



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



BASINÇLI BORU HATLARINDA VE KAPLARDA AKUSTİK EMİSYON YÖNTEMİ İLE SIZINTI TESPİTİ

Yüksek Lisans Tezi

Tolga ERÜNLÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2019

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**BASINÇLI BORU HATLARINDA VE KAPLARDA
AKUSTİK EMİSYON YÖNTEMİ İLE SIZINTI TESPİTİ**

Tolga ERÜNLÜ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ninel ALVER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Yüksek Lisans Programı

İzmir
2019

Tolga ERÜNLÜ tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Basınçlı Boru Hatlarında ve Kaplarda Akustik Emisyon Yöntemi ile Sızıntı Tespiti” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 28.05.2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

Jüri Başkanı : .Doç. Dr. Ninel ALVER

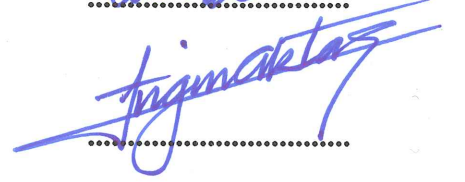
Raportör Üye : .Doç. Dr. Emre ERCAN

Üye : Doç. Dr. Engin AKTAŞ

İmza







EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Basınçlı Boru Hatlarında ve Kaplarda Akustik Emisyon Yöntemi ile Sızıntı Tespiti” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

28 / 05 / 2019

İmzası



Tolga ERÜNLÜ

ÖZET**BASINÇLI BORU HATLARINDA VE KAPLARDA AKUSTİK
EMİSYON YÖNTEMİ İLE SIZINTI TESPİTİ**

ERÜNLÜ, Tolga

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ninel ALVER

Mayıs 2019, 85 sayfa

Petrol, gaz veya herhangi tehlikeli bir kimyasal sızıntısının tespiti noktasında algılama mesafesi ve algılama duyarlılığı olan tahribatsız bir yöntemin uygulanabilirliğinin ortaya konulması çok önemlidir.

Bu çalışmanın amacı, boru ve tank gibi herhangi bir mekanik sistemin basınçlı elemanlarındaki mevcut sızıntıları tespit etmek ve sızıntı kaynağını doğru analiz etmektir. Çevresel etkiler, sağlık etkileri ve ekonomik nedenlerden dolayı, endüstriyel elemanlarda veya hayatımızın bir parçası olan çoğu mekanik sistemde kaçak tespiti çok önemlidir. Erken sızıntı tespiti ayrıca boru ve tank içeren mekanik sistemlerin bakımı ve yönetimi açısından en önemli konulardan biridir.

Basınçlı borularda ve tanklarda sızıntı gerilme dalgalarını oluşturur. Bu çalışmada, basınçlı bir boru ve tankta kaçak varlığını ve konumunu tespit etmek için akustik emisyon yöntemi kullanılmıştır. Bunu yapmak için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Farklı çaplarda deliklere sahip enjektörler kullanılarak bir boruya ve bir tanka bir kaçak kaynağı uygulanmıştır. Hava kompresörü tarafından sırasıyla boru ve tank içerisine 5 bar ve 1,5 bar basınçlı hava verilmiştir.

Sızıntı kaynak çapları ile akustik emisyon parametreleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucu elde edilen veriler doğrultusunda sızıntı, akustik emisyonla tespit edilmiş, kaynak çapları ve akustik emisyon parametreleri arasında iyi bir korelasyon yapılmıştır.

Anahtar sözcükler: Akustik Emisyon (AE), Boru Hatları, Depolama Tankı, Basınçlı Kaplar, Sızıntı Tespiti.

ABSTRACT**LEAK DETECTION IN PRESSURISED PIPELINES AND VESSELS
USING ACOUSTIC EMISSION METHOD**

ERUNLU, Tolga

M.Sc. in Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ninel ALVER

May 2019, 85 pages

It is very important to reveal the applicability of a non-destructive testing method which is sensitive to detection of oil, gas or any hazardous chemical leakage.

The purpose of this study is to detect leakage and to determine the leakage source correctly in high-pressure members of any mechanical system such as pipes and tanks. Due to environmental impacts, health impacts and economical reasons, leak detection is firmly essential in industrial members or most mechanical systems that are a part of our lives. Early leak detection is also one of the most important issues for maintenance and management of mechanical systems which include pipes and tanks.

Leakage in pressure pipes and vessels constitutes stress waves. In this study, acoustic emission method was used to detect presence of a leakage and its location in a pressure pipe and tank. In order to do this, an experimental study was carried out. A leakage source was applied on a pipe and a tank by using nozzles having different diameters. 5 bar and 1.5 bar pressured air was flown inside the pipe and the tank by an air compressor, respectively.

The relationship between the nozzle hole diameters and the acoustic emission parameters was investigated. The leakage was detected by acoustic emission. A good correlation between the nozzle hole diameters and the acoustic emission parameters was made.

Keywords: Acoustic Emission (AE), Pipeline, Storage Tank, Pressure Vessel, Leak Detection.

ÖNSÖZ

Endüstriyel elemanlarda meydana gelen tehlikeli madde sızıntılarının yol açtığı yıkımlara dikkat çekmeye çalışıldığı ve hızla endüstriyelleşmenin arttığı günümüzde tahribatsız test etme yöntemlerinden ‘‘Akustik Emisyon Tekniği’’ ile tamamen güvenli bir yaşam döngüsünün amaçlandığı bu tez çalışmasında elde edilen bilimsel tecrübelerin, gelecekteki çalışmalara katkı sağlayacağına olan inancım tamdır.

Çalışma konusunun belirlenmesinde ve çalışmanın hazırlanma sürecinin her aşamasında bilgilerini, tecrübelerini ve değerli zamanlarının esirgemeyerek bana her fırsatta yardımcı olan değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. Ninel ALVER ile Doç. Dr. Emre ERCAN’a ve deneyler için uygun ortam ile tüm gerekli deney materyallerini sağladığı için ILK Construction’ın Star Rafinerisi Proje Müdürü Emre GÜLEKİM’e ve dolayısıyla ILK Construction firmasına teşekkürü borç bilirim.

İZMİR

Tolga ERÜNLÜ

28/05/2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	xi
ÖNSÖZ.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xviii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxv
1. BÖLÜM.....	1
1. GİRİŞ.....	1
2. BÖLÜM.....	5
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1 Akışkan Madde Transferinde ve Depolanmasında Kullanılan Malzemeler.....	5
2.2 Sızıntı Tespiti Yöntemleri.....	6
2.3 Akustik Emisyon (AE) ve Kullanım Alanları.....	7
2.4 Literatür Taraması.....	14
3. BÖLÜM.....	33
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	33
3.1 Temel Deney Elemanları ve Malzeme Özellikleri.....	33
3.2 Deney Düzenegi 1 ve 2'nin Yardımcı Deney Elemanları ve Malzeme Özellikleri.....	37
3.2.1 Doğalgaz enjektörleri ve kılavuz pafta.....	37
3.2.2 Basınç düşürücü ve sabitleyici regülatör.....	38
3.2.3 Hava kompresörü ve hidrolik hortum bağlantıları.....	39
3.2.4 Flanş birleşim civataları ile sızıntı önleyici contalar ve teflon bantlar.....	40
3.2.5 Basınç ölçer (manometre).....	41

İÇİNDEKİLER (devam)

3.2.6 Strafor kullanımı ve akustik emisyon sensörlerinin montajı.....	41
3.3 Deney Düzeni.....	42
3.3.1 Yükleme düzeni.....	42
3.3.2 Ölçüm düzeni.....	42
4. BÖLÜM.....	49
4. BULGULAR.....	49
4.1 Deney Elemanı-1'e Ait Akustik Emisyon Bulguları.....	49
4.1.1 Deney elemanı-1 için enerji-Zaman, genlik-Zaman ve ortalama frekans-zaman ilişkisi.....	49
4.1.2 Deney elemanı-1'in çift sızıntı durumuna ait enerji-Zaman, genlik-zaman ve ortalama frekans-zaman ilişkisi.....	62
4.2 Deney elemanı-2'ye ait akustik emisyon bulguları.....	64
4.2.1 Deney elemanı-2 için enerji-zaman, genlik-zaman ve ortalama frekans-zaman ilişkisi.....	64
5. BÖLÜM.....	75
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	79
TEŞEKKÜR.....	84
ÖZGEÇMİŞ.....	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Madde sızıntılarının sebep olduğu yıkımlar.....	1
Şekil 1.2: Sızan maddelerin erken teşhisinin yaşam döngüsüne katkısı.....	2
Şekil 2.1: Star Rafinerisi Projesi'nden bir kesit.....	5
Şekil 2.2: Star Rafinerisi'nde yapım aşamasında bir proje borusunun sızdırmazlık ve basınç Testi.....	6
Şekil 2.3: Akustik sinyaller ile sızıntı tespiti.....	7
Şekil 2.4: AE ekipmanı ve işlem sırası.....	8
Şekil 2.5: AE sensörleri.....	8
Şekil 2.6: AE parametreleri.....	9
Şekil 2.7: Uzay ve havacılık sistemlerinde akustik emisyonun önemi.....	10
Şekil 2.8: AE yöntemi ile malzeme hasar ve kusurların tespiti.....	11
Şekil 2.9: Küresel tankların akustik davranışlarının incelenmesi.....	11
Şekil 2.10: FRP tanklarının akustik davranışlarının incelenmesi.....	12
Şekil 2.11: Küresel tanklarda akustik emisyon teknikleri ile korozif etkilerin incelenmesi.....	12
Şekil 2.12: Silindirik tanklarda ve kapalı kaplarda akustik emisyon teknikleri ile korozif etkilerinin incelenmesi.....	13
Şekil 2.13: Akustik emisyon teknikleri ile endüstriyel elemanlarda malzeme hasar ve kusur tespiti.....	13
Şekil 2.14: Plastik borularda sızıntının akustik yöntemlerle incelenmesi.....	14
Şekil 2.15: Kompozit piezo-elektrik aktif fiber ve geleneksel AE sensörleri.....	15
Şekil 2.16: Kümülatif olay oranı - zaman grafiği.....	18
Şekil 2.17: Yorulmada yükleme tekrarı-enerji grafiği.....	18
Şekil 2.18: STFT'de zaman kayması.....	19

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil 2.19: Hidrofon ile akustik davranışların incelenmesi ve harici sensörler ile korelasyon teknikleri.....	21
Şekil 2.20: Boru elemanında kaynak oluşturma tekniği ve kaynak delik çapı.....	21
Şekil 2.21: Sinyal genliği sönümlenmesine dayalı bölgesel yerleştirme ilkesi.....	23
Şekil 2.22: Farklı şartlardaki akustik sinyallerin LS-SVM ile tanımlama akış şeması.....	24
Şekil 2.23: Deney akış şeması.....	24
Şekil 2.24: Hedeflenen Çapraz Zaman-Frekans Spektrumu ve geleneksel Çapraz Korelasyon temelli sızıntı lokasyon hatalarının birbiri ile karşılaştırılması.....	26
Şekil 2.25: CO ₂ sızıntı lokasyon analizi için oluşturulmuş deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	27
Şekil 2.26: CO ₂ sızıntı tespiti için deney elemanları.....	27
Şekil 2.27: Vana sızıntısı analizi için hazırlanmış deney düzeneği.....	30
Şekil 2.28: Valf sızıntılarının tespitinde kullanılan methodun akış şeması.....	30
Şekil 2.29: Vida dişi gevşemesi ile oluşturulan sızıntı kaynağı ve deney düzeneği.....	31
Şekil 2.30: ANN-Yapay Sinyal Ağı temelli sistem için hazırlanan deney düzeneği.....	32
Şekil 3.1: Deney Düzeneği-1'e ait "ASTM A105 B16.5 Class 150 düz yüzey kaynak boyunlu flanşları" ile "ASTM A106 Grade B dikişsiz" boru elemanının geometrik boyutları (mm).....	33
Şekil 3.2: Montajı için Deney Elemanı-1'in deney alanına transferi.....	34
Şekil 3.3: Deney Elemanı-2'nin Star Rafinerisi'ne transferi ve yapımı.....	34
Şekil 3.4: Deney Elemanı-2'nin montajı ve kaynak işleri.....	35
Şekil 3.5: Deney Elemanı-2'nin kaynaklarının penetrant testi ile kontrolü ve deneye hazır hale getirilmesi.....	35

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil 3.6: Deney Düzeneği-2'ye ait "ASTM A672 Grade B65 Class 22 EWF" boru elemanı ve plakalı birleşim elemanlarının geometrik boyutları (mm).....	36
Şekil 3.7: Ölçüleri (mm) ile doğalgaz enjektörleri ve kılavuz pafta.....	38
Şekil 3.8: Basınç düşürücü ve sabitleyici (regülatör).....	39
Şekil 3.9: Hava kompresörü ve hidrolik hortum.....	39
Şekil 3.10: Sızıntı önleyici contalar ve teflon bantlar.....	40
Şekil 3.11: Metrik 18 flanş birleşim civataları.....	40
Şekil 3.12: Basınç ölçer manometre.....	41
Şekil 3.13: Strafor kullanımı ve AE sensörlerinin montajı.....	42
Şekil 3.14: Deney Elemanı-1 için AE sensörleri ve kaynak yerleşimi (Karşıdan ve üstten görünüşler) ile orjin (x,y,z) - (0,0,0) noktası.....	43
Şekil 3.15: Deney Elemanı-1 yükleme düzeneği.....	44
Şekil 3.16: Deney Elemanı-2 yükleme düzeneği.....	45
Şekil 3.17: Deney Elemanı-2 taban levhası alt orjin (x,y,z) - (0,0,0) noktası.....	45
Şekil 3.18: Deney Elemanı-2 AE sensörleri yerleşimi ile sayfa düzleminde açılımı ve görünüşleri.....	46
Şekil 3.19: Manuel olarak sızıntı kaynağının belli sürelerde açma-kapama ile akustik davranışların kayıt altına alınması.....	48
Şekil 4.1: Sürekli ve kesintili sızıntı durumları enerji-zaman: a)S1 , b)S2, c)S3 Sensörü, d)0.7 mm , e) 0.8 mm , f) 0.9 mm , g)1.0 mm sızıntı çapı.....	53
Şekil 4.2: Şekil 5.2 Sürekli ve kesintili sızıntı durumları genlik-zaman: a)S1, b)S2, c)S3 Sensörü, d)0.7 mm, e) 0.8 mm, f) 0.9 mm, g)1.0 mm sızıntı çapı.....	55
Şekil 4.3: Sürekli ve kesintili sızıntı durumları ortalama frekans-zaman: a)S1, b)S2, c)S3 Sensörü, d)0.7 mm, e) 0.8 mm, f) 0.9 mm, g)1.0 mm sızıntı çapı.....	58
Şekil 4.4: Enerjinin kaynak çapı ve uzaklığı ile arasındaki matematiksel ilişki: a) Sızıntı kaynağı uzaklık-Enerji, b)Kaynak çapı-Enerji.....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

- Şekil 4.5: Genliğin kaynak çapı ve uzaklığı ile arasındaki matematiksel ilişki: a) Sızıntı kaynağı uzaklık-Enerji, b)Kaynak çapı-Enerji.....60
- Şekil 4.6: Ortalama frekansın kaynak çapı ve uzaklığı ile arasındaki matematiksel ilişki: a)Sızıntı kaynağı uzaklık-Enerji, b)Kaynakçapı-Enerji.....61
- Şekil 4.7: 0,7-1,0 mm birlikte sürekli ve kesintili sızıntı durumları a) Enerji-Zaman, b)Genlik-Zaman, c)Ortalama Frekans-Zaman.....63
- Şekil 4.8: 3.0 mm kesintili sızıntı durumu a) Enerji-Zaman, b)Genlik-Zaman, c)Ortalama Frekans-Zaman.....66
- Şekil 4.9: Deney Elemanı-2 enerji-zaman: a)0.7 b)1.0 c)2.0 d)3.0 mm çaplı sürekli sızıntı.....68
- Şekil 4.10: Deney Elemanı-2 genlik-zaman: a)0.7 b)1.0 c)2.0 d)3.0 mm çaplı sürekli sızıntı.....69
- Şekil 4.11: Deney Elemanı-2 ortalama frekans-zaman: a)0.7 b)1.0 c)2.0 d)3.0 mm çaplı sürekli sızıntı.....70
- Şekil 4.12: Enerji ve genliğin kaynak çapı ile arasındaki matematiksel ilişki.....73

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: Deneysel ve geliştirilmiş model sonuçları için birinci ana frekans karşılaştırılması.....	22
Çizelge 2.2: Deneysel ve geliştirilmiş model sonuçları için ikinci ana frekans karşılaştırılması.....	22
Çizelge 2.3: Farklı SVM modellerinin sonuçlarının karşılaştırılması.....	25
Çizelge 2.4: Farklı sensör çifleri kullanılarak lokasyon hatalarının karşılaştırılması.....	28
Çizelge 2.5: Korelasyon ve Tek Modlu Çapraz Spektrum esaslı sızıntı lokasyonları.....	29
Çizelge 2.6: Aynı şartlarda 4 adet kernel fonksiyonları ile elde edilen verilerin karşılaştırılması.....	32
Çizelge 3.1: Deneylerde kullanılan elemanların mekanik malzeme özellikleri....	37
Çizelge 3.2: Deney Düzeneği-1'in AE Sensörleri ve sızıntı kaynaklarının koordinatları.....	43
Çizelge 3.3: Deney Düzeneği-2'de AE sensörleri ve sızıntı kaynağının koordinatları.....	46
Çizelge 3.4: Deney-1 ve Deney-2 ölçüm parametreleri ve değişkenleri.....	47
Çizelge 4.1: Sürekli ve kesintili sızıntı durumları enerji, genlik ve ortalama frekans AE verileri.....	50
Çizelge 4.2: Sürekli ve kesintili sızıntı için ortalama enerji, genlik ve ortalama frekans AE verileri.....	58
Çizelge 4.3: 0,7-1,0 mm birlikte sürekli ve kesintili sızıntı durumları deneysel ve teorik verilerin karşılaştırılması.....	63
Çizelge 4.4: Deney Elemanı-2 sensör enerji ve genlik seviyeleri sıra ve düzeni..	71
Çizelge 4.5: Deney Elemanı-2 sürekli sızıntı için enerji, genlik, ortalama frekans AE verileri.....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AE	Akustik Emisyon
AFC	Piezo-Elektrik Aktif fiber
ANN	Artificial Neural Network
ASTM	American Society for Testing and Materials
CCS	Carbon Capture and Storage
CTFS	Cross Time–Frequency Spectrum
EDM	Electrical Discharge Machining
EFW	Electrick Fusion Welding
FFT	Fast Fourier Transform
FRP	Fiberglass Reinforced Plastic
MARSE	Measured Area under the Rectified Signal Envelope
NRC	National Research Council Canada
PCA	Principal Component Analysis
PVC	Polymerizing Vinyl Chloride
RBF	Radial Basis Function
RTTM	Real Time Transient Model
SLM	Standart Litre / Dk
STFT	The Short Time Fourier Transform
SVM	Support Vector Machine
TDOA	The Time Difference Of Arrival

1. BÖLÜM

1. GİRİŞ

Tehlike riski yüksek olan maddelerin transferinde kullanılan ana ulaştırma sistemlerinden biri olan boru hatları, dünya ekonomisinde çok önemli bir yere sahiptir. Fakat ne yazıkki boru hattı taşımacılığında zehirli, tahriş edici, yanıcı, patlayıcı vb. tehlikeli maddelerin bulunduğu durumlarda, bu maddeler ciddi yangınlara ve patlamalara neden olabilmektedir.

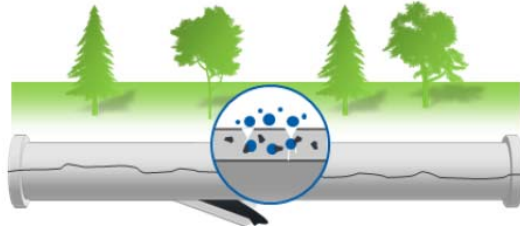
Boru ulaştırma hatları dışında doğal gaz, petrol, çeşitli kimyasallar vb. tehlikeli maddeleri taşıyan üretim sürecindeki endüstriyel tesisleri, bir şehrin alt ve üst yapılarını vb. oluşturan borularda veya bu tür maddelerin depolandığı kaplarda oluşabilecek sızıntılar tüm bir sistemin kullanılabilirliğini, güvenilirliğini ve ekonomik beklentilerini olumsuz yönde etkileyebilmekte ve ciddi sorunlara yol açabilmektedir. Meydana gelen sızıntılar kaynak israfına veya insanların yaşam ve mülküne tehdit oluşturmasına neden olabilmektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Madde sızıntılarının sebep olduğu yıkımlar ([https://www.google.com/search/gas leak explosion, pipeline explosion, refinery explosion/images](https://www.google.com/search/gas+leak+explosion,+pipeline+explosion,+refinery+explosion/images))

Yakın tarihte, 2012 yılında Güney Amerika ülkesi Venezuela'nın Falcon eyaletindeki bir petrol rafinerisinde sızıntıdan kaynaklı büyük bir patlama gerçekleşmiştir. Yine 2016 yılında Rusya Federasyonu'na bağlı Tataristan Cumhuriyeti'nde, petro-kimya şehri Nijnikamsk'ta rafineri tesisinde patlama meydana gelmiştir. Tataristan devlet şirketi TAIF için Türk Gemont şirketi tarafından inşa edilen dev tesiste, tamamlanan kısmın teslimatı için deneme amaçlı gaz verildiği sırada, sızıntıdan kaynaklanan patlama ve çıkan yangın bölgede ciddi kayıplara yol açmıştır. 2017 yılında Tüpraş İzmir Rafinerisi'nde 10 bin metreküplük nafta tankında gaz sıkışması sonucu meydana geldiği belirtilen patlama aynı şekilde ciddi kayıplara yol açmıştır. Bu olaylara benzer şekilde mevcut akışkanın sızıntısından dolayı dünyanın birçok bölgesinde can ve mal kayıpları yaşanmıştır.

Doğal gaz, petrol, çeşitli kimyasal vb. akışkan maddelerin dışında içme suyunun da uygun kalite, miktar ve basınçla yaşam alanlarına iletilmesini sağlayan su dağıtım boru hatları da modern toplumda önemli bir yere sahiptir. Su temini sisteminin işleyişinde mevcut olan olası sızıntılar ciddi anlamda kaynak israfına yönelik bir tehdit oluşturabilmektedir. Şekil 1.2'de basınçlı boru hatları ile basınçlı kaplarda sızıntının erken tespiti ve kesin konumunun bilinmesi, bu tip sistemlerin yaşam döngüsüne katkısı bakımından ve boru hattı sisteminin verimli bir şekilde yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. (Fiedler, 2014)



Şekil 1.2 Sızan maddelerin erken teşhisinin yaşam döngüsüne katkısı (Fiedler, 2014)

Hem küçük hem de büyük sızıntıların erken teşhisinin üzerinde odaklanan muhtemel güvenlik önlemleri dışında aynı zamanda endüstriyel yapıların maliyetinin azaltılmasına yönelik sızıntının zamanında ve noktasal olarak tespiti, akustik emisyon yöntemi gibi tahribatsız test tekniklerinin araştırılmasına temel dayanak noktası olmuştur. Dolayısıyla, basınçlı boru hatlarının ve basınçlı kapların güvenlik önlemlerini sağlamaya yönelik ve sistemin verimine odaklı çok sayıda yöntem geliştirilmiştir.

Günümüzde sızıntıların çapı ve lokasyonlarının tespiti, akışkan dolgulu borulardaki ve basınçlı kaplardaki ses yayılımının özellikleri ve akustik yöntemler ile kaçak tespitinin üzerine çokça araştırmalar yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, basınçlı bir boru ve tankta kaçak varlığını ve konumunu tespit etmek için akustik emisyon yöntemi kullanılmıştır. Bunu yapmak için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Farklı çaplarda deliklere sahip doğalgaz enjektörleri kullanılarak bir boruya ve bir tanka bir kaçak kaynağı uygulanmıştır. Sızıntı kaynak çapları ile akustik emisyon parametreleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucu elde edilen veriler doğrultusunda sızıntı, akustik emisyonla tespit edilmiş, kaynak çapları ve akustik emisyon parametreleri arasında iyi bir korelasyon yapılmıştır.

2. BÖLÜM

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Akışkan Madde Transferinde ve Depolanmasında Kullanılan Malzemeler

Akışkan maddenin taşımacılığı, depolanması veya belli üretim işlemlerine tabii tutulması gibi birçok neden ile uygulama alanı bulan endüstriyel elemanlar farklı malzeme sınıflarından oluşmaktadır. Malzeme sınıfları temel olarak akışkanın özelliklerine, çevresel faktörlere ve sistemin dizayn parametlerine bağlı olarak belirlenmektedir. Gri dökme demir, dövülebilir ve sünek dökme demir, karbon çeliği, düşük ve orta alaşımlı çelikler, yüksek alaşımlı ferritik çelikler, çift taraflı paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çelikler, östenitik sfero, alaşımsız titanyum ve alüminyum, bakır, nikel ve alaşımları vb. gibi malzeme sınıfları bu alanlarda kullanılmaktadır.

Bu tezde, Star Rafinerisi Projesi'nin yapımını üstlenen İlk İnşaat firması tarafından boru atölyelerinden temin edilmiş üç tip karbon çeliği boru elemanı kullanılmıştır: ASTM A105 B16.5 Class 150 düz yüzey kaynak boyunlu flanşları, ASTM A106 Grade B dikişsiz boru, ASTM A672 Grade B65 Class 22 EWF.



Şekil 2.1 Star Rafinerisi Projesi'nden bir kesit (Kişisel arşiv)

2.2 Sızıntı Tespiti Yöntemleri

Günümüzde sızıntının tespiti konusunda özellikle boru hatlarında birçok yöntem kullanılmaktadır. Özellikle sızıntı riski olan sistemlerin yapımı öncesi veya süresince, devreye alma safhasında veya sonrasında Sızdırmazlık ve Basınç Testleri ile kontrolleri gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.2). Genel test prosedürü basınçlı sıvı veya gaz akışkanın sisteme dahil edilmesiyle sızıntı noktalarının belirlenmesidir. Bunun dışında çalışır durumdaki sistemi kesintisiz veya kesintili olarak kontrol edebilecek çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

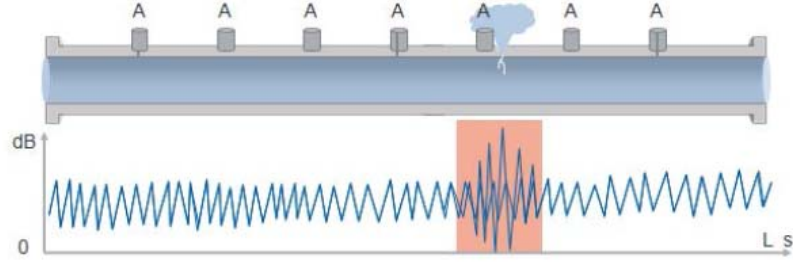


Şekil 2.2 Star Rafinerisi'nde yapım aşamasında bir proje borusunun sızdırmazlık ve basınç testi (Kişisel arşiv)

Jonathan Fiedler (2014) sızıntı tespiti kesintili ve kesintisiz sistemler olarak incelemiştir. “Helikopter ile gözlem, akıllı pikleme sistemleri, takip köpekleri” gibi yöntemlerin yaygınca kullanılan kesintili sistemler olduğunu belirtmiştir. Kesintisiz olarak ölçüm yapan kaçak tespiti yöntemlerini iki kısımda incelemiştir. Bunlar dahili ve harici ölçüm sistemleridir. Dahili sistem kaçak tespiti olarak “Basınç-nokta analizi, Kütle-Denge methodu, İstatistiksel Method, RTTM-Gerçek zamanlı sürekli olmayan modeli ve uzatılmış RTTM” yöntemlerinin önemini vurgulamıştır. “Fiber optik kablolar, akustik sistemler, video görüntüleme ve sensör hortumları” yöntemlerinin ise başlıca harici sistem kaçak tespiti yöntemleri olduğunu belirtmiştir. Bu tezde akustik emisyon yöntemi ile kaçak tespiti konusu incelenmiştir.

Bu tezde kullanılan akustik yöntemde akustik sinyaller kullanarak sızıntıları tespit etmek mümkündür. Çünkü gaz veya sıvılar boru hattındaki bir çatlak veya delikten akarken bir akustik sinyal üretilir. Akustik sensörler, boru hattı boyunca birden fazla alanda gürültü seviyesini ölçerek sızıntıları tespit etmek için boru

hattının dışına kurulur. Bu bilgi, boru hattının bir gürültü profilini oluşturmak için kullanılır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Akustik sinyaller ile sızıntı tespiti (Fiedler, 2014)

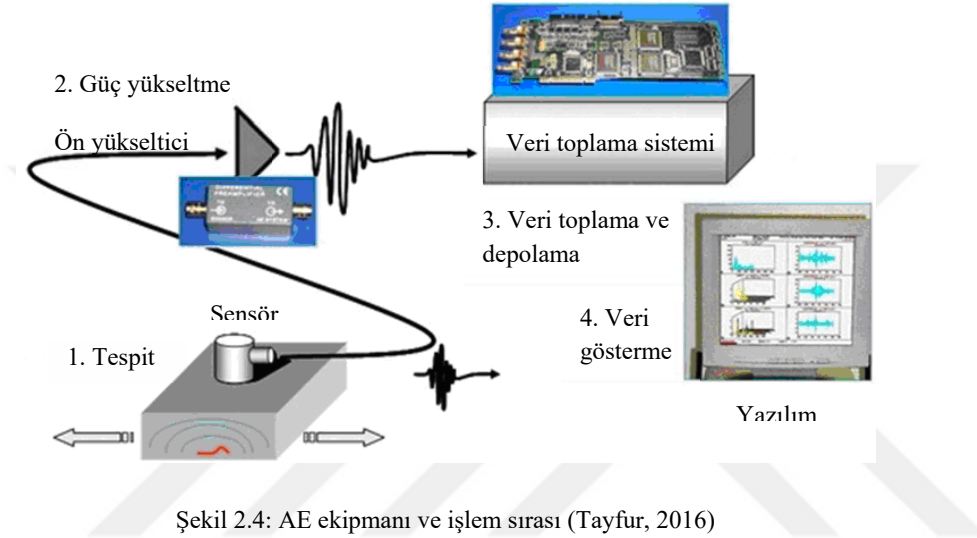
2.3 Akustik Emisyon (AE) ve Kullanım Alanları

Akustik Emisyon (AE) tekniği, özellikle 1970'li yıllardan bu yana, kaya mühendisliğinde yeraltı ve yerüstü yapılarının stabilitesinin izlenmesi ve yerkabuğundaki gerilmelerin belirlenmesi amacıyla Amerika, Kanada, Japonya ve Avrupa ülkeleri başta olmak üzere, birçok ülkede kullanılan ve üzerinde araştırma yapılan bir yöntem olmuştur. AE tekniği, yeraltında depolama çalışmalarında, yeraltı açıklıklarında karşılaşılan kaya ve grizu patlaması, aşırı sökülme, tavan çökmesi vb. gibi duraysızlıkların önceden kestiriminde ve duraysızlıkların oluşacağı olası yerlerin belirlenmesinin yanı sıra, şev duraysızlıklarının izlenmesinde de kullanılmıştır. Ayrıca, yeraltı yapılarının tasarımında ve depremlerin yorumlanmasında oldukça önemli bir yeri olan arazi gerilmelerinin belirlenmesinde de kullanılan teknik, hidrolik çatlatma, gerilim boşaltma, gerilim dengeleme vb. gibi yerinde deney yöntemlerine oranla, oldukça pratik ve daha az maliyetli bir yöntem olmuştur.

Bütün katı malzemeler belli bir elastikliğe sahiptir. Dış kuvvetler altında genişirler veya sıkıştırılırlar, kuvvet ortadan kalktığında ise bir yay gibi geri gelirler. Kuvvet ve dolayısıyla elastik deformasyon ne kadar fazla ise, elastik enerji de o kadar fazla olacaktır. Eğer elastik limit aşılsa kırılma veya çatlama olur. Bu durum, gevrek malzemelerde hemen, diğer malzemelerde ise belli bir plastik deformasyon sonrası meydana gelir. Eğer elastik olarak genişemiş malzemede boşluk, inklüzyon gibi bir hata varsa, çatlamlar yüksek derecede gerilen bu noktalarda oluşarak ve hızlı bir dislokasyonla malzeme enerjisini atarak gevşer. Bu elastik enerjinin hızla serbest bırakılmasına Akustik Emisyon olayı denir. AE bir elastik dalga üretir, malzemede yayılan bu dalga, uygun sensörlerle detekte edilebilir ve analiz edilebilir. (Tuncel, S., 2008)

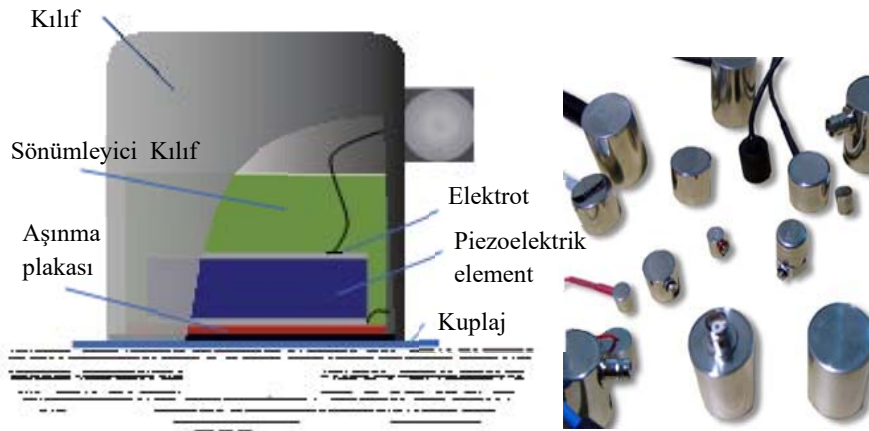
Şekil 2.4'de, AE yönteminde öncelikle malzemeye uygulanan yük ve dolayısıyla gerilme sonucu oluşan kırılma kaynağında gerilme dalgası oluşur. Bu

dalgalar ilk olarak yüzeyde oluşturduğu titreşimi elektriksel işarete çeviren algılayıcıya ulaşmaktadır. Ardından sırasıyla gerekli voltaj seviyesine yükseltmek üzere ön yükselteci, belirli bir frekans değerinin altındaki gürültülerin süzülmesi için süzgece, istenilen değere yükseltmek üzere güç yükselteciye, oradan da sayıcılara ulaşır. Son olarak sinyal biçimini izlemek üzere veri kayıt ve gösterim aygıtlarından faydalanılmaktadır. Kısaca, bir AE dalgası mekanik formdan elektrik sinyaline, son olarak da dijital bir hale dönüşmektedir.



