
Measuring range	bar	0 ... 300	0 ... 2 000	0 ... 8 000	0 ... 8 000
Calibrated partial ranges	bar	0 ... 50 / 0 ... 100	0 ... 500 / 0 ... 1 000	0 ... 2 000 / 0 ... 6 000	0 ... 2 000 / 0 ... 6 000
Overload	bar	350	2 400	10 000	10 000
Nominal sensitivity	pC/bar	-90	-13	-1.2	-1.2
Linearity	%FSO	<0.1	<0.1	<0.3	<0.5
Operating temperature range	°C	25 ±5	25 ±5	25 ±5	25 ±5
Weight	g	685	685	685	685
Tightening torque	N-m	25	10	10	10
Mounting thread	-	M14x1.25	M10x1	M10x1	M10x1
Connector (charge output)	-	KIAG 10-32	KIAG 10-32	KIAG 10-32	KIAG 10-32

Mounting conditions (Type 6961C)

The sensor Type 6961C may be screwed directly into a M14x1.25 bore. Dimensions and tolerances for the mounting port are shown in Fig. 1. The sensor Type 6961C is tightened/removed with an open wrench, using the 15 mm hexagon flats as shown in Fig. 2.

Mounting conditions (Type 6962C und 6963A)

The sensor Type 6962 and 6963 may be screwed directly into a M10x1 bore. Dimensions and tolerances for the mounting port are shown in Fig. 3. The sensor Type 6962 and 6963 is tightened/removed with an open wrench, using the 12 mm hexagon flats as shown in Fig. 4.

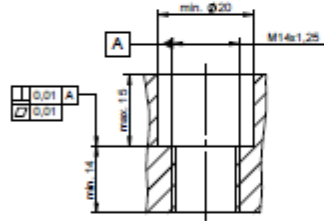


Fig. 1: Sensor mounting

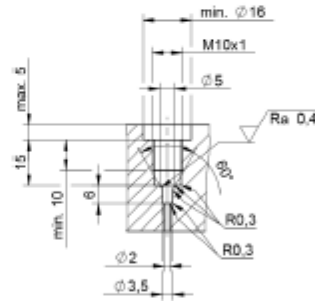


Fig. 3: Sensor mounting

696x_003-593e-11.21

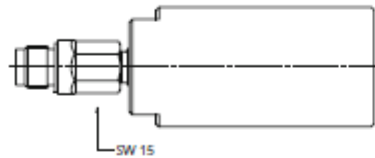


Fig. 2: Wrench flats

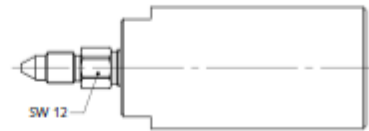


Fig. 4: Wrench flats

Teknik bilgi / Aksesuarlar

testo 174H

testo 174H mini datalogger; 2-kanallı (nem sıcaklık ölçümü), duvar montaj aparatı, pil (2 x CR 2032 lityum) ve kalibrasyon protokolü ile birlikte

Ürün kodu 0572 0560



Set testo 174H

Testo 174H mini datalogger seti; 2-kanallı (nem sıcaklık ölçümü), programlama ve loggari okuma için USB arayüz, duvar başlığı aparatı, pil (2 x CR 2032 lityum) ve kalibrasyon protokolü ile birlikte

Ürün kodu 0572 0566



Sensör tipi	NTC
Ölçüm aralığı	-20 ... +70 °C
Hassasiyet ±1 basamak	±0.5 °C (-20 ... +70 °C)
Çözünürlük	0.1 °C

Sensör tipi	Testo nem sensörü, kapasitif
Ölçüm aralığı	0 ... 100 %RH*
Hassasiyet ±1 basamak	±3 %RH (2 ... 98 %RH) ±0.03 %RH/K
Çözünürlük	0.1 %RH

* Yoğuşmalı ortamlar için değildir. Yüksek nemdeki sürekli uygulamalar için >80 %RH <30 °C da >12 h veya >60 %RH >30 °C da >12 h uygulamalar için, www.testo.com.tr aracılığıyla bizimle iletişime geçiniz.

