

**MEKANİK TİTREŞİMLERİN SES SÖNÜMLEYİCİ
GÖZENEKLİ MALZEMELERİN SES YUTUM VE SES
İLETİM KAYBI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ
Furkan ERGİN**



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEKANİK TİTREŞİMLERİN SES SÖNÜMLEYİCİ GÖZENEKLİ
MALZEMELERİN SES YUTUM VE SES İLETİM KAYBI ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Furkan ERGİN
ORCID No: 0000-0002-2964-645X

Prof. Dr. Murat YAZICI
(Danışman)
ORCID No: 0000-0002-8720-7594

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020

TEZ ONAYI

Furkan ERGİN tarafından hazırlanan "MEKANİK TİTREŞİMLERİN SES SÖNÜMLEYİCİ GÖZENEKLİ MALZEMELERİN SES YUTUM VE SES İLETİM KAYBI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Murat YAZICI
Orcid No: 0000-0002-8720-7594

Başkan : Prof. Dr. Murat YAZICI
ORCID No: 0000-0002-8720-7594
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi. Erol SOLMAZ
ORCID No: 0000-0001-9369-3552
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi. Yalçın BOZTOPRAK
ORCID No: 0000-0003-1714-7394
Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

.....

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

24/01/2020

Furkan ERGİN

ÖZET

Yüksek Lisans/Doktora Tezi

MEKANİK TİTREŞİMLERİN SES SÖNÜMLEYİCİ GÖZENEKLİ
MALZEMELERİN SES YUTUM VE SES İLETİM KAYBI ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ
Furkan ERGİN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat YAZICI

Üretim sahasında ve dış ortamda olan makinelerin oluşturduğu gürültü, çalışanlar ve çevredeki insanlar için önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Gürültüyü yapı doğuşumlu ve hava doğuşumlu olarak iki temel başlıkta inceleyebiliriz. Yapı doğuşumlu gürültünün temel kaynağı titreşimdir.

Oluşan bu gürültü özellikle çalışanların verimliliğini önemli oranda azaltmaktadır. Gürültünün azaltılması, kontrol edilmesi ve çevresindeki insanların üzerinden etkisinin azaltılması için çeşitli kontrol yöntemleri uygulanır. Örneğin enerji sektöründe mantolama ve kabin sistemleri ile gürültü kontrolü çalışmaları yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında öncelikle titreşim seviyesi ile gürültü arasındaki ilişki incelenmiştir. İkinci aşamada özellikle gürültü kontrolü ihtiyacının yoğun olduğu enerji sektöründeki gürültü ve titreşim karakteristikleri incelenmiştir. Üçüncü aşamada ise bu sektörlerde gürültü kontrolü için yoğun olarak kullanılan taş yünü malzemesi ele alınmıştır. Taş yünü malzemesi titreşime maruz bırakılmıştır. Titreşime maruz bırakıldığı süreçte akustik ömürlerinin sürdürülebilirliği araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: akustik, titreşim, gürültü, verimlilik

2020, vi + 45 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

**INVESTIGATION OF THE MECHANICAL VIBRATIONS EFFECT ON SOUND
INSULATION AND SOUND TRANSMISSION PROPERTIES OF THE SOUND
ABSORBER CELLULAR MATERIALS**

Furkan ERGİN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Murat YAZICI

The noise generated by the machines in the production area and in the outdoor environment is an important problem for the employees and the people in the environment. Noise can be examined in two main subjects as structure-born and air-born noises. The basic source of structure-born noise is vibration.

This noise significantly reduces the productivity of the employees. Various control methods are applied to reduce, control and reduce the impact on people around them. In the energy sector, for example, sheathing and cabin systems and noise control works are carried out.

In this thesis, in the first stage, the relationship between vibration level and noise is examined. In the second stage, the noise and vibration characteristics of the energy sector, where the need for noise control is intense, are examined. In the third stage, stone wool material which is used extensively for noise control in these sectors is discussed. The rock wool material was subjected to vibration. The sustainability of acoustic life was investigated during the process of vibration exposure.

Key words: acoustic, vibration, noise, material life

2020, x + 45 pages.

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi ve tezin oluşması aŐamasında değerli bilgi ve zamanını benimle paylaşan saygıdeğer hocam ve danıŐmanım Prof. Dr. Murat YAZICI'ya, kısıtlı zamanlarını ayırarak tezin oluŐmasında yardımcı olan PechoM Őirketinden değerli m¼d¼rlerim Ahmet SERT'e, Serkan ATAY'a, y¼ksek lisans eğitimim s¼resince desteklerini esirgemeyen kıymetli eŐim Av. S¼meyye K¼Ç¼K ERĐİN'e ve aileme teŐekk¼rlerimi sunarım.

Furkan ERĐİN
24/01/2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	3
3.1. Gözenekli Malzemeler.....	3
3.1.1 Gözenekli malzemelerin karakterizasyonu.....	3
3.2 Malzemelerin Akustik Testleri.....	6
3.2.1 Empedans Tüpü Çalışma Prensibi.....	6
3.2.2 Deneylerde kullanılan empedans tüpü sistemi.....	9
3.3 Enerji Sektöründe Gürültü.....	10
3.3.1 Trafolarında Gürültü Hesabı.....	11
3.3.2 Trafo titreşimi.....	12
3.4 Trafoların Gürültü Ölçümü.....	13
3.5 Trafoların Gürültü Bölgeleri.....	14
3.6 Trafoların Titreşim Ölçümü.....	22
3.7 Titreşim Testi Düzeneği Tasarımı.....	23
3.8 Titreşim Testi Düzeneği Üretimi.....	24
3.9 Titreşim Testi Düzeneği Modal Analiz.....	27
4. BULGULAR.....	29
4.1 Gürültü ve Titreşim Korelasyonu.....	29
4.2. Trafolarında Gürültü Kontrolü Uygulamaları.....	30
4.2.1. Mantolama.....	31
4.2.2. Gürültü Kabini.....	32
4.3 Akustik Malzemelerin Titreşim Ömürleri.....	33
4.4 Titreşim Testi Düzeneği Ömür Testi.....	35
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	42
KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ.....	45

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

d [φ]	Gözeneklilik
f	Frekans
V_{air} [m^3]	Malzeme içindeki havanın hacmi
V_{bulk} [m^3]	Saf su sıcaklığı
R [$\text{Pa}\cdot\text{s} / \text{m}^3$]	Hava akış direnci
q_v [m^3/sn]	Hacimsel hava debisi
u [m/s]	Doğrusal hava akış hızı
Δp [Pa]	Basınç Farkı
ρ [kg/m^3]	Yoğunluk

Kısaltmalar

BS	İngiliz Standardı
EN	Avrupa standartları
ASTM	Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
ISO	Uluslararası Standart Örgütü
Hz	Hertz
Pa	Paskal
$L_{\text{WA,IN}}$	Ses Gücü Düzeyi
SPL	Ses Basınç Düzeyi
H	Yükseklik
dB	Desibel