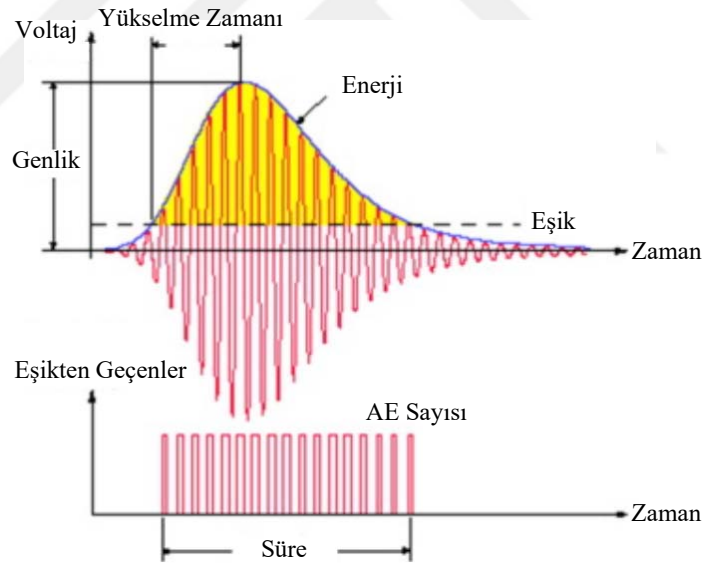
Şekil 2.4: AE ekipmanı ve işlem sırası (Tayfur, 2016)

Akustik dalga ile uyarıldığında elektrik sinyali oluşturan araca “sensör” denir. AE sensörleri genellikle Şekil 2.5’te gösterilen tipte sensörlerdir. Bu sensörler dar bir frekans aralığında zayıf AE sinyallerini algılamak üzere tasarlanmıştır.



Şekil 2.5: AE sensörleri (Tayfur, 2016).

Sinyalin analiz edilip sonuca ulaşılmışından önce, elde edilen AE dalga formuna ait çeşitli parametreler ile de bazı tahminleri yapmak mümkündür. Tipik bir AE sinyalinde Şekil 2.6'da gösterilen parametreler mevcuttur. Muayene sırasında ortamdaki mevcut gürültünün ayıklanması için bir genlik değeri belirlenir ve sadece bu değerin üzerindeki verilerin alınması sağlanır. Bu değere “eşik değeri” denir. Eşik değerini geçen puls sayısına “sayı” denir. Sayı, AE olayının genliğine ve malzemenin özelliklerine bağlıdır. Tanımlanan belirli sayıdaki “sayı” ise “vuruş” olarak adlandırılmaktadır. “Genlik”, bir AE dalga formunda ulaşılan pik voltaj değeridir. Bir AE aktivitesinin algılanabilirliğini tayin etmek açısından önemli bir parametredir. AE genlikleri kaynaktaki olayın büyüklüğü ile doğrudan ilişkilidir. Eşik değerini geçen ilk sayı ile elde edilen bu pik voltaj değerine kadar geçen süreye “yükselme süresi” denilmektedir. “Süre” ise eşik değerini geçen ilk ve son pikler arasında geçen zamandır. Düzeltilmiş sinyal zarfı altındaki (eşik değerini geçen) ölçülen alan ise MARSE (Measured Area under the Rectified Signal Envelope) yani “enerji” olarak tanımlanmaktadır ve emisyonun enerjisini belirlediği için yararlı bir parametredir. (Tayfur, 2016)



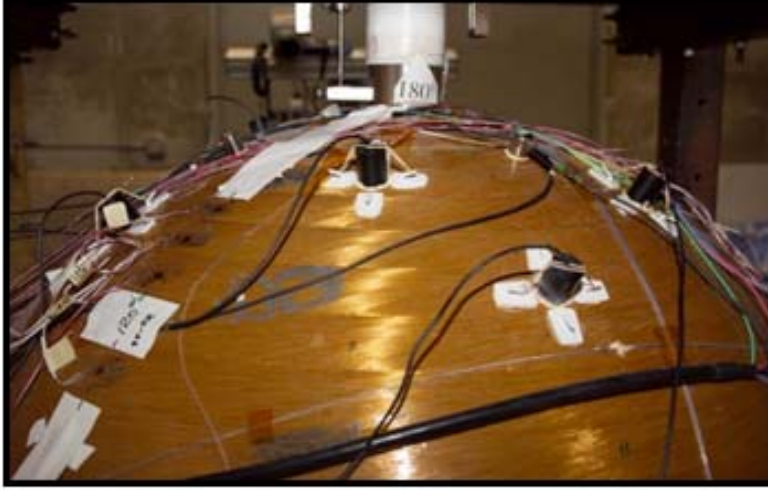
Şekil 2.6: AE parametreleri

AE yönteminin modern uygulama aralığı çok geniştir. Genel anlamda bu teknik; petro-kimya, petrol ve gaz, nükleer enerji, gaz arıtma, askeri, uzay ve havacılık sistemlerinde (Şekil-2.7), medikal, ilaç, otomotiv endüstrilerinde, betonarme ve çelik yapılarda ve bu alanlara ek olarak akademik ve endüstriyel araştırma kurumlarında kullanılmaktadır.

Boru hatlarında, depolama tankları ve basınçlı kaplarda, köprülerin kritik yapı elemanlarında, demiryolu araçlarında; çatlakların ve kaçakların tespitinde, korozif defektlerde, yapılan kaynak hatalarının belirlenmesinde kullanılmakla beraber

ayrıca proses sürecindeki üretimlerin lehimli birleşimlerinde, sıcaklık ve basınç altında yapılan yüklemelerde, kaynak işlemi veya ahşap kurutma sürecinin izlenmesinde, bir çok yapı malzemesinin üretiminin kontrolünde kullanılmaktadır.

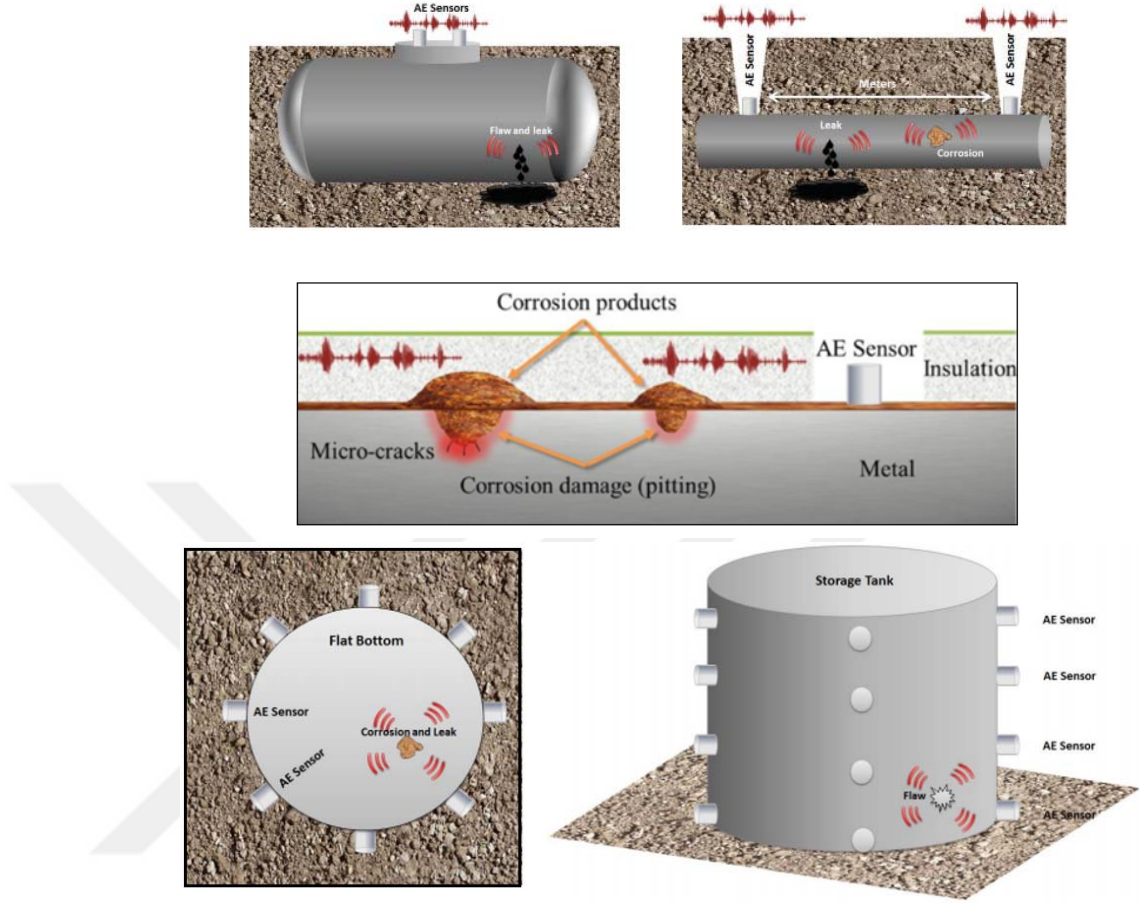
En geniş kullanım alanı sismik olaylar olup en küçük ölçekli kullanım alanı ise yük altındaki malzemenin mikro yapısında gerçekleşen dislokasyon hareketleridir. (Tuncel, S., 2008)



Şekil 2.7 Uzak ve havacılık sistemlerinde akustik emisyonun önemi
(https://www.nasa.gov/centers/wstf/supporting_capabilities/nondestructive_evaluation/acoustic_emissions_testing.html)

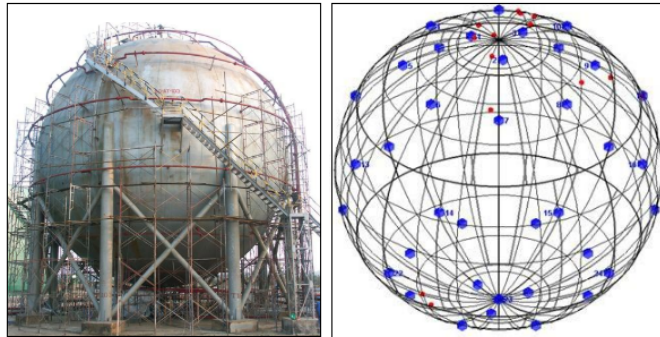
Sızıntı, mekanik titreşimler ile mekanik sürtünme, çatlak oluşumu ve gelişimi, ergime, kayma ve dislokasyon hareketi, faz dönüşümleri, plastik deformasyon gelişimi, korozyon vb. gibi çevresel zorlamalardan kaynaklanan çatlak gelişimi, hidrojen kırılabilirliğinin gelişimi, yorulma ve sünme çatlak gelişimleri, süneklik ve gevrek malzeme özelliklerinin incelenmesi ve yabancı madde içeriği tespiti akustik emisyon tekniğinin kullanıldığı araştırma konularıdır.

Kısaca AE yöntemi, yükleme altında herhangi bir yapının veya ekipmanın hasarını tespit etmek, bulmak ve karakterize etmek için yaygınca kullanılmaktadır (Şekil 2.8). Bu tez çalışmasında araştırılan likit sıvı veya gaz taşıyan boru hatları ile basınçlı kaplardaki oluşabilecek sızıntıların lokasyonunun AE ile tespiti, günümüzde bazı yerli ve yabancı firmalar tarafından sahada uygulanmaktadır.



Şekil 2.8 AE yöntemi ile malzeme hasar ve kusurlarının tespiti (<http://www.idinspections.com/wp-content/uploads/Acoustic-Emission-Inspection-of-Petroleum-Tanks-and-Piping-May-2016.pdf>)

Yüklemeye durumundaki ‘‘FRP- Fiberglass Reinforced Plastic’’ atmosferik dikey tanklar, basınçlı yatay ve dikey tanklar, vakumlu dikey tankları ve küresel tanklarında oluşan hasar ve kusurların akustik davranışları, Kanada’da alanında uzmanlaşmış TISEC Inc. Firması tarafından tespit edilebilmektedir (Şekil-2.9 ve Şekil-2.10).



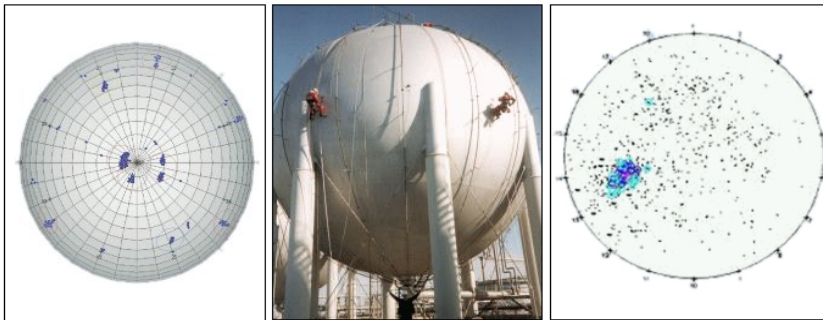
Şekil-2.9 Küresel tanklarda sızıntının incelenmesi (<http://www.structuralinsights.com/SI/spherical.php#>)



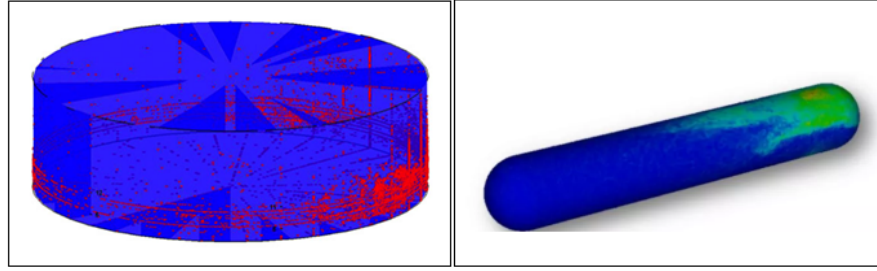
Şekil 2.10 FRP tanklarda sızıntının incelenmesi
(http://www.structuralinsights.com/SI/tank_inspection.php)

AE yöntemi ile FRP tanklarında reçinede çatlama, elyaf-matrisinin bağında zayıflama, elyafda çekme ve kırılma, delaminasyon, ve montajının yapıldığı giriş kısımları (nozzles and manways) ile arasındaki bağda kayıplar gibi malzemede oluşacak olası kusurların tespiti noktasında çalışmalar ASTM E 1067-07 şartnameleri ışığında yapılmaktadır. Yine küresel tanklarda çatlak oluşumu ve süreksizliklerin ölçümleri ASTM E 1930 ve ASTM E 569 temelli gerçekleştirilmektedir.

Yer üstü depolama tanklarında korozyif etkilere bağlı olarak malzemede oluşacak kusurların akustik özelliklerini belirlemek amacıyla bir başka kontrol firması olan MTI Ltd. şirketi AE tahribatsız test yöntemini kullanmaktadır (Şekil 2.11).



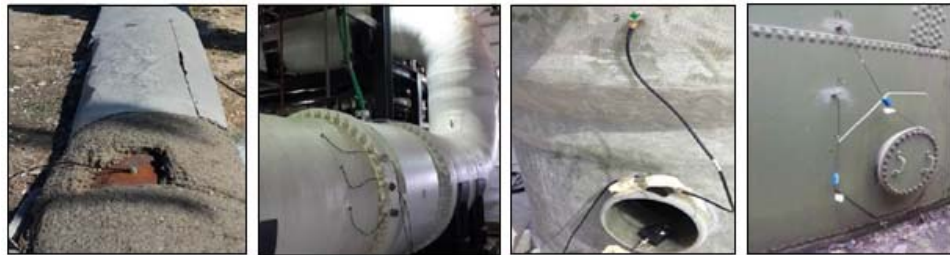
Şekil-2.11 Küresel tanklarda akustik emisyon ile korozyonun incelenmesi
(<http://www.mti.eu.com/corrosion.html>)



Şekil-2.12 Silindirik tanklarda ve kapalı kaplarda akustik emisyon ile korozyonun incelenmesi (<http://www.techcorr.com/acoustic-emission-testing.php> & <http://www.idinspections.com/wp-content/uploads/Acoustic-Emission-Inspection-of-Petroleum-Tanks-and-Piping-May-2016.pdf>)

Diğer taraftan benzer şekilde, Amerikan TechKorr firması da depolama tankları ve basınçlı kaplar üzerine yapısal malzemenin korozyon davranışlarının, çatlak gelişimi gibi malzeme kusurlarının akustik özelliklerini tespit etmekte hacimsel olarak izlenmesini sağlayan güçlü bir tarama tekniği kullanmaktadır (Şekil 2.12)

Yine kontrol ve araştırma firmalarından Amerikan SENTRO Tech. firması, Integrity Diagnostics, TÜV Austria Türk, Teknik Muayene gibi firmalar da yer altı-yer üstü metal veya plastik boru hatlarını, ısı eşanjörleri, zehirli, tahriş edici, yanıcı ve patlayıcı tehlikeli maddeleri içeren depolama tankları, basınçlı kapları, kolon ve reaktör, izole edilmiş ekipmanlar, FRP boru ile basınçlı kaplar ve cam kaplı ekipmanlar dahil çoğunluğu endüstriyel alanda üretimde önemli yere sahip ekipmanlar üzerinde yük altındaki malzemenin kusurlarını tespit etmek üzere akustik emisyon yöntemini kullanmaktadır (Şekil-2.13).

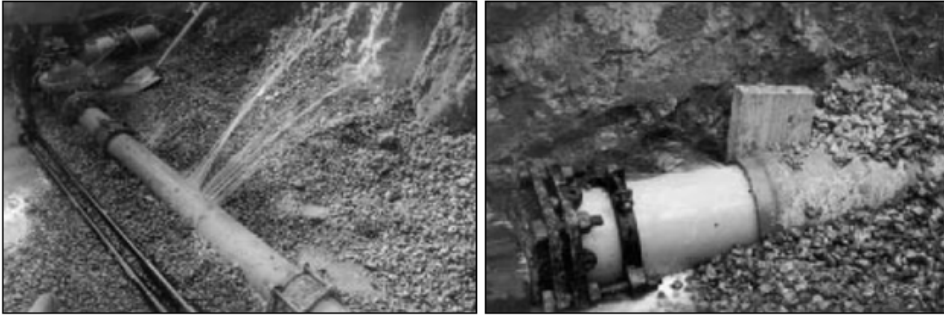


Şekil-2.13 Akustik emisyon ile endüstriyel elemanlarda malzeme hasar ve kusur tespiti (<http://sentro-tech.com/services/on-line-acoustic-emission-inspection/>)

2.4 Literatür Taraması

AE tekniği birçok araştırmacı tarafından farklı mühendislik alanlarında incelenmiş, çalışmalara konu olmuş ve olmaya devam etmektedir. İnşaat mühendisliğinde beton ve çelik elemanlar, öngermeli beton, yine makine mühendisliğinde basınçlı kapalı kaplar, boru elemanları gibi malzemelerin kırılma mekanizmaları ve kırılma enerjileri akustik emisyon yöntemi ile belirlenebilmektedir. Bu bölümde incelenen AE yöntemi ile sızıntı tespitini konu alan çalışmalardan bazıları sunulmuştur.

Osama Hunaidi ve Wing T. Chu (1999) plastik borulardaki sızıntı sinyallerinin akustik özellikleri üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deney; ses veya titreşim sinyallerinin frekans içeriğinin, sızıntı tipi, akış hızı, boru basıncı ve mevsimi, sönümlenme oranının belirlenmesi ve yayılma hızının frekansla değişimi olarak karakterize edilmesini içermiştir. Deneyde sızıntının tespiti noktasında, sinyallerinin akustik özellikleri için uygun enstrümantasyon seçimi, uygun ölçüm prosedürlerinin tasarımı ve yayılma hızı durumunda, korelasyon yöntemiyle kaçakların doğru bir şekilde tespit edilmesine yardımcı olunması amaçlanmıştır.



Şekil 2.14 Plastik borularda sızıntının akustik yöntemlerle incelenmesi (Hunaidi ve Chu, 1999)

Deneyler, Ottawa Kanada Ulusal Araştırma Konseyi (NRC) Kampüs'ünde sızıntı deneylerinin yapıldığı bir tesisde gerçekleştirilmiştir. Tesis, Şekil 2.14'de yaklaşık 200 m uzunluğunda, 150 mm çaplı PVC borulardan oluşturulmuştur ve normal inşaat prosedürlerine göre, boru 2.4 m derinlikte yumuşak killi toprağa gömülüdür. Sızıntılar servis bağlantılarından, arızalı bir eklemden ve çatlamış bir borudan (çatlayan boru geri dolgudan hemen sonra oluşmuş) dahil edilmiştir. Sızıntı oranı ve boru basıncı çeşitli çalışma koşullarını simüle etmek için ayarlanabilir ve ölçülebilir şekilde oluşturulmuştur. Sızıntı tespit sensörleri, ivme ölçerler veya hidrofonder, yaklaşık 100 m aralıklı iki yangın hidrantının yanı sıra 19 mm'lik bakır boru servis bağlantıları da dahil olmak üzere test borusuyla çeşitli temas noktalarına bağlanabilir şekilde ayarlanmıştır. Deney borusunda sızıntının meydana geldiği lokasyondaki sinyalleri ölçmek için hem titreşim hem de akustik sensörler kullanılmıştır. Titreşim ölçümü için piezoelektrik ivmeölçerleri hassasiyeti 1 V / g kullanılmış ve ivmeölçerler yangın hidrantlarının üst yüzeyine

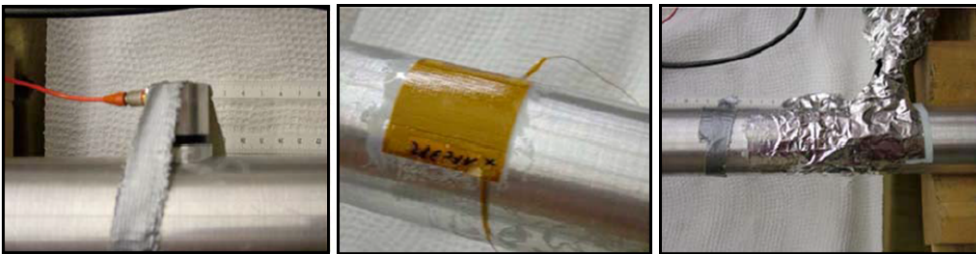
manyetik olarak bağlanmış, ikinciler ise su ile basınçlandırılmıştır. Ses ölçümü için, 0,447 V / kPa (44,7 V / bar) hassasiyete sahip olan hidrofonlar, servis bağlantılarına veya özel bir boru üzerinden hidrantlara bağlanmıştır. Sensörlerden gelen sinyaller, kayıt cihazına 100 m uzunluğunda kablolar yoluyla iletilmiştir. Sensörlerden sızıntı sinyalleri, 5 dakikalık bir süre boyunca koşullandırılmadan, 16-bit bir dijital kayıt cihazı üzerinde eşzamanlı olarak kaydedilmiştir. Kaydedilen sinyaller daha sonra saha dışında analog olarak alınmış ve PC tabanlı bir veri toplama ve analiz sistemi kullanılarak yeniden elde edilmiş ve analiz edilmiştir. Sinyaller ilk olarak 200 Hz'lik frekansa sahip filtrelerden geçirilmiştir. Ardından, her bir sinyalden 66'şar kesim 500 örnek/sn'lik bir örnekleme frekansında sayısallaştırılmıştır ve PC'nin sabit diskinde saklanmıştır. Spektral analiz, 1024 noktalı hızlı bir Fourier dönüşümü (FFT), Hanning penceresi ve güç spektrumu ortalaması kullanılarak sayısallaştırılmış sinyaller üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çapraz bağıntı fonksiyonunun FFT ile hesaplanması için sayısallaştırılmış sinyaller, dijital filtreleme kullanılarak 15 ve 100 Hz arasında bant ile sınırlandırılmıştır. Kesikli Fourier dönüşümünde örtüşen dairesel etkiyi ortadan kaldırmak için, % 50 örtüşen dikdörtgen bir 512-nokta kuvvet penceresi kullanılmıştır.

Sonuçları kullanılan sensörler bakımından inceleyecek olursak, hidrofonlarla ölçülen sinyaller için belirlenen hızlar, ivmeölçerler ile ölçülen sinyaller için belirlenenlerden önemli ölçüde farklı olmadığı tespit edilmiştir. Fakat, hidrofon veya ivmeölçer sinyallerinin çapraz korelasyonundan biraz farklı zaman gecikmeleri elde edilmiştir. Hesaplanan hızlar sırasıyla 482 ve 492 m / sn dir. Titreşim sinyallerinin boru duvarında yayıldığı, ses sinyallerinin su çekirdeğinde yayıldığı ve dolayısıyla hızlarının farklı olacağı yönündeki yaygın inançtan dolayı, birçok sızıntı tespit uygulayıcısı buna şaşırmıştır. Açıkçası, durum böyle olmadığı ve akışkan dolu borularda dalga yayılımı karmaşık bir olgu olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte, basit ifadelerle, dalgalar su çekirdeğinde ve boru çeperinde ayrı olarak yayılmamaktadır, her iki ortamdaki yayılma modları birleştirilmiştir. Bu nedenle, yayılma hızının diğer faktörler arasında boru malzemesinin çapına ve sertliğine bağlı olmasının nedeni budur. Bu açıklamaya göre sönümlenme oranının "su çekirdeği" ve "boru duvarı" iletilen titreşimler için de aynı olduğu düşünülmektedir. Su dolu bir borudaki ana sönümlenme mekanizması, boru duvarı titreşirken çevredeki toprağa enerji yayılmasıdır; genişlemeler ve daralmalardır. Bu, plastik boruların neden daha esnek olduklarından ve dolayısıyla daha etkili enerji radyatörleri olduğundan, plastik boruların metalik olanlara göre daha yüksek bir sönümlenmeye sahip olduğunu açıklamıştır. Hidrofonlarla ölçülen sızıntı sinyallerinin frekans içeriğinin çoğu 50 Hz'in altındadır. Yüksek frekanslarda sinyal amplitüdüleri çok küçük olduğu ve ivmeölçerde ölçülen sızıntı sinyalleri, yüksek frekansta, su geçirmez ölçülen sızıntı sinyallerinden daha yüksek seviyelere sahip olduğu belirlenmiştir. Sızıntı sinyallerinin genliği, yaklaşık 0.25 dB / m'lik bir hızla, mesafe ile hızla azaldığı gözlemlenmiştir. Kışın bu oran önemli ölçüde daha yüksektir. 50 Hz altında, boru ek yerlerinde ölçülebilir bir sönümlenme olmadığı ayrıca belirlenmiştir. Sızıntı

sinyallerinin yayılma hızı, hem hidrofona hem de ivmeölçer ile ölçülen sinyaller için aynıdır. Yayılma hızı kışın yaklaşık % 7 daha yüksektir. Son olarak da 50 Hz altında, yayılma hızının frekanstan bağımsız olduğunu belirtmişlerdir.

Wang, X.J., Simpson, A.R., Lambert, M.F. and Vítkovský, J.P. (2001) bir çok amaca hizmet eden boru hatları ve kapalı kaplarda oluşabilecek gaz veya sıvı maddelerin sızıntılarını tespit etme yöntemlerini incelemişlerdir ve her bir yöntemin avantaj ve dezavantajları vurgulayarak farklı boru hattı sistemleri için uygun çözümlerin seçilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Su dağıtım sistemlerinde kaçak tespiti için şu anda en iyi pratik yöntemin, su denetimli uygulamaların ve akustik yöntemlerin kombine uygulaması olduğunu vurgulamışlardır.

Andreas J. Brunner ve Michel Barbezat (2007) kompozit piezo-elektrik aktif fiber ve geleneksel akustik emisyon uygulamalarının karşılaştırılması bakımından boru hatlarında meydana gelen sızıntıların lokasyonlarını tespit etmek üzerine bir deney düzeneği hazırlamışlardır. 60 cm uzunluğunda, 50 mm'lik çapa ve 2 mm'lik et kalınlığına sahip bir alüminyum boru parçası, kompresör yardımı ile basınçlı havaya maruz bırakılmıştır. Sızıntılar çeşitli çaplardaki (0,1 ila 1,2 mm arasında) boşluklu vidalar kullanılarak simüle edilmiştir. Delikler, lazer delme ile yapılan 0.1 ve 0.2 mm çapları haricinde, geleneksel delme ile imal edilmiştir. Bir AFC sensörü, iki geleneksel AE sensörü ile tamamlanmış, doğrudan boru yüzeyine monte edilmiştir. AFC sensörü, ticari, termo ayarlı iki bileşenli epoksi bazlı bir yapıştırıcı kullanılarak doğrudan boru yüzeyine monte edilirken, AE sensörleri, temasın uygulanması için bağlantı maddesi ve koli bandı olarak bir silikon içermeyen vakum gresi kullanılarak boruya monte edilmiştir. AFC sensörü, topraklama teline ve AE ekipmanının elektriksel zemine aynı anda bağlanan kendinden yapışkanlı bir alüminyum folyo ile elektriksel olarak korunmuştur. (Şekil 2.15)



Şekil 2.15 Kompozit piezo-elektrik aktif fiber ve geleneksel AE sensörleri (Brunner ve Barbezat, 2007)

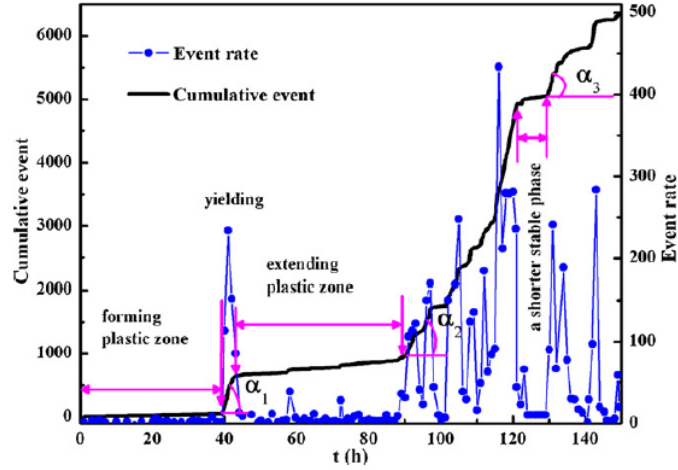
Bir kompresör yardımı ile basınçlı havaya maruz bırakılan alüminyum boru sürekli olarak bir basınç göstergesinden okunmuştur ve her bir test için basınç değerleri not edilmiştir. Akustik emisyon sinyal parametreleri ve dalga formları simüle edilmiş olup, farklı sızıntı koşullarında ve basınçlarda kaydedilmiştir. AE verileri, geçici kayıt özelliğine sahip bir sistem (Vallen Systeme GmbH'dan AMS-

3 tipi) kullanılarak üç kanalla kaydedilmiştir. Bir kanal AFC sensörü, diğerleri ise geleneksel AE sensörleri (Dunegan Engineering Corp'dan SE45-H tipi) için kullanılmıştır.

İnce, düzlemsel elemanlar olan AFC sensörleri, konik AE sensörleri ile karşılaştırıldığında avantaj sağladıkları çünkü eğimli ve farklı geometrilere sahip yüzeylerde daha kullanışlı olduklarını belirtmişlerdir. Basıncı borularda ve kaplarda AFC sensörlerinin montajının daha pratik olduğunu ve kalıcı olarak monte edilen bu sensörlerin tahribatsız muayene ile yapısal sağlık izleme için de çok yararlı olabileceğini belirtmişlerdir.

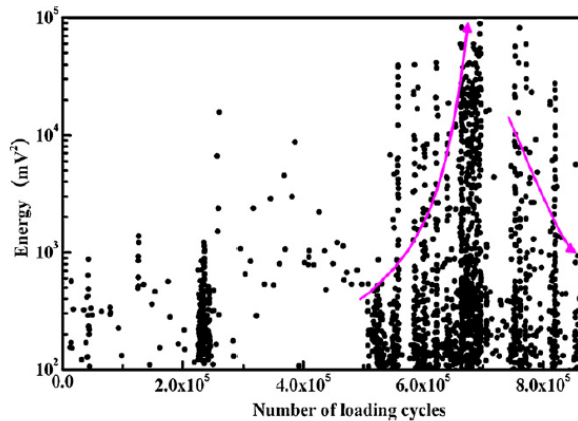
Deneylerde, bir sızıntının mevcut olup olmadığına bağlı olarak AE dalga formlarının hızlı Fourier dönüşümünden elde edilen verilerde güç spektrumlarındaki farklılıklar göze çarpmıştır. 800 kPa'lık bir basınç için, her iki sensör de AE ve AFC, 150 kHz'in hemen üzerindeki karşılaştırılabilir genliğe sahip ayrı bir pik değer göstermiştir.