Genel teknik veriler

Kanallar	2 x dahil
Batarya tipi	2 lityum batarya (CR2032)
Pil ömrü	1 yıl (15 dk. ölçüm sıklığı, +25 °C)
Çalışma sıcaklığı	-20 ... +70 °C
Saklama sıcaklığı	-40 ... +70 °C
Boyutlar	60 x 38 x 18,5 mm
Koruma sınıfı	IP20
Ölçüm aralığı	1 dk - 24 sa
Hatıra	16.000 ölçüm değeri

Aksesuarlar

Ürün kodu

Ölçüm cihazı için aksesuarlar

testo 174T ve testo 174H veri kayıtlı cihazlarının programlama ve okunması için USB arayüzü	0572 0500
Lityum batarya CR 2032, düğme tipi (her bir veri kayıtlı cihaz için 2 adet pil sipariş ediniz)	0515 0028
ComSoft Basic 5.0, testo veri kaydedicilerin okunması için temel yazılım programı; ekranın fonksiyonunun yanı sıra grafik ve tablo ölçüm değeri sunumu (kayıt olarak ücretsiz indirme işlemi isahiyorsa)	0572 0580
ComSoft Professional, Profesyonel yazılım, veri arşivleyicisiyle birlikte	0554 1704
ComSoft CFR 21 Parı 11, CFR 21 Parı 11 uyumlu testo veri kaydedicilerin gereksinimlerine göre yazılım	0554 1705
ISO kalibrasyon sertifikası, sıcaklık Sabit kalibrasyon noktaları: -8, 0, +40°C	290520 0171
ISO kalibrasyon sertifikası, Nem Sabit kalibrasyon noktaları: 30, 50, 70 %RH	290520 2104
TÜRKAK Sıcaklık Kalibrasyonu Sabit kalibrasyon noktaları: +15, +25, +40	290521 1104
TÜRKAK Datalogger Nem Kalibrasyonu Sabit kalibrasyon noktaları: %30 ve 40°C, %50 ve 25°C, %70 ve 15°C	290521 2102



Testo Elektronik ve Test Ölçüm
Cihazları Dış Ticaret Ltd. Şti.
Fulya Mah. Vefa Dersisi Sok.
Gayrimenkul İş Mrk. C Blok No:5/1
D: 2-3-4-5 Etiler İstanbul
Tel: 0212 217 01 55
Faks: 0212 217 02 21
E-mail: info@testo.com.tr

www.testo.com.tr

Şekil Ek F.6. Sıcaklık ve Nem Ölçer Teknik Özellikleri.

Precision Calibrator

Type 5395B

Reference Standard for the Calibration of Signal Conditioners

The Type 5395B Precision Calibrator is the ultimate reference standard for calibrating charge amplifiers. It, furthermore, provides unparalleled performance for calibrating Piezotron/IEPE couplers, high-level voltage amplifiers and piezoresistive signal conditioners.

- Ultra-precision charge source
- Fully automated calibration of charge amplifiers and other signal conditioners
- Stand-alone operation for development, diagnostics and faultfinding of measurement systems
- Electrical standard for sensor calibration systems

The Precision Calibrator is a cornerstone of piezoelectric measurement technology. It is an important tool for the development, testing and calibration of charge amplifiers and related signal conditioners. It is also used as electrical standard in sensor calibration systems, thus making it an indispensable tool in the world of piezoelectric measurement.

Description

The Type 5395B is the culmination of decades of expertise in piezoelectric measurement systems and calibration. Its true beauty is hidden in the details; details in the combination of engineering without compromise and components from the upper echelons.

The Precision Calibrator's various sources serve to simulate the respective sensors, as input to the signal conditioner under test. The output of the unit under test is measured via the monitor input. The table below provides an overview of the available source and monitor modes.

Source Mode	Source Control	Monitor Function
Constant	<ul style="list-style-type: none"> • Magnitude • Polarity 	<ul style="list-style-type: none"> • DC
Pulsed square wave	<ul style="list-style-type: none"> • Magnitude • Offset • Polarity 	<ul style="list-style-type: none"> • Peak/valley, sample & hold, magnitude & offset • Frequency (pulses per second)
Haversine	<ul style="list-style-type: none"> • Magnitude • Offset • Polarity • Cycle time 	Selectable <ul style="list-style-type: none"> • Peak - Peak • Max, min, RMS (without DC) • Magnitude & offset • Frequency (pulses per second)

Table 1: Source and monitor modes

Page 1/3

This information corresponds to the current state of knowledge. Kistler reserves the right to make technical changes. Liability for consequential damage resulting from the use of Kistler products is excluded.