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3. 1. Hava akım yönü	5
Şekil 3. 2. Empedans tüpü sisteminde ses yutum katsayısı ölçümü	7
Şekil 3. 3. Empedans tüpü sisteminde ses iletim kaybı ölçümü.....	8
Şekil 3. 4. Empedans tüpü sistemi	9
Şekil 3. 5. Yapısal titreşim ile ses basınç düzeyi arasındaki ilişki.....	13
Şekil 3. 6. Trafoların genel gürültü spektrumu	13
Şekil 3. 7. Trafoların 1/3h bölgesi spl gürültü haritası.....	14
Şekil 3. 8. Trafoların 2/3h bölgesi SPL gürültü haritası	15
Şekil 3. 9. Trafoların 1/3h bölgesi 63Hz gürültü haritası.....	16
Şekil 3. 10. Trafoların 2/3h bölgesi 63Hz gürültü haritası.....	16
Şekil 3. 11. Trafoların 1/3h bölgesi 125Hz gürültü haritası.....	17
Şekil 3. 12. Trafoların 2/3h bölgesi 125Hz gürültü haritası.....	17
Şekil 3. 13. Trafoların 1/3h bölgesi 250Hz gürültü haritası.....	18
Şekil 3. 14. Trafoların 2/3h bölgesi 250Hz gürültü haritası.....	18
Şekil 3. 15. Trafoların 1/3h bölgesi 500Hz gürültü haritası.....	19
Şekil 3. 16. Trafoların 2/3h bölgesi 500Hz gürültü haritası.....	20
Şekil 3. 17. Trafoların 1/3h bölgesi 1000Hz gürültü haritası.....	21
Şekil 3. 18. Trafoların 2/3h bölgesi 1000Hz gürültü haritası.....	21
Şekil 3. 19. Trafoların ortalama titreşim hız spektrumu	22
Şekil 3. 20. Titreşim Test Düzeneği İç Aksam	23
Şekil 3. 21. Titreşim Test Düzeneği İzometrik Görüntüleri.....	23
Şekil 3. 22. Titreşim Test Düzeneği Karkası	24
Şekil 3. 23. Titreşim Test Düzeneği Karkası	25
Şekil 3. 24. Titreşim Test Düzeneği İç Profilleri	26
Şekil 3. 25. Titreşim Test Düzeneği İnvantör	27
Şekil 3. 26. Titreşim Test Düzeneği Modal Analiz Görüntüsü.....	28
Şekil 3. 27. Titreşim Test Düzeneği Modal Analiz Sonuçları	28
Şekil 4. 1. Trafoların 1/3H bölgesi gürültü ve titreşim karşılaştırması.....	29
Şekil 4. 2. Trafoların 2/3H bölgesi gürültü ve titreşim karşılaştırması.....	30
Şekil 4. 3. Örnek Mantolama Uygulaması	31
Şekil 4. 4. Örnek Gürültü Kabini Uygulaması.....	32
Şekil 4. 5. Akustik malzemelerin titreşim ömür testi düzeneği	33
Şekil 4. 6. Test düzeneğinde ölçülen titreşim hız spektrumu.....	34
Şekil 4. 7. Titreşim testi öncesi ve sonrası ses yutum katsayısı.....	35
Şekil 4. 8. Titreşim Test Düzeneği Taş Yünü Dolgusu	36
Şekil 4. 9. Titreşim Test Düzeneği Kapalı Hali	36
Şekil 4. 10. Test Çalışma Frekansı.....	37
Şekil 4. 11. Titreşim Test Düzeneği Gürültü Ölçüm Noktaları	37
Şekil 4. 12. Titreşim Test Düzeneği Titreşim Ölçüm Noktaları	38
Şekil 4. 13. Titreşim Test Düzeneği Titreşim Genliği	39
Şekil 4. 14. Yorulma Testi Öncesi Ses Ölçüm Sonuçları	40
Şekil 4. 15. Yorulma Testi Sonrası Ses Ölçüm Sonuçları.....	40
Şekil 4. 16. Yorulma Testi Sonrası Taş Yünü Malzemesi	41

1. GİRİŞ

Endüstriyellemenin hızla artması ile birçok makine, alet ve teçhizat hem şehir hem de fabrikalarda yoğun olarak yer almaya başlamıştır. Örnek olarak yerleşim alanlarının enerji dağıtım istasyonlarına yaklaşmasından dolayı trafo gürültüsü çevredeki insanları olumsuz yönde etkilemektedir. Trafolar genel olarak 50 ile 2000 Hz aralarında gürültü üretmektedir. Gürültü düzeyleri ise 40 ile 160dB arasında değişkenlik göstermektedir. Bu durum ülkelerin çevresel gürültü regülasyonlarının yoğun bir şekilde denetlenmesini sağlamaktadır. Bu bağlamda trafo şirketleri çevresel regülasyonlara uymak için üretmiş olduğu trafoların gürültü seviyesini düşürmek istemektedir.

Trafoların gürültü seviyesinin düşürülmesi için trafo üzerinde çeşitli metotlar uygulanmaktadır. Bu metotların en yoğun bir şekilde kullanılanı trafoların üzerine monte edilen çeşitli akustik malzemelerdir. Fakat trafo sektöründe gelişen rekabet doğrultusunda kullanılan akustik malzemelerin maliyetleri düşürülmek istenilmektedir. Bu bağlamda birim maliyetleri düşük malzemeler kullanılmaktadır. Fakat düşük maliyetli akustik malzemelerin lifli yapısı trafoların çalışmasından kaynaklı titreşimden olumsuz yönde etkilenmektedir. Dolayısıyla, malzemeler zamanla akustik performansını kaybetmektedir. Bu doğrultuda ilk etapta düşen trafoların gürültü seviyesi tekrar artmaktadır.

Bu tez kapsamında trafoların titreşiminden kaynaklı gürültü teorik olarak hesaplanacaktır. Kurulacak bir test düzeneği cam elyaf bazlı malzeme ile kaplanacaktır. Daha sonra titreşime maruz bırakılacaktır. Zamana bağlı akustik performans kaybı tespit edilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

M. Kozupa, G. Kmita (2014), transformatör gürültüsü radyasyonunun temel teorisini ve bunun titreşim hızına dayanan yapı titreşimiyle korelasyonunu hakkında çalışmalar yapmıştır. Laser Doppler Vibrometre ile trafonun titreşim paternini oluşturmuştur. Sonuç olarak transformatörün titreşim hızıyla gürültü seviyesinin hesaplanabileceğini tespit etmiştir.

K. Grzegorz, K. Michal, P. Robert, K. Julita, J. Grzegorz (2014) 3D lazer vibrometre, akustik kamera ve ses seviye ölçerler ile trafoların gürültü seviyelerini tespit etmiştir. Ayrıca elektromanyetik uyarı doğrultusunda trafonun yapısal dinamiklerinin hesaplanarak gürültü değerleri tespit etmiştir. Daha sonra ölçülen ve hesaplanan değerleri korelasyon çalışmalarını gerçekleştirmiştir.

BS EN 60076-10:2016, güç transformatörlerin ses basınç seviyelerinin ölçme metodunu açıklamaktadır.(Novosel et al. 2017)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Gözenekli Malzemeler

Çeşitli bölgelerdeki ses enerjisini emmek ve ısı yalıtımı gibi diğer yararları sağlamak için gözenekli malzemeler kullanılmaktadır. Gözenekli malzemeler ayrıca, sesi absorbe etmek ve / veya yangının yayılmasını kontrol etmek için boşlukların çevresinde de kullanılır. Gözenekli malzemeler esasen hava ile çevrili bir iskelet çerçevesinden (liflerden, granüllerden veya bir polimerden oluşturulabilir, vb.) Oluşur. Binalarda, çeşitli çerçevelerle (örneğin, mineral yün, polistiren topları, açık hücreli köpük, duvar blokları) çok çeşitli gözenekli malzemeler kullanılır. Gözenekli malzemeler vasıtasıyla ses iletimi, gözenekler boyunca havadan yayılma ve çerçeve yoluyla taşınan yapı nedeniyle gerçekleşir. Bununla birlikte, bu tür yayılma tipleri arasında çeşitli derecelerde birleşme dereceleri vardır ve bunların birbirlerinden bağımsız olarak oluştuğu varsayılamaz. Bu nedenle, gözenekli malzemeler yoluyla ses yayılımı, havadan çok daha karmaşıktır.

3.1.1 Gözenekli malzemelerin karakterizasyonu

Gözenekli malzemelerin özelliklerini tanımlamak için kullanılabilecek iki basit parametre; gözeneklilik ve hava akımı direncidir. Malzemenin daha eksiksiz bir açıklaması için, yapı faktörü, şekil faktörü ve eğrilik gibi diğer parametreler, gözenekler boyunca yayılma yoluna ilişkin yönleri tarif etmek için kullanılabilir. Ancak, bu parametreler nadiren bulunur, ölçülmesi daha zordur ve burada ele alınacak olandan daha karmaşık modellerde kullanılır.

Gözeneklilik; Gözenekli malzemeler için, gözeneklilik (Attenborough 1982), ϕ olarak tanımlanır;

$$\phi = V_{\text{air}} / V_{\text{bulk}} \quad (3.1)$$

V_{air} , malzeme içindeki havanın hacmi;

V_{bulk} , malzemenin dökme hacmidir (toplam hacim).

Gürültü kontrolü uygulamalarında kullanılan gözenekli malzemeler için gözeneklilik genellikle $0,90 < \phi < 0,99$ aralığındadır. Mineral yün için tipik olarak $0.95 \lll 0.99$ 'dur. Mineral yün (cam veya kaya lifi) genellikle katı liflerden yapılır, bu nedenle bu lifleri birbirine bağlayan madde önemsiz kütleye sahipse, gözeneklilik kullanılarak tahmin edilebilir.

$$\phi = 1 - \rho_{\text{bulk}} / \rho_{\text{fibre}} \quad (3.2)$$

ρ_{bulk} , malzemenin kütle yoğunluğudur;

ρ_{lif} , lifin yoğunluğudur.