Qiong Ai, Cai-Xue Liu, Xiang-Rong Chen, Pan He ve Yao Wang (2010) nükleer enerji santrallerinde ana soğutma borularının aktif tahribat gelişimini simüle etmek için bir boru numunesi üzerinde deney gerçekleştirmişlerdir ve tahribat gelişimini sürekli olarak akustik emisyon tekniği ile kayıt altına almışlardır. Gerçek zamanlı AE sinyallerindeki değişimlerinin sebebi malzemenin mikroskobik yapısındaki elastik davranış olduğu gerçeğine ulaşmışlardır. Genlik ve enerji, yorulma çatlaklarının aktivitesini göstermiştir. Temel olarak yorulma çatlaklarını ele alan çalışmalarında kümülatif olay sayısı ile birlikte amplitüdün diferansiyel dağılımı sadece aktif tahribatları ortaya koymamış, aynı zamanda boru hattında potansiyel bir sızıntı durumu ortaya çıkardığını belirtmişlerdir. Boru numunesi olarak hammaddesi östenitik 0Cr18Ni10Ti paslanmaz çelik kullanılmıştır. Boru numunesi 500 mm uzunluğunda, 12 mm duvar kalınlığında ve dış çapta 152 mm olarak seçilmiştir. Kusur, boru örneğinin iç duvarının ortasındaki Elektrik Boşaltımlı İşleme ile (EDM-Electrical Discharge Machining) üretilmiştir. Üç AE sensörü, boru numunesinin her iki ucunda ve ortasında yapıstırıcı ile sabitlenmiştir. AE izleme sistemi, sinyal detektörü, ön amplifikatörler ve bir sinyal işleme birimi dahil olmak üzere bağımsız olarak geliştirilmiştir. Dedektör üç adet PAC R15 akustik emisyon rezonans piezoelektrik sensör ve üç adet PAC 2/4/6 tipi ön amplifikatörden oluşturulmuştur. AE genlik ve enerji yorulma döngüleri ile artmış ve çok benzerlik göstermişlerdir.



Şekil 2.16 Kümülatif olay oranı - zaman grafiği (Ai et. al., 2010)

İlk döngüde, yaklaşık 38 saatte, AE genliği 4mV'nin altında ve 103'ün altında enerji dalgalanmıştır. Daha sonra ortaya çıkan bir büyüme ve kısa sürede daha yüksek genlik, enerji ve olay olasılığı ile devam etmiştir. Yaklaşık 45 saatte sadece birkaç zayıf AE olayı olup, karşılık gelen genlik ve enerji ilk 40 saatte daha az seyir etmiştir. Devam eden çevrimin son 55 saatinde iki farklı olay gözlenmiştir. Şekil 2.16'da yorulma çatlağı, çatlak oluşumu ve çatlak yayılımına dönüşen bir kusurun iki aşaması tespit edilmiştir. Sinyaller ilk aşamada yüksek, ancak ikincisinde aşağı inmiştir. Bu, yorulma çatlak yayılımının belli bir düzenlilikte olmadığını göstermiştir. Genlik ve enerji eğilimi ile üç farklı bölüme ayrılmıştır. Şekil 2.17'de ilk olarak genlik, enerji ve olay oranı yükselmiş ve yorulma çatlaklarının büyüdüğü anlamına gelebilecek yüksek bir seviyeye ulaşmıştır. Daha sonra kısa bir ara sonrasında düşüş göstermiştir, bu da çatlak büyüme hızının erken dönemde hızlandığını ve daha sonra yeniden ortaya çıkabileceğini göstermiştir.

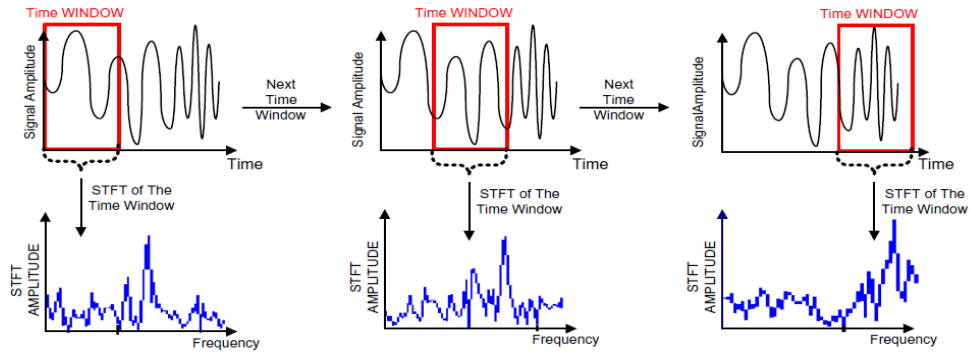


Şekil 2.17 Yorulmada yükleme tekrarı-enerji grafiği (Ai et. al., 2010)

Deney sonuçları, aktif kusur gelişimini etkin bir şekilde tespit etmek için AE genliğini ve enerjisini kullanılabileceğini göstermiştir. AE genlik ve AE olay

sayısının diferansiyel dağılımı, potansiyel sızıntıyı tahmin etmemize yardımcı olabileceğini göstermiştir.

Majid Ahadi ve Mehrdad Sharif Bakhtiar (2010) su dolu plastik bir boruda sızıntıyı tespit etmek için yeni bir yöntem önermişlerdir. 3 mm et kalınlığında, 16'' çap ve 5 m uzunluğundaki bir PVC boru, dikey olarak monte edilmiş ve alt uç kısmı kapatılmıştır. Sızıntıyı simüle etmek için borunun ortasında (borunun tabanından 2.5 m) 2 mm çapında bir açıklık oluşturulmuş ve boru daha sonra su ile doldurulmuştur. 10 kHz'lik bir bant genişliğine sahip bir piezo-elektrik hidrofona, boru içine yerleştirilmiş ve böylece borudaki sızıntı noktasından uzaklığı ayarlanmıştır. Hidrofondan gelen analog sinyal, düşük gürültülü bir amplifikatör ile güçlendirilmiştir. Ölçülen akustik verilerin bir bilgisayara sayısallaştırılması ve iletilmesi için, yaklaşık 10 kHz'lik bir bant genişliğine sahip basit bir RC düşük geçiş ön filtresinin ardından bir 10-bit, 19.53 K sample / S veri toplama sistemi kullanılmıştır. Sızıntının neden olduğu AE sinyallerinin yanı sıra borunun doğal frekansları, arkaplan gürültüsü vs. diğer sinyallerinin de varlığını tespit etmek için Dalgacık Dönüşümü Teknikleri kullanılmıştır. Uygun bir Ana Dalgacık (mother wavelet) bulmak için, tipik bir boru hattında bulunan sinyallerin özelliklerini incelemek ve kaçak işareti olarak gösterdiğimiz sızıntı AE sinyallerinin ayırt edici özelliklerini çıkarmak için bir dizi kontrollü deney tasarlanmıştır. Sızıntı işareti tanımlaması iki ana aşamayla tespit edilmiştir. İlk olarak, AE sinyalinin, diğer parazit gürültü ve mevcut sinyallere kıyasla güçlü bileşenlere sahip olduğu frekans bandı belirlenmiştir. Daha sonra, sızıntı AE sinyal varlığının diğer istenmeyen sinyallere kıyasla nispeten güçlü olduğu kısa zaman pencereleri aranmıştır. Sinyalin Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü ile (STFT- The Short Time Fourier Transform) oldukça kısa sürede incelemesi yapılmıştır (Şekil 2.18). Sonuçlar, doğru seçilmiş ana dalgacık tarafından üretilen spektrogramların ve frekans bandı boyunca ilgili dalgacık dönüşüm yöntemleri incelenmesinin pratik kaçak tespit sistemleri için etkin bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir. Kısa süreli STFT'deki kaymaların, bir AE sızıntı sinyalini bulmak ve saptamak için etkili bir araç olduğu kanıtlanmıştır.



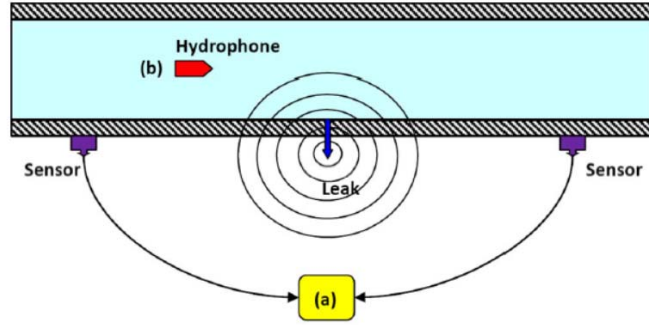
Şekil 2.18 STFT'de zaman kayması (Ahadi ve Bakhtiar, 2010)

Dong Pan, Ning Zhou, Xuanya Liu ve Huijun Zhao (2011) ‘‘dalgacık grubu’’ ve ‘‘Çapraz Korelasyon’’ analizleri yardımı ile boru hattı sızıntı kaynağının konumlandırılması üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Konumlandırma hatasını % 8'in altına taşımayı başarmışlardır. Akustik emisyon sensörü tarafından toplanan örnekleme verilerine çoklu çözünürlük analizi yapmak için ‘‘wavelet packet’’ kullanılması gerektiğini, daha sonra da gürültü oranını iyileştirmek için her frekans bandının ayrıştırılmış sinyallerine ‘‘Çapraz Korelasyon’’ yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Düzenekte ayrıca sisteme akışkan olarak ayrı ayrı sıvı ve gaz ilave edilmiştir. Deney süresince sıvıların gazlara oranla nispeten daha zayıf titreşim sinyali ürettiği kanısına varılmıştır. Bunun gazın daha sıkıştırılabildiği durumundan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Buna ek olarak sensörlerdeki sönümlenme etkisinin sızıntıya olan mesafeye doğru orantılı olduğunu belirtmişlerdir. Sızıntı kaynağının akustik emisyon sinyallerinin enerjisi, hattın iç basıncı ile doğrusal olarak ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Dahili basıncın azalmasıyla, akustik emisyon sinyal spektrumu genliğindeki sızıntı tüm frekans aralığında azalan bir eğilim göstermiştir. Farklı basınç altında, akustik emisyon sinyallerinin farklı frekans bileşenlerinin enerjisi, toplam enerjideki kabaca aynı oranı kapsamıştır. Sızıntı deliğinin çapı nispeten küçük olduğunda, sızıntıdan kaynaklanan akustik emisyon sinyali daha yüksek frekanslı bileşenler içerdiğini, sızıntı deliğinin çapı arttıkça, akustik emisyon sinyalinin ana enerjisi kademeli olarak düşük frekans aralığında yoğunlaştığını tespit etmişlerdir.

Y. A. Khulief, A. Khalifa, R. Ben Mansour ve M. A. Habib (2011) sızıntı tespiti için boru içi akustik ölçümlerin fizibilitesini ve potansiyelini ele alan deneysel bir araştırma sunmuşlardır. Su iletim hattını simüle etmek ve farklı sızıntı boyutlarına, akış oranlarına ve basınçlara izin vermek için deneysel bir deney teçhizatı inşa etmişlerdir. Şekil 2.19’da sızıntıdan kaynaklanan akustik sinyalin iç ölçümlerini kullanarak boru hatlarındaki kaçakları tanımlama girişimleri, ya bağlı bir hidrofona ya da serbest-yüzme bir hidrofona kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu durumda ölçüm tekniği, öncelikle borunun içindeki su sütunundan geçen sese dayandırılmıştır. Bu bağlamda, boru dışındaki ve boru içindeki ölçüm değerleri arasındaki temel farklılıklar belirlenmiştir. Birincisi, sızıntı deliği yüksek geçirgen filtre gibi davranmıştır, yani sızıntı kaynağından dış ortama yüksek frekanslı ses gücü iletilmiştir. Bu durumda, düşük frekanslı ses enerjisi sızıntıdan yayılmamış, fakat kaynağa doğru yansımıştır, bu da yüksek frekansın borunun dışında iletilmediğini göstermiştir. İkincisi, yüksek frekanslı ses enerjisi, boru içinde sönümlenmiştir ve düşük frekanslı sinyali, sızıntı teşhisleri için birincil sinyal olarak bırakılmıştır.

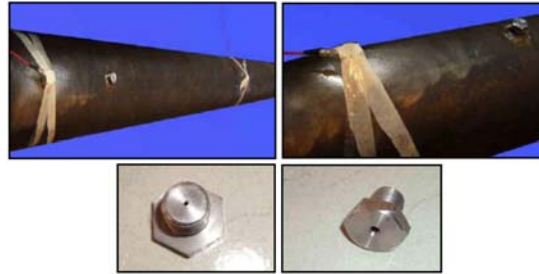
Boru içi ölçüm tekniğini saha uygulamalarında gerçekleştirmek için, boru içinde iletilen akustik enerjiye sızıntının etkisini göstermek için bir referans spektrumu ayarlanması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu, ya boru hattının sızdırmayan bölümü için bir referans akustik spektrum gerektiren ya da bir

korelasyon oluşturmak için iki aralıklı mikrofon kullanılan bir yöntem olması gerektiği kanısına varmışlardır.



Şekil 2.19 Hidrofon ile akustik davranışların incelenmesi ve harici sensörlerle korelasyon teknikleri (Khulief et. al., 2011)

Mostafapour ve S. Davoudi (2012) nominal uzunluğu 6 m, duvar kalınlığı 7.35 mm ve dış çapı 169 mm olan ASTM A 106/99 sınıfı çelik boru üzerinde doğrusal olarak dizilmiş iki adet R15α sensörleri ile teorik kaynak lokasyon tespitinin kontrolü noktasında sızıntı tespiti deneyi yapmışlardır. Sensörlerin sinyalleri 60 dB amplifikasyonda çalışan 100-750 kHz bant genişliğine sahip bir PAC 1120 A kullanılarak ön yükseltilmiş ve amplifikatör çıkışı 0.01-0.4 MHz arasında filtrelenmiştir. AE verileri, 10 MHz örnekleme hızında yakalanmıştır. Sensörlerden biri sızıntı kaynağından 20 cm uzaklığa ve başka bir sensör ise kaynaktan 100 cm mesafeye, kaynağın diğer tarafına yerleştirilmiştir. Boruda sürekli sızıntı kaynağı üretmek için 0.6 ve 1.00 mm çaplarında boşluklu M12x1.75 vida kullanılmıştır (Şekil 2.20). Sızıntının kararlı durumunu korumak amacıyla borunun iki tarafı 10 mm'lik levhalarla kapatılmıştır. Levhanın bir ucunda 5 barlık kompresör ve yine boru sonunda basınç değişimini gözlemek amacıyla basınçölçerler montajı yapılmıştır. Bu deneylerde, deneysel verilerin elde edilmesinde AE Win yazılımı kullanılmıştır. Kompresörden gelen hava basıncı kontrol altına almak amacıyla regülatör kullanılmıştır. Sızıntının neden olduğu akustik emisyon sinyalleri akustik emisyon sensörleri tarafından kaydedilmiştir. Bu çalışmada kompresör ayrı bir odada deney ortamından dış ortamdaki herhangi bir titreşimden kaynaklanabilecek parazit seslere karşı izole edilmiştir.



Şekil 2.20 Boru elemanında kaynak oluşturma tekniği ve kaynak delik çapı (Mostafapour ve Davoudi, 2012)

Çizelge 2.1 ve 2.2’de deneysel sonuçları, geliştirilen analitik performansı teyit etse de çalışma sonucunda analitik modelleme ile deney sonuçları arasındaki ortalama hata % 6’dan daha az olduğu bulunmuştur. Kompresörün ayrı bir odada tutulmasına, deney düzeneğinden izole edilmesine rağmen, bazı sesler ve yansıyan AE dalgaları var olan teorik hesaplar ile deneysel sonuçlar arasında birtakım farklara neden olmuştur. Dolayısıyla gelecekte yansıyan dalganın çoğunu atlamak ve AE dalgaları üzerindeki akışkanın hızının etkilerinin teorik modelde göz önüne alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Çizelge 2.1 Deneysel ve geliştirilmiş model sonuçları için birinci ana frekans karşılaştırılması (Mostafapour ve Davoudi, 2012)

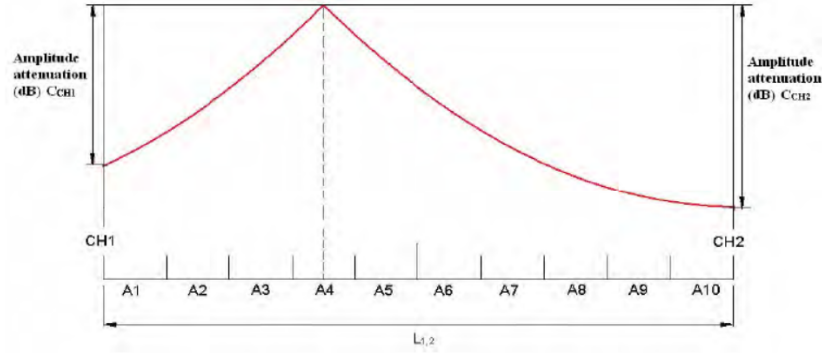
Test	Theoretical main power spectral density freq. (kHz)	Experimental main power spectral density freq. (kHz)	Error %
0.6 mm Dia. hole and 20 cm sensor-source distance	123	116	6
0.6 mm Dia. hole and 100 cm sensor-source distance	125	118	5
1 mm Dia. hole and 20 cm sensor-source distance	126	132	4.7
1 mm Dia. hole and 100 cm sensor-source distance	127	120	5.8

Çizelge 2.2 Deneysel ve geliştirilmiş model sonuçları için ikinci ana frekans karşılaştırılması (Mostafapour ve Davoudi, 2012)

Test	Theoretical main power spectral density freq. (kHz)	Experimental main power spectral density freq. (kHz)	Error %
0.6 mm Dia. hole and 20 cm sensor-source distance	254	268	5.2
0.6 mm Dia. hole and 100 cm sensor-source distance	248	234	5.9
1 mm Dia. hole and 20 cm sensor-source distance	255	271	5.9
1 mm Dia. hole and 100 cm sensor-source distance	-	273	-

Bixia Pan, Changhang Xu, Guoliang Cao, Guoming Chen ve Huandi Shi (2013) kesin lokalizasyon sonucunu elde etmek için uygun Dalgacık Grubunun Analizi’nde (WPD-wavelet packet decomposition) bileşenlerinin seçilmesi zorluğunun üstesinden gelmek için bölgesel lokalizasyonu ve kesin lokalizasyonu birleştiren Çoklu-Kademeli Sızıntı Kaynağı Lokasyonu (multi-level leak source localization) adı verilen bir yöntem sunmuşlardır. Şekil 2.21’de Öncelikle, sızıntı kaynağının alanı, sinyal genliği sönümlenme özellikleri ile belirlenmiştir. Daha sonra, lokalizasyon sonuçları, her WPD bileşeni Çapraz Kolerasyon Analizi ile elde edilmiştir.

Son olarak, bölgede lokalizasyon sonuçlarının ortalaması doğru kaçak kaynak lokasyonu olarak belirlenmiştir. Uygun hesaplama ve doğruluk göz önüne alınarak elde edilen sinyalin kaynağı on alana bölünmüştür. Daha fazla çalışma gerektiren daha uzun bir boru hattı tespit edildiğinde, bölümün 10’dan fazla alan olabileceğini ayrıca belirtmişlerdir

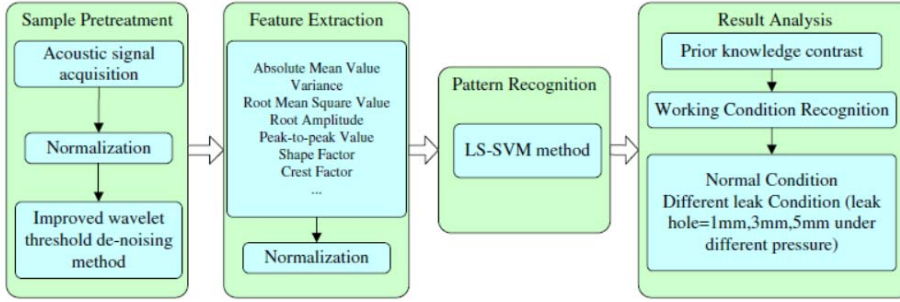


Şekil 2.21 Sinyal genliği sönümlenmesine dayalı bölgesel yerleştirme ilkesi (Pan et. al. 2013)

Sinyal genliğinin sönümlenmesine dayalı konumlandırma yönteminde bazı iyileştirmeler yapılmış, daha uygun ve zamanında önerilen bölgesel lokalizasyon önerilmiştir. Buna ek olarak, farklı çevre (hava ve toprak) altında AE tarafından tespit edilen boru hattı sızıntısının kaynak konumu deneyleri yoluyla, çalışma, mesafe değişimiyle konumlandırma doğruluğunun değişiminin % 0-5 arasında küçük bir aralıkta olduğunu doğrulamıştır. Ortalama konum hatası yaklaşık %2.43 olarak elde edilmiştir.

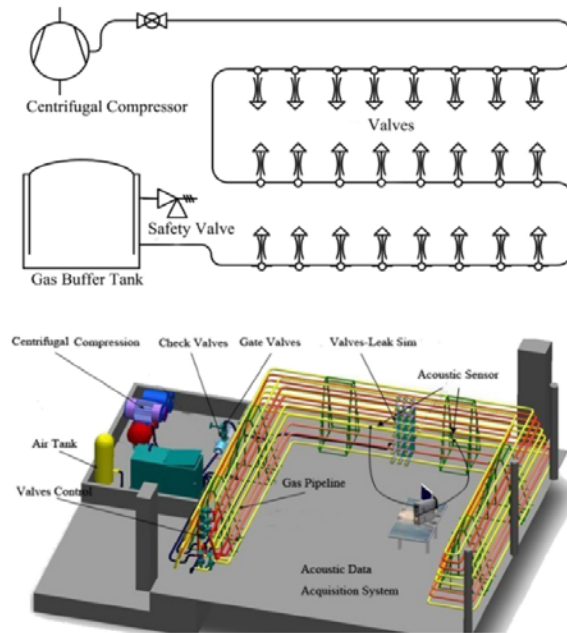
Weiguo Lin, Lingling Jiang, Haiyan Wu (2013) piezoelektrik akustik sensörleri ile gaz boru hatları için sızıntı tespit yöntemi önermişlerdir. Deneysel çalışmaları geçici kaçak sinyalinin maksimum sinyal değişim hızı'nın sadece gaz kaçağı oranına değil, aynı zamanda kaçak lokasyonlarına da bağlı olduğunu göstermiştir. Sinyalin sızıntı oranı arttıkça veya sızıntı mesafesinin azalmasıyla arttığını belirtmişlerdir. Aralarındaki ilişkiyi kurmak kaçak oranını belirlemeye katkıda bulunacağını tespit etmişlerdir. Daha da önemlisi, önerilen yöntemin, sürekli sızıntı akustik sinyalleri ile meydana gelen sızıntıyı da tespit etmede kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Hao Jin, Laibin Zhang, Wei Liang, Qikun Ding (2013) gaz transferinin gerçekleştirildiği boru hatları için kaçak lokasyon tespiti için akustik dalgaların yayılma hızına basınç, yoğunluk, özgül ısı vb. gibi ortamın özellikleri hesaba katılarak modifiye edilmiş bir akustik hız ve konum formülünü önermişlerdir. Test platformu tarafından toplanan orijinal akustik dalga sinyalini ele almak için geliştirilmiş Dalgacık Çift Eşikli Gürültü Arındırılmış Optimizasyonu (Wavelet Double-Threshold De-noising Optimization) yöntemini önermişler ve son olarak sızıntı derecesi ve çalışma durumunu belirlemek için Destek Vektör Makinası (SVM-support vector machine) yöntemini uygulamışlardır. Toplanan akustik sinyaller çok rastgele gürültüler içerdiği için çalışmada rastgele gürültünün ve faydalı sinyalin farklı özelliklerine dayanarak geliştirilmiş bir optimizasyon yöntemini önermişlerdir. Şekil 2.22'de yüksek sinyal hatası problemi ele almak için, akustik sinyal tanımada LS-SVM (Least-squares SVM) yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 2.22 Farklı şartlardaki akustik sinyallerin LS-SVM ile tanımlama akış şeması (Jin et. al., 2013)

Şekil 2.23’de deney 160 m uzunluğunda bir gaz boru hattı, bir dizi santrifüj kompresörü, bir gaz tankı, regülasyon vanaları, bir akustik veri toplama sistemi ve bir kaçak simülasyon sistemi içeren bir test yatağından oluşturulmuştur. Gaz boru hattı test yatağındaki genel akış, farklı süreçlerle karakterize edilmiştir. Sistemde santrifüj kompresöre bir elektrik devresi eklenip havayı kendi gaz depolama tankı tarafından emilim sağlanmıştır. Ardından hava, küresel vana içerisinden geçip ve gaz tank deposuna ulaşmadan önce 160 m uzunluğundaki boru hattı boyunca (boru hattı çapı 50 cm) akmıştır. Boru hattı boyunca yirmi dört sızıntı deliği oluşturulmuştur. Bu sızdırma delikleri üç tipe ayrılmıştır: 1, 3 ve 5 mm. Test için kullanılan akustik sensör PCB106B51 ve duyarlılığı 10 mV / Pa’dır. Güvenlik faktörü göz önüne alınarak, maksimum basınç 0.8 MPa’ya ayarlanmıştır. Simüle saha durumu dört dereceye ayrılmıştır: normal durum, küçük sızıntı (kaçak deliğin yarıçapı 1 mm), orta sızıntı (kaçak deliğin yarıçapı 3 mm) ve büyük sızıntı (kaçak deliğin yarıçapı 5 mm)



Şekil 2.23 Deney akış şeması (Jin et. al., 2013)

Her çalışma koşulu, test numunesi olarak 70 numunede gerçekleştirilmiştir: 50 eğitim numunesi ve 20 tanesi tanıma örnekleri olarak kullanılmıştır. Gürültüyü ortadan kaldırmak için gelişmiş dalgacık çift eşik gürültü azaltma yöntemi uygulanmıştır. Tanıma örnekleri; gürültü azaltma, özellik çıkarma, çalışma durumu tanıma, vb. içermiştir. Saha deneyi ile önerilen yöntemin göreceli hatası % 1.1 olarak bulunmuştur ve yöntemin geleneksel lokalizasyondan üstün olduğunu belirtilmişlerdir. Deney sonuçları, SVM'nin sinyal özelliği vektörüne dayanarak farklı sinyalleri en kısa sürede ve en yüksek doğrulukta ayırt edebildiğini göstermiştir. (Çizelge 2.3)

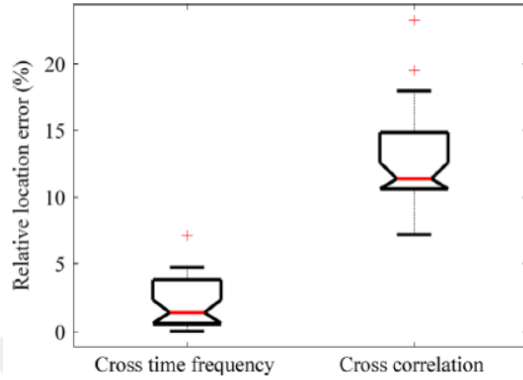
Çizelge 2.3 Farklı SVM modellerinin sonuçlarının karşılaştırılması (Jin et. al., 2013)

SVM model	Training time (s)	Test time (s)	Accuracy (%)
Polynomial kernel SVM	1.83 s	0.19 s	94%
Gaussian RBF kernel SVM	2.14 s	0.34 s	92%
Neural kernel SVM	1.63 s	0.12 s	88%
Fuzzy kernel SVM	1.34 s	0.07 s	96%
LS-SVM	0.42 s	0.03 s	98%

Diğer taraftan Dongying City'deki gerçek bir doğalgaz boru hattında Çin Petrol Boru Hattı Depolama ve Dönüşüm Şirketi'nin yardımıyla bir deney gerçekleştirilmiştir. Saha deneyi için boru hattının bir bölümü kullanılmıştır. Toplam boru hattı uzunluğu 64.2 km uzunluğunda bir valf ile bölünmüş olup toplamda 170 km'lik mevcut hatta gerçekleştirilmiştir. Deneyde, akustik dalga, gaz boru hattının her iki ucunda bulunan iki özel ses dalgası sensörü ile ölçülmüştür. Giriş ve çıkışın basıncı ve sıcaklığı sırasıyla 9 MPa ve 323 K ve 5.7 MPa ve 303 K'dır. Boru hattının çapı ve et kalınlığı sırasıyla 650 mm ve 8.7 mm'dir. Kütle akış hızı 256.7 kg / s ve nispi yoğunluk 0.58'dir. Sızıntı miktarı yaklaşık olarak % 1-1.2 olarak belirlenmiştir. Sızıntı noktasının konumunu hesaplamak için üç lokalizasyon yöntemi kullanılmıştır: traditional localization method (sıvı hızını göz ardı eder ve akustik hızın sabit olduğunu varsayar), iteratif ve bu deneydeki önerilen ölçüm tekniğidir. Üç yöntemin göreceli hataları sırasıyla yaklaşık % 5.1,% 2.2 ve% 1.1 olarak elde edilmiştir.

Shuaiyong Li, Yumei Wen, Ping Li, Jin Yang, Xiaoxuan Dong ve Yanhua Mu (2014) çalışmalarında Çapraz Zaman-Frekans Spektrum hesabına (cross time–frequency spectrum-CTFS) dayanan bir konum şeması, ile çeşitli frekanslarda akustik hızı sahip gaz sızıntısı ile indüklenen akustik dalgaların davranışını ve sızıntı lokasyonlarını incelemişlerdir. Ardından ‘‘Çapraz Korelasyon’’ yöntemi ile CTFS maksimum değere ulaştığında, varış süreleri farkı (TDOA) ve buna karşılık gelen frekans bilgileri eş zamanlı olarak çıkarılmıştır. Burada, frekansa bağlı akustik hızın, gaz sızıntısı ile indüklenen basınç modun bilinen dağılım eğrisi ile kombinasyon halinde belirlenmesi için tepe frekansı kullanılmıştır. Sonuç olarak, önerilen şema için sabit akustik hız artık bir ön koşul değildir. Önerilen şema, gaz boru hattı kum kaçak tespitinde deneysel olarak

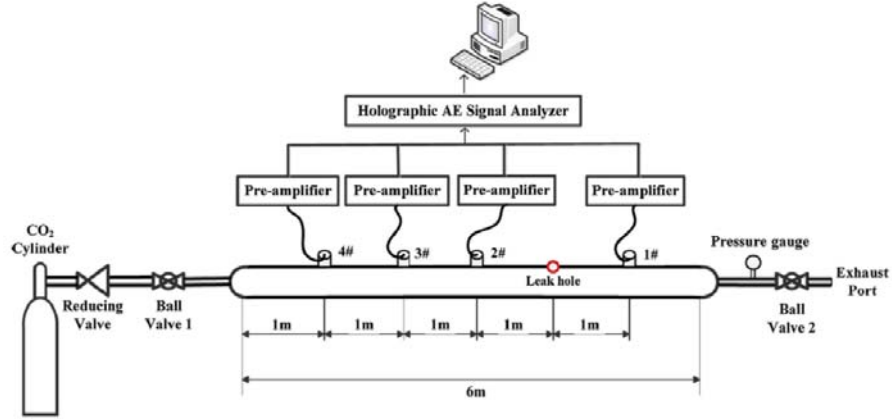
doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, ortalama nispi yer hatalarının, yaygın olarak kullanılan korelasyon temelli konum yöntemiyle karşılaştırıldığında altı kat azaldığını göstermektedir. (Şekil 2.24)



Şekil 2.24 Hedeflenen Çapraz Zaman-Frekans Spektrumu ve geleneksel Çapraz Korelasyon temelli sızıntı lokasyon hatalarının birbiri ile karşılaştırılması (Li et. al., 2014)

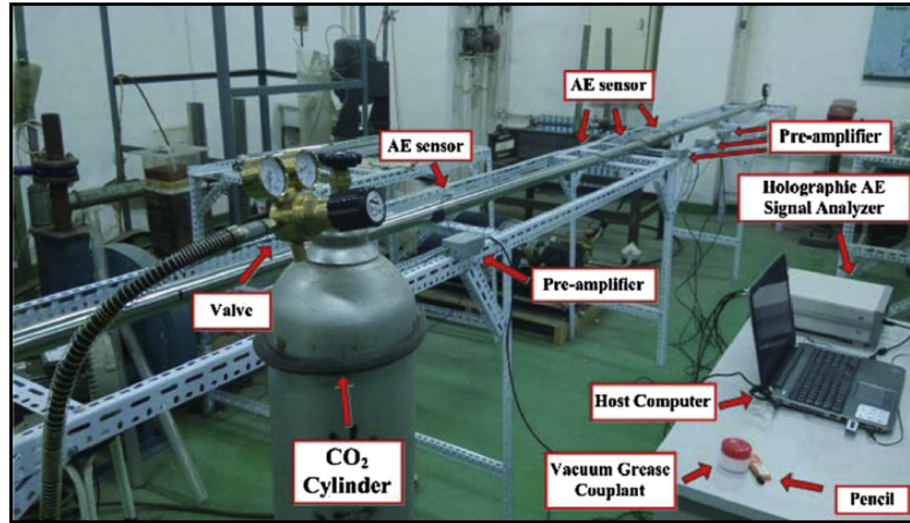
Cui-wei Liu, Yu-xing Li, Yu-kun Yan, Jun-tao Fu, Yu-qian Zhang (2015) dalga yayılma modeline dayanan, hız ve zaman farkını hesaba katmayan konum yöntemi önermişlerdir. Bu nedenle, petrol ve gaz boru hatları için sızıntı akustik dalgalarının yayılma özelliklerine dayalı olarak yeni bir kaçak lokasyon tespiti yöntemi üzerinde çalışmışlardır. Yeni dalga yayılım modeline dayanan yeni önerilen yöntemde, sadece akustik dalgaların genliği ile ilgili olan hız ve zaman farkı hesaba katılmıştır. Geleneksel yöntemde, akustik dalgaların genliği, ‘‘Çapraz Korelasyon Analizi’’ ile zaman farkını hesaplamak için kullanılırken, yeni önerilen yöntemdeki sızıntıları doğrudan bulmak için kullanılmıştır. Teorik olarak sönümlenme azaltma katsayısı düz boru hattı ile hesaplanırken; dirsek boruları, branşman boruları ve ölçüm aletleri gibi diğer bağlantı elmanları içeren karmaşık sistemler deneylerle elde edilmiştir. Bu nedenle sızıntı lokasyon hatalarını en az indirmek amacıyla bu katsayılar dikkatli bir şekilde belirlenmesi gerektiğinin altını çizmişlerdir. Bu deneyde akışkanın hızı ihmal edilmiştir. Yine akışkanın hızı hesaba dahil edilip sönümlenme ile etkileşiminin gelecekte bir araştırma konusunun olabileceğini belirtmişlerdir.