Technical Data

Sensor Simulation

Charge	pC	±2 000 000
Voltage	mV	±10 000
Piezotron/IEPE	mV _{pk-pk}	20 000
Piezoresistive	mV/mA	10 ... 1 000

Monitor

Voltage	V	±30
Current	mA	±20

Calibration and Measurement Capability

Charge amplifiers	%	<0,03
Voltage amplifiers	%	<0,02
Piezoresistive amplifiers	%	<0,02
IEPE couplers	%	<0,03

A detailed overview of the technical data, incl. the uncertainty of measurement is shown in the tables on the following pages.

5395B_009-153e-05.14

©2014, Kistler Group, Eulachstrasse 22, 8408 Winterthur, Switzerland
Tel. +41 52 234 11 11, Fax +41 52 234 14 14, info@kistler.com, www.kistler.com
Kistler is a registered trademark of Kistler Holding AG.

Technical Data

Sensor Simulation (Out)

Charge source		
Charge range	pC	±2 000 000
Source modes	pulsed square, sinusoidal, constant	

Voltage source		
Voltage range	V	±12
Output resistance	Ω	10
Source modes	pulsed square, sinusoidal, constant	

IEPE simulation		
Voltage range	V _{pk-pk}	20
Bias voltage	V	2 ... 15
Current sink	mA	2 ... 20
Source mode	sinusoidal	

Piezoresistive sensor simulation		
Sensor ratios	mV/mA	0, 10, 50, 100, 500, 1 000
Short circuit (0)	mV/mA	<1x10 ⁻³
Open circuit	mV/mA	>1x10 ³
Source mode	constant	

Source Modes

Pulsed square		
Pulse width T _p	ms	80
Cycle time T _c	ms	400

Sinusoidal		
Function	Haversine	
Frequency	Hz	0,1 ... 1 000
Pulse width	ms	10 000 ... 1
Pulse ratio (T _c /T _p)	1 ... 10	

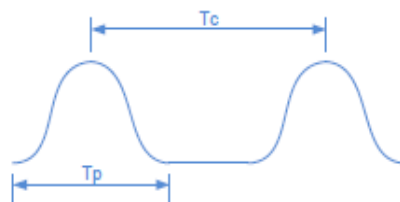


Fig. 1: Wave shape definition

Monitor

Voltage		
Voltage range	V	±30
Input resistance	MΩ	10

Current		
Current range	mA	±20
Load	Ω	500

Monitor modes		
DC, Peak-Peak, RMS, Frequency		

Connectors

Front	
Monitor (voltage & current)	BNC (female)
Charge source	BNC (female)
Voltage source	BNC (female)
IEPE	BNC (female)
Piezoresistive sensor simulation	Fischer 103 5 pin (female)

Rear	
Trigger for device synchronization	BNC (female)
Operate	BNC (female)
Ethernet	2x8P8C * RJ45*
USB for GPIB converter	USB Type A
Power	IEC 60320 C13/C14

General

Weight & dimensions		
Width	mm	218
Height	mm	85
Depth	mm	262
Weight	kg	2,6

Power supply		
Supply voltage	VAC	85 ... 264
Supply frequency	Hz	47 ... 63
Power	W	15

Technical Data (Continuation)

Uncertainty of Measurement ¹⁾

Sensor simulation (out)			
Charge			
100 ... 2 000 000 pC	%		<0,03
Voltage			
100 ... 10 000 mV	%		<0,01
Piezoresistive			
100 ... 1 000 mV/mA	%		<0,01
Monitor (in)			
Voltage monitor			
100 ... 1 000 mV	%		<0,02
1 000 ... 30 000 mV	%		<0,01
Current monitor			
2 ... 20 mA	%		0,01
Signal conditioner calibration (out & in)			
Charge amplifiers			
100 ... 2 000 000 pC	%		<0,03
Voltage amplifiers			
100 ... 10 000 mV	%		<0,02
Piezoresistive amplifiers			
10 ... 1 000 mV/mA	%		<0,02
IEPE Couplers			
100 ... 5 000 mV _{pk-pk}	%		<0,03

¹⁾ The uncertainty of measurement estimates for the respective sensor simulation and monitor modes are given for the boundary conditions shown in the table below. These conditions also apply for the calibration and measurement capabilities stated for signal conditioner calibration.