Hava akım direnci, gözenekli malzemeler yoluyla ses emilimi ve ses iletimi, kısmen hava akışına direnç gösterme yetenekleriyle açıklanmaktadır. Bu, aşağıdaki parametrelerle ölçülür: hava akımı direnci, özel hava akımı direnci ve hava akımı direnci. (Qiu 2016)

Hava akış direncinin birimi R ($\text{Pa.s} / \text{m}^3$) olarak tanımlanmıştır.

$$R = \Delta p / q_v \quad (3.3)$$

burada Δp , atmosfere (Pa) göre gözenekli bir malzeme tabakası boyunca hava basıncı farkı (fark basıncı olarak adlandırılır) ve q_v , tabakadan geçen (m^3 / sn) hacimsel hava akımıdır.

Hacimsel hava akış hızı;

$$q_v = uS \quad (3.4)$$

u , doğrusal hava akış hızıdır (m / s) ve S , gözenekli malzemenin hava akış yönüne (m^2) dik olan enine kesit alanıdır. Spesifik hava akış direnci, R_s ($\text{Pa.s} / \text{m}$), gözenekli bir malzemenin belirli bir kalınlığına uygulanır; bu nedenle hem homojen hem de homojen olmayan malzemeler ile gözenekli bir yüzey kaplaması veya delikli yüzey tabakası olan malzemeler için uygun bir spesifikasyon parametresidir.

$$R_s = RS \quad (3.5)$$

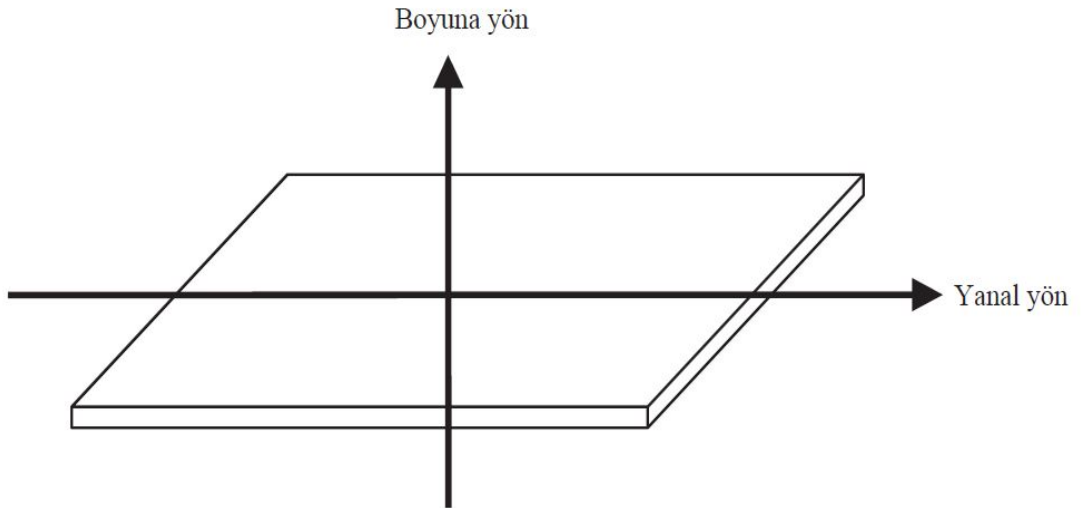
Hava akış direnci, r ($\text{Pa}\cdot\text{s} / \text{m}^2$), birim kalınlık başına spesifik hava akış direncidir ve sadece homojen malzemeler için bir spesifikasyon parametresi olarak uygundur.

$$r = S\Delta p / dq_v = RS/d = R_s/d \quad (3.6)$$

d , gözenekli malzeme tabakasının hava akımı (m) yönünde kalınlığıdır.

Spesifik hava akımı direnci ve hava akımı direnci bazen Rayls ve Rayls / m olarak belirtilir. Rayl, ses basıncının parçacık hızına oranı için bir ünite olarak kullanılır ve $\text{Pa}\cdot\text{s} / \text{m}$ 'ye eşdeğerdir. (Peng 2016)

Lifli malzemeler için hava akımı direnci, malzemeden geçen hava akımının yönüne bağlıdır. Bu malzemeler genellikle levhalardan veya rulodan kesilmiş dikdörtgen tabakalar halinde temin edilir ve kullanılır, bu nedenle hava akımı, Şekil 3.1'de gösterildiği gibi iki yönde ölçülebilir: tabaka düzleminde, yanıl hava akımı ve levhaya dik levhanın düzlemi, boylamasına hava akımı. Malzeme tabakalarının bir yüzeyi kaplamak için kullanıldığı oda veya boşluklarda, yüzey için ses emme katsayısını hesaplamak için gereken boylamasına doğrudur.



Şekil 3. 1. Hava akım yönü

3.2 Malzemelerin Akustik Testleri

Kullanım amacına göre akustik malzeme özellikleri iki farklı kategoride sınıflandırılabilir.

- Ses yutum özellikleri (ses yutum katsayısı, yüzey empedansı)
- Ses yalıtımı özellikleri (ses iletim kaybı)

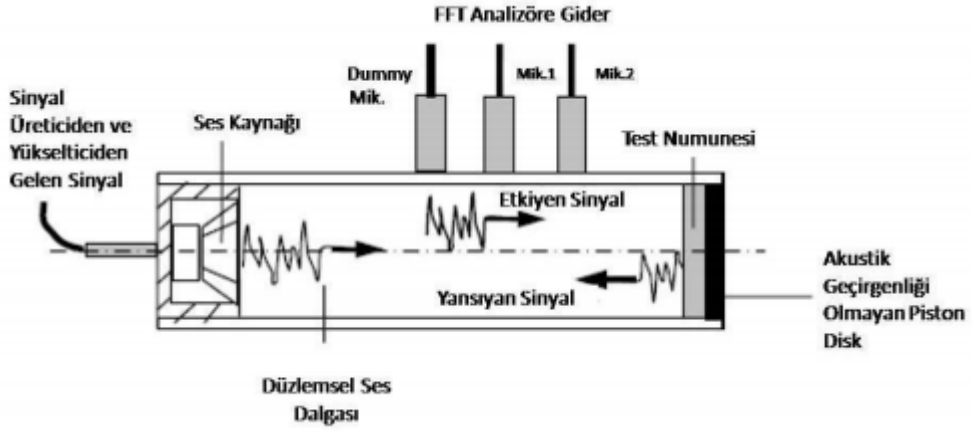
Bu özelliklerin çeşitli ölçüm metotları ile belirlenmesi mümkündür:

- Yerinde testler (in-situ testing)
- Akustik oda ölçümleri
- Düzlem-dalga tüp ölçümleri (ISO 10534-2, ASTM E1050, ASTM E2611)

Bu çalışmada malzemelerin akustik testleri hem maliyet hem de zaman açısından daha efektif olan empedans tüpü metodu kullanılarak yapılmıştır.

3.2.1 Empedans Tüpü Çalışma Prensipleri

Empedans tüpü ölçüm metodu, test edilen numunenin yüzeyinde oluşan akustik empedansının etkiyen ve reflekte olan ses dalgalarının ölçülmesi ile bulunması ve elde edilen yüzey empedansı değerinden ses yutum katsayısı değerinin hesaplanması metoduyla çalışır. Genel olarak kabul edilen ve Transfer Fonksiyon metodu olarak belirtilen yöntem, en güncel empedans tüplerinde kullanılmaktadır. Transfer fonksiyon metodunun avantajı ölçümlerin daha hızlı yapılmasıdır. Örneğin yüzey empedansı ve ses yutum katsayısı değerlerinin tüm frekanslardaki değerleri bir ölçümde elde edilebilmektedir. Şekil 3.2’de bu yöntemin genel olarak mantığını açıklanmaktadır. Ses yutum testlerinde bu iki mikrofon arasında ölçülmektedir. (Cobo 2008)



Şekil 3. 2. Empedans tüpü sisteminde ses yutum katsayısı ölçümü

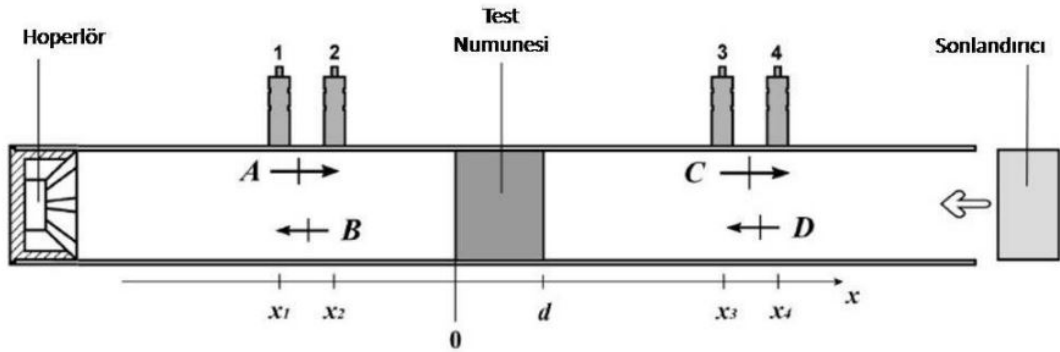
Şekilde gösterilen ölçümün algoritması kısaca aşağıdaki gibidir;

- Denede kullanılan sesin tipini belirleyen sinyal, test sisteminin kullandığı yazılım vasıtası ile üretilir. Daha sonra sisteme entegre yükselticiden geçen sinyal, hoparlör vasıtasıyla tüpün içerisinde düzlemsel ilerleyen ses dalgasına dönüşür. Empedans tüplerinde testler için genellikle beyaz gürültü (white noise) tercih edilmektedir. (Khan et al. 2016)
- Sistemde kullanılan mikrofonlar genel olarak basınç tipi mikrofonlardır. Transfer fonksiyonu metodunda sistemde kullanılan iki mikrofondan ayrı ayrı basınç değerleri ölçülmektedir. Bu iki değer birbirine oranlanmaktadır. Bu oran transfer fonksiyonu oluşturmaktadır, transfer fonksiyonu oranlardan oluşan değeri yansıma çarpanı ile entegrasyonunu sağlamaktadır, daha sonra oluşan değer elde edilen yansıma çarpanından (R) o frekansa ait ses yutum katsayısı değeri bulunur.