Xiwang Cui, Yong Yan, Yifan Ma, Lin Ma ve Xiaojuan Han (2015) AE yöntemini kullanarak nakliye boru hatlarındaki CO₂ sızıntısının lokalizasyonu için bir teknik sunmuşlardır. Bilindiği üzere Karbon Yakalama ve Depolama (CCS-Carbon Capture and Storage), sera gazı emisyonlarını azaltmak için kullanılan bir teknolojidir. Bu noktada insan sağlığı ve güvenliğini önemli derece de etkileyecek olan yüksek basınçlı CO₂ boru hatlarından mevcut CO₂ sızıntısının lokasyonu AE yöntemiyle tespit edilmeye çalışılmıştır. Deney testlerinde akustik emisyon sinyallerinin karakteristiklerinin hem zaman hem de frekans alanlarında ve enine ile boyuna dalga hızlarının sızıntı lokalizasyonu doğruluğu üzerindeki etkisi araştırılmıştır.



Şekil 2.25 CO₂ sızıntı lokasyon analizi için oluşturulmuş deney düzeneğinin şematik gösterimi (Cui et. al., 2015)

Şekil 2.25 ve 2.26'da deney, paslanmaz çelik borudan CO₂ salınan bir laboratuvar ölçekli test teçhizatı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinde, dış çapı 50 mm, et kalınlığı 2 mm olan 6 metre uzunluğunda paslanmaz çelik boru hattı üzerinde doğrusal olarak dizilmiş 4 adet SR40M model AE sensörleri ile deney gerçekleştirilmiştir. Boru hattındaki 2 mm çaplı bir delikten 3 bar'lık bir basınçta CO₂'in sürekli salınımı sağlanmıştır. CO₂ sızıntısına bağlı olarak AE sinyallerinin özelliklerini analiz etmek ve sızıntı kaynağının yerini belirlemek için sinyaller, 10 kHz-1 MHz bant genişliğinde ve 40 dB ön amplifikasyona tabi tutulmuştur. 500 kHz örnekleme hızında dalga formu elde etmek için 4 kanallı bir holografik AE sinyali analizörü (DS-8A) kullanılmıştır. 15 kHz ila 70 kHz arasındaki frekans bandında iyi bir hassaslığa (80 dB üzerinde) sahip olduğunu göstermiştir.



Şekil 2.26 CO₂ sızıntı tespiti için deney elemanları (Cui et. al., 2015)

Hesaplarda, sinyallerin sönümlenme ve dağılmasının etkileri doğrusal olmayan ve durağan olmayan AE sinyallerinin işlenmesinde iyi bir performans sergileyen ampirik mod ayrıştırma teknolojisi kullanılarak etkili bir şekilde minimize edilmiştir. Korelasyon katsayısı ile kaçak lokalizasyonu doğruluğu arasında iyi bir tutarlılık elde edilmiştir. İki AE sensörü sızıntı kaynağında simetrik olarak kurulduğunda, maksimum korelasyon katsayısı elde edilmiş ve lokalizasyon hatası % 1'in altında bulunmuştur. Sızıntının kaynağına göre sensör tesisatlarının gittikçe artan bir asimetrisiyle birlikte, sinyaller arasındaki korelasyon zayıflamış ve lokalizasyon hatası artmıştır. Buna ek olarak, enine ve boyuna dalgaların hızları, Nielsen-Hsu Kalem Ucu Kırılma Testi kullanılarak ölçülmüştür. Sızıntının yerini belirlemek için bu hızlar kullanılmıştır. Enine dalga hızı kullanıldığında lokalizasyon hatalarının daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak, korelasyon katsayısına dayanan bir veri füzyon yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar, sistemin % 4.5 lokalizasyon hatası verdiğini göstermiştir (Çizelge 2.4). Özetle, ampirik mod ayrımı ve sinyal yeniden yapılandırması ile birlikte AE sensörleri, uzun mesafeli bir CO₂ boru hattındaki lokal sızıntılar için iyi bir potansiyele sahip oldukları belirtilmiştir.

Çizelge 2.4 Farklı sensör çiftleri kullanılarak lokasyon hatalarının karşılaştırılması (Cui et. al., 2015)

Sensor pair	Correlation coefficient	Acoustic wave speed (m/s)	Time difference (ms)	Distance difference (m)	Error (m)	Sensors spacing (m)
1 and 2	0.71	Longitudinal (5070)	0.002	0.01	0.01	2
		Transverse (3268)		0.01	0.01	
1 and 3	0.50	Longitudinal (5070)	0.26	1.32	0.32	3
		Transverse (3268)		0.85	0.15	
1 and 4	0.48	Longitudinal (5070)	0.49	2.48	0.48	4
		Transverse (3268)		1.60	0.40	

Shuaiyong Li, Jiajia Zhang, Dong Yan, Ping Wang, Qingqing Huang, Xiaolong Zhao, Yajun Cheng, Qiufeng Zhou, Niexin Xiang ve Teng Dong (2016) sızıntı kaynaklı akustik emisyonun Çapraz Güç Spektrumunda Tek Modlu Bileşen'i (Single Mode Component in the Cross-Power Spectrum) ile belirli bir modun dalga boyu açısından uygulayarak çıkarılabileceğini göstermişlerdir. Gaz kaçağı kaynaklı akustik emisyon sinyalleri, boru duvarı boyunca multi-modal güdümlü bir dalga olarak yayıldığını ve farklı modlar değişken yayılma hızlarına ve farklı dağılım derecelerine sahip olduklarını belirtmişlerdir. Dalgaların modal analizinin, sadece üç temel modda olduğunu göstermiştir: eğilme, boyuna ve burulma modu. 30 kHz'den daha az frekanslarda boyuna modun, gaz kaçak tespiti için daha uygun olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, tek dağılmamış modun çapraz güç spektrumunun konum sonuçlarındaki ortalama bağıl hatalarının, geleneksel korelasyon methoduna oranla % 7' den daha fazla azaltıldığını belirtmişlerdir (Çizelge 2.5). Kaçak yeri için bu modun (non-dispersive mode) kullanıldığı takdirde, tespit belirsizliğini ve konum hatasını azaltacağını tespit etmişlerdir. Bu şekilde, tek bir modun daha doğru akustik hızı, şüpheli bir gaz kaçağını bulmak için kullanılabileceği fikrinde birleşmişlerdir.

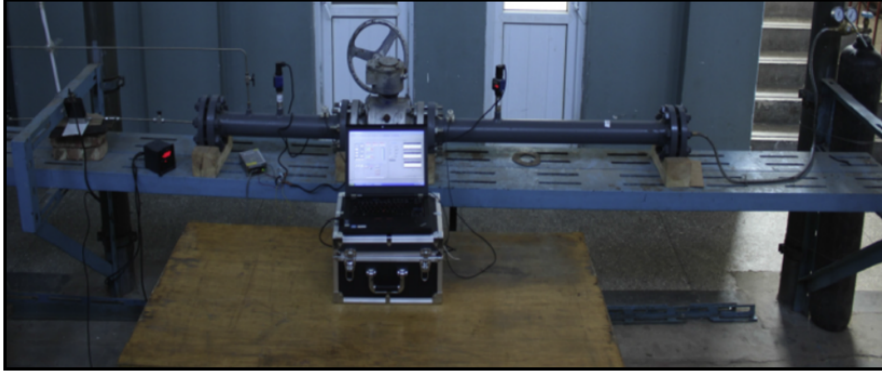
Çizelge 2.5 Korelasyon ve Tek Modlu Çapraz Spektrum esaslı sızıntı lokasyonları (Li et. al., 2016)

L/m	z _A /m	Correlation location			Single-mode cross spectrum location		
		X _A /m	ρ _{AB}	δ (%)	X _A /m	ρ _{AB}	δ (%)
29.5	25.12	24.250	0.1995	3.46	24.875	0.4487	0.98
40.68	25.12	27.0275	0.2586	7.59	25.278	0.3061	0.63
69.73	67.73	80.911	0.0897	19.46	67.928	0.1325	0.29
73.33	63.97	68.230	0.1642	6.66	64.665	0.3569	1.09
75.61	67.73	77.993	0.1109	15.15	69.805	0.1460	3.06
82.91	63.97	69.580	0.1410	8.77	64.268	0.1685	0.47
83.21	61.79	63.996	0.1299	3.57	62.918	0.2329	1.82
97.27	76.03	81.146	0.1226	6.73	73.885	0.1621	2.82
99.67	79.73	95.122	0.1827	19.31	77.918	0.2049	2.27
109.13	86.71	87.012	0.1089	0.35	87.012	0.2669	0.35

Zhenlin Li, Haifeng Zhang, Dongjie Tan, Xin Chen ve Hongxiang Lei (2016) doğal gaz boru hatlarının güvenli bir şekilde çalışmasını ciddi olarak engelleyen ve bunun yanı sıra ciddi ekonomik kayıplara yol açan doğal gaz sızıntılarının kaçak seviyesinin tanımlanmasının tespiti noktasında, hat üzerindeki valf kısımları için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, Kernel Asal Bileşen Analizi (Kernel PCA- Kernel Principal Component Analysis) ve Destek Vektör Makinası (SVM- the support vector machine) sınıflandırıcısına dayanan yeni bir kaçak tespit algoritmaları oluşturmuşlardır. Bu algoritmaları kullanarak, sızıntının akustik sinyali bir SR150N tipi akustik emisyon sensörü kullanarak karakterize edilmiş bir kaynak noktası elde edilmiştir. PCA, özelliklerin boyutsallığını azaltmak ve sınıflandırma işlemi için en uygun özellikleri çıkarmak için kullanılmıştır ve SVM, sızıntı seviyelerinin tanımlanması için uygulanmıştır.

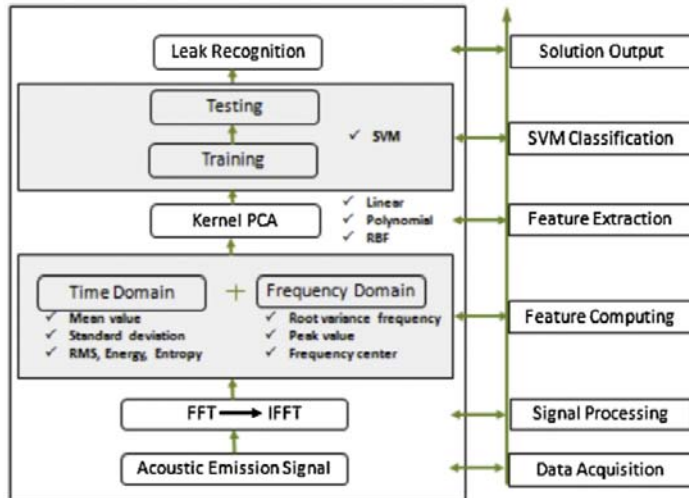
Şekil 2.27’de deney düzeneğinde, akışkanı sağlamak için 40 L hacimli bir gaz silindiri kullanılmış ve yük taşıma kapasitesi 1.5 Mpa olan bir DN 50 küresel tip valf kullanılmıştır. Valf nedeniyle gaz kaçak oranını ölçmek için bir akış ölçer kullanılmıştır. Valf kaçağının AE sinyallerini saptamak için 20 ila 220 kHz frekans aralığı incelenmiştir. AE sinyallerinin yükseltilmesi için 40 dB ön amplifikasyon uygulanmıştır. Deneyde 1 MHz örnekleme hızı ve 24 bit A / D dönüştürme özelliğine sahip bir veri toplama ünitesi kullanılmıştır. Deney işlemi sırasında AE sinyali, algılama sırasında çevresel gürültünün etkisini azaltmak için 20 kHz’lik bir frekans kesici ile filtreleme ile işlenmiştir. Tüpte sıkıştırılmış halde bulunan gaz regülatör yardımı ile uygun basınç ile boru içersine basılmıştır. AE Sensörü, içten hasarlı valfin tam orta dış yüzeyine yerleştirilmiştir. SVM algoritması farklı iç kaçak akış seviyelerini tanımlamak için uygulanmıştır ve bu nedenle vana iç kaçak akış seviyelerinin etkileri kontrol altına alınmıştır. Halen uzun süren bir süreçten beri doğal gaz boru hattı valf sızıntılarının seviyelerini (örn. Kaza veya büyük sızıntıları) tanımlamak için kullanılan herhangi bir nicel kriter olmadığı için, iç kaçak akışı sekiz seviyede tanımlanmıştır. Bu deneyde tanımlanan seviye 1: (0-1) SLM (standart litre / dk), seviye 2: (1-2) SLM,..., seviye 8: (7-8) SLM ve tanıma için sekiz seviye sızıntısı basınç ayar valfi ayarlanarak oluşturulmuştur. Valf kaçak hızı ve AE sinyali her sızıntı seviyesinde

her saniye kaydedilmiştir ve AE sinyal dalga biçimi örnekleme hızı 1 MHz'e eşit olarak alınmıştır.



Şekil 2.27 Vana sızıntısı analizi için hazırlanmış deney düzeneği (Li et. al., 2016)

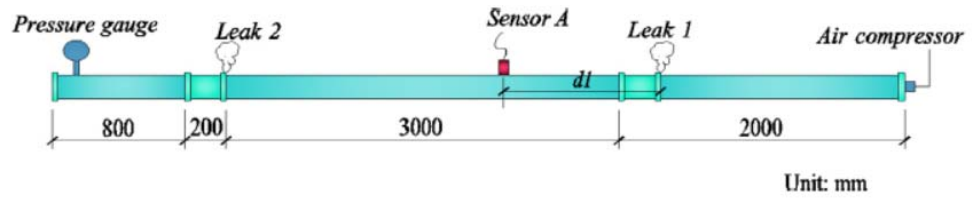
Hesaplarda, PCA ve SVM'den oluşan optimum algoritmanın sızıntı seviyelerini belirlemede % 96.75'lik doğruluk ile en yüksek tespit yöntemi olduğu belirtilmiştir. Deneysel sonuçlar, kernel PCA ve SVM sınıflandırıcısına dayanan akıllı tanıma modelinin doğal gaz boru hattındaki bir valfin kaçak seviyesini tanımada çok etkili olduğunu göstermiştir. Akustik emisyonun kernel PCA ve SVM modelini kullanarak akıllıca tanınması, gaz boru hatlarının sızıntı seviyelerini tanımanın etkili bir aracı olduğu kanıtlanmıştır. (Şekil 2.28)



Şekil 2.28 Valf sızıntılarının tespitinde kullanılan methodun akış şeması (Li et. al., 2016)

L. Yu ve S.Z. Li (2017) kapalı gaz dağıtım sistemleri için yaygın olarak kullanılan galvanizli çelik borularda, çoğu zaman vida dişli bağlantı noktalarında meydana gelen kaçaklardan sızan gazların lokasyonlarını tespit etmek amacıyla deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Vida dışı gevşemesi veya tahribatı sonucu AE sensorleri monte edilmiş galvanizli çelik borularını içeren bir sistem kurulmuştur. Şekil 2.29'da 6 metre uzunluğunda, 150 mm çapında, et kalınlığı 8

mm olan ve iki vida dişli bağlantısından oluşan galvanizli çelik boru gaz iletim hattını simüle etmişlerdir. Gaz bir hava kompresörü vasıtasıyla boruya pompalanmış ve iç basınç bir basınç göstergesi ile kontrol altına alınmıştır. Bağlantı gevşetilerek sızıntı kontrol edilmiştir. Simüle edilecek olan sızıntının varlığı için sabun çözeltilisi kullanılmıştır ve daha sonra gösterilen kabarcık, sızan gazın varlığını tespit etmede kullanılmıştır. Deneyde AE algılama sistemi; birer adet PAC R15 α sensörü, PXPAIV ön amplifikatörü ve 8 kanallı PXI-5105 veri toplama kartından oluşmuştur. Tüm testler için AE sinyalleri 1.0 MHz'lik örnekleme oranı ile kaydedilmiştir. Her bir örnekleme süresi 8.192 ms olarak belirlenmiştir. Sensör 0,3 m ile 0,9 m arasında değişen çeşitli mesafelere yerleştirilmiştir. AE sinyallerinin "dalga formu, frekans and enerji" verileri çıkarılmış ve karşılaştırılmıştır. Küçük sızıntı sinyallerinin bariz karakteristiklerden yoksun olduğu ve arka plan gürültüsüne kolayca karıştığı göz önüne alındığında, kaçak tespiti için Destek Vektör Makinası'na (SVM-Support Vector Machine) dayanan bir algoritma yöntemi kullanılmıştır. Deneysel veriler üzerinde testler yapılarak, yaygın olarak kullanılan fonksiyonlardan "Kernel Radyal Temelli Fonksiyon'a (RBF- kernel Radial Basis Function)" sahip SVM'ye dayanan algoritmanın, en fazla % 1,9'luk verdiği hata ile en yüksek doğruluk ve verimlilikte olduğu doğrulanmıştır.



Şekil 2.29 Vida dişi gevşemesi ile oluşturulan sızıntı kaynağı ve deney düzeneği (Yu et. al., 2017)

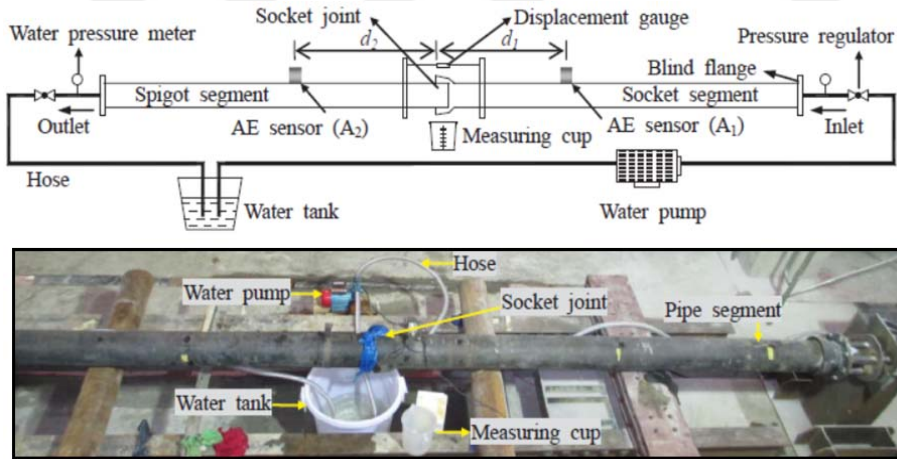
Sızıntı lokasyonu tespitinde karşılaştırmalı olarak daha kısa çalışma ve test süresine sahip RBF kernel fonksiyonuna sahip SVM ile yapılan akustik emisyon çalışmalarının, diğer fonksiyonlara oranla toplamda % 0.5 hata oranı ile daha doğru ve verimli oldukları belirtilmiştir.(Çizelge 2.6)

Çizelge 2.6 Aynı şartlarda 4 adet kernel fonksiyonları ile elde edilen verilerin karşılaştırılması (Yu et. al., 2017)

SVM model	Training time (10^{-3} s)	Test time (10^{-3} s)	Accuracy (%)
Linear kernel SVM	1.04	0.82	91.9
Polynomial kernel SVM	1.19	1.53	77.2
Gaussian RBF kernel SVM	1.16	1.87	99.5
Sigmoid kernel SVM	1.26	3.57	99.9

Suzhen Li, Yanjue Song ve Gongqi Zhou (2017) su dağıtım şebekelerinde sızıntıların en çok görüldüğü, yaygın olarak kullanılan ve büyük deformasyonlara izin veren boru segmenti-soket bağlantılarının eklem noktalarının arızasına bağlı bir sızıntının lokasyonunun tespiti üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır (Şekil 2.30). Boru segmentleri ve soket bağlantı noktalarında sızıntı sinyallerinin akustik özelliklerini araştırmışlardır.

Günümüzde sızıntı tespiti verilerinin işlenmesi noktasında yaygın olarak kullanılan algoritmalarından biri olan Yapay Sinir Ağı'na (ANN-Artificial Neural Network) dayalı bir sınıflandırıcı oluşturulmuş ve bağlantı noktasındaki sızıntı frekanslarının 0-10 kHz'de baskın sinyaller verdiği doğrulanmıştır. ANN temelli yöntem ile zaman ve frekans alanı kombinasyonunun lokasyon hatalarını önemli ölçüde azalttığını belirtmişlerdir.



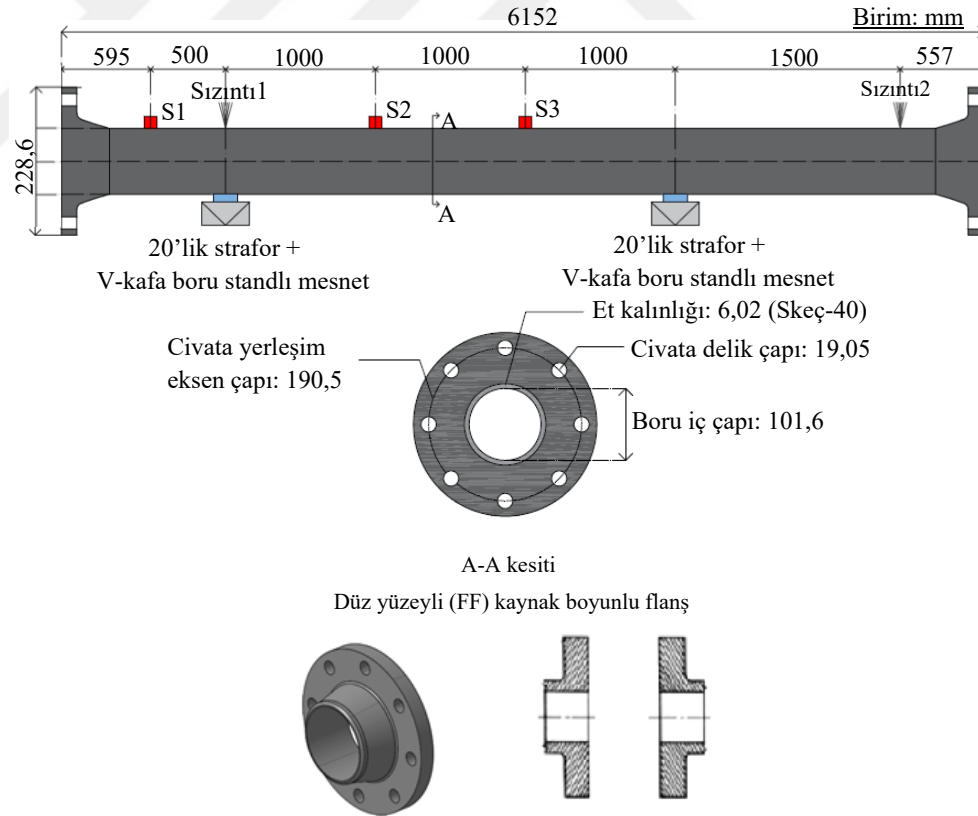
Şekil 2.30 ANN-Yapay Sinir Ağı temelli sistem için hazırlanan deney düzeneği (Li et. al., 2017)

3. BÖLÜM

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Temel Deney Elemanları ve Malzeme Özellikleri

Deneyisel çalışmalarda Deney Düzenegi-1'e ait iki adet "ASTM A105 B16.5 Class 150 düz yüzeyli (FF: Flat Face) kaynak boyunlu flanşları" ile birlikte toplamda boyu 6152 mm, 101.6 mm (4" inç) çapında bir adet "ASTM A106 Grade B dikişsiz" ve Deney Düzenegi-2'ye ait boyu 600 mm, 914.4 mm (36" inç) çapında bir adet "ASTM A672 Grade B65 Class 22 EWF" fabrika üretimli karbon çeliği boru numuneleri test edilmiştir. Bu numuneler İzmir Aliğa'da Star Rafineri Projesi'nin yapımını üstlenen İlk İnşaat'tan temin edilmiştir. Boruların geometrik boyutları ve görüntüleri Şekil 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.6'da ve bazı mekanik özellikleri yine Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Deney Düzenegi-1'e ait "ASTM A105 B16.5 Class 150 düz yüzeyli kaynak boyunlu flanşları" ile "ASTM A106 Grade B dikişsiz" boru elemanının geometrik boyutları (mm)



Şekil 3.2: Montajı için Deney Elemanı-1'in deney alanına transferi

Deney Elemanı-2'de, Deney Elemanı-1'den farklı olarak deney elemanını oluşturan her bir montaj ve birleşim elemanları belli bir yapım aşamasından geçmiştir. Tasarımı yapılan deney elemanlarının montaj ve birleşim elemanları İlk İnşaat'ın boru atölyesinde imal edilmiştir. İmalat sonrası birleşim elemanları; montaj ve kaynak işlemleri ile kaynak kontrolleri için Star Rafineri projesinin inşaat sahasına getirilmiştir (Şekil 3.3).

Tüm kaynak işleri öncesi, Deney Elemanı-2 gönyeye ve terazisine alınmış olup, tüm birleşim ve montaj elemanlarının kaynaklanacak olan bağlantı noktaları taşlanmış ve sonrasında kaynak işlemine hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.3: Deney Elemanı-2'nin Star Rafinerisi'ne transferi ve yapımı

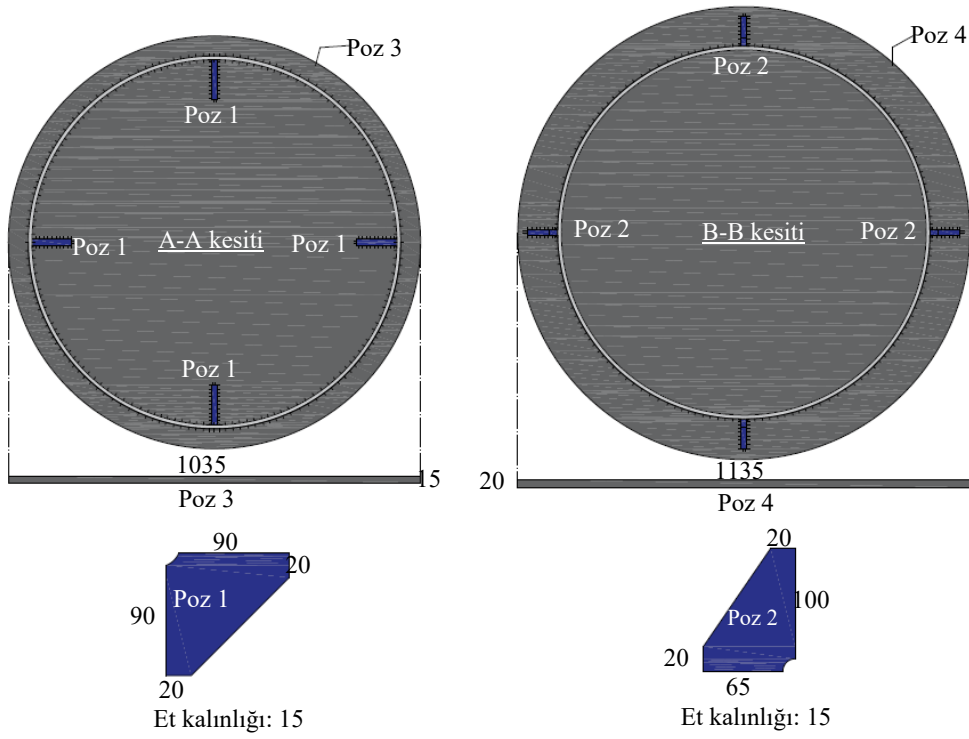
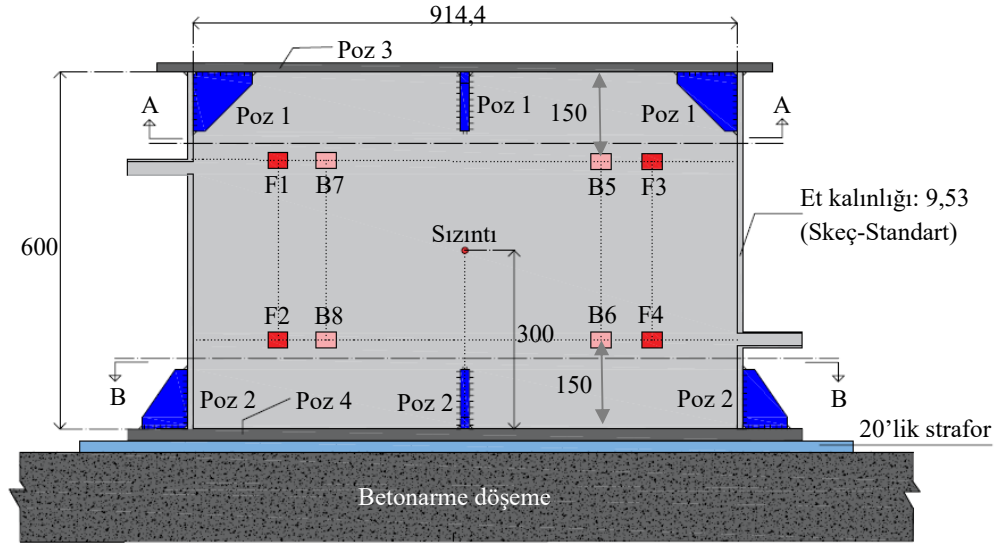


Şekil 3.4: Deney Elemanı-2'nin montajı ve kaynak işleri

Kaynak işlemleri tamamlanan deney elemanının kaynakları penetrant testi ile bu işte uzman kişilerce muayene edilmiştir. Penetrant testinde “SKL-SP2 Penetrant, SKC-S Cleaner/Remover, SKD-S2 Developer” malzemeleri kullanılmıştır. Kaynaklarında hata tespit edilen kısımlar tamir edilip kontrol işlemi tekrar tekrar uygulanmıştır. Kaynaklarda herhangi bir süreksizliğin olup olmadığından emin olunmuştur. Deney-2'nin tüm yapım işlerinden sonra son olarak boyanıp deney düzeneğinin hazırlanması için İlk İnşaat'ın boru atölyesine transferi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Deney Elemanı-2'nin kaynaklarının penetrant testi ile kontrolü ve deneye hazır hale getirilmesi



Şekil 3.6: Deney Düzenegi-2'ye ait "ASTM A672 Grade B65 Class 22 EWF" boru elemanı ve plakalı birleşim elemanlarının geometrik boyutları (mm)

Çizelge 3.1: Deneylerde kullanılan elemanların mekanik malzeme özellikleri

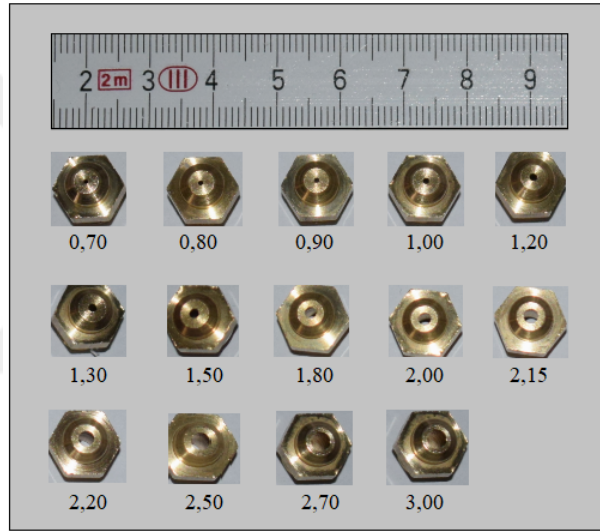
Deney Elemanı	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Poisson Oranı	Elastisite Modülü (MPa)
<u>Deney Elemanı-1</u>				
ASTM A105 B16.5 Class 150	482,6	248,2	0,3	210000
ASTM A106 Grade B dikişsiz	413,7	241,3	0,3	210000
<u>Deney Elemanı-2</u>				
ASTM A672 Grade B65 Class 22 EWF	450,0-585,0	240,0	0,3	210000

3.2 Deney Düzenegi 1 ve 2'nin Yardımcı Deney Elemanları ve Malzeme Özellikleri

Deney Düzenegi 1 ve 2'de ortak olarak doğalgaz enjektörleri, kılavuz pafta, basınç düşürücü ve sabitleyici regülatör, sızdırmaz teflon bantlar, hidrolik hortum ile hava kompresörü, basınç ölçer, straför ve AE sensörlerinin monte edilmesi için silikon gres ve sensörleri deney elemanının yüzeyinde sabit tutacak olan duct tape bant kullanılmıştır. Sadece Deney Düzenegi 1'de farklı olarak flanş birleşimleri için birleşim civataları ve sızdırmaz contalar kullanılmıştır.