Environmental Conditions			
Ambient temperature	°C		23 ±1
Relative humidity	%		<60
Sensor Simulation			
	Charge amplifiers, Voltage amplifiers	IEPE Couplers	Piezoresistive amplifiers
Wave shape	pulsed square	sinusoidal	constant
Frequency	–	100 Hz	–
Bias voltage	–	11 V	–
Signal conditioner settings			
Analog output range	±10 V	5 V _{pk-pk}	±10 V
Sensor excitation	–	4 mA	1 mA

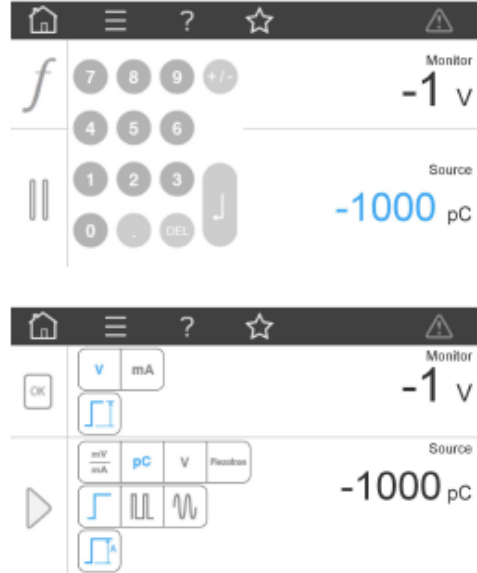


Fig. 2: Examples of the touch-screen device interface

Included Accessories

- Calibrate™ software
Kistler's calibration software suite for automated amplifier calibration
- BNC cables (Qty: 2)
High-insulation cables for connection of the amplifier under test

Type/Mat. No.
Z18906A-40

1601

Optional Accessories

- USB-GPIB
GPIB (IEEE 488.2) controller to connect the precision calibrator to a GPIB network. Ensures backwards compatibility to Type 5395A
- 19" mounting base
for precision calibrator Type 5395B
Facilitates the mounting of up to two devices into a standard 19" rack

Type/Mat. No.
Z21014-0034

5748A3

5395B_003-153e-05.14

Şekil Ek F.7. KİSTLER 5395B Teknik Özellikleri.

Charge Meter

Type 5015A...

Universally Applicable for Piezoelectric Measuring Technology

This instrument can be used wherever mechanical quantities are measured with piezoelectric sensors. Piezoelectric sensors produce an electric charge which varies in direct proportion to the load acting on the sensor.

- Single-channel charge amplifier
- Piezotron Input (option)
- Measure-jump compensated
- Liquid crystal display (128x128 pixels)
- Menu-driven operation
- Direct signal evaluation
- Flexible adjustment of high-pass and low-pass filters
- Compatible with Charge Amplifier Type 5011B...
- PC-Software and Virtual Instrument Driver for LabVIEW



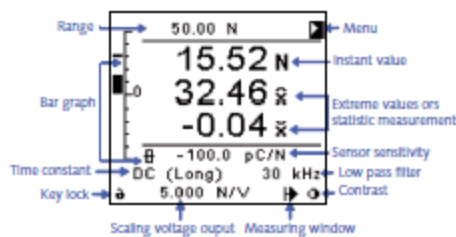
Description

The Type 5015A... is not only a charge amplifier but an universal Charge Meter with a graphical liquid crystal display. However, the 19"-rack module is also suitable for measurements in an industrial environment. It can display instantaneous, peak and average values as well as reference deviations. State-of-the-art technology allows the naturally occurring interference to be almost entirely eliminated. The instrument is distinguished firstly by its excellent technical data and secondly by its extremely simple operation.

Application

The instrument has been designed for use in research, development and the laboratory.