Empedans tüpü içerisinde oluşan en yüksek ve en düşük ses basınç düzeylerinin tespit edilmesine kararlı dalga metodunu oluşturmaktadır. Empedans tüpü içerisinde maksimum basınç, etkiyen ve yansıyan dalgaların aynı fazda olması durumunda; minimum basınç ise bu dalgaların ters fazda olması halinde oluşur. Bu ölçüm yönteminde tek bir mikrofon kullanılır ve her defasında bir frekansa karşılık gelen ses yutum katsayısı değeri bulunabilir. Kararlı dalga metodu, Transfer Fonksiyon Metoduna göre daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Fakat test sürelerinin uzunluğu sebebi ile günümüzde

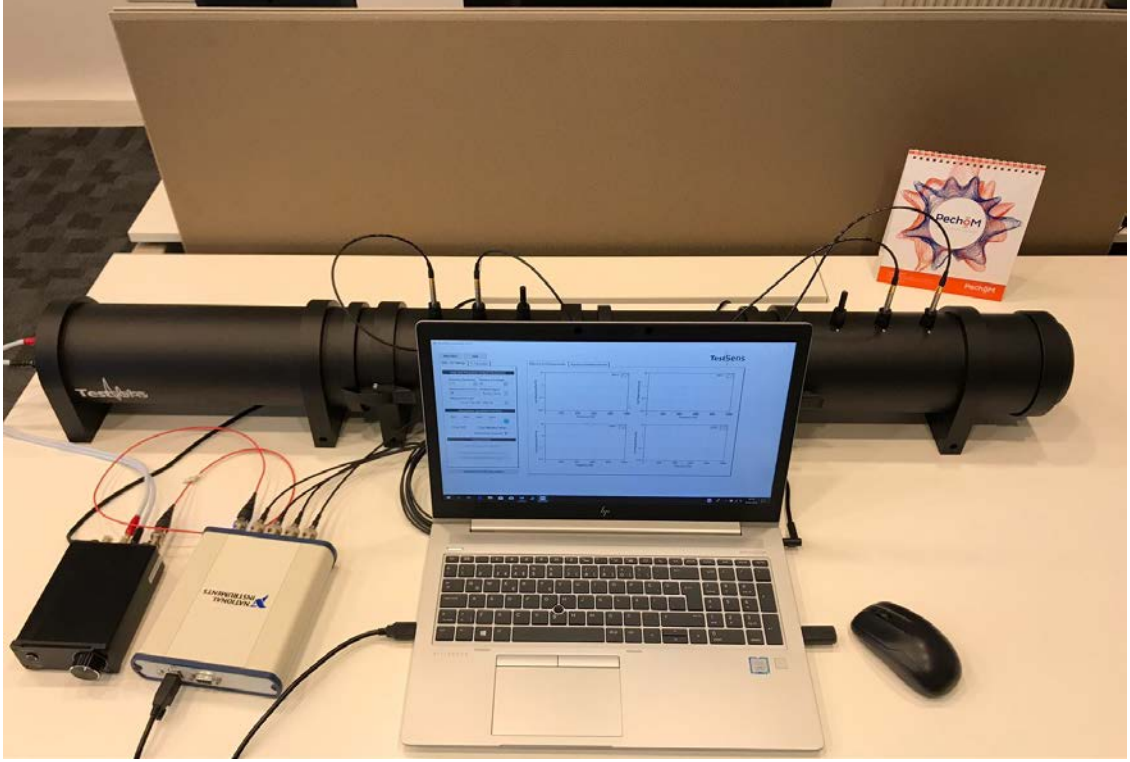
üretilem empedans tüplerinde kullanılmamaktadır. Her iki sistemde de tüp içerisinde düzlemsel dalga oluşması gerekmektedir. Bu durumdan dolayı yüksek frekanslardaki değeri daha doğru ölçmek daha küçük tüp çapları gerekmektedir. Daha düşük frekanslardaki değerler için iç çapı daha büyük tüplere ihtiyaç duyulmaktadır.

Akustik malzemelerden istenilen en önemli değerlerden biri de ses iletim kaybı değeridir. Ses iletim kaybı en basit tabiriyle malzemenin frekansa bağlı kesicilik özelliğidir. Literatürde “Ses İletim Kaybı Değeri” (Transmission Loss) olarak geçmektedir. Birimi desibel [dB]’dir. Empedans tüpü metodu ile tespit edilmesi mümkündür. Ancak ek aparat kullanılması gerekmektedir. Şekil 3.3’te görüldüğü gibi empedans tüpünde 4 adet mikrofon kullanılmaktadır. Test edilecek numune, tüpü iki eşit parçaya bölecek şekilde monte edilmektedir. Böylelikle iki adet ölçüm ortamı oluşturulmaktadır. Ses iletim kaybı değerlerinin tespit edilmesi için ikinci ölçüm ortamında bulunan yansıyan ses dalgasının denklemden elimine edilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı ölçümler her numune için 2 kez yapılmaktadır. Birinci testte tüpün ucuna bir adet sonlandırıcı kullanılmaktadır. Daha sonra bu sonlandırıcı kaldırarak test tekrar edilmektedir.



Şekil 3. 3. Empedans tüpü sisteminde ses iletim kaybı ölçümü

3.2.2 Deneylerde kullanılan empedans tüpü sistemi



Şekil 3. 4. Empedans tüpü sistemi

Testlerde kullanılan empedans tüpü sisteminin özellikleri aşağıdaki gibidir.

- SoundTube LF/HF-ABS/STL Ölçüm Tüpleri (30mm, 100mm)
- Dinamik Sinyal Analizörü 4-Kanal Giriş, 1-Kanal Çıkış, 102.4 kHz örnekleme
- Ses Kaynağı ve Ses Güç Yükseltici Yüksek lineerlik, 30W
- GRAS Yüksek Hassasiyetli-Faz Uyumlu Mikrofon
- SoundTube LF/HF-ABS/STL Yazılımı
- Mikrofon fazı ve geometrik hataların tespiti için faz kalibrasyonu
- Mikrofonların hassasiyet kalibrasyonu
- Değiştirilebilir TL ve α frekans çözünürlüğü ve ortalama sayısı
- ASCII, Excel formatında data export seçenekleri
- Transfer matrisi elemanlarının tespiti
- Rassal doğrultudaki ses yutum katsayılarının öngörülmesi
- Çok düşük yutulmuş malzemeler için düzeltme algoritması

- Ses iletim kaybı ölçümlerindeki konik adaptör etkilerinin düzeltilmesi JCAL Software
- Açık gözenekli malzemelerin mikro yapısal özelliklerinin Johnson-Champoux-Allard-Lafarge (JCAL) (Trinh et al. 2019) malzeme modeli ile tespiti. Akış direnci, Kıvrımlılık, Viskoz Karakteristik Uzunluk, Termal Karakteristik Uzunluk, Statik Termal Geçirgenlik
- Dinamik hacimsel modül ve dinamik yoğunluk hesabı