3.2.1 Doğalgaz enjektörleri ve kılavuz pafta

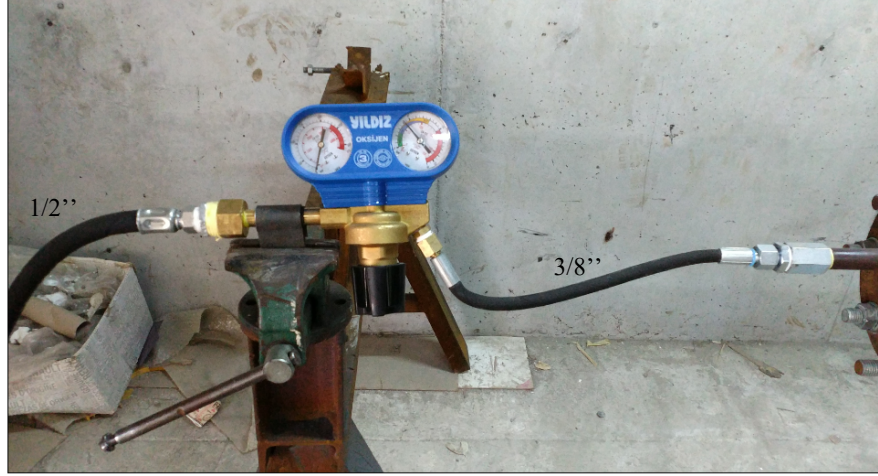
Bu çalışmada tüm deney numunelerinde, deney elemanı yükleme halindeyken sızıntının kaynağı olarak; orta kısmı delik ve çeşitli değişken çaplarda Metrik 8 ve 0,75 vida adımlı doğalgaz enjektörleri kullanılmıştır. Vida adımı ve civata çapı tüm tipik enjektörlerde sabit olduğu için, bu ölçülere uygun bir kılavuz pafta ile çelik deney numuneleri belli bir sızıntı kaynağı teşkil edecek şekilde delici matkap ucu ile delinmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Delik çapları (mm) ile doğalgaz enjektörleri ve kılavuz pafta

3.2.2 Basınç düşürücü ve sabitleyici regülatör

Her iki deney düzeneğinde de hava kompresörü giriş basıncını kontrol altına almak ve gürültü miktarını minimum düzeyde tutmak amacı ile Yıldız Gaz Armatürleri firmasının 5301S kod no'lu regülatörü kullanılmıştır. Basınç düşürücünün temel bağlantı ve teknik özellikleri: Gaz Debisi (P=10 bar): 30 m³/saat, gaz çıkış basıncı: 0-10 bar, gaz giriş basıncı: 0-230 bar, gaz çıkış bağlantısı: G 3/8'', gaz giriş bağlantısı: G 3/4'' (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Basınç düşürücü ve sabitleyici (regülatör)

3.2.3 Hava kompresörü ve hidrolik hortum bağlantıları

Her iki deney düzeneğinde de DKKD-15 çift kademeli pistonlu hava kompresörü kullanılmıştır. Kullanılan hava kompresörünün temel bağlantı ve teknik özellikleri: basınç 15 bar, kapasite 507 Lt/dk, motor gücü 4 Kw/5,5 Hp, hava bağlantısı 1/2'', boyutlar En 1832 x Boy 474 x Yükseklik 1097, ağırlık:230 Kg, Hava tankı: 250 Lt'dir.

Hava kompresörü ile regülatör arasında 1/2'' hidrolik hortum bağlantısı dışında, bir de 3/8'' çapında hedeflenen deney yükleme basıncına dayanıklı hidrolik hortum, regülatör ile deney elemanları arasında kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Hava kompresörü ve hidrolik hortum

3.2.4 Flanş birleşim civataları ile sızıntı önleyici contalar ve teflon bantlar

Sadece Deney Düzeneği-1’de bulunan flanş birleşimlerinde su, gaz, yağ ve yakıta dayanıklı, aramid elyaf, mineral elyaf ve sentetik NBR sayesinde kolaylıkla şekil değiştirebilen komponent bir yapıya sahip iki adet asbetsiz klingirit levha Hilite AFM 200 gasketleri kullanılmıştır. Contalar iki flanş arasına yerleştirilmiştir (Şekil 3.10). Her bir flanşın montajı 8 adet Metrik 18’lik toplam 16 adet civata ile sağlanmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.10: Sızıntı önleyici contalar ve teflon bantlar

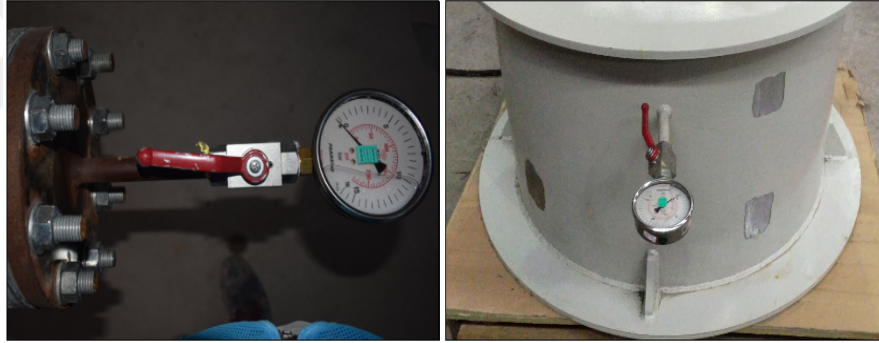


Şekil 3.11: Metrik 18 flanş birleşim civataları

Teflon bantlar ise iki deney düzeneğinin bütün montaj ve birleşim bağlantı noktalarında, olası sızıntılara karşı bir önlem amaçlı kullanılmıştır. Bu malzeme genellikle metal aksamli gaz, su ve buhar akışkanlı tesisatların birleşim noktalarının sızdırmazlığı için yalıtım amaçlı kullanılır. Bu deneyde, her iki deney düzeneğinde de tüm montaj-birleşim elemanlarında (nipel, redüksiyon, rakor vs.) teflon bant kullanılmıştır.

3.2.5 Basınç ölçer (manometre)

Her iki deney düzeneğinde de tüm sistemdeki basıncın, deney elemanı içerisinde eşdeğer şekilde dağılıp dağılmadığını kontrol etmek amacıyla basınç ölçer kullanılmıştır. Deneylerin süreleri boyunca hedeflenen yüklemeler manometreden manuel olarak kontrol edilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12: Basınç ölçer (manometre)

3.2.6 Strafor kullanımı ve akustik emisyon sensörlerinin montajı

Şekil 3.13’de deney elemanlarının dış ortamdaki farklı malzemeler ile temasından doğabilecek akustik gürültülerin önlenmesi amacıyla, 20’lik straforlar kullanılmıştır. Malzemelerdeki farklı ortamların göstereceği farklı elastik davranışların, olası yanlış hesaplamalara yol açması da en aza indirgenmeye çalışılmıştır. Deney Düzeneği-1’de strafor, deney elemanı ile V-kafa boru standını birbirinden ayırmıştır. Deney düzeneği-2’de de, deney elemanı ile betonarme döşeme arasındaki temas kesilmiştir. Ayrıca deney Elemanı-1 V-kafa boru standı yardımı ile deney testi aşaması öncesi terazisinde olup olmadığından emin olunmuştur.

Strafor kullanımı dışında son olarak AE sensörlerinin monte edilmesi için silikon gres ve deney elemanının yüzeyinde sabit tutulması için duct tape bant kullanılmıştır. Silikon gres ve duct tape bant kullanılmadan önce, AE sensörlerinin montajının yapılacağı yüzeyler iyice zımparalanmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13: Strafor kullanımı ve AE sensörlerinin montajı

3.3 Deney Düzeni

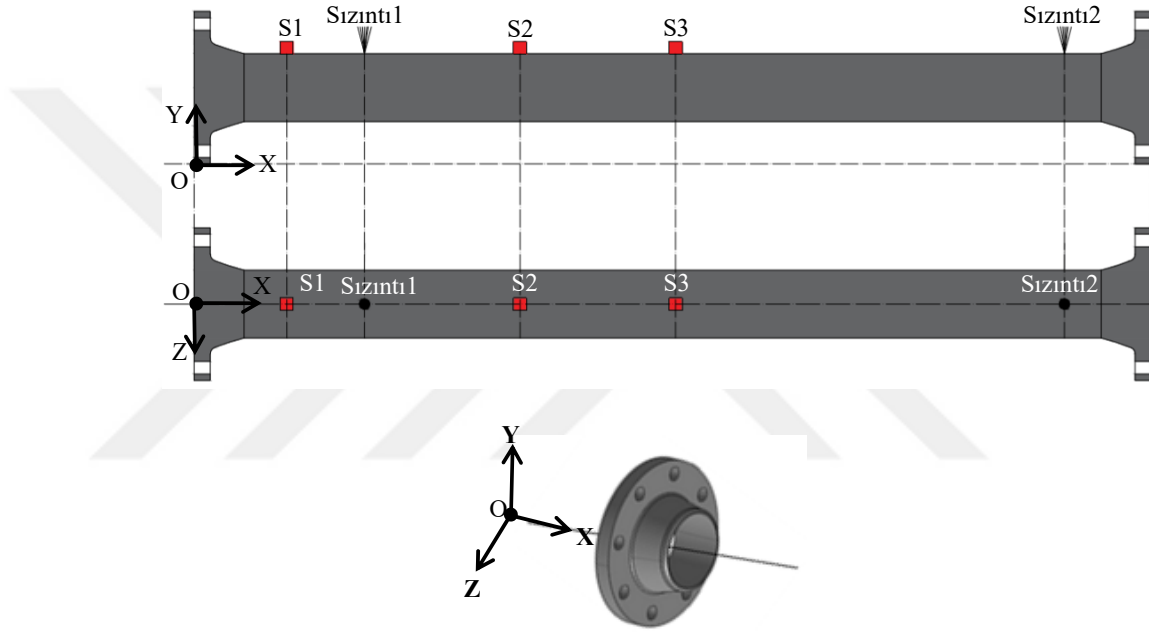
3.3.1 Yükleme düzeni

Deneyle İzmir'in Aliğa İlçesi'nde, İlk İnşaat'ın boru atölyesinde yapılmıştır. Yüklemede; Deney Düzeneği-1 için 5 bar, Deney Düzeneği-2 için ise 1,5 bar elde edilecek şekilde bir hava kompresörü yardımı ile basınçlı hava sürülmüştür. Yükleme düzenekleri Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da gösterilmiştir.

3.3.2 Ölçüm düzeni

AE aktivitelerini algılamak üzere Deney Elemanı-1'e 3 ve Deney Elemanı-2'ye ise 8 adet 150 kHz frekanslı AE sensörü (R15 α , PAC-Physical Acoustics Corporation) yerleştirilmiştir. Sensörlerin koordinatları Çizelge 3.2 ve 3.3'de belirtilmiştir. 8 kanallı bir DiSP AE sistemi ile veriler bilgisayara kaydedilmiştir.

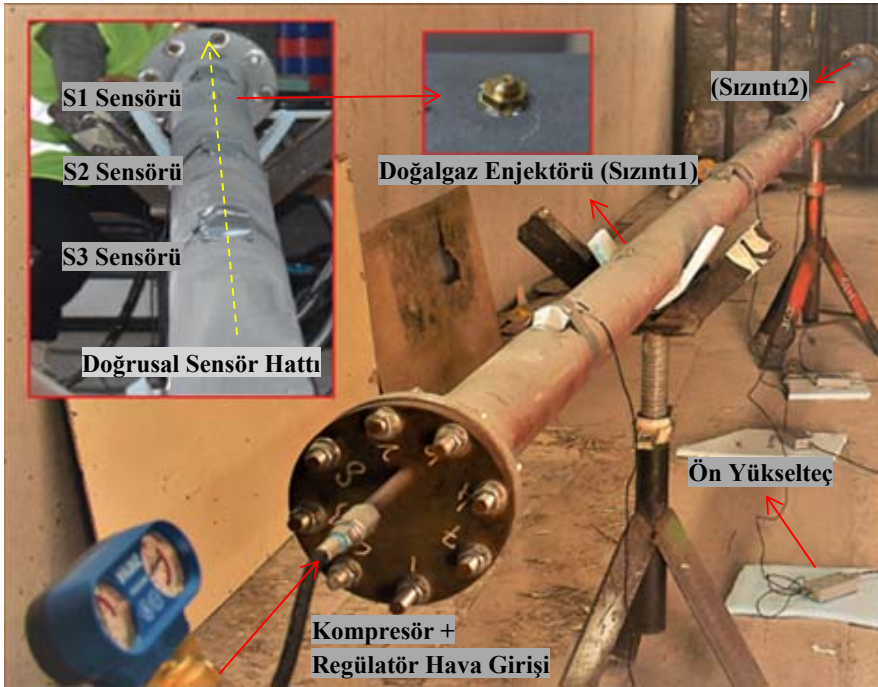
Test prosedürü olarak ölçümler farklı çaplardaki sızıntı kaynakları için tekrar edilmiştir. Hedeflenen basınç değerine ulaşan deney elemanı için yeterli veriler toplandıktan sonra; sistemin havası boşaltılmış ve sızıntı kaynak çapı değiştirilip deney düzeneği tekrar basınçlandırılmıştır. Yalnızca Deney Düzeneği 1’de test süresi boyunca kılavuz pafta ile ek yeni bir sızıntı kaynağı oluşturulmuştur. Böylece sistemde iki adet sızıntı kaynağının akustik verileri bilgisayara kaydedilmiştir. Bunlara ek olarak, deney düzeneklerine ait koordinat eksenleri ve orjin noktaları Şekil 3.14, 3.17 ve 3.18’de verilmiştir.



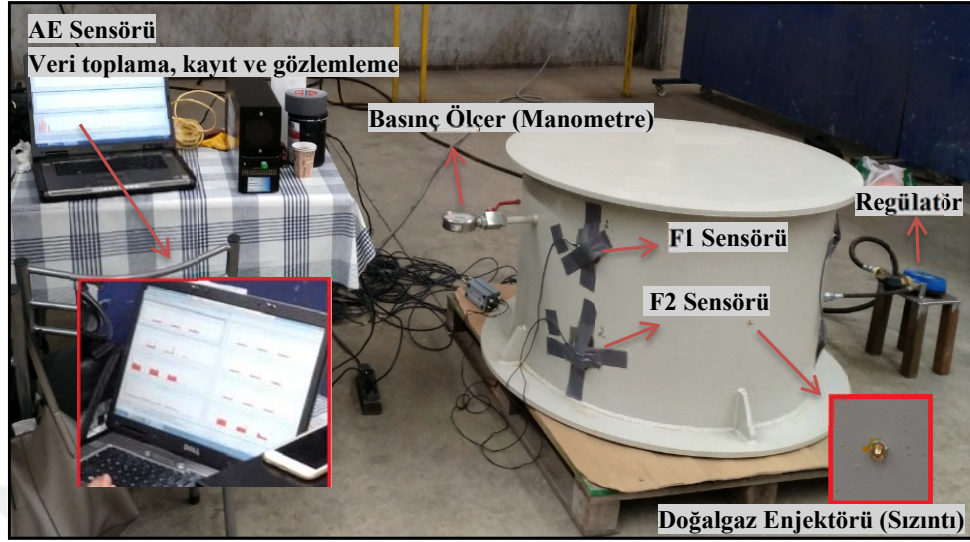
Şekil 3.14: Deney Elemanı-1 için AE sensörleri ve kaynak yerleşimi (Karşından ve üstten görüşler) ile orjin (x,y,z) - (0,0,0) noktası

Çizelge 3.2 Deney Düzeneği-1’in AE sensörleri ve sızıntı kaynaklarının koordinatları

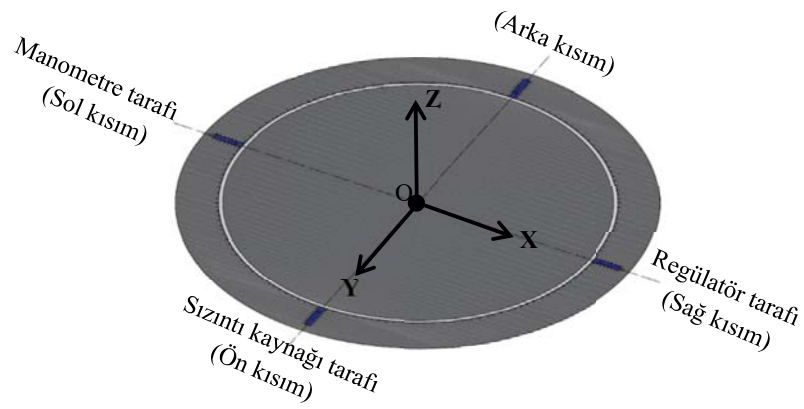
AE Sensör	X(cm)	Y(cm)	Z(cm)
S1	59,5	5,682	0
S2	209,5	5,682	0
S3	309,5	5,682	0
<u>Sızıntı1</u>	109,5	5,682	0
<u>Sızıntı2</u>	559,5	5,682	0



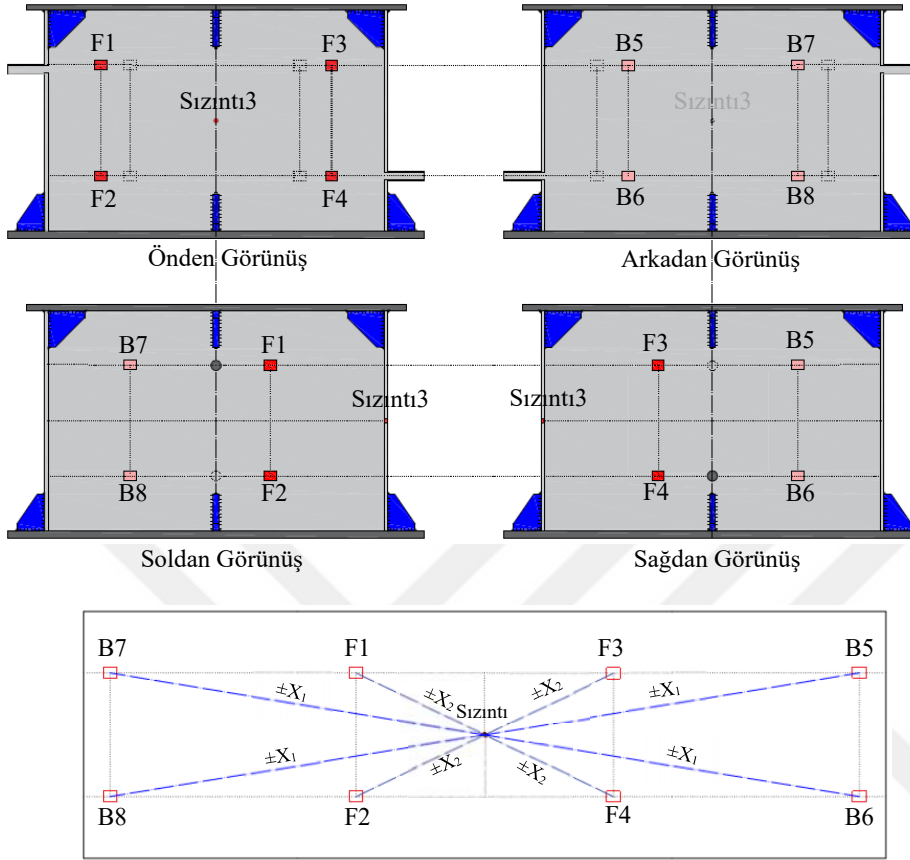
Şekil 3.15: Deneç Elemanı-1 yükleme düzeneği



Şekil 3.16: Deney Elemanı-2 yüklem düzeni



Şekil 3.17: Deney Elemanı-2 taban levhası alt orjin (x,y,z) - (0,0,0) noktası



Şekil 3.18 Deney Elemanı-2 AE sensörleri yerleşimi ile sayfa düzleminde açılımı ve görünüşleri

Çizelge 3.3 Deney Düzeneği-2'de AE sensörleri ve sızıntı kaynağının koordinatları

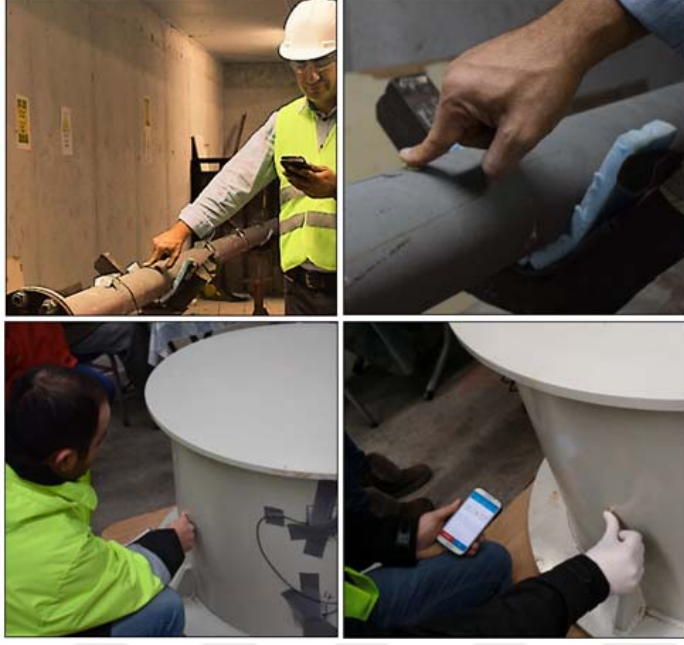
AE Sensör	X(cm)	Y(cm)	Z(cm)	X _{1,2} (cm)
F1	-38,8072	+25,9301	+47,0	±47,43
F2	-38,8072	+25,9301	+17,0	±47,43
F3	+38,8072	+25,9301	+47,0	±47,43
F4	+38,8072	+25,9301	+17,0	±47,43
B5	+33,0028	-33,0028	+47,0	±110,93
B6	+33,0028	-33,0028	+17,0	±110,93
B7	-33,0028	-33,0028	+47,0	±110,93
B8	-33,0028	-33,0028	+17,0	±110,93
Sızıntı	0	+46,6730	+32,0	0

Monte edilen her bir sensör öncelikle ön yükseltece, ardından aktiviteleri eş zamanlı kaydetmek ve izlemek üzere bilgisayara bağlanmıştır. Deneylerde eşik seviyesi 40 dB olarak ayarlanmıştır. Bunlara ek manuel olarak sızıntı kaynağının belli sürelerde açılıp-kapatılması (kesintili sızıntı) ile akustik davranışlar kayıt altına alınmıştır (Şekil 3.19). Deney Düzenegi-1 ve 2’de kullanılan kaynak çapları ve değişken test ölçüm parametreleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Deney-1/10’da sızıntı kaynağı yaklaşık 60 saniye boyunca dönüşümlü olarak manuel açılıp kapatılarak akustik davranışları kayıt altına alınmıştır. İlk 0-20 saniyeleri arası 0.7 mm olan sızıntı kaynağı açık, 1.0 mm olan kaynak kapalıdır. 20-40 saniyelerinde iki kaynak kapalı ve 40-60 saniyeleri arasında ikisi de açıktır. Yine deney-2/2, 2/4, 2/6 ve 2/8 deneylerinde de yaklaşık olarak 60 saniye boyunca 10 saniye de bir kaynak açılıp kapatılarak veriler kaydedilmiştir

Çizelge 3.4 Deney-1 ve Deney-2 ölçüm parametreleri ve değişkenleri

Deney & Ölçüm Numarası	Yükleme Basıncı (bar)	Kaynak Çapı (mm)	Eşik Değeri (dB)	Manuel Aç/Kapa (sn)
Deney-1/1	5	0.7	40	-
Deney-1/2	5	0.7	40	60
Deney-1/3	5	0.8	40	-
Deney-1/4	5	0.8	40	60
Deney-1/5	5	0.9	40	-
Deney-1/6	5	0.9	40	60
Deney-1/7	5	1.0	40	-
Deney-1/8	5	1.0	40	60
Deney-1/9	5	0.7-1.0	40	-
Deney-1/10	5	0.7-1.0	40	60
Deney-2/11	1.5	0.7	40	-
Deney-2/12	1.5	1.0	40	-
Deney-2/13	1.5	1.3	40	-
Deney-2/14	1.5	2.0	40	-
Deney-2/15	1.5	3.0	40	-
Deney-2/16	1.5	3.0	40	60



Şekil 3.19: Manuel olarak sızıntı kaynağının belli sürelerde açma-kapama ile akustik davranışların kayıt altına alınması

4. BÖLÜM

4. BULGULAR

4.1 Deney Elemanı-1'e Ait Akustik Emisyon Bulguları

Bu bölümde Deney Elemanı-1'in zamana bağlı olarak enerji, genlik ve ortalama frekans değerleri incelenmiştir. Yükleme testi 0.7 mm, 0.8 mm, 0.9 mm ve 1.0 mm'lik değişken kaynak çapları için tekrarlanmıştır. Bu sızıntı çaplarına ek olarak daha büyük sızıntı çaplarına ait deneylerde; enerji değerlerinin sabit, birbirine eşit ve belli bir değerde olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi ölçümler için kullanılan AE sisteminin kayıt ettiği dalga şeklinin bir üst sınırı olmasıdır. Bu yüzden sadece deneylerimize ait bulguların incelenmesi, yukarıda bahsi geçen sızıntı çapları için gerçekleştirilmiştir. Bunun dışında sistemde 0.7 mm ve 1.00 mm'lik sızıntıların da birlikte olduğu çift sızıntılı durum da incelenmiştir.

Hedeflenen iç basınç değerine ulaşan deney elemanının enerji, genlik ve ortalama frekans ile değişken kaynak çapları arasında bağıntı kurulmuştur. Ayrıca sürekli sızıntı durumu dışında, kesintili sızıntı (Kaynak Aç-Kapa) durumundaki akustik davranışlar da incelenmiştir.

4.1.1 Deney Elemanı-1 için enerji-zaman, genlik-zaman ve ortalama frekans-zaman ilişkisi

Bu bölümde verilecek olan grafiklerde Deney Elemanı-1'in hedeflenen iç basıncının dengelemesine kadar geçen zaman aralığında akustik verilerde dalgalanmalar gözlenmiştir. Fakat iç basınç dengelendiğinde enerji, genlik ve ortalama frekans değerlerinin belli bir seviyede yaklaşık sabit değerlerde oldukları belirlenmiştir. Hesaplarda manuel olarak kontrol edilen iç basınç seviyesi yaklaşık olarak hedeflenen değere ulaştığında, bu seviyeye karşılık gelen akustik değerler göz önünde bulundurulmuştur. Bu değerlerin hesaplandığı zaman aralıkları tüm sızıntı çapları için sürekli sızıntı durumunda 200-220 saniyeleridir.

Sürekli ve kesintili sızıntı durumlarında akustik veri değerlerinin karşılaştırılmalı olarak bir miktar farklılık göstermesinin sebebi sızıntı kaynağının 10 saniye süre ile kapatılması esnasında sistemin iç basıncındaki ihmal edilebilir miktardaki değişim ve iç basıncın sayaçlardan manuel olarak okunmasıdır.

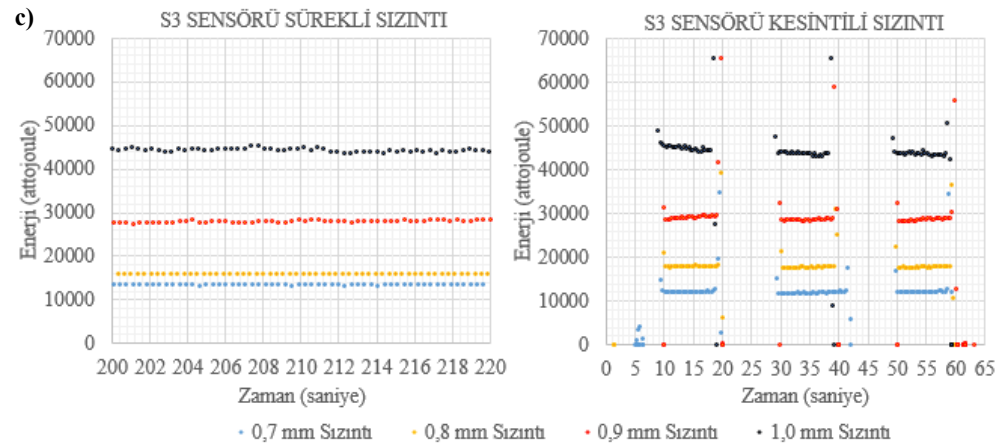
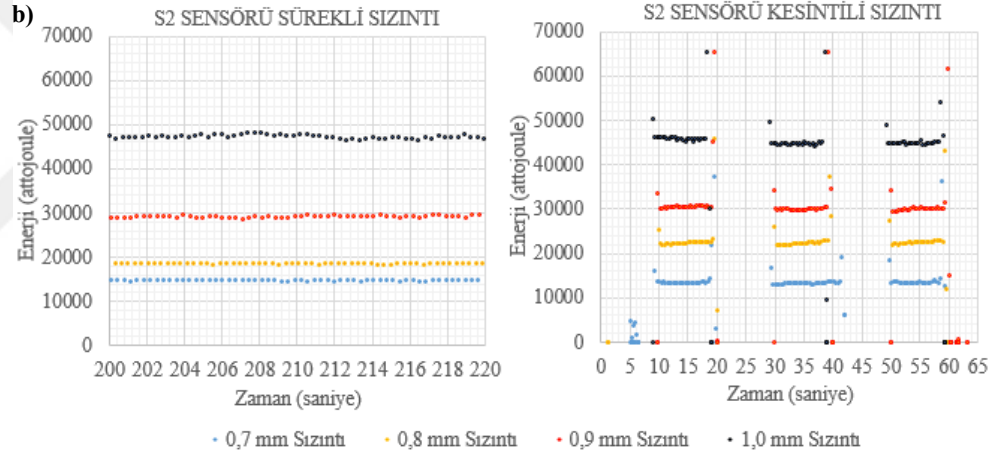
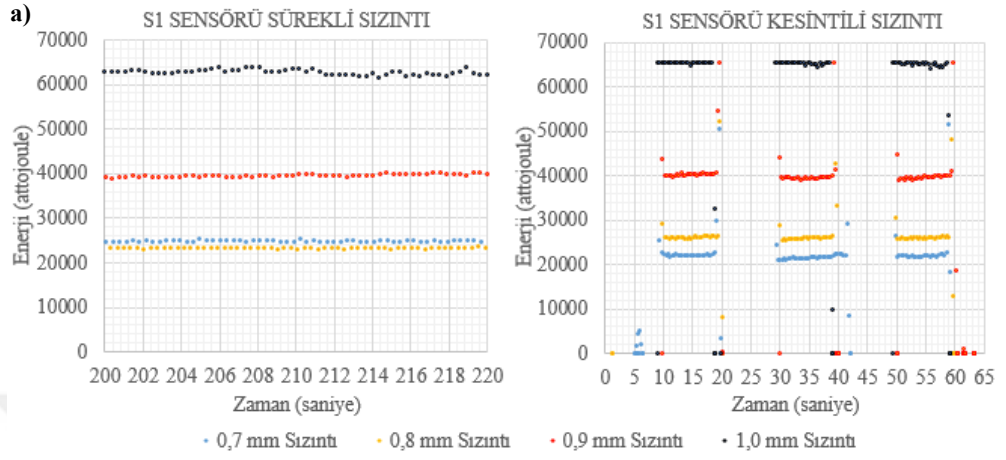
Sisteme dahil edilebilecek elektronik bir sayacın verilerdeki milimetrik değişimin dahi kaydedilebilmesi açısından daha iyi olabileceği dűşünülmektedir. Çizelge 4.1’de sürekli sızıntı durumundaki akustik değerler ile birlikte parantez içerisinde kesintili durumundaki akustik veriler verilmiştir.

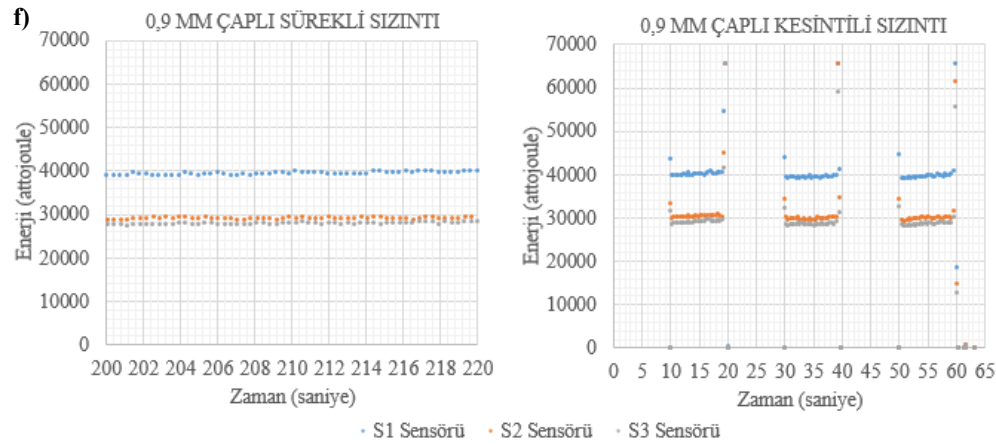
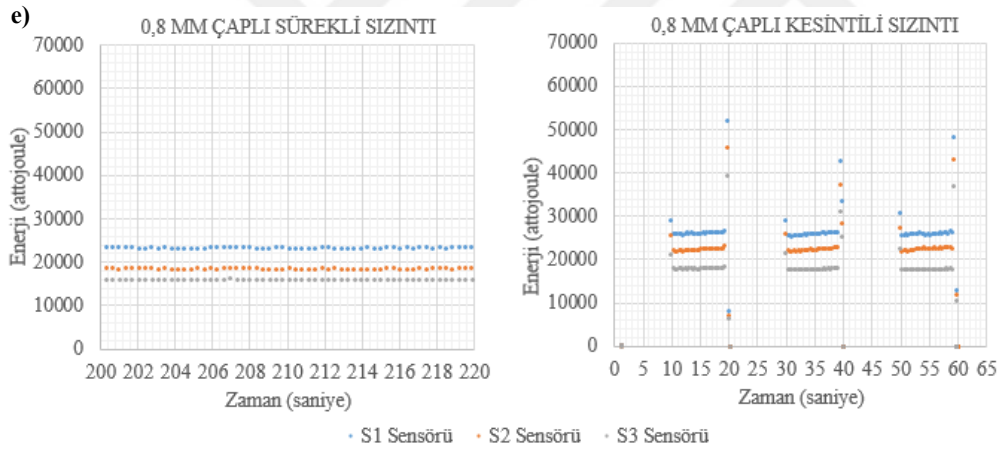
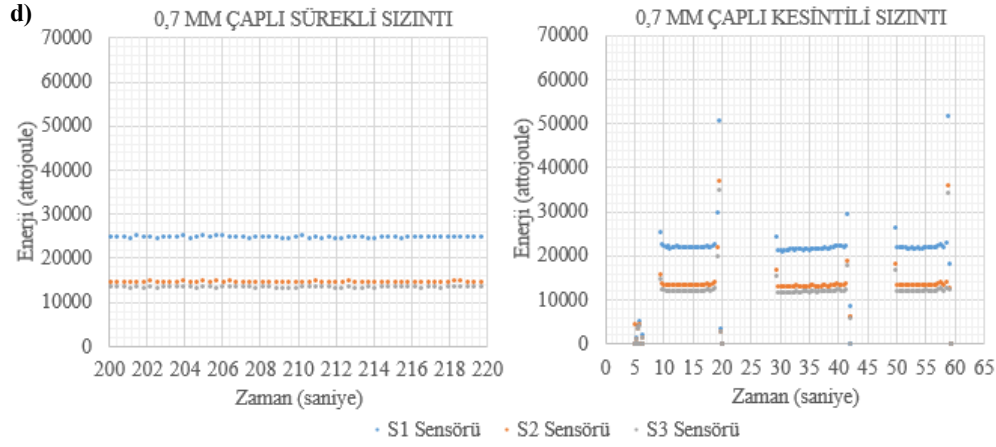
Kesintili sızıntı tespiti sırasında sızıntının kapalı olduğu süre boyunca AE sensörleri herhangi bir gürültü veya akustik veri algılamamıştır. Yükleme durumundaki bir boru hattının AE sensörleri yardımı ile malzemenin sızıntıdan kaynaklanan akustik davranışlarının tespit edilebileceği belirlenmiştir.