Operation



Technical Data

Charge Input

Connector Type		BNC neg.
Measuring range FS	pC	±2 ... 2 200 000
Measurement uncertainty		
Range FS <10 pC	%	<±3
Range FS <100 pC	%	<±1
Range FS ≥100 pC	%	<±0,5
Drift, measuring mode DC (Long)		
at 25 °C, max. relative humidity RH of 60 % (non-condensing)	pC/s	<±0,03
at 25 °C, max. relative humidity RH of 70 % (non-condensing)	pC/s	typ. <±0,06
at 50 °C, max. relative humidity RH of 50 % (non-condensing)	pC/s	<±0,3
Max. common mode voltage between input and output ground	V	<±30
Overload	%FS	±105

Voltage Input (Piezotron)

Connector Type		BNC neg.
Measuring range FS	mV	±2 ... 20 000
Measurement uncertainty		
Range FS <10 mV	%	<±3
Range FS <100 mV	%	<±1
Range FS 100 mV	%	±0,5

Page 1/6

This information corresponds to the current state of knowledge. Kistler reserves the right to make technical changes. Liability for consequential damage resulting from the use of Kistler products is excluded.

© 2010 ... 2021 Kistler Group, Eulachstrasse 22, 8408 Winterthur, Switzerland
Tel. +41 52 224 11 11, info@kistler.com, www.kistler.com. Kistler Group products are protected by various intellectual property rights. For more details visit www.kistler.com

Drift, meas. mode voltage DC (long) (@ Range 10 V FS; Gain = 1) at 25 °C, max. relative humidity RH of 60 % (non-condensing)	mV/s	<±0,03
at 50 °C, max. relative humidity RH of 50 % (non-condensing)	mV/s	<±0,3
Max. common mode voltage between input and output ground	V	<±30
Overload	%FS	±105
Piezotron mode Supply current	mA	4 ±10 %
Input voltage swing	V	0 ... 20

Voltage Output

Connector Type		BNC neg.
Output range FS	V	±10/±5/±2,5/±2
Output current	mA	<±2
Output impedance	Ω	≈10
Measure-jump		Compensated
Measure-jump (Long)	mV	<±3
Correction time, inclusive reed-relay delay time	ms	<15 ¹⁾
Zero errors	mV	<±2
Output interference (0,1 Hz ... 1 MHz), Type 5015Axxx0		
Range FS, LP filter off		
2,000 ... 9,999 pC	mVpp	<140 ... <40
10,00 ... 99,99 pC	mVpp	<30 ... <10 ¹⁾
100,0 ... 999,9 pC	mVpp	<15 ... <7 ¹⁾
...	mVpp	<15 ... <7 ¹⁾
0,220 ... 2,200 μC	mVpp	<15 ... <7 ¹⁾
Range FS, LP filter 30 kHz		
2,000 ... 9,999 pC	mVpp	<60 ... <20
10,00 ... 99,99 pC	mVpp	<20 ... <7 ¹⁾
...	mVpp	<10 ... <5 ¹⁾
0,220 ... 2,200 μC	mVpp	<10 ... <5 ¹⁾
Output interference (0,1 Hz ... 1 MHz), Type 5015Axxx1		
Range FS, LP filter off		
2,000 ... 9,999 pC, mV	mVpp	<220 ... <50
10,00 ... 99,99 pC, mV	mVpp	<50 ... <12 ¹⁾
100,0 ... 999,9 pC, mV	mVpp	<20 ... <7 ¹⁾
...	mVpp	<20 ... <7 ¹⁾
0,220 ... 2,200 μC	mVpp	<20 ... <7 ¹⁾
Range FS, LP filter 30 kHz		
2,000 ... 9,999 pC, mV	mVpp	<180 ... <50 ¹⁾
10,00 ... 99,99 pC, mV	mVpp	<30 ... <10 ¹⁾
100,0 ... 999,9 pC, mV	mVpp	<10 ... <5 ¹⁾
...	mVpp	<10 ... <5 ¹⁾
0,220 ... 2,200 μC	mVpp	<10 ... <5 ¹⁾

¹⁾ Values valid from MCC version V2.xx

Frequency Response

DC (Long), LP-filter off		
Bandwidth (-3 dB)	kHz	≈0 ... 200
Group delay	μs	≈10

High-pass Filter (1st order)

DC (Long)		
Range FS Charge, (Voltage)		
2 pC, (mV)	s	10 000
1 000 pC, (mV)	s	100 000
Time constants		
Medium	s	1/10/100/220
Short	s	0,1/1/10/220
Tolerance	%	<±20