3.3 Enerji Sektöründe Gürültü

Son kullanıcı için, güç sisteminde çalışan trafonun amacı, elektrik enerjisini kayıpsız bir şekilde dönüştürmektir. Gerçekte transformatördeki enerji dönüşümüne cihazın performansını ve karlılığını azaltan birçok yan etki eşlik eder. Çevresel etki sınırlılığı günümüzde önemli bir yönü olan olumsuz sonuçlardan biridir. Transformatörün çalışmasıyla hemen hemen doğal olarak ilgili olan iyi bilinen bir etki, bir hum gürültüsüdür. Transformatörün gürültüsü, frekans karakteristiğinde neredeyse tamamen harmoniktir ve zaman alanında durağandır. Bu iki parametre, trafo gürültüsüne yapı üzerindeki titreşim profili üzerinden bakmamızı sağlar. Yayılan gürültü karakteristiğinin tahmini, transformatör gövdesinin titreşim ölçüm sonuçlarını işleyerek yapılabilir. Bir ses kaynağı olarak transformatör, çevreleyen sıvı üzerine titreşen katı yüzeyin hareketi ile enerji yayar. Bu akışkan, çekirdek ve sargıların - aktif kısmının doğal olarak soğutulduğu veya havalandırma sistemi bulunan metal bir muhafazaya yerleştirildiği kuru tip transformatörler için havadır. Etkileşim, tanka yerleştirilmiş yağa batırılmış trafo için daha karmaşık hale gelir; ilk etkileşim, yalıtkan yağın aktif kısmıdır, daha sonra da yağın depoya ve son olarak da tankın çevresindeki havaya akmasıdır. Transformatör tasarımcıları, endüstriyel ve topluluk gürültü sınırlama yönetmeliklerinin yaygın bir şekilde çalışmasını göz önünde bulundurmalı ve bu nedenle transformatörlerde ses üretme ve aktarma mekanizmasını anlamalıdır. (Hopkins 2007)

Transformatör yapısının, özellikle de transformatör tankının hatalı mekanik tasarımı, yerel yapısal rezonanslara neden olabilir ve nihayetinde hum gürültüsü radyasyonunu artırabilir. Ar-Ge yaklaşımında, özellikle etkili tasarım iyileştirmesinin bir sonucu olarak ses zayıflaması bekleniyorsa, gürültü ve titreşim kaynaklarının güvenilir bir şekilde

belirlenmesi gerekir. Transformatorün (ve hafifletici etkisinin) neden olabileceği gürültü kirliliği, yeni çevresel tehditlerden kaçınmanın en önemli yönlerinden biridir.

Bu çalışma, transformator titreşim profilinin gürültünün radyasyonu ile korelasyonunu sunar. Transformator tankı duvarına uygulanan yoğun titreşim hızı ölçüm noktalarından akustik güç tahmin edilebilir.

3.3.1 Trafolarda Gürültü Hesabı

Transformator gürültüsü esas olarak çekirdek ve sarımlarda meydana gelen fiziksel olaydan kaynaklanmaktadır. Enerji transformatorü enerji şebekesinde çalışırken genellikle iki çalışma koşulu ayırt edilebilir, yük ve yüksüz koşullar. Her ikisini de kesinlikle gürültü üretimi izler. Yüklü olmayan güç transformatorü, Lorentz kuvvetlerinin hâkim olduğu yük koşullarında, yalnızca manyetik çekirdeğin neden olduğu gürültüyü yayar. Takip eden işletim modunda ortaya çıkan gürültü, frekans spektrumuna göre değişir. Transformatorün yük ve yüksüz gürültüsü, baskın frekanstaki fark ile kesinlikle uyumludur. (Kozupa ve Kmita 2014)

IEC Standardına göre, yük akımı ses ölçümlerini yapmanın önemli olup olmadığına karar vermek için, yük akımı ses gücü seviyesinin büyüklüğü kabaca Eşitlik Tahmini ile tahmin edilebilir;

$$L_{WA,IN} = 39 + 18 \lg(S_r/S_p) \quad (3.7)$$

S_r -megavolt amperdeki (MVA) nominal güçtür ve S_p -referans gücü (1 MVA)

Transformatorlerin sarımlarındaki yük akımı, sarımlardaki hem aksel hem de radyal doğrultuda hareket eden elektromanyetik kuvvetler üretir. Bu kuvvetlerin büyüklüğü, yalnızca yük akımının büyüklüğüne ve aynı zamanda yük akımının bir fonksiyonu olan yerel manyetik alana bağlıdır. Dolayısıyla, sarımlardaki manyetik kuvvetler, yük akımının karesiyle orantılıdır. Metaller çok çeşitli yüklemelerde elastiktir, bu nedenle çok az harmonik titreşimi normal olarak üretilir ve temel harmonikler titreşim spektrumuna hakimdir. Sargılardaki sapmalar ve titreşim hızları, heyecan verici kuvvetle orantılıdır, yani yük akımının karesiyle orantılıdır. Titreşimli bir gövdeden yayılan ses gücü, titreşim

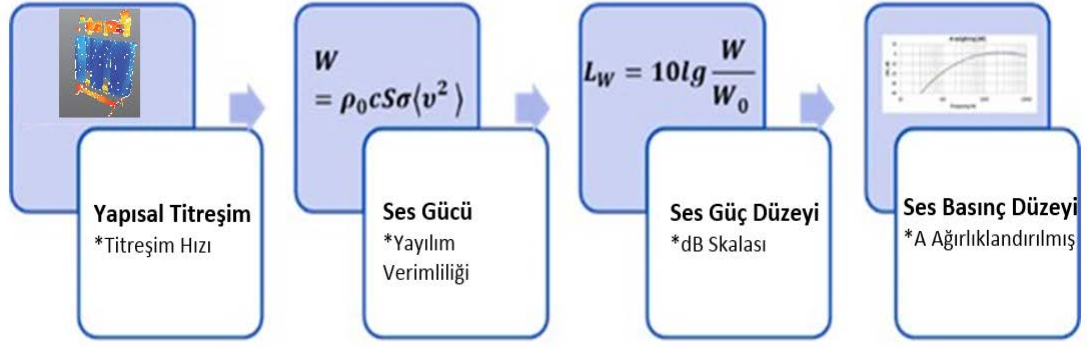
hızının karesiyle orantılıdır. Sonuç olarak, ses gücü, yük akımının dördüncü gücüne göre değişir. Sıvı doldurulmuş transformatörlerde, hem göbekten hem de sargılardan gelen titreşimler, göbek ve bobin düzeneklerinin yapısal desteği ve sıvı fazı yoluyla tanka iletilir.

3.3.2 Trafo titreşimi

Tranformatörlerin oluşturmuş olduğu titreşimler kendi yaşam ömürlerini azalttığı gibi mekanik performanslarını da olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca oluşturduğu titreşim gürültü kirliliğine de neden olmaktadır. Bu nedenler trafolar üzerinde yoğun olarak çalışılması gereken bir alandır. Transformatörde oluşan titreşimler, transformatörün çalışması süresince nüve ve sargı gibi aktif kısımları başta olmak üzere hemen hemen bütün parçalarında oluşmaktadır. Sargı ve nüve titreşimleri, bu parçalarda görülen çeşitli kuvvetler tarafından üretilmekte olup, sargı ve nüve malzemelerinin manyetik ve mekanik özellikleri ile ilişkilidir. Bunun yanında, soğutma amaçlı fan kullanılması halinde fan kaynaklı titreşimler de toplam titreşim seviyesine eklenmektedir. Genel olarak bir transformatörde yapısal titreşimler üç tip elektromanyetik kuvvet tarafından uyarılmaktadır. Bunlar; Maxwell kuvveti, manyetik büzülme kuvveti ve Lorentz kuvvetidir. Transformatörün mekanik yapısında titreşimleri ortaya çıkaran bu kuvvetler gerilime bağlı ve yüke bağlı etkilerden kaynaklanmaktadır.

Transformatörün akustik görüntüleri ve titreşim modellerini analiz ederken korelasyonların ve sonuçların, titreşimin gürültü enerjisine dönüşümünün ne olduğu hakkında iyi bir bilgi ile dikkatlice çizilmesi gerekir.