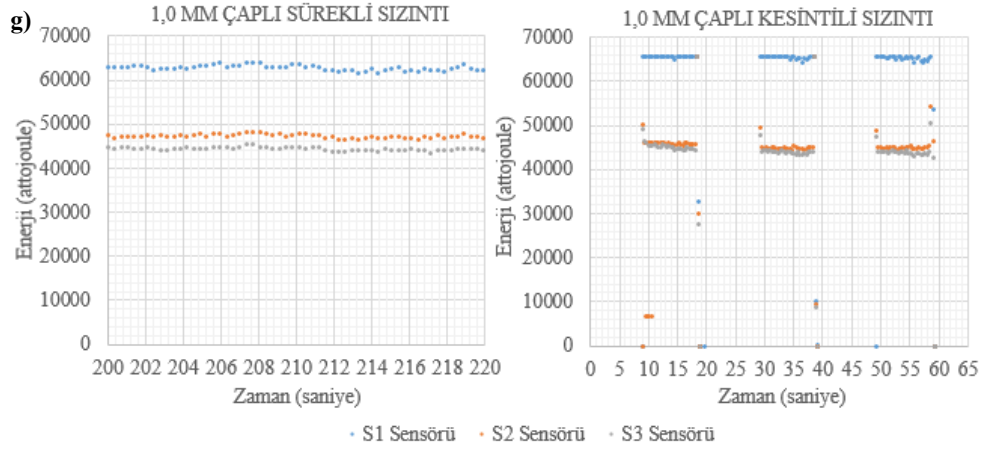
DeneySEL verilere göre sızıntı kaynağının çapındaki artış, AE enerjisi ve genliğini arttırmıştır. Kaynak apı artışı sensörlerin algıladığı enerji ve genlik seviyelerini arttırmasının yanı sıra sızıntı kaynağına yakın olan sensörlerin, uzak olan sensöre oranla daha yüksek enerjide ve genlikte veri aldığı belirlenmiştir. şekil 4.1’de sistemin zamana bağlı AE enerjisi ve şekil 4.2’de zamana bağlı genliği verilmiştir. Hem sürekli hem de kesintili sızıntıda, sızıntıya en yakın olan S1 sensörünün diğer sensörlerden daha yüksek enerji ve genlikteki akustik verileri algıladığı belirlenmiştir. Fakat sızıntıya olan uzaklık arttıça sensörlerin enerji seviyelerinin birbirine yaklaştığı ve bunun sönümlenmenin bir sonucu olduğu dűşünülmektedir.

Çizelge 4.1 Sürekli ve kesintili sızıntı durumları enerji, genlik ve ortalama frekans AE verileri

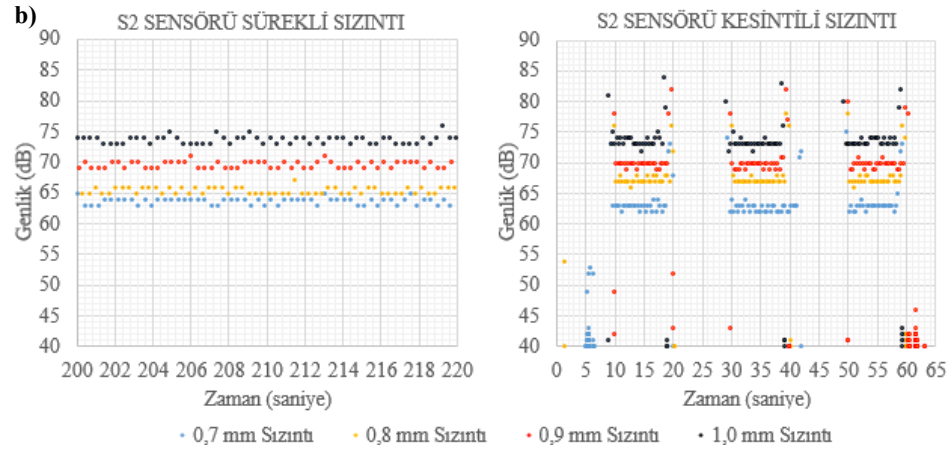
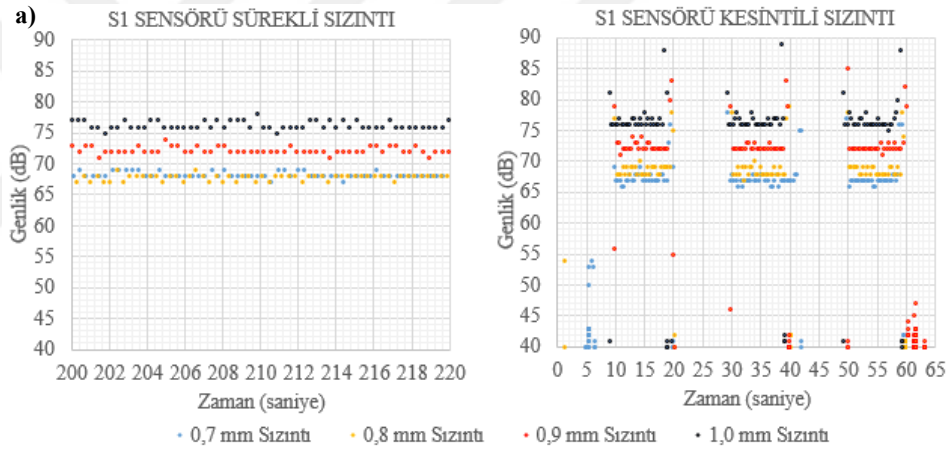
AKUSTİK VERİ	KAYNAĒA UZAKLIK (mm)	AE SENSÖR	Sızıntı Kaynak apı (mm)			
			0.70	0.80	0.90	1.00
Enerji (attojoule)	500	S1	24809.28 (21896.53)	23323.03 (26045.41)	39758.06 (39858.94)	62303.61 (65379.75)
	1000	S2	14736.14 (13401.96)	18571.27 (22415.50)	29300.56 (30197.36)	47007.29 (45206.16)
	2000	S3	13461.46 (12101.52)	16049.51 (17892.41)	28411.98 (28918.39)	44057.62 (44263.12)
Genlik (dB)	500	S1	68.16 (67.12)	67.68 (68.46)	72.27 (72.20)	76.12 (76.88)
	1000	S2	63.65 (62.76)	65.51 (67.18)	69.43 (69.81)	73.64 (73.29)
	2000	S3	62.9 (61.97)	64.44 (65.35)	69.25 (69.36)	73.14 (73.12)
Ortalama Frekans (kHz)	500	S1	55.32 (50.19)	36.24 (44.46)	31.92 (30.69)	24.02 (21.23)
	1000	S2	48.12 (42.82)	32.96 (42.44)	27.72 (26.97)	31.79 (27.84)
	2000	S3	46.65 (39.91)	29.27 (38.30)	23.02 (22.55)	23.93 (21.08)

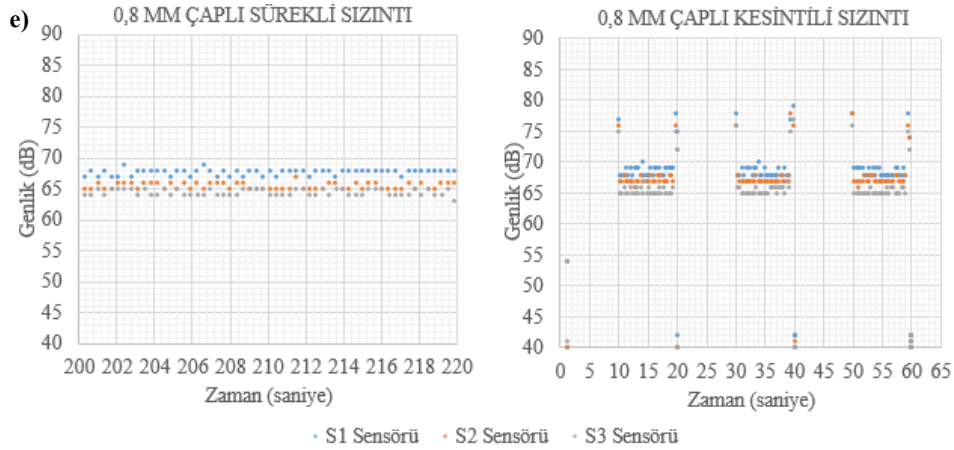
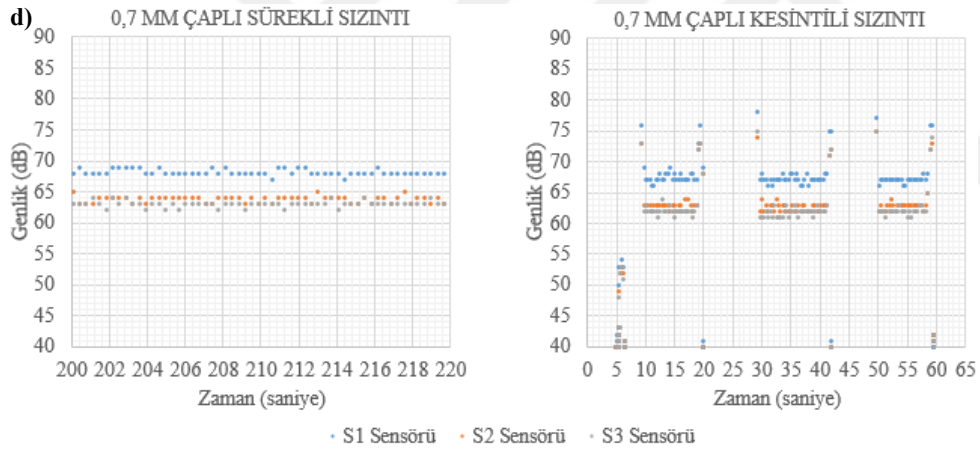
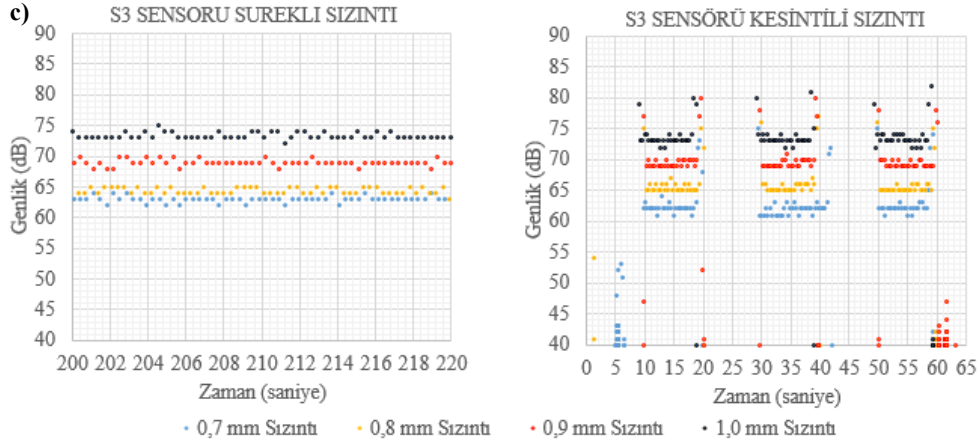


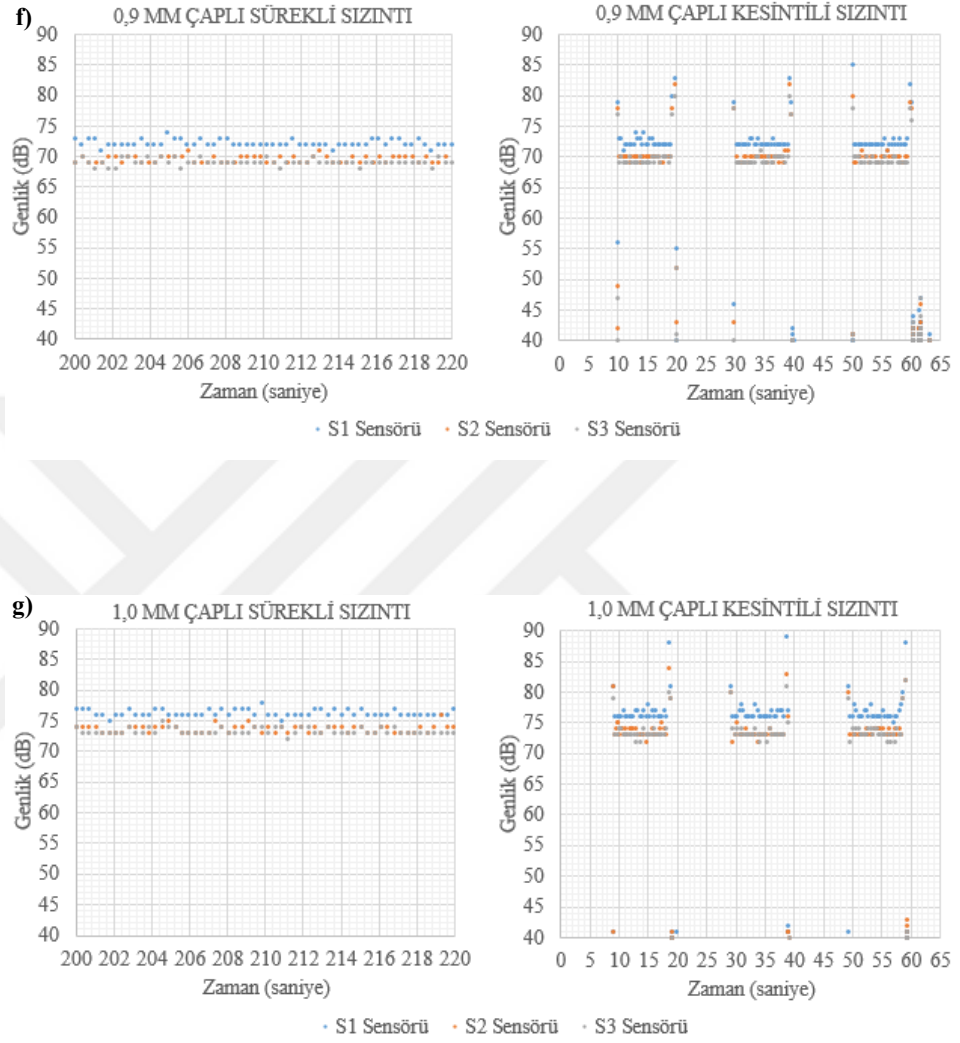




Şekil 4.1 Sürekli ve kesintili sızıntı durumları enerji-zaman: a)S1 , b)S2, c)S3 Sensörü, d)0.7 mm , e) 0.8 mm , f) 0.9 mm , g)1.0 mm sızıntı çapı

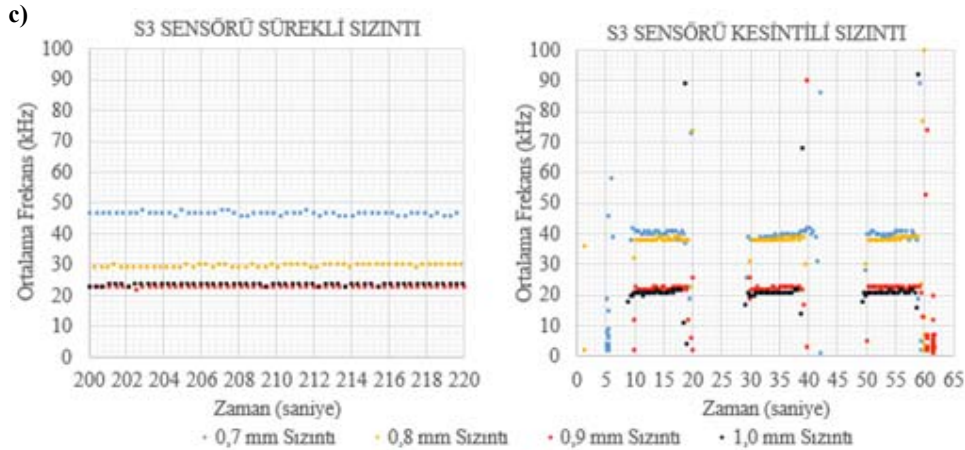
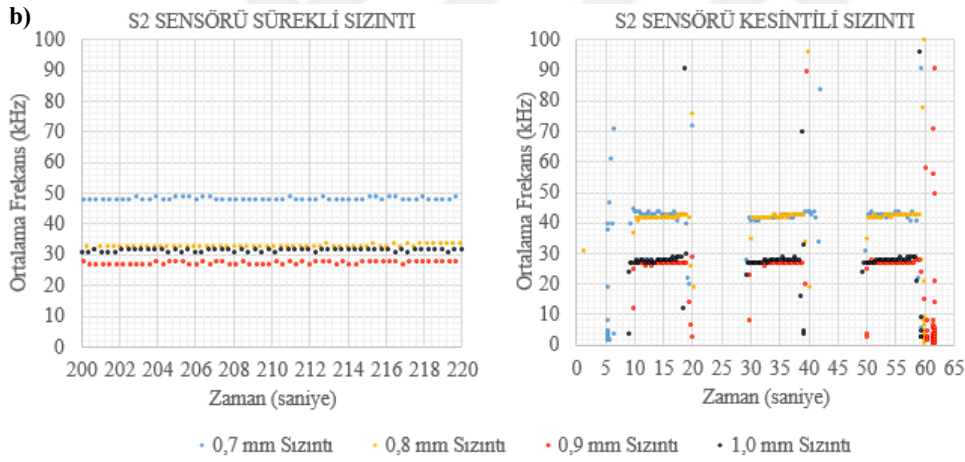
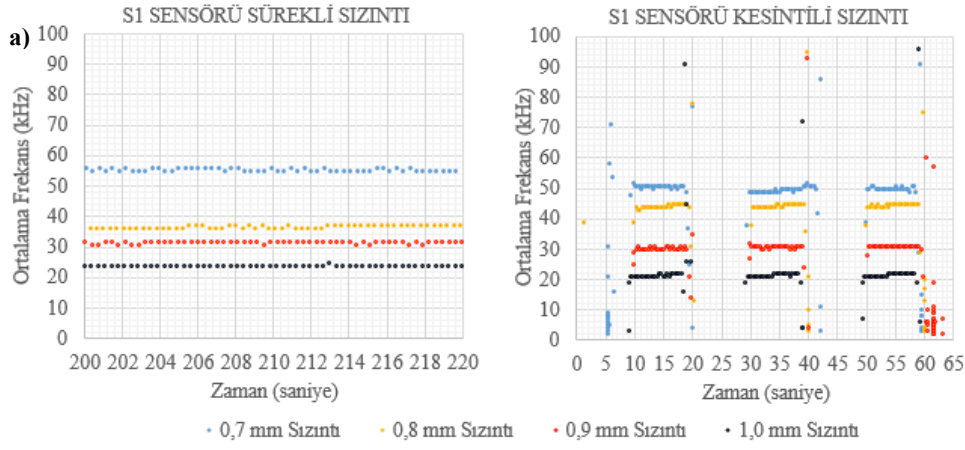


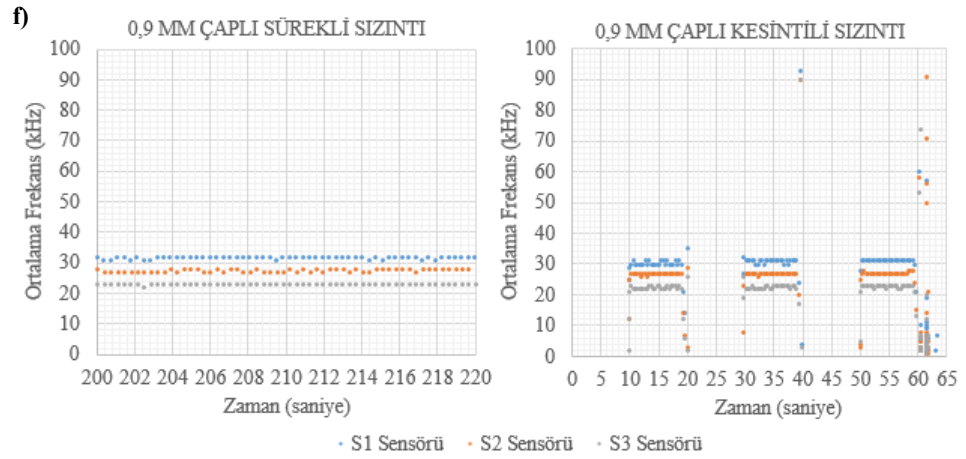
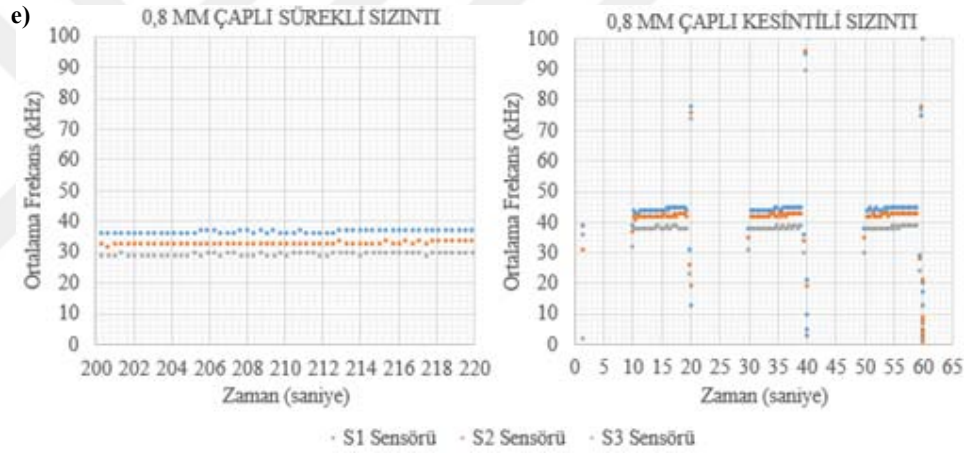
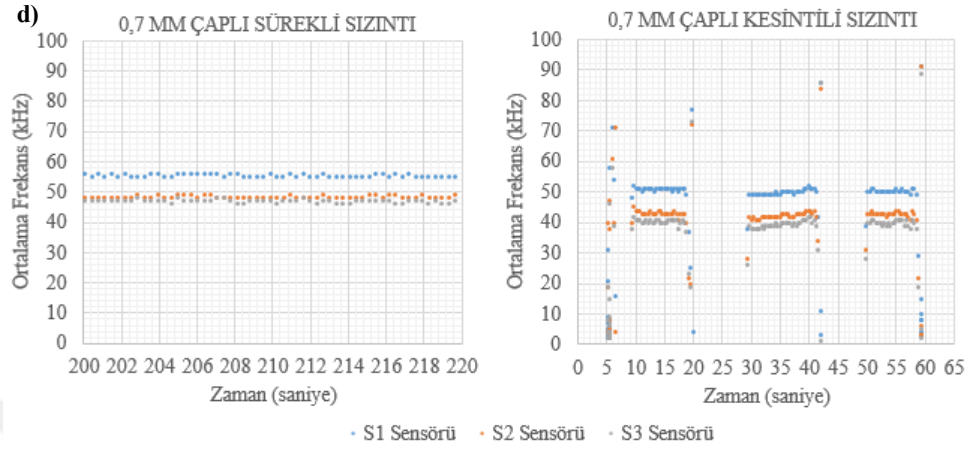


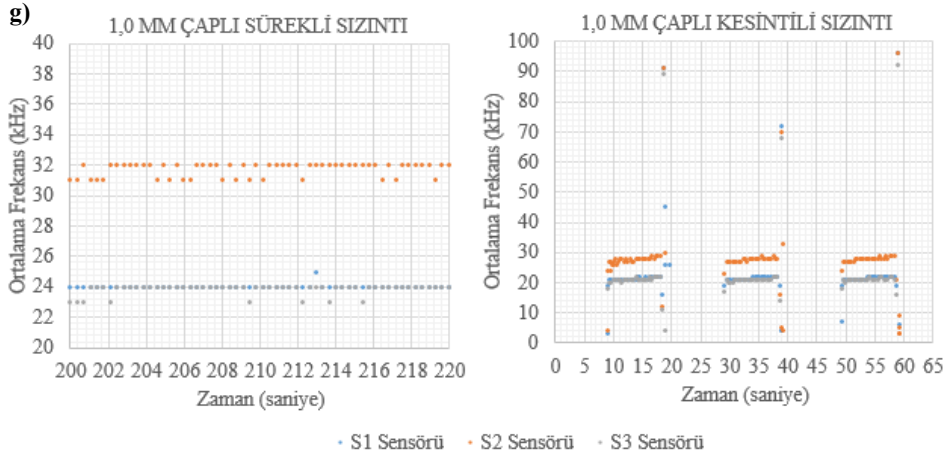


Şekil 4.2 Sürekli ve kesintili sızıntı durumları genlik-zaman: a)S1 , b)S2, c)S3 Sensörü, d)0.7 mm , e) 0.8 mm , f) 0.9 mm , g)1.0 mm sızıntı çapı

Sızıntı çapındaki artış enerji ve genlik miktarlarını arttırmasının aksine ortalama frekansı düşürmüştür. Fakat aynı sızıntı çapında kaynağa yakın olan sensörlerin uzak olanlara göre ortalama frekansının yine daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.3).







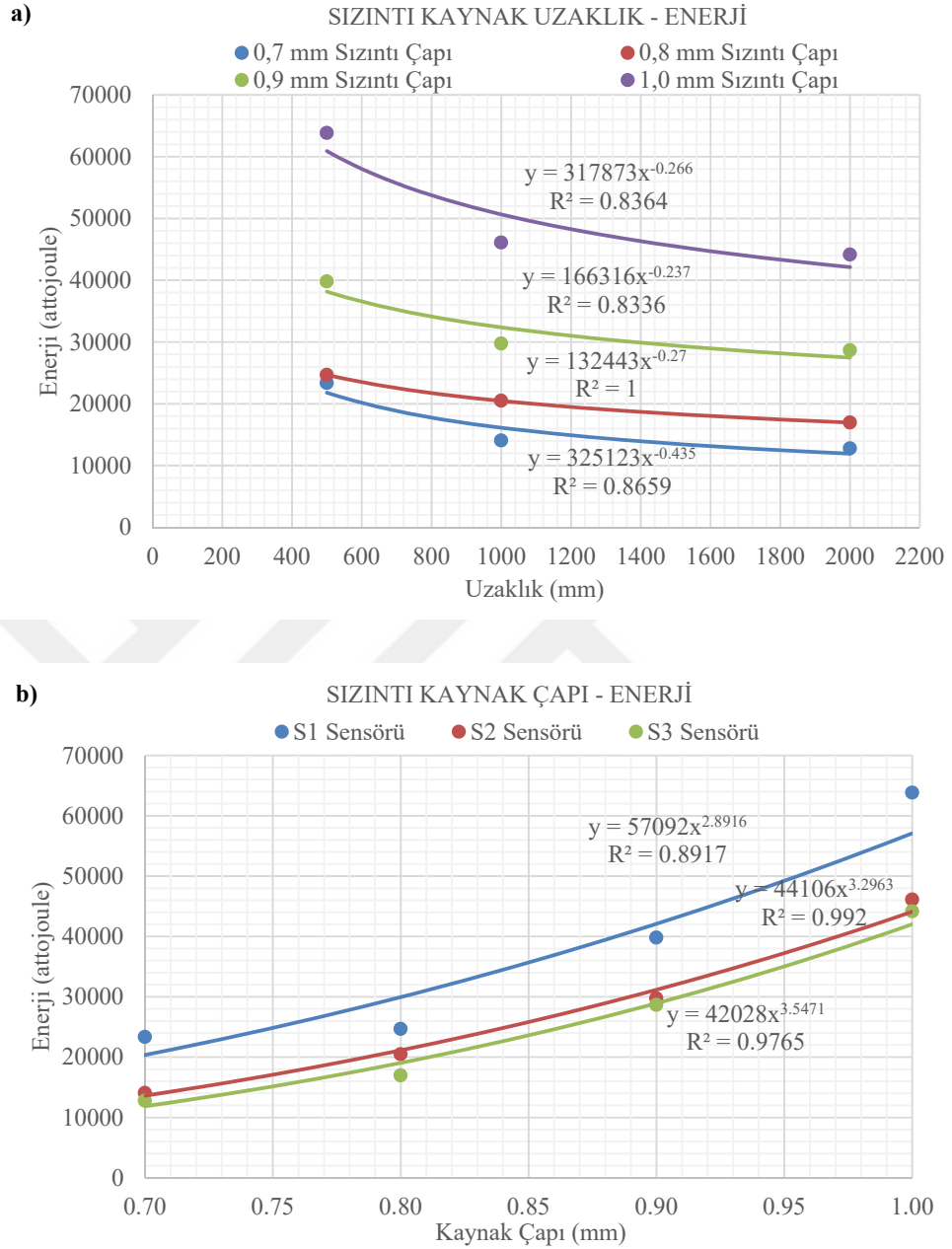
Şekil 4.3 Sürekli ve kesintili sızıntı durumları ortalama frekans-zaman: a)S1 , b)S2, c)S3 Sensörü, d)0.7 mm , e) 0.8 mm , f) 0.9 mm , g)1.0 mm sızıntı çapı

Akustik veriler ile deney değişkenleri arasındaki karşılaştırılmalı matematiksel bağıntılar; iç basıncı dengelenmiş zaman aralıklarına denk gelen, sürekli ve kesintili sızıntıda enerjilerinin, genliklerinin ve ortalama frekanslarının bir ortalaması şeklinde hesaplanmasıyla oluşturulmuştur (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Sürekli ve kesintili sızıntı için ortalama enerji, genlik ve ortalama frekans AE verileri

AKUSTİK VERİ	KAYNAK UZAKLIK (mm)	AE SENSÖR	Sızıntı Kaynak Çapı (mm)			
			0.70	0.80	0.90	1.00
Enerji (attojoule)	500	S1	23352.91	24684.22	39808.50	63841.68
	1000	S2	14069.05	20493.39	29748.96	46106.73
	2000	S3	12781.49	16970.96	28665.19	44160.37
Genlik (dB)	500	S1	67.64	68.07	72.24	76.50
	1000	S2	63.21	66.35	69.62	73.47
	2000	S3	62.44	64.90	69.31	73.13
Ortalama Frekans (kHz)	500	S1	52.76	40.35	31.31	22.63
	1000	S2	45.47	37.70	27.35	29.82
	2000	S3	43.28	33.79	22.79	22.51

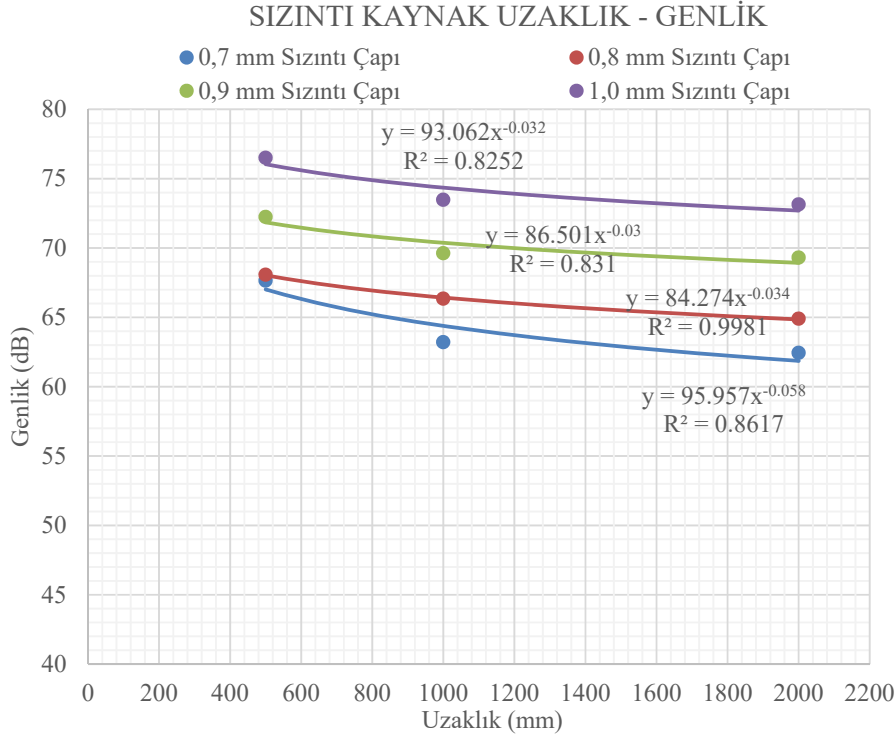
Şekil 4.4'de her kaynak çapı için sensörlerin kaynağa olan uzaklığı ve yine sensörlerin sızıntı çapına bağlı birbiri ile karşılaştırılmalı olarak algıladığı enerji seviyeleri ile arasında üstel bir ilişki olduğu belirlenmiştir.