Digital high-pass filter computed by DSP

Time constants		
Range FS Charge, (Voltage)		
2 pC, (mV)	s	0,01/0,1/1
100 pC, (mV)	s	0,01/0,1/1/10
≥1 000 pC, (mV)	s	0,01/0,1/1/10/100
Tolerance	%	<±20
Cutoff frequencies		
-3 dB	Hz	16/1,6/0,16/0,016/ 0,0016
-10 %	Hz	30/3/0,3/0,03/0,003
-5 %	Hz	50/5/0,5/0,05/0,005
-1 %	Hz	100/10/1/0,1/0,01

Low-pass Filter

Digital low-pass filter computed by DSP		
Filter Type		IIR, linear phase
Order		2. or 5.
Cutoff frequency (-3 dB)	Hz	5, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 300, 500
	kHz	1, 2, 3, 5, 10, 20, 22, 30, (LP off)
Tolerance	%	<±10

5015A_000-297-e-01.21

This information corresponds to the current state of knowledge. Kistler reserves the right to make technical changes. Liability for consequential damage resulting from the use of Kistler products is excluded.

© 2010 ... 2021 Kistler Group, Eulachstrasse 22, 8408 Winterthur, Switzerland
Tel. +41 522241111, info@kistler.com, www.kistler.com. Kistler Group products are protected by various intellectual property rights. For more details visit www.kistler.com

Signal Evaluation

Sample rates		
LP-filter on	ksps	400
LP-filter off	ksps	1 000
Minimum pulse width for peak-peak value detection		
LP-filter 5 Hz ... 30 Hz	µs	>2 500
LP-filter 50 Hz ... 300 Hz	µs	>250
LP-filter 500 Hz ... 3 kHz	µs	>25
LP-filter 5 kHz ... 30 kHz	µs	>2,5
LP-filter off	µs	>1
Max. integration time for mean value		
	min	<75
Integration time for the updating rate of the liquid crystal display		
Instant value	ms	300
Characteristic values	ms	300
Bar graph	ms	17,5

Remote Control

Connector Type		MiniDin round socket
Pin allocation		
Inputs with internal pull-up resistor		
Pin 4 (input)		Window (remote)
Pin 5 (input)		Measure (remote)
Pin 6		DGND
Input voltage		
logic inactive or input open	V	3,5 ... 30
logic active	V(mA)	0 ... 1 (0 ... 4)
Delay time		
Window (remote)	ms	<0,5
Measure (remote)	ms	<15

Digital Measuring Data Transfer

The instrument provides a continuous measuring data transfer via the serial interface to a PC. For this the PC software (Windows) of the VI driver (LabVIEW) is required. This feature is not available on the IEEE-488 interface.

Sampling rates	ksps	0,1/0,25/0,5
----------------	------	--------------

RS-232C Interface (Electrically Separated)

EIA-standard		RS-232C
Connector Type		DB-9S (D-Sub)
Pin allocation		
Pin 2		RxD
Pin 3		TxD
Pin 5		SG
Max. cable length at		
9 600 bps	m	<15
19 200 bps	m	<15
38 400 bps	m	<12
57 600 bps	m	<10
115 200 bps	m	<5
Max. input voltage, continues		
	V	<±20
Max. voltage between signal ground and protective ground		
	V _{RMS}	<20
Baud rates		
	bps	1 200/9 600/ 19 200/38 400/ 57 600/115 200
Data-bit		8
Stop-bit		1
Parity		none
SW handshake		none

IEEE-488 Interface (Option)

Standard		IEEE-488.1-1987
Connector Type		Micribbon series 57 (24-pole)
Max. distance between devices		
	m	2
Max. bus length		
	m	20
Max. number of devices		
		15
Adress range		
		0 ... 30
Functions		
		Listener and Talker
Interface functions		
		SH1, AH1, L4, LEO, T6, TE0, SR1, RL2, PR0,DC1, DT1, C0, E1
Multiline commands		
		DC1, SDC, GET, UNL, UNT, SPE, SPD
Uniline commands		
		IFC, REN, ECI, SRC, ATN

5015A_000-297-e-01.21

Şekil Ek F.8. KİSTLER 5395B Teknik Özellikleri.

ÖZGEÇMİŞ

Ali Serkan ÖZAL, ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamlamıştır. 2002 yılında Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2007 yılında mezun olmuştur. 2008 yılı ortasında askerliği tamamlayıp, 2009 yılında Tübitak-Sage'de araştırmacı olarak başladığı görevine halen devam etmektedir.