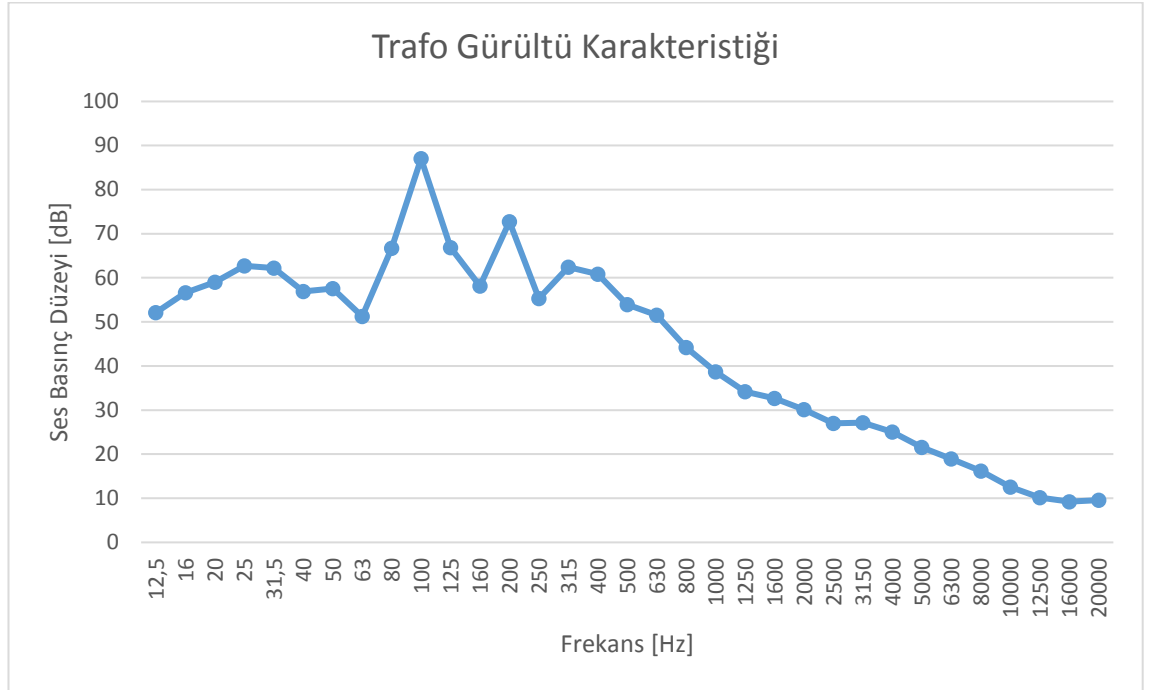
Şekil 3.5, yapı titreşiminin gürültü seviyesine dönüşümünün ana aşamalarını tarif eden şemayı göstermektedir. Yapı tarafından yayılan akustik güç, yüzey boyutları, ışınım verimliliği ve titreşim hızı bilinerek hesaplanabilir. Desibel skala aktarımı, akustik güç seviyesi formülüne göre yapılır ve transformatör gürültüsü A ağırlıklı ses basıncı seviyesindeki birimlerde ölçülürken, titreşim hızı da A ağırlıktadır. (Kmita et al. 2014)



Şekil 3. 5. Yapısal titreşim ile ses basınç düzeyi arasındaki ilişki

3.4 Trafoların Gürültü Ölçümü

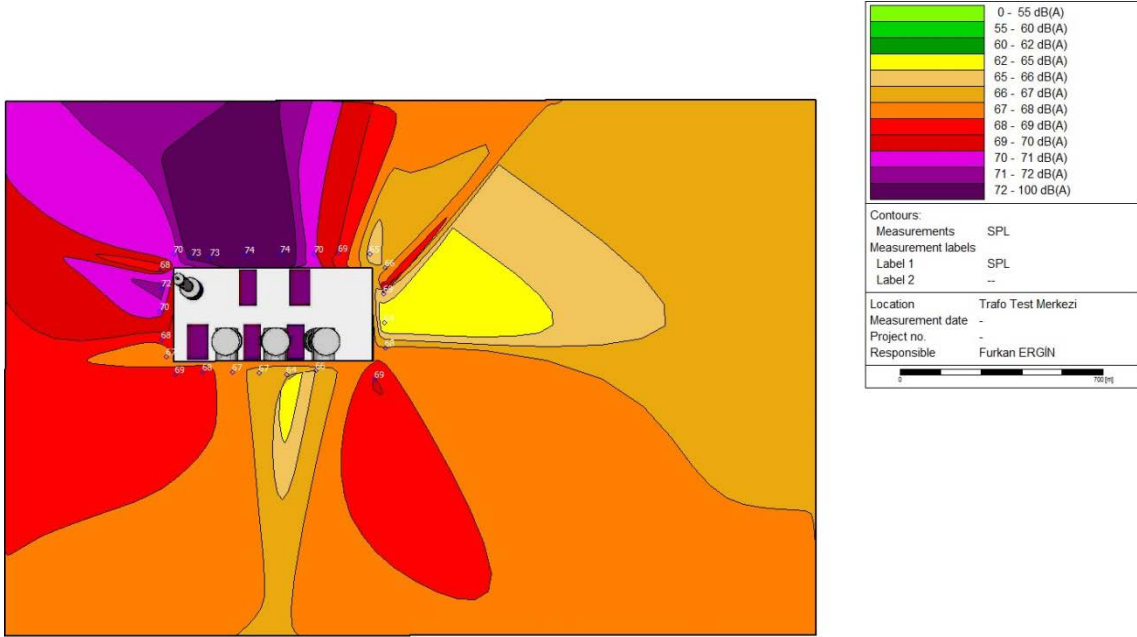
Trafolar IEC 60076-10 standartları doğrultusunda gürültü seviyeleri ölçülmektedir. Şekil 3.6'deki gürültü spektrumu incelendiğinde daha çok 100,200,315Hz frekans bantlarında maksimum değerlerdedir. Fakat bu frekanslar trafoların tipine ve gücüne bağlı olarak değişmektedir. Genel bir ifade ile belirtecek olursak trafoların gürültü değerleri 40-120dB(A) aralığında değişmektedir. Frekans spektrumu ile 50-2.000Hz aralığında maksimum değere ulaşmaktadır.



Şekil 3. 6. Trafoların genel gürültü spektrumu

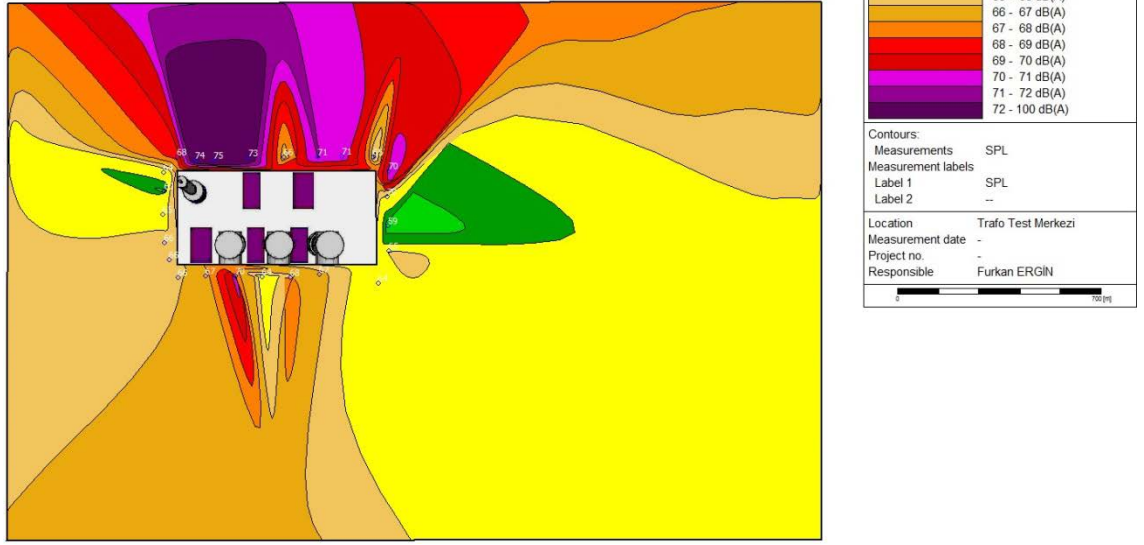
3.5 Trafoların Gürültü Bölgeleri

Trafoların iç aksamına bağlı olarak gürültü bölgeleri değişkenlik göstermektedir. Aşağıdaki bir adet trafo için 1/3H ve 2/3H ölçümleri doğrultusunda hazırlanmış gürültü haritaları bulunmaktadır.