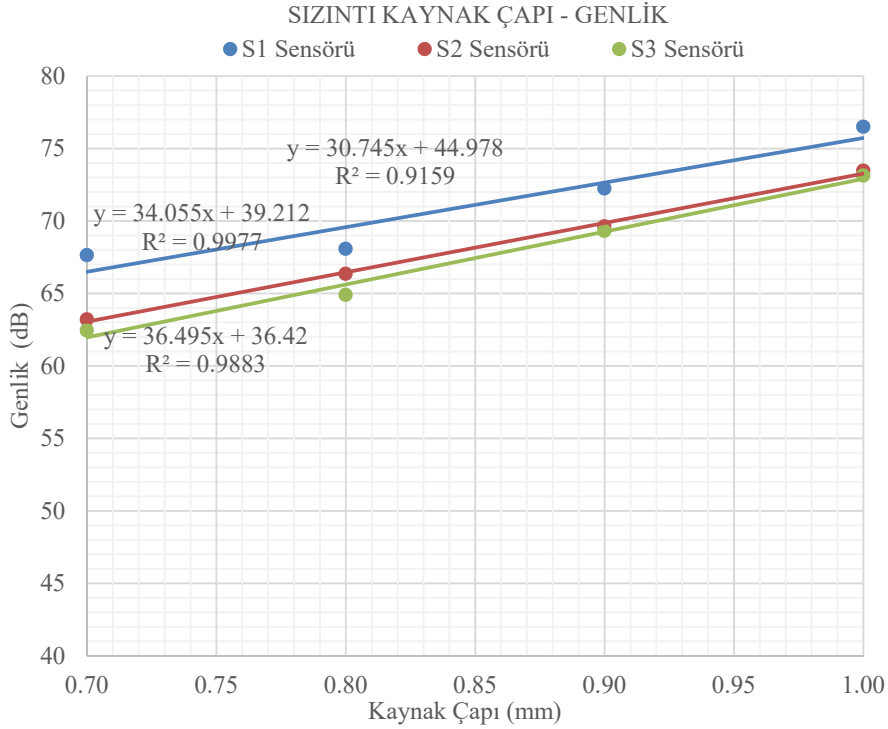
Şekil 4.4 : Enerjinin kaynak çapı ve uzaklığı ile arasındaki matematiksel ilişki:
a) Sızıntı kaynağına uzaklık-Enerji, b)Kaynak çapı-Enerji

Yine Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'ya göre her kaynak çapı için sensörlerin kaynağa olan uzaklığı ile genlik ve ortalama frekans arasında üstel, herbir sensörün sızıntı çapına bağlı birbiri ile karşılaştırılmalı olarak algıladığı sızıntının genliğiyle lineer fakat ortalama frekans ile arasında üstel bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

a)

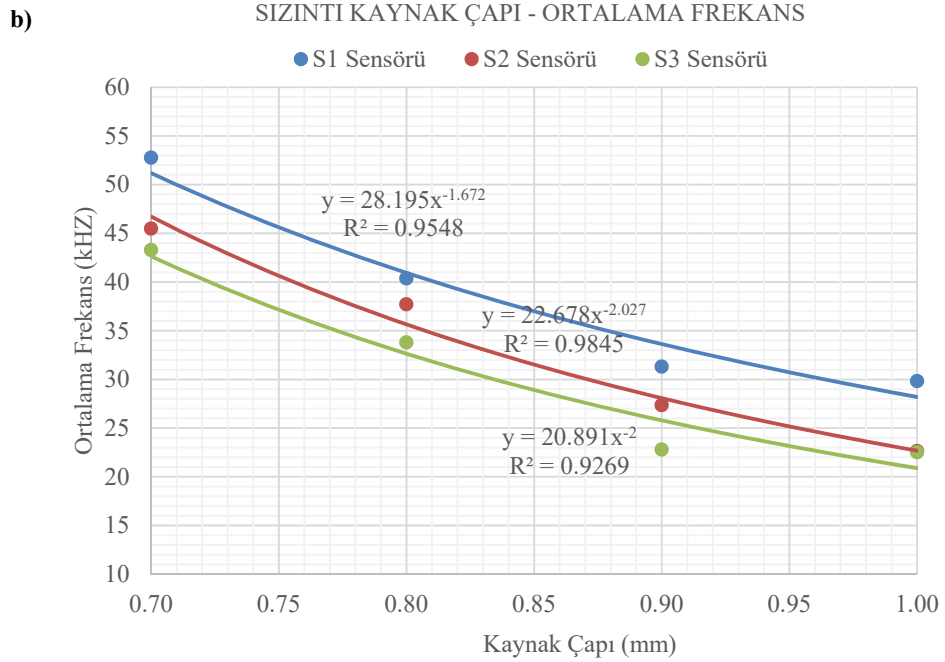
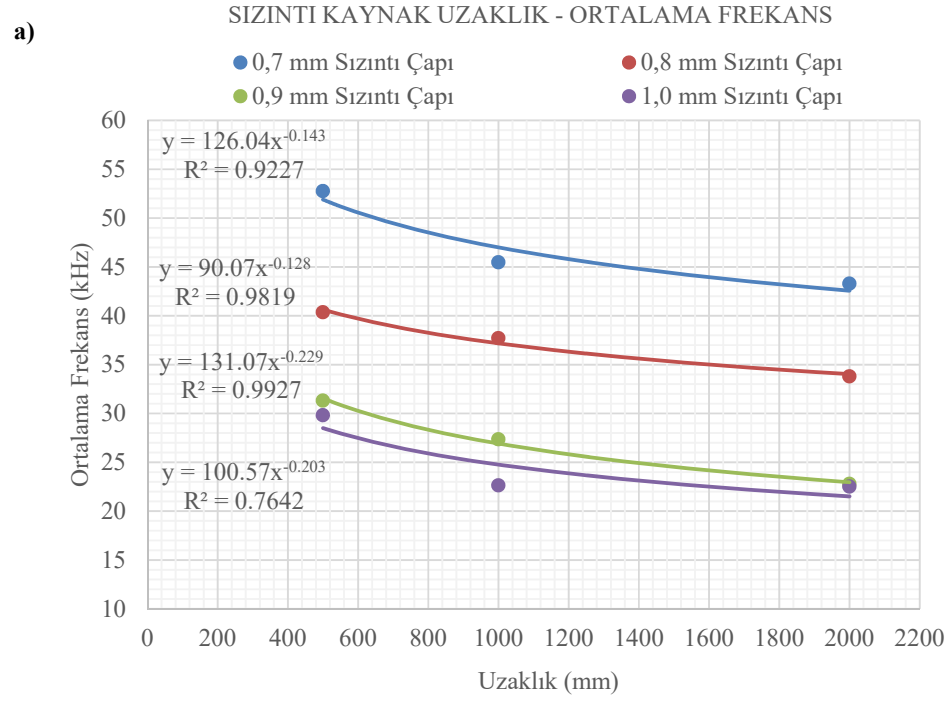


b)



Şekil 4.5 : Genliğin kaynak çapı ve uzaklığı ile arasındaki matematiksel ilişki:

a) Sızıntı kaynağına uzaklık-Genlik, b) Kaynak çapı-Genlik



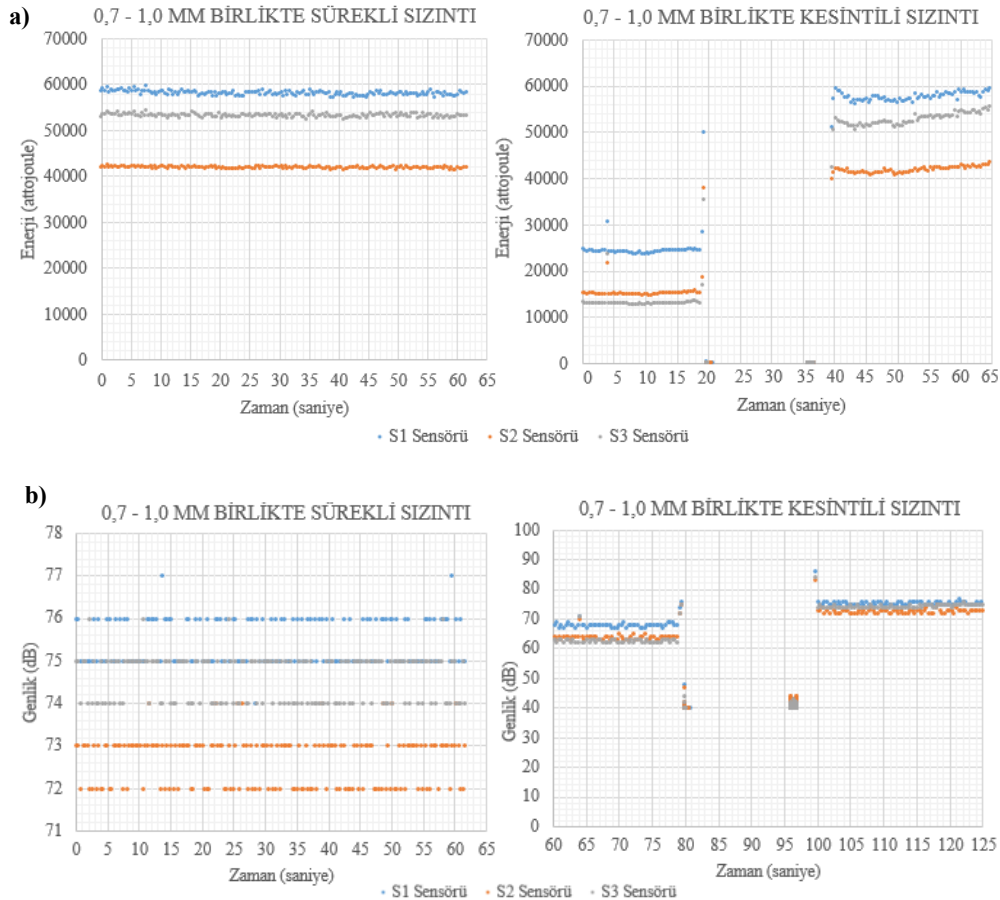
Şekil 4.6 : Ortalama frekansın kaynak çapı ve uzaklığı ile arasındaki matematiksel ilişki: a) Sızıntı kaynağına uzaklık-Ortalama Frekans, b)Kaynak çapı-Ortalama Frekans

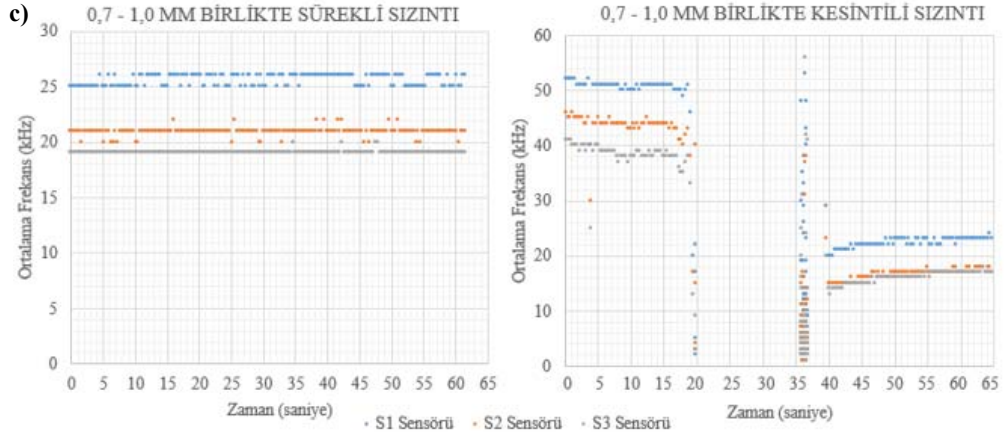
4.1.2 Deney Elemanı-1'in çift sızıntı durumuna ait enerji-zaman, genlik-zaman ve ortalama frekans-zaman ilişkisi

Bu bölümde ayrı ayrı sürekli ve kesintili çift sızıntılı durumlarına ait herbir sensörün algıladığı enerji, genlik ve ortalama frekans akustik verileri incelenmiştir. Bunun dışında bölüm 4.1.1'de belirlenen matematiksel bağıntılar üzerinden teorik sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kesintili sızıntının 0-20 saniyeleri arasında 1.0 mm, 20-40 saniyeleri arası iki kaynak da kapalıdır. 40-60 saniyeleri arası ise iki kaynak açık olacak şekilde test edilmiştir.

Kesintili çift sızıntı durumunda 1.0 mm'lik kaynak çapı kapalı olduğunda açık olan 0.7 mm'lik kaynak çapına bağlı sızıntının tüm akustik verilerinin Çizelge 4.2'deki değerler ile benzer olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.7).

İki sızıntı kaynağının birlikte açık olma durumunda, sistemdeki her bir sensöre gelen enerji ve genlik veri değerleri artmıştır. Fakat ortalama frekans değerlerinde enerji ve genliğe ters orantılı şekilde azalma gözlemlenmiştir.





Şekil 4.7 0,7-1,0 mm birlikte sürekli ve kesintili sızıntı durumları a) Enerji-Zaman, b)Genlik-Zaman, c)Ortalama Frekans-Zaman

Şekil 4.4'deki grafiklerde verilen enerjinin kaynak çapı ve kaynağa olan uzaklık ile arasındaki matematiksel bağıntısına göre ikinci sızıntı, yani 1.0 mm'lik sızıntı çapının mevcut konumuna ait enerji verileri $y=317873x^{-0.266}$ denklemine göre hesaplanmıştır ve Şekil 4.7'de verilmiş olan deneysel çalışmadan elde edilen sürekli ve kesintili durumdaki ortalama enerji değeriyle karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 0,7-1,0 mm birlikte sürekli ve kesintili sızıntı durumları deneysel ve hesaplanan verilerin karşılaştırılması

AE SENSÖRLERİ	KAYNAĞA UZAKLIK (mm)	SIZINTI ÇAPI (mm)	ENERJİ (attojoule)	\sum Hesaplanan (attojoule)	\sum Deneysel (attojoule)	HATA ORANI (%)
S1	500	0.70	23352.91	56338.71	57838.97	+2.59
	5000	1.00	32985.80			
S2	1000	0.70	14069.05	50337.71	41809.03	-20.40
	3500	1.00	36268.66			
S3	2000	0.70	12781.49	52445.95	52969.63	+0.99
	2500	1.00	39664.46			

Çizelge 4.3'e göre iki sızıntı durumunda S1 ve S3 sensörlerinin teorik ve deneysel enerji seviyelerinin birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Sistemde oluşan titreşim modlarının, karşılaştırılmalı olarak diğer sensörlere oranla S2 sensöründe daha yüksek bir hata oranına yol açtığı düşünülmektedir. Ayrıca sistemin çift sızıntı durumunda numerik bir analizinin yapılması, bu tip durumların akustik davranışlarının açıklanması konusunda yardımcı olabileceği ve farklı sızıntı çaplarıyla yapılacak çift sızıntı kaynaklı deneylerin sonuca daha çok yaklaşılması açısından faydalı olabileceği düşünülmektedir.

Buna ek olarak Şekil 4.7'de kesintili sızıntı grafiklerinden de anlaşılacağı üzere çift sızıntının birlikte kapalı olduğu durumda sensörlerin herhangi bir gürültüyü veya akustik veriyi algılamadığı belirlenmiştir.

4.2 Deney Elemanı-2'ye Ait Akustik Emisyon Bulguları

Bu bölümde Deney Elemanı-2'nin zamana bağlı olarak enerji, genlik ve ortalama frekans değerleri incelenmiştir. Yükleme testi 0.7 mm, 1.0 mm, 2.0 mm ve 3.0 mm'lik değişken kaynak çapları için tekrarlanmış ve enerji, genlik ve ortalama frekans ile değişken kaynak çapları arasındaki ilişki incelenmiştir. Ayrıca sürekli sızıntı durumu dışında, 3.0 mm'lik sızıntı çapı ile kesintili sızıntı (Kaynak Aç-Kapa) durumunda akustik davranışlar incelenmiştir. Bu yöntem ile sistemde olası gürültü ve olası sızıntının varlığı araştırılmıştır.

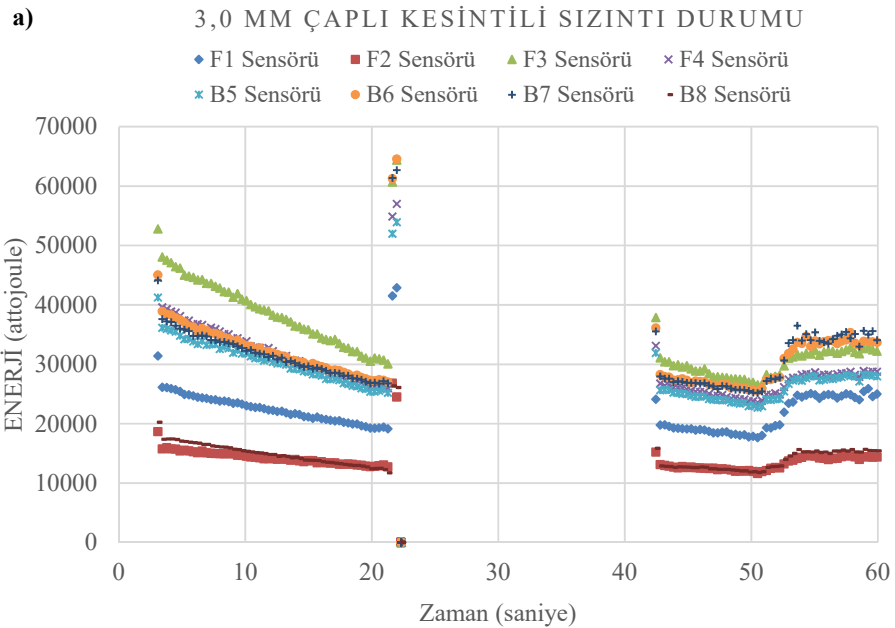
4.2.1 Deney Elemanı-2 için enerji-zaman, genlik-zaman ve ortalama frekans-zaman ilişkisi

Deney Elemanı-2 için hedeflenen iç basıncının dengelenmesine kadar geçen zaman aralığında akustik verilerde Deney Elemanı-1'e oranla daha fazla dalgalanmalar gözlemlenmiştir. AE sensörlerinin veri okumalarında düzenli ve sıralı değerler olmasına rağmen, sensörlerin veri alış süresi yani deney süresi sistem dengeye ulaşmadan kesildiği düşünülmektedir. Bunun nedeni hedeflenen iç basıncın sisteme dahil edilmiş birer adet regülatör ve manometreden doğru bir şekilde okunmasına rağmen, tüm elemanın mikro ölçekteki yüzey alanına etkiyecek olan basıncın dengeye ulaşmadan bilgisayardan veri akışının kesilmesidir.

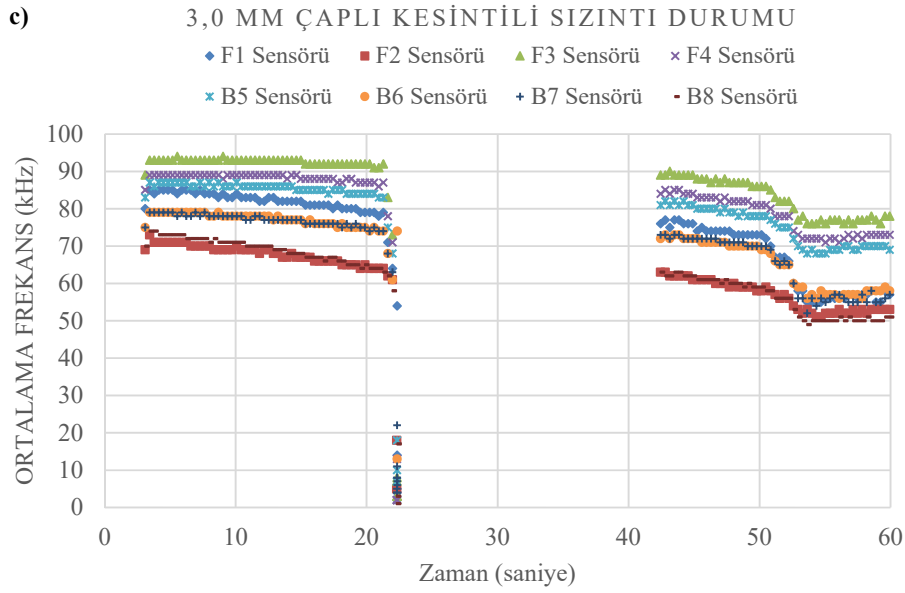
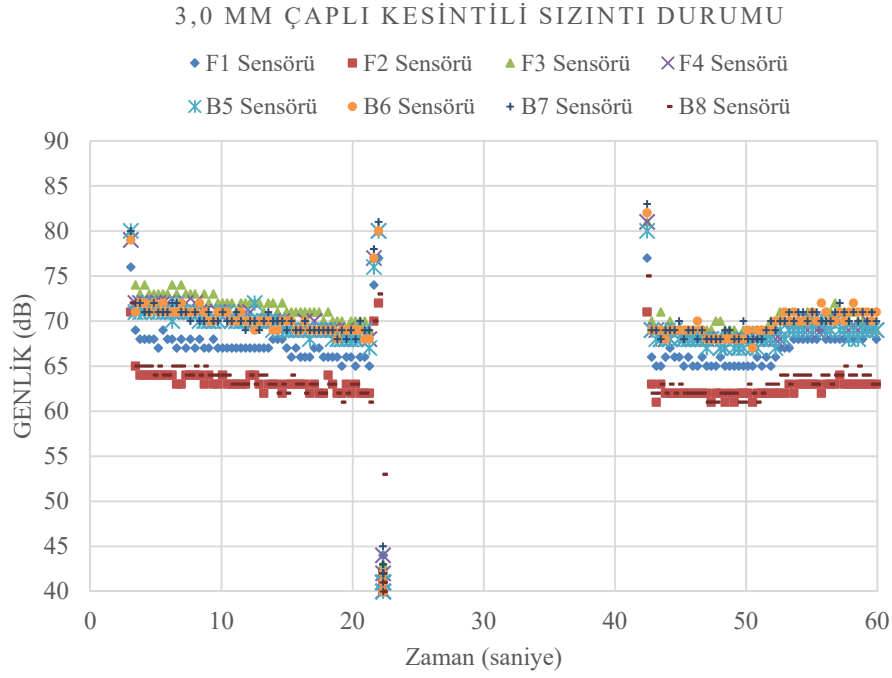
Deneyler öncesi kesitin hacminin, geometrisinin ve sistemdeki akışkanın debisinin hesaplanması; sistemin dengeye gelmesi için tahmini sürenin belirlenmesi açısından önemli bir detay olduğu düşünülmektedir. Geometrik ölçüleri göz önünde bulundurulduğunda Deney Elemanı-2, Deney Elemanı-1'in hacminin yaklaşık olarak 6 katıdır. Dolayısıyla yükleme altındaki Deney Elemanı-2 için, deney süresi boyunca AE sensörlerinin karşılaştırılmalı olarak belli bir düzende ve sırada algıladığı enerji, genlik ve ortalama frekans akustik değerlerinin ortalamaları göz önünde bulundurulmuştur.

Şekil 4.8'de 3.0 mm'lik sızıntı çapına sahip sistemde kesintili sızıntı tespiti sırasında kaynağın kapalı olduğu süre boyunca AE sensörleri gürültü veya akustik veri algılamamıştır. Yükleme durumundaki bir tankın AE sensörleri yardımı ile malzemede herhangi bir sızıntının var olup olmadığı ve mevcut sızıntının akustik davranışlarının akustik emisyon yöntemi ile tespit edilebileceği belirlenmiştir.

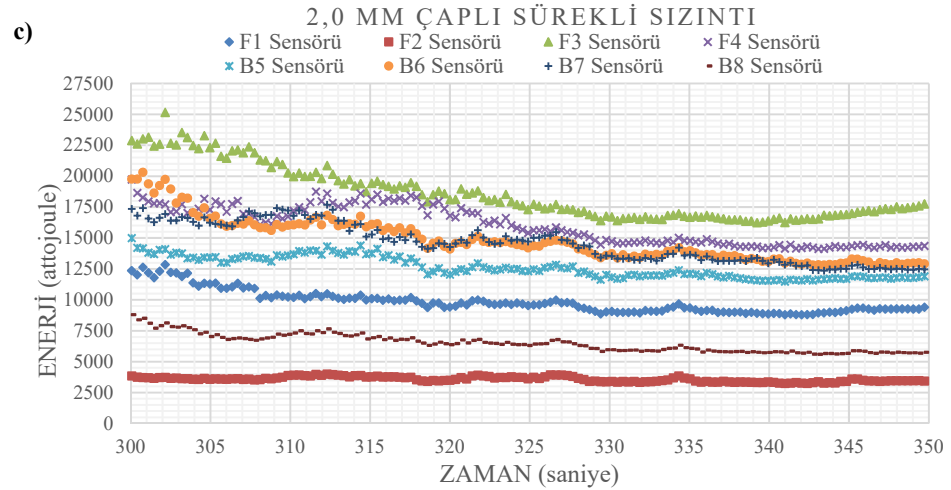
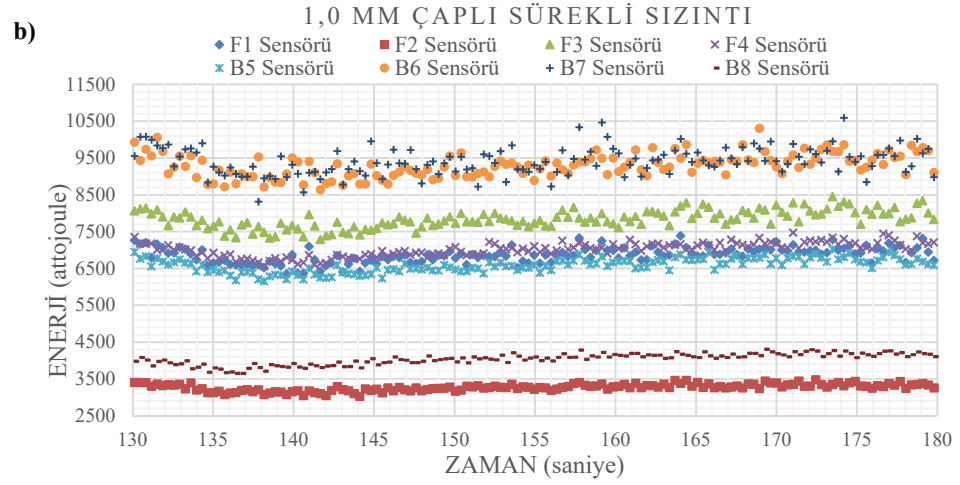
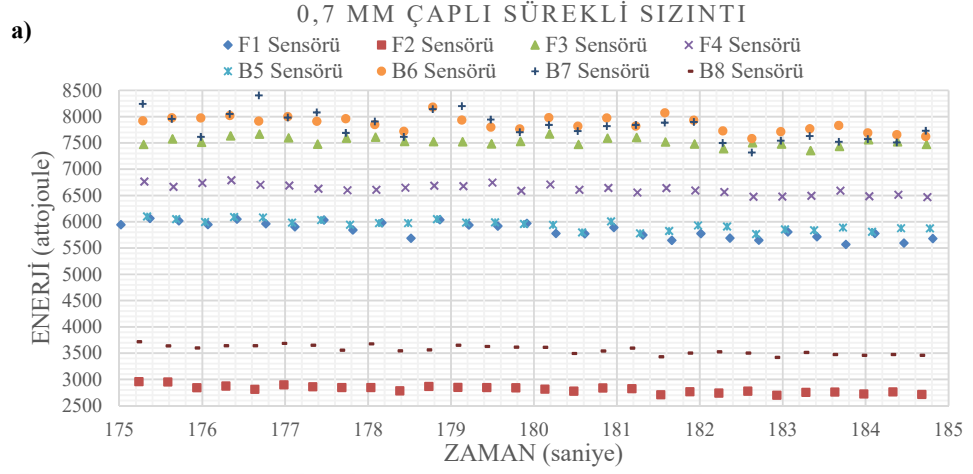
Şekil 4.9 ve 4.10'da deneysel verilere göre sızıntı kaynağının çapındaki artış, sistemin enerjisini ve genliğini arttırmıştır. Kaynak çapı artışı her bir sensörün algıladığı enerji ve genlik seviyelerini arttırmasının dışında, sensörlerin ortalama frekans değerlerinde belli bir düzensizlik gözlemlenmiştir (Şekil 4.11). Bu düzensizliği sebebi olarak yukarıda da bahsedildiği üzere iç basıncın tam denge haline ulaşmadan veri kaydının kesilmesi olduğu düşünülmektedir.

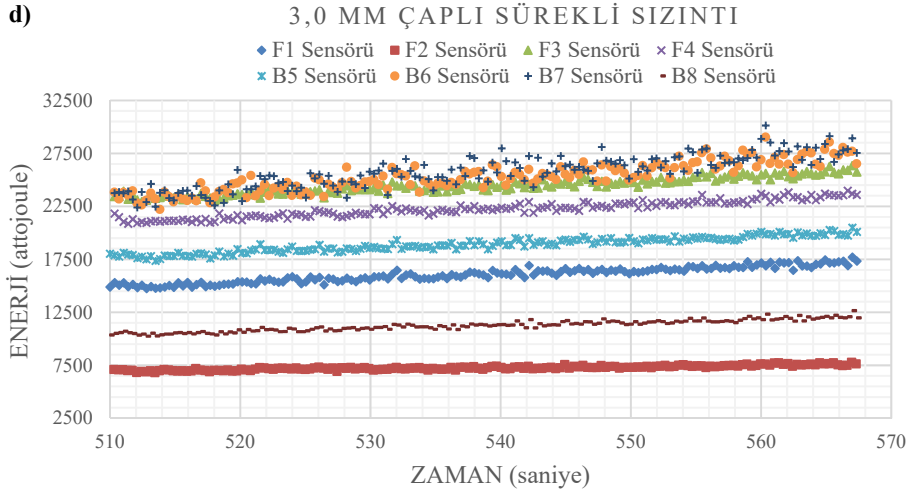


b)

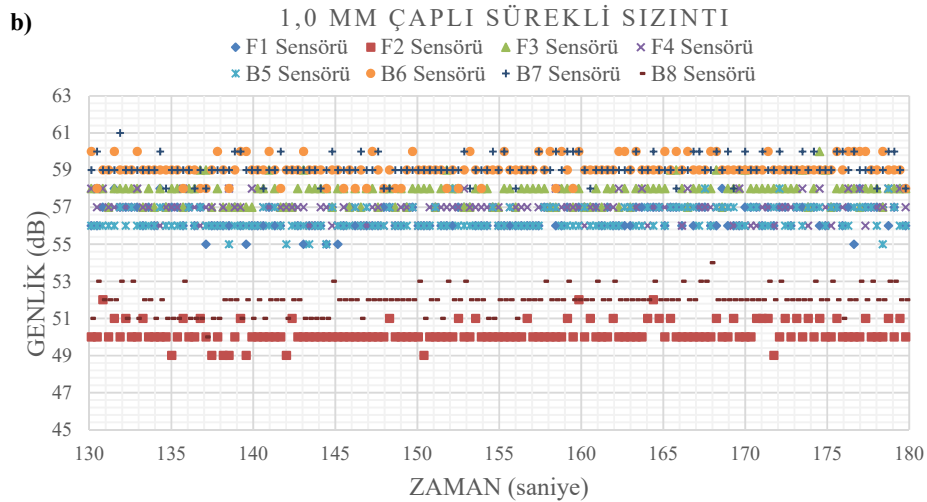
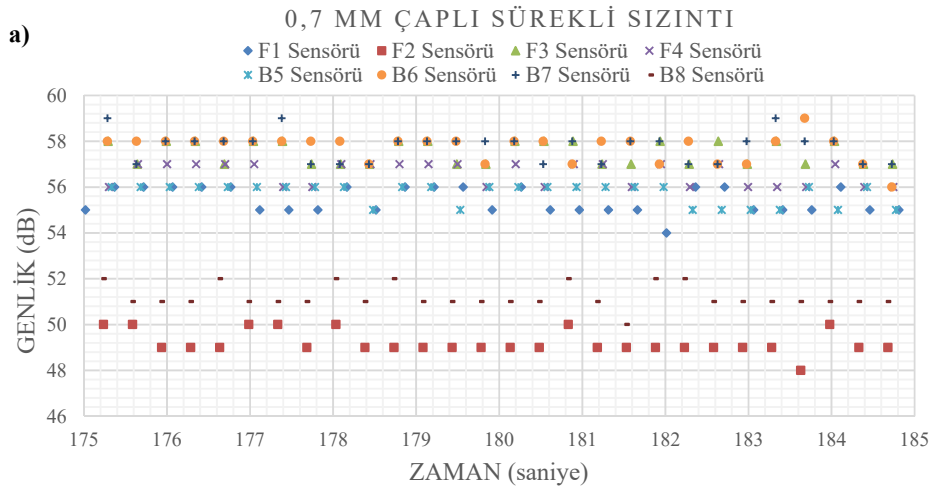