Şekil 3. 7. Trafoların 1/3h bölgesi spl gürültü haritası

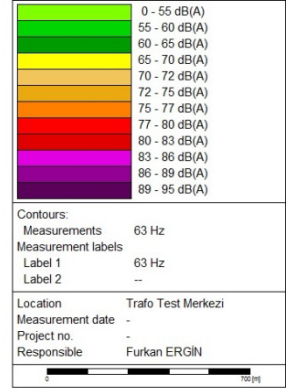
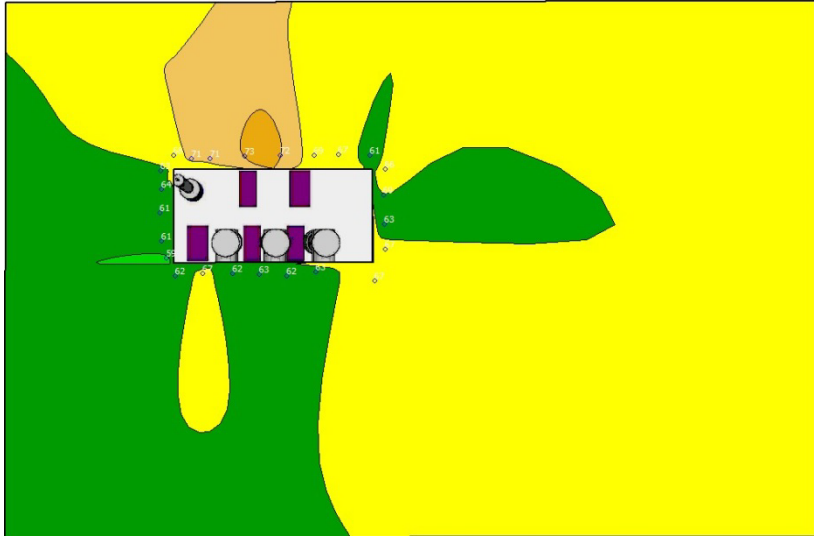
Trafoların gürültü bölgeleri trafonun iç tasarımları ile ilişkilidir. Bu tez çalışmasında baz aldığımız trafonun genel gürültü yoğunluğu bushing bulunmayan uzun kenarda yoğunlaşmaktadır. İki uzun kenardaki gürültü seviyeleri karşılaştırıldığında ortalama 4dB'lik bir gürültü seviyesi farkı bulunmaktadır.



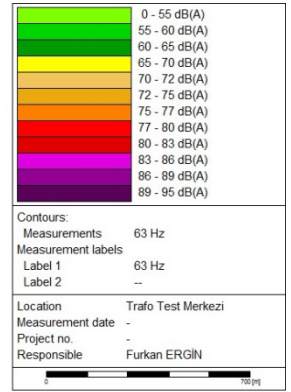
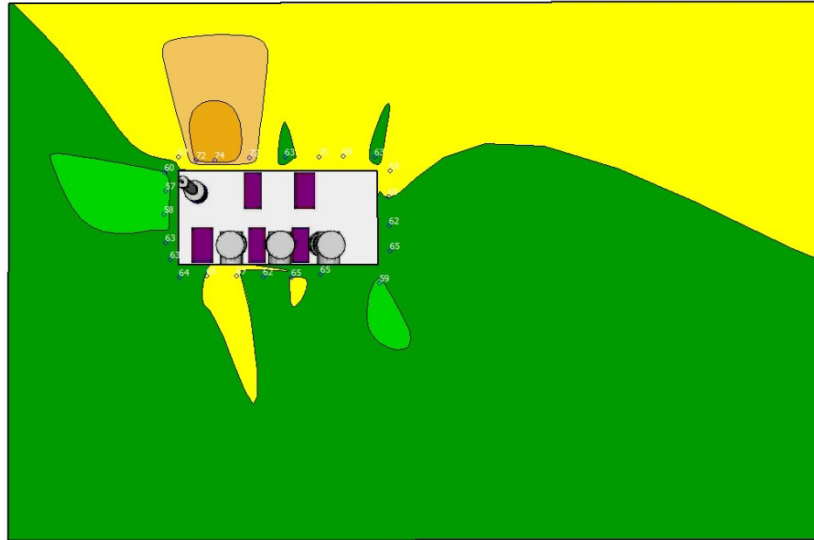
Şekil 3. 8. Trafoların 2/3h bölgesi SPL gürültü haritası

Trafoların çekirdekleri trafonun alt tablasına oturmaktadır. Bu durum da trafonun 1/3h bölgesinden ölçülen gürültü seviyeleri 2/3h bölgesinden ölçülen gürültü seviyelerinden yüksek olmasına sebep olmaktadır. Şekil 3.7. ile Şekil 3.8. değerlendirildiğinde 2/3h bölgesindeki ortalama ses seviyesinin 1/3h bölgesinden daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

Yukarıda bulunan Şekil 3.7. ve Şekil 3.8. trafoların ortalama ses basınç yüzeylerini içeren gürültü haritalarıdır. Trafoların gürültü seviyeleri 1/1 oktav bandında incelenmesi daha sağlıklıdır. Gürültü bölgeleri frekansiyel olarak araştırılmıştır. Aşağıda 63-125-250-500 ve 1.000Hz için hazırlanan gürültü haritaları bulunmaktadır.



Şekil 3. 9. Trafoların 1/3h bölgesi 63Hz gürültü haritası



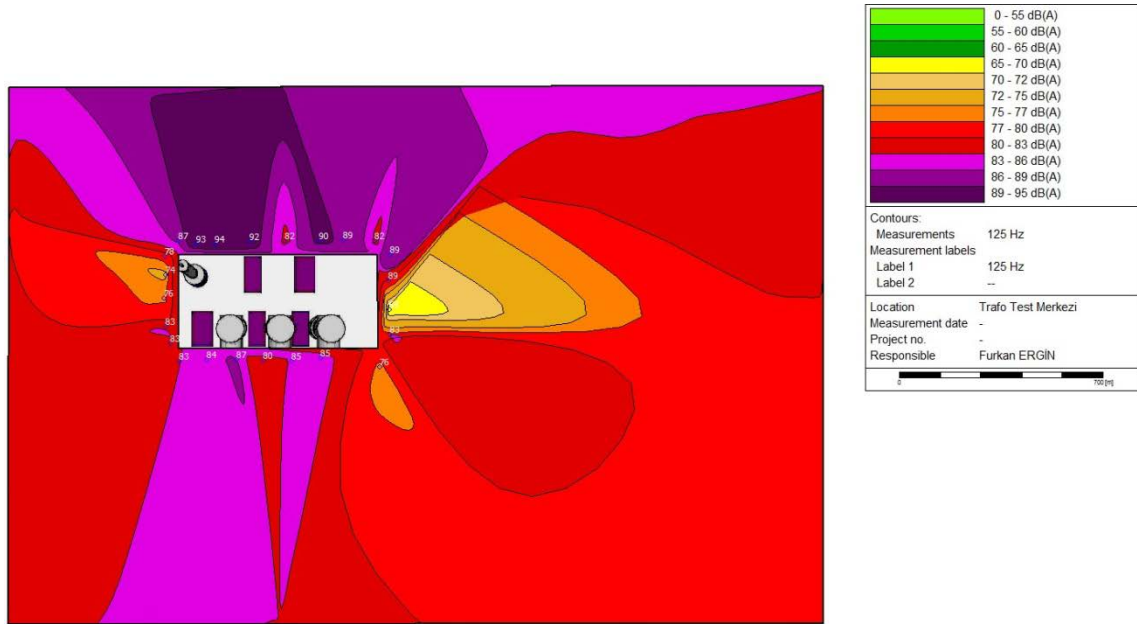
Şekil 3. 10. Trafoların 2/3h bölgesi 63Hz gürültü haritası

63Hz bandı 44Hz ile 88Hz aralığını kapsamaktadır. Şekil 3.9. ve Şekil 3.10. incelenen trafonun 1/1 oktav bandında 63Hz frekans bandındaki gürültü haritalarını içermektedir. Şekil 3.9. trafonun 1/3h bölgesinde gürültü haritasını içermektedir. Şekil 3.10 ise trafonun 2/3h bölgesindeki gürültü haritalarını içermektedir. Trafoların gürültü aralıkları başta 100Hz olmak üzere 100-1.000 Hz aralığında oluşmaktadır. Bu nedenle 63Hz frekans

aralığında genel olarak çok yüksek ses seviyeleri yoktur. Fakat SPL gürültü haritalarında gürültü seviyelerin yoğunlaştığı bölgelerde 63Hz aralığında da yoğunlaşmaktadır.