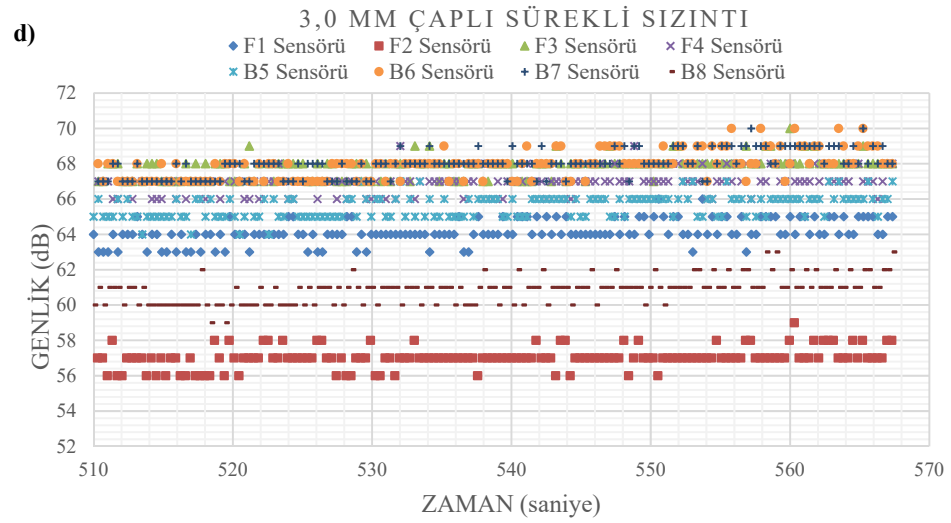
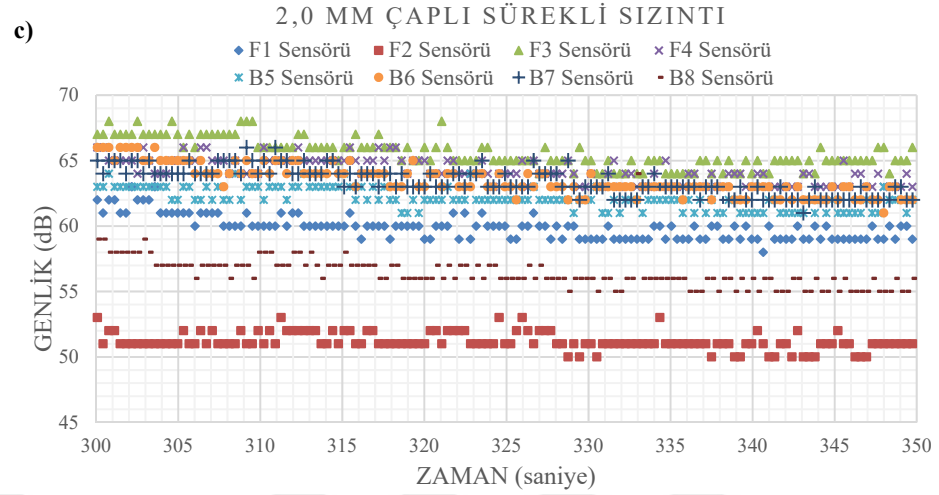
Şekil 4.8 3.0 mm kesintili sızıntı durumu a) Enerji-Zaman, b) Genlik-Zaman, c) Ortalama Frekans-Zaman



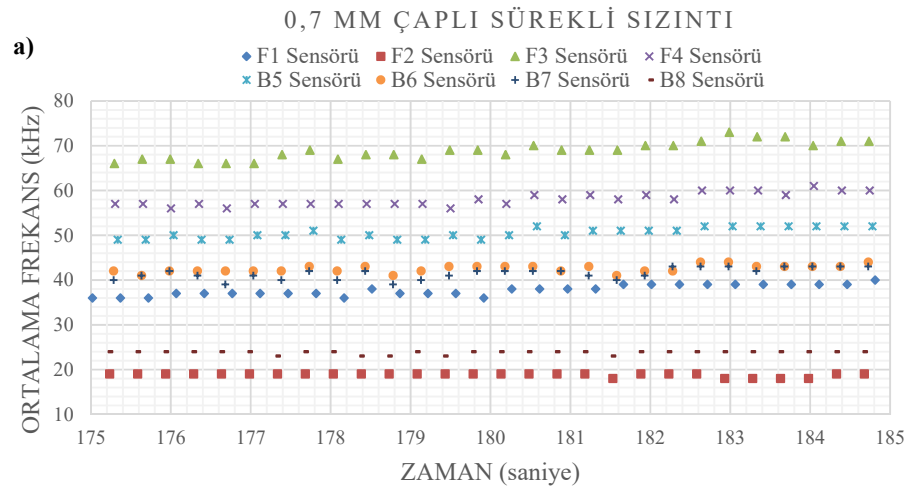


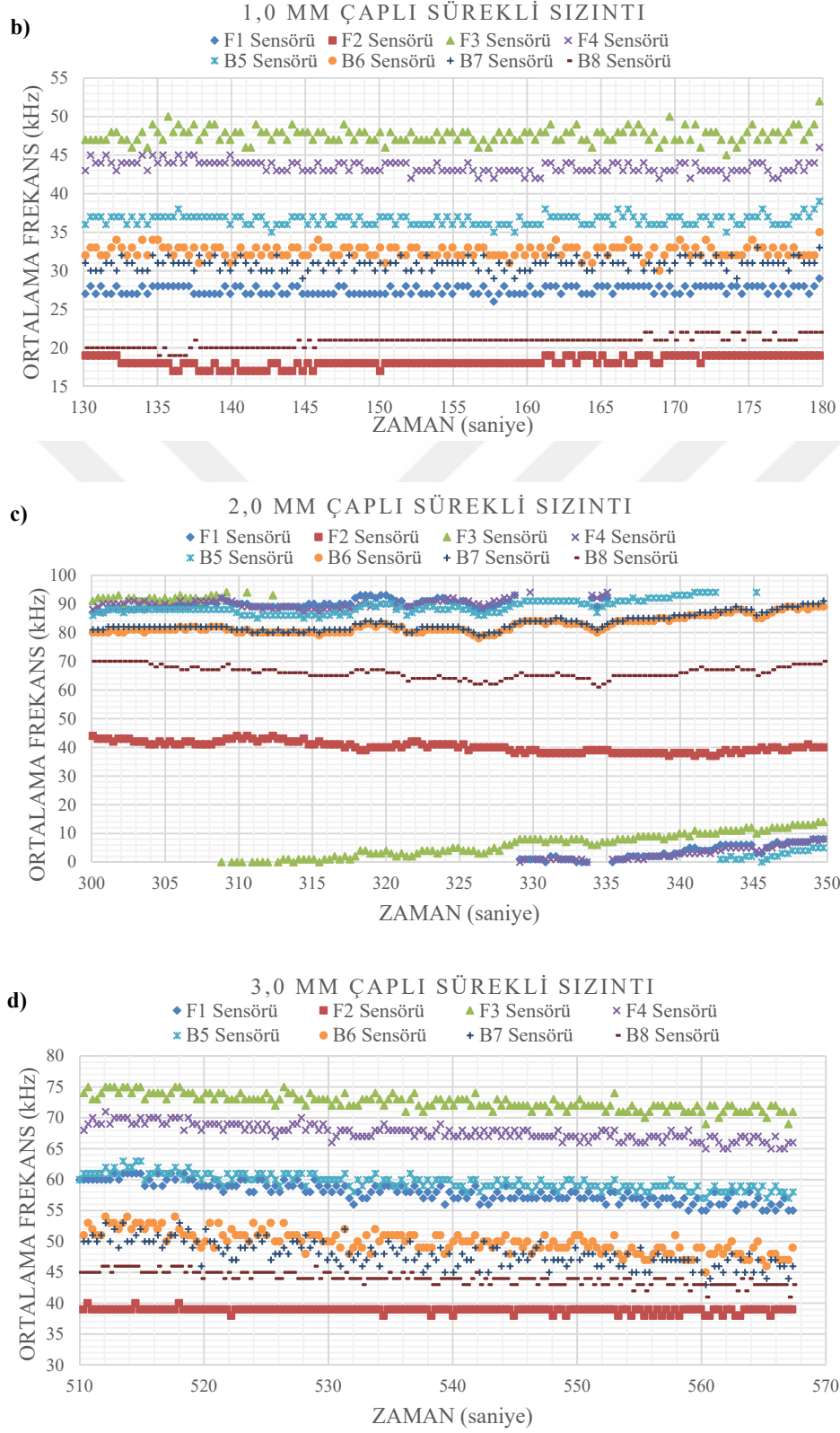
Şekil 4.9 Denei Elemanı-2 enerji-zaman: a)0.7 b)1.0 c)2.0 d)3.0 mm çaplı sürekli sızıntı





Şekil 4.10 Deney Elemanı-2 genlik-zaman: a)0.7 b)1.0 c)2.0 d)3.0 mm çaplı sürekli sızıntı





Şekil 4.11 Denei Elemanı-2 ortalama frekans-zaman: a)0.7 b)1.0 c)2.0 d)3.0 mm çaplı sürekli sızıntı

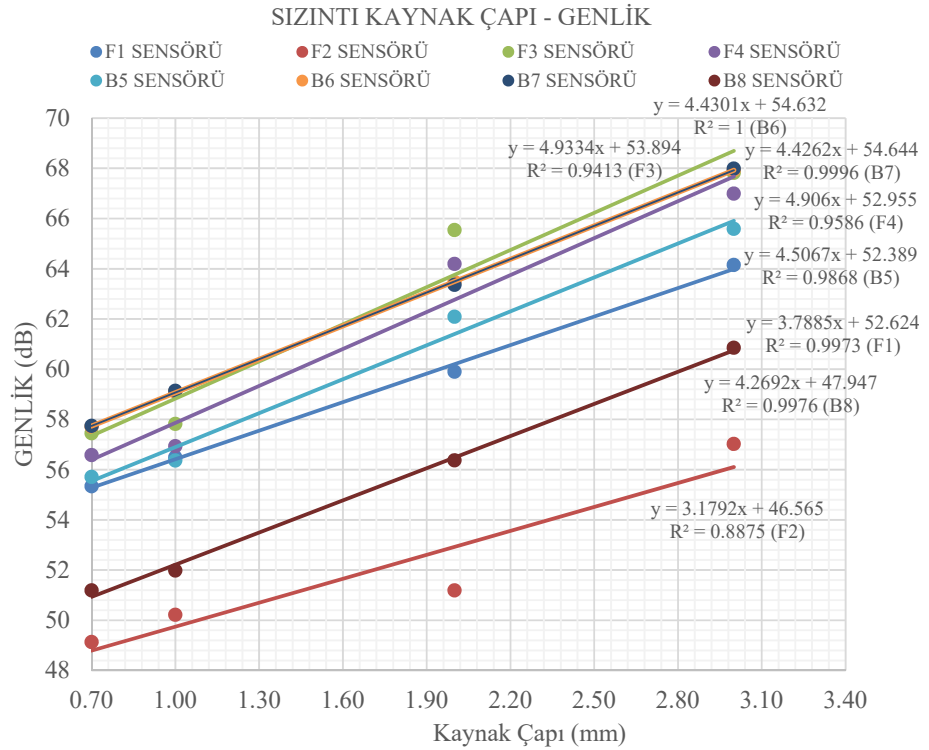
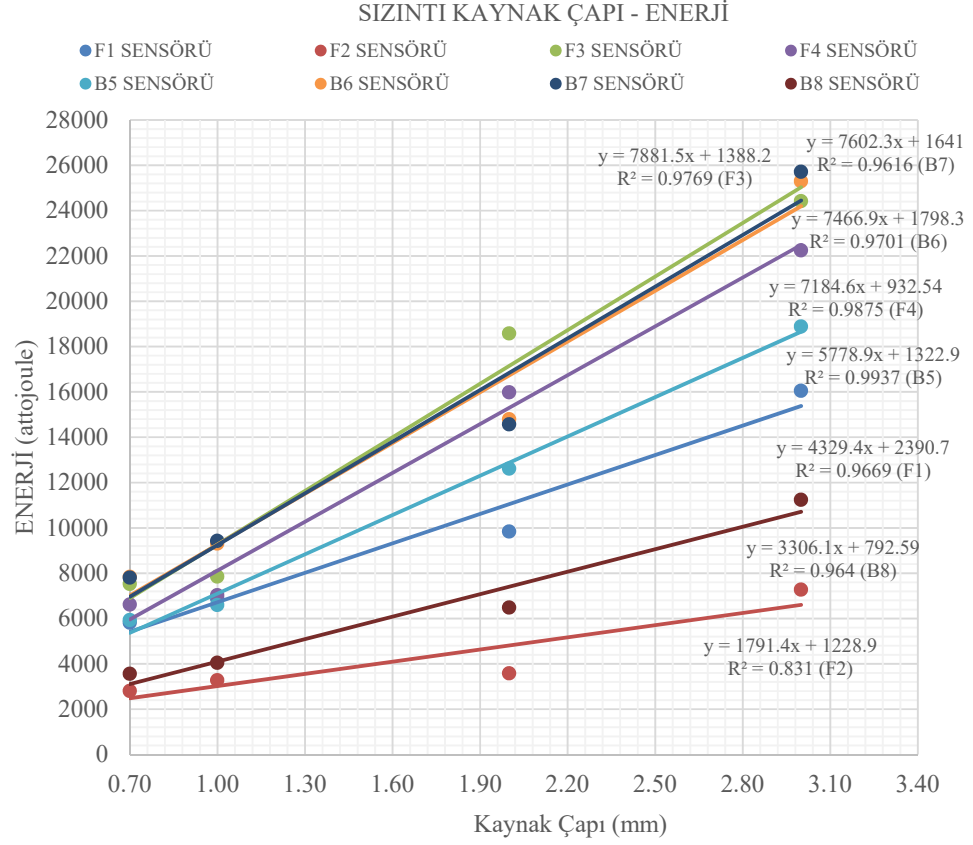
Deney Elemanı-1’de olduğu gibi Deney Elemanı-2’de de kaynağa yakın olan sensörlerde (F1, F2, F3 ve F4) daha yüksek enerji ve genlik değerleri beklenirken, daha uzaktaki sensörün (B5, B6, B7 ve B8) yakın olanlara oranla daha yüksek enerji ve genlik seviyelerine sahip olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.4 ve 4.5’e göre enerji ve genlik genellikle F3, B7 ve B6 sensörleri için daha yüksek değerlerde kaydedilirken F2, B8 ve F1 sensörleri için karşılaştırılmalı olarak daha düşük olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerde sensörlerin kendi içerisinde yaklaşık olarak benzer düzenli bir sırada enerji ve genlik değerlerine sahip olması, deney elemanının içerisinde belli bir debide nüfuz eden akışkanın izlediği benzer yol ve davranışının etkili olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla bu durumun sistemin denge haline ulaşamaması dışında, deney yüklemesi boyunca elemanın içerisindeki akışkanın denge haline gelinceye kadar geçen süre aralığındaki mevcut bir çevrintiden kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir. Ama yine de sızıntı kaynak çapının artışı sistemin ve her bir sensörün enerji ve genlik seviyelerinde artışa sebep olmasına rağmen, sızıntıya olan uzaklığı bilinen sensörlerin mesafeleri ile enerji arasında beklentinin dışında bir düzensizlik olduğu belirlenmiştir. Deney Düzeneği-1’in bir boyutunun diğer boyutlarına oranla çok daha kısa olması akışkanın izlediği yolun daha doğrusal ve Deney Düzeneği-2’nin tüm boyutlarının yaklaşık aynı olmasının içindeki akışkanın izlediği yolu ve davranışı daha karmaşık hale getirdiği tahmin edilmektedir. Dolayısıyla sistem geometrisinin akışkanın iç basınç dengesine ulaşacağı kadarki geçen süre boyuca davranışının, sensörlerin akustik verilerinin değerlendirilmesi noktasında önemli bir detay olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.4 Deney Elemanı-2 sensör enerji ve genlik seviyeleri sıra ve düzeni

SENSÖR ENERJİ VE GENLİK SEVİYELERİ	
 (Düşük olan seviyeden yüksek olana doğru)	
0,7 mm için	F2<B8<F1<B5<F4<F3<B7<B6
1,0 mm için	F2<B8<B5<F1<F4<F3<B6<B7
2,0 mm için	F2<B8<F1<B5<B7<B6<F4<F3
3,0 mm için	F2<B8<F1<B5<F4<F3<B6<B7

Çizelge 4.5 Deney Elemanı-2 sürekli sızıntı için enerji, genlik, ortalama frekans AE verileri

AKUSTİK VERİ	KAYNAĞA UZAKLIK (mm)	AE SENSÖR	Sızıntı Kaynak Çapı (mm)			
			0.70	1.00	2.00	3.00
Enerji (attojoule)	474.34	F1	5819.19	6869.39	9835.98	16045.53
	474.34	F2	2800.71	3272.32	3576.51	7268.30
	474.34	F3	7519.81	7850.17	18576.65	24412.10
	474.34	F4	6615.26	7026.72	15979.77	22245.51
	1109.34	B5	5927.48	6593.86	12610.10	18878.72
	1109.34	B6	7836.23	9302.32	14792.23	25290.63
	1109.34	B7	7799.06	9421.32	14565.49	25713.30
	1109.34	B8	3555.42	4043.99	6482.77	11239.36
Genlik (dB)	474.34	F1	55.34	56.49	59.90	64.15
	474.34	F2	49.13	50.22	51.19	57.02
	474.34	F3	57.45	57.82	65.54	67.82
	474.34	F4	56.58	56.93	64.19	66.99
	1109.34	B5	55.71	56.36	62.09	65.59
	1109.34	B6	57.71	59.10	63.47	67.93
	1109.34	B7	57.74	59.14	63.36	67.99
	1109.34	B8	51.19	51.98	56.37	60.85
Ortalama Frekans (kHz)	474.34	F1	37.94	27.53	55.16	57.98
	474.34	F2	18.81	18.24	40.21	38.90
	474.34	F3	69.23	47.75	22.82	72.55
	474.34	F4	58.26	43.54	55.63	67.70
	1109.34	B5	50.74	36.68	75.27	59.67
	1109.34	B6	42.71	32.58	82.72	49.95
	1109.34	B7	41.71	30.92	85.53	47.95
	1109.34	B8	23.87	20.87	66.23	44.04



Şekil 4.12 Enerji ve genliğin kaynak çapı ile arasındaki matematiksel ilişki

Şekil 4.11 ve 4.12’de her kaynak çapı için sensörlerin sızıntı çapına bağlı birbiri ile karşılaştırılmalı olarak algıladığı enerji seviyeleri ve genlikleri ile arasında daha çok lineer bir bağıntı olduğu belirlenmiştir.



5. BÖLÜM

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında AE sensörleri yardımıyla; karbon çeliğinden yapılmış boru ve tank numunesinde oluşturulan bir sızıntı kaynağının malzemede neden olduğu akustik davranışlar incelenmiştir. Deneyde sızıntı kaynağının oluşturulmasında çeşitli çaplara sahip standart ölçülerde enjektörler kullanılmıştır. Boru numunesinde tek sızıntı dışında çift sızıntı durumu da incelenmiştir. Elde edilen AE verileri yardımıyla sızıntının Enerji-Zaman, Genlik-Zaman ve Ortalama Frekans-Zaman eğrileri hesaplanmıştır. Bu AE verilerinin kaynak çapları ve sensörlerin uzaklığı ile olan bağlantısı araştırılmıştır. Ayrıca her iki deney numunesi için kesintili olarak kaynak aç-kapa yöntemi ile sistemde olası sızıntının varlığının AE sensörleri ile tespitinin mümkün olup olmadığı incelenmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Her iki deney numunesinde de tüm sızıntı kaynaklarının kapalı olduğu süre boyunca AE sensörlerinin herhangi bir gürültü veya akustik veri kaydetmediği ve dolayısıyla boru, tank vb. gibi mekanik aksamalarda akustik emisyon yöntemiyle olası bir sızıntının tespit edilebileceği ortaya konmuştur.
- Boru numunesinde sızıntı kaynağının çapındaki artış, sistemin enerjisini ve genliğini arttırmış fakat ortalama frekansını düşürmüştür. Karşılaştırmalı olarak kaynağa yakın olan AE sensörünün, uzak olan AE sensörüne oranla daha yüksek enerjiye, genliğe ve ortalama frekansa sahip olduğu belirlenmiştir.
- Boru numunesinde AE sensörlerinin sızıntı kaynağına olan uzaklığı arttıkça algıladıkları enerji, genlik ve ortalama frekans değerlerinin birbirine yaklaştığı belirlenmiştir. Kaynak lokasyonu tespitinde sönümlenme oranlarının hesaplara dahil edilmesi gerektiği önerilmektedir.
- Boru numunesinde ikinci bir olası sızıntının sistemin enerjisini ve genliğini arttırdığı fakat ortalama frekansını azalttığı ortaya konmuştur.

- Boru numunesinde bazı sensörler için ayrı ayrı tek sızıntıya karşılık gelen enerji seviyelerinin yaklaşık olarak toplamlarının, ikinci bir sızıntı kaynağının varlığındaki sistemin toplam enerjisine eşit olduğu belirlenmiştir. İki sensörde hesaplanan ve deneysel verilerden elde edilen hata oranlarının %2,59 ve %0,99 olması fakat diğer sensörün %20,40'lık çok daha yüksek hata oranına sahip olması nedeniyle iki veya daha fazla sızıntı durumundaki bir sistemin numerik bir modellemesinin yapılması gerektiği ve deney düzeneğinin bu numerik modelleme sonrası tasarlanması gerektiği önerilmektedir.
- Boru numunesinde ayrı ayrı her bir kaynak çapı için sensörlerin kaynağa olan uzaklığı ile AE sensörlerinin algıladığı enerji, genlik ve ortalama frekans seviyeleri arasında daha çok üstel bir bağıntı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca her bir AE sensörünün değişken kaynak çapları ile sensörlerin algıladığı enerji ve ortalama frekansı ile yine üstel fakat genlik ile arasında lineer bir bağıntı olduğu belirlenmiştir.
- Her iki deney numunesi için ilerideki çalışmalarda sistem iç basıncını bilgisayar ortamına aktarılabilen elektronik bir basınçölçer önerilmektedir. Zamana bağlı olarak yüklemdeki değişimin, bilgisayar ortamına kaydedilebilmesi sistemin AE davranışının yüklemeye bağlı olarak incelenmesi bakımından daha doğru veriler sağlayacaktır.
- Tank numunesinde sızıntı kaynağının çapındaki artış, sistemin enerjisini ve genliğini arttırdığı ortaya konmuştur. Her bir sensörün ayrı ayrı enerji seviyeleri ve genlikleri ile değişken kaynak çapı arasında daha çok lineer bir bağıntı olduğu belirlenmiştir. Bunun dışında her bir sensörün ortalama frekans değerlerinde belli bir düzensizlik gözlemlenmiştir. Bu düzensizliğin sebebi olarak yukarıda da bahsedildiği üzere iç basıncın tam denge haline ulaşmadan veri kaydının kesilmesi olduğu düşünülmektedir.
- Boru numunesinin bir boyutunun diğer boyutlarına oranla çok daha kısa olması akışkanın izlediği yolun daha doğrusal, tank numunesinin ise tüm boyutlarının yaklaşık olarak aynı olmasının içindeki akışkanın izlediği yolu ve davranışı daha karmaşık hale getirdiği ve dolayısıyla sensörlerin birbiri ile karşılaştırılmalı enerji, genlik ve ortalama frekans değerlerinde düzenli bir sıra olmadığı belirlenmiştir.

- Büyük hacimlerdeki sistemlerin AE testinde hedeflenen iç basınç dengesinin sağlanması için gerekli olan tahmini sürenin belirlenmesinde kesit hacminin, geometrisinin ve sistemdeki akışkanın debisinin göz önünde bulundurulması gerektiği önerilmektedir. Sistem hacmi ve geometrisinin, basınçlandırılmış sistemin iç basınç dengesine ulaşmaya kadarki geçen süre boyunca akışkanın davranışının, sensörlerin akustik verilerinin değerlendirilmesi noktasında önemli bir detay olduğu düşünülmektedir.

Deneysel çalışma kısıtlı zaman içinde yapılmıştır ve deneylerin tekrarı mümkün olamamıştır. Veriler daha sonra analiz edildiğinden ve geriye dönüş mümkün olmadığından deneyler tekrar edilememiştir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda ölçümler yapılırken verilerin daha uzun sürede kayıt edilmesi önem arz etmektedir. Ölçümler esnasında farklı frekans genişliklerindeki sensörler de sisteme dahil edilmeli, test edilen elemanın dinamik titreşim modlarını hesaplayabilmek için belirli noktalarda uygulanacak ivmeölçerler ile de titreşim verileri aynı-zamanlı olarak alınmalıdır. Ayrıca sensörlerin lokasyonları değiştirilmeli hem farklı lokasyonlardaki veriler de incelenmeli hem de sensörlerin tepkileri de incelenmelidir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ahadi, M. and Bakhtiar, M.S., 2010**, Leak detection in water-filled plastic pipes through the application of tuned wavelet transforms to Acoustic Emission signals, *Applied Acoustics*, 71:634–639 pp.
- Ai, Q., Liu, C., Chen, X., He, P. and Wang, Y., 2010**, Acoustic emission of fatigue crack in pressure pipe under cyclic pressure, *Nuclear Engineering and Design*, 240:3616–3620 pp.
- Brunner, A. J. and Barbezat, M., 2007**, Acoustic Emission leak testing of pipes for pressurized gas using active fiber composite elements as sensors, *J. Acoustic Emission*, 25:42-50 pp.
- Cui, X., Yan, Y., Ma, Y., Ma, L. and Han, X., 2016**, Localization of CO₂ leakage from transportation pipelines through low frequency acoustic emission detection, *Sensors and Actuators A: Physical*, 237:107-118 pp.
- Hunaidi, O. and Chu, W. T., 1999**, Acoustical characteristics of leak signals in plastic water distribution pipes, *Applied Acoustics*, 58:235-254 pp.
- Jin, H., Zhang, L., Liang, W. and Ding, Q., 2013**, Integrated leakage detection and localization model for gas pipelines based on the acoustic wave method, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 27:74-88 pp.
- Khulief, Y.A., Khalifa, A., Mansour, R.B. and Habib, M.A, 2011**, Acoustic Detection of Leaks in Water Pipelines Using Measurements inside Pipe, *J. Pipeline Syst. Eng. Pract.*, 3(2):47-54 pp.
- Liu, C., Li, Y., Yan, Y., Fu, J. and Zhang, Y., 2015**, A new leak location method based on leakage acoustic waves for oil and gas pipelines, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 35:236-246 pp.
- Li, S., Wen, Y., Li, P., Yang, J., Dong, X. and Mu, Y., 2014**, Leak location in gas pipelines using cross-time–frequency spectrum of leakage-induced acoustic vibrations, *Journal of Sound and Vibration*, 333(17):3889-3903 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Li, S., Zhang, J., Yan, D., Wang, P., Huang, Q., Zhao, X., Cheng, Y., Zhou, Q., Xiang, N. and Dong, T., 2016, Leak detection and location in gas pipelines by extraction of cross spectrum of single non-dispersive guided wave modes, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 44:255- 262 pp.

Li, S., Song, Y. and Zhou, G., 2017, Leak detection of water distribution pipeline subject to failure of socket joint based on acoustic emission and pattern recognition, *Measurement*, 115:39–44 pp.

Li, Z., Zhang, H., Tan, D., Chen, X. and Lei, H., 2017, A novel acoustic emission detection module for leakage recognition in a gas pipeline valve, *Process Safety and Environmental Protection*, 105:32-40 pp.

Lin, W., Jiang, L., and Wu, H., 2013, Study of Non-Intrusive Gas Pipeline Leak Detection with Acoustic Sensor, *IFAC Proceedings Volumes*, 46(20):27-32 pp.

Mostafapour, A. and Davoudi, S., 2013. Analysis of leakage in high pressure pipe using acoustic emission method, *Applied Acoustics*, 74(3):335-342 pp.

Pan, B., Xu, C., Cao, G., Chen, G. and Shi, H., 2013, A Method of Leakage Source Localization for Pipeline Based on Acoustic Emission Signal, *ICPTT 2013: Trenchless Technology*, 184-194 pp.

Pan, D., Zhou, N., Liu, X. and Zhao, H., 2011, Simulation of Gas Pipeline Leak Detection Based on Acoustic Emission and Wavelet Packet Analysis, *ICPTT 2011*, 1090-1098 pp.

Tayfur, S., 2016, Comparison of Fracture Mechanisms of Reinforced Concrete Beams Identified by AE-SIGMA and MCFT, *M.Sc. Thesis*, 7-11 pp.

Wang, X.J., Simpson, A.R., Lambert, M.F. and Vítkovský, J.P., 2001, Leak detection in pipeline systems using hydraulic methods: a review, *Conference on Hydraulics in Civil Engineering*, 391–400 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Yu, L. and Li, S. Z., 2017, Acoustic emission (AE) based small leak detection of galvanized steel pipe due to loosening of screw thread connection, *Applied Acoustics*, 120:85-89 pp.

KAYNAKLAR WEB DİZİNİ

Anadolu Ajansı (DHA), 2017, Tüpraş İzmir Rafinerisi'nde patlama: 4 ölü, <https://www.ntv.com.tr/turkiye/tupras-izmir-rafinerisinde-patlama-4-olu,buQwYAhldkOGLKWodz1vRA> (Erişim Tarihi: 27 Ocak 2018)

Aljazeera Türk, 2012, Venezuela'da rafineride patlama, <http://www.aljazeera.com.tr/haber/venezuelada-rafineride-patlama> (Erişim Tarihi: 27 Ocak 2018)

Corbett, J., 2017, Acoustic Emissions (AE) Testing, https://www.nasa.gov/centers/wstf/supporting_capabilities/nondestructive_evaluation/acoustic_emissions_testing.html (Erişim tarihi: 27 Ocak 2018)

Environmental Justice Atlas, 2012, Venezuela Refinery Explosion in Amuay/Venezuela, <https://ejatlas.org/conflict/venezuela-refinery-explosion-venezuela> (Erişim tarihi: 27 Ocak 2018)

Fiedler, J., An overview of pipeline leak detection technologies, <https://asgmt.com/wp-content/uploads/2016/02/004.pdf> (Erişim Tarihi: 21 Şubat 2019)

İzmir DHA, 2017, Bilirkişi: TÜPRAŞ'taki patlamada en ağır kusurlu BEKA Proje, <https://www.evrensel.net/haber/336781/bilirkisi-tuprastaki-patlamada-en-agir-kusurlu-beka-proje> (Erişim Tarihi: 27 Ocak 2018)

Integrity Diagnostics LTD., Acoustic Emission Inspection and Monitoring of Petroleum Storage Tanks and Piping, <http://www.idinspections.com/wp-content/uploads/Acoustic-Emission-Inspection-of-Petroleum-Tanks-and-Piping-May-2016.pdf> (Erişim tarihi: 27 Ocak 2018)

KanalB, 2016, Tataristan'da rafineri patlaması, <http://www.kanalb.com.tr/haber.php?HaberNo=84834> (Erişim Tarihi: 27 Ocak 2018)

MTI Limited, Above Ground Storage Tanks & Tank Floor Corrosion Monitoring, <http://www.mti.eu.com/corrosion.html> (Erişim tarihi: 27 Ocak 2018)

TechCorr, ACOUSTIC EMISSION TESTING: A Powerful Screening Tool, <http://www.techcorr.com/acoustic-emission-testing.php> (Erişim tarihi: 27 Ocak 2018)

TISEC Inc., Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) Tank Inspection, http://www.structuralinsights.com/SI/tank_inspection.php (Erişim Tarihi: 27 Ocak 2018)

TISEC Inc., Spherical Tanks, <http://www.structuralinsights.com/SI/spherical.php#> (Erişim Tarihi: 27 Ocak 2018)

KAYNAKLAR WEB DİZİNİ (devam)

Sentro Tech., Advanced Acoustic Emission (AE) Inspection, <http://s.entro-tech.com/services/on-line-acoustic-emission-inspection/> (Erişim Tarihi: 27 Ocak 2018)

Tuncel, S., 2008, Tahribatsız muayene teknolojilerinde son gelişmeler: Akustik emisyon, 3.Uluslararası Tahribatsız Test Etme Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul/Turkey, 2008, <https://docplayer.biz.tr/793751-Tahribatsiz-muayene-teknolojilerinde-son-gelismeler-akustik-emisyon-latest-developments-in-the-field-of-ndt-technologies-acoustic-emission.html> (Erişim Tarihi: 21 Mart 2019)



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında değerli bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ninel ALVER'e ve çok değerli hocam Doç. Dr. Emre ERCAN'a deneyler konusunda yardımları ve destekleri için teşekkür ederim.

Deneyler için uygun ortamı ve tüm gerekli materyalleri sağladığı için Star Rafinerisi Projesi'nin yapımında görev almış ILK Construction firmasının Proje Müdürü Emre GÜLEKİM'e ve dolayısıyla ILK Construction firmasına teşekkür ederim.

Ayrıca yaşamımın her alanında ve her daim, varlıklarıyla, sevgileriyle ve güvenleriyle en büyük destekçilerim olan çok sevgili ailemden bana en yakın olanlarına ve Yüksek Lisans'a başlamamda gerçekten ısrarcı ve etkili olan Yasemin BAŞAK'a ve ayrıca gerek iş gerekse eğitim hayatımız boyunca birlikte mücadele verdiğimiz değerli dostlarım İnş. Müh. M.Fahrettin ERENER, Lokman T.SEZER, Sahir CİLLO ve Osman KUYUMCU'ya bana desteklerinden dolayı gönülden teşekkür ederim.

28/05/2019

İmzası



Tolga ERÜNLÜ

ÖZGEÇMİŞ

İnş. Müh. Tolga ERÜNLÜ T.C. vatandaşı olup, 1992 yılında Manisa'nın Soma ilçesinde doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Soma 13 Eylül Gama İlköğretim Okulu'nda ve lise öğrenimini ise Soma Anadolu Öğretmen Lisesi'nde tamamlamıştır. Ardından Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2015 yılında mezun olmuş ve yine aynı yıl Ege Üniversitesi Yapı Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Lisans mezuniyetinden itibaren bu zamana dek, petrol ve gaz endüstrisinde İLK Construction firmasında sırasıyla, Türkmenistan'nın Cheleken bölgesinde "Dragon Oil Crude Oil Tank Farm Project" ve İzmir'in Aliğa ilçesinde "STAR Refinery Project" olmak üzere iki adet proje tamamlamıştır. Son projesinde Kazakistan'ın Tengiz bölgesinde Bechtel-ENKA JV firmasında, "3rd Generation Injection Project" petrol sahası inşaat altyapı projesi yapımından sorumlu Kalite Kontrol Şefi olarak çalışmış ve üç projede de ona verilen görevlerini başarıyla tamamlamıştır.

Ek bilgi olarak, bu teze ait bir tam metin bildiri **ACE 2018**'de (**13th International Congress on Advances in Civil Engineering**) sunulmuştur. Bir adet uluslararası dergi makalesi yazım aşamasındadır.