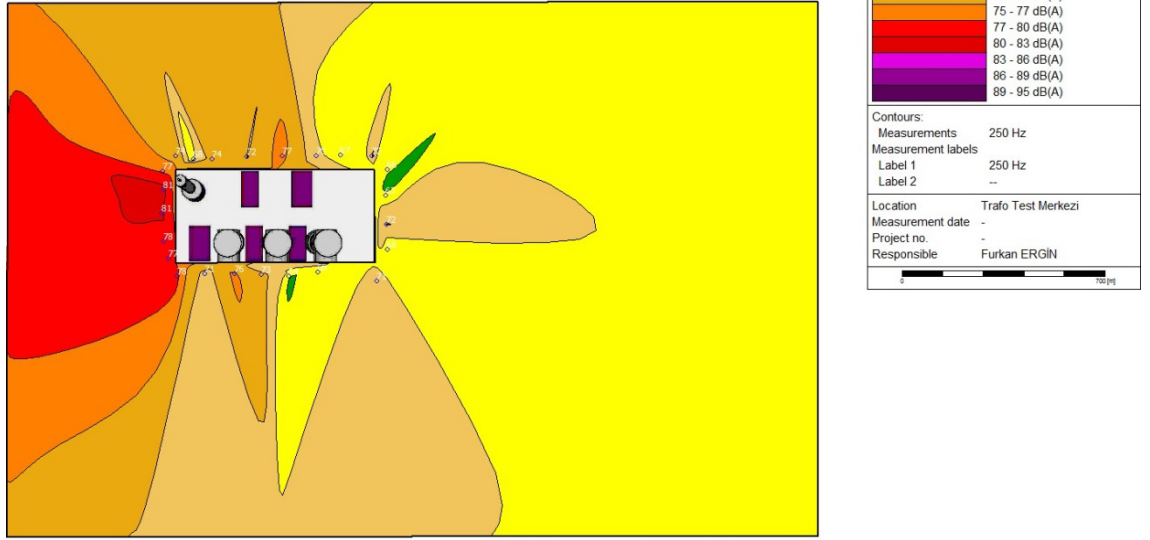
Şekil 3.11. Trafoların 1/3h bölgesi 125Hz gürültü haritası



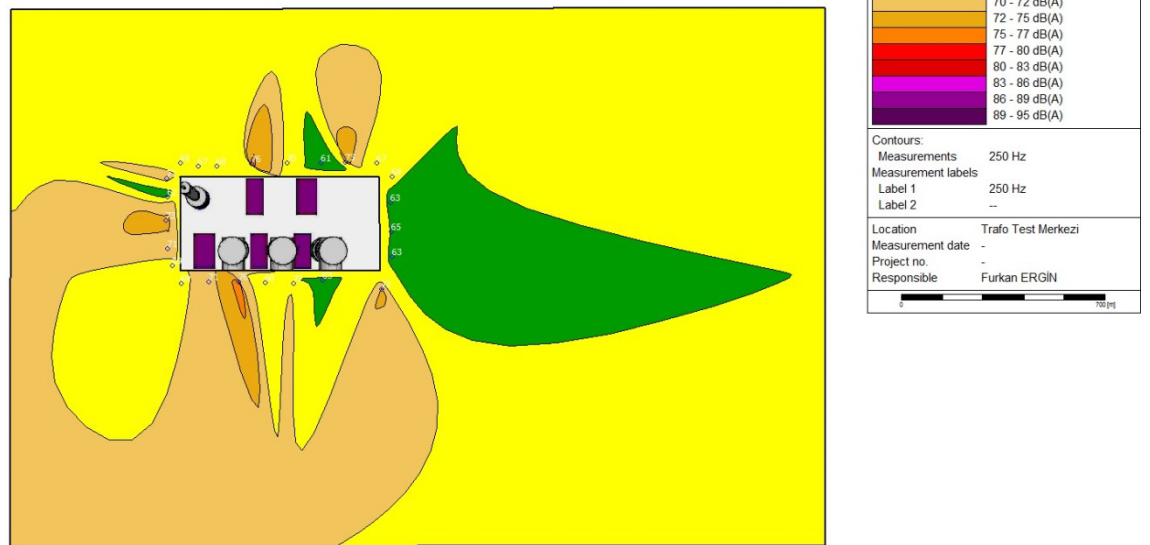
Şekil 3.12. Trafoların 2/3h bölgesi 125Hz gürültü haritası

125Hz bandı 88Hz ile 177Hz aralığını kapsamaktadır. Şekil 3.11. ve Şekil 3.12. incelenen trafonun 1/1 oktav bandında 125Hz frekans bandındaki gürültü haritalarını içermektedir. Şekil 3.11. trafonun 1/3h bölgesinde gürültü haritasını içermektedir. Şekil 3.12 ise trafonun 2/3h bölgesindeki gürültü haritalarını içermektedir. Trafoların en baskın olduğu

gürültü aralığı 100Hz'dir. 1/1 oktav bandında 125Hz merkez frekans bandı 100Hz'i kapsamaktadır. Bu durum 125Hz gürültü haritalarının önemini arttırmaktadır. 1/3h ve 2/3h gürültü haritaları incelendiğinde gürültü yoğunlukları daha çok uzun kenarda yoğunlaşmaktadır. Ayrıca trafoların uzun kenar ve kısa kenar birleşimlerinde gürültü yoğunlaşmaktadır.

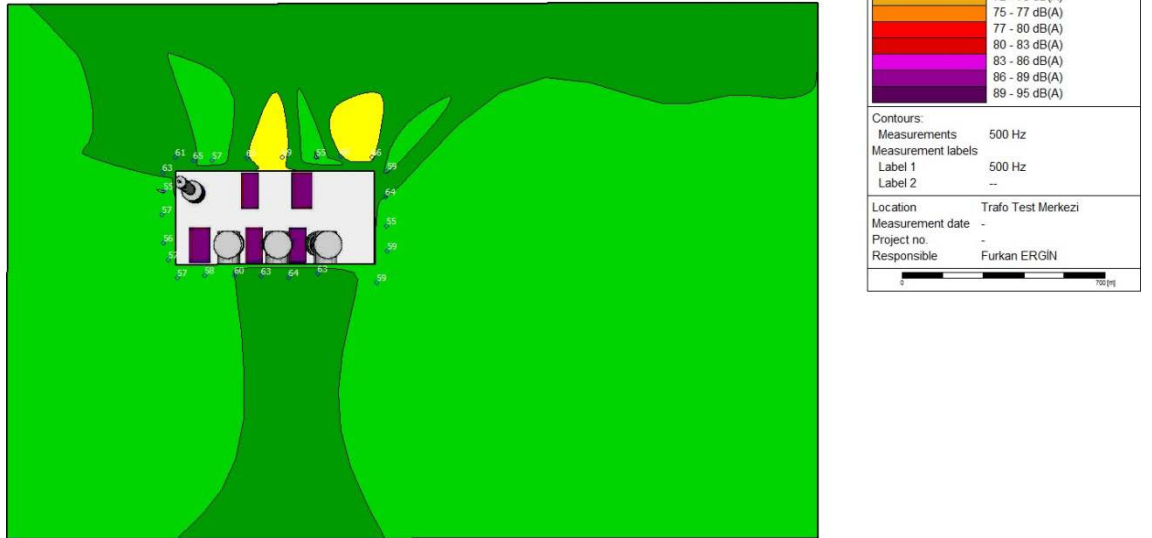


Şekil 3. 13. Trafoların 1/3h bölgesi 250Hz gürültü haritası

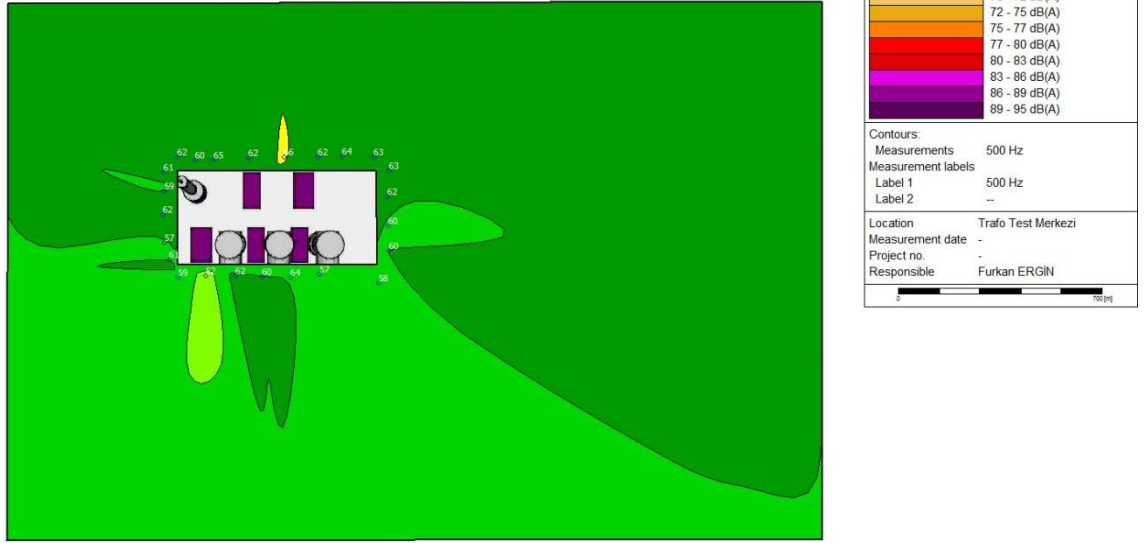


Şekil 3. 14. Trafoların 2/3h bölgesi 250Hz gürültü haritası

250Hz bandı 177Hz ile 355Hz aralığını kapsamaktadır. Şekil 3.13. ve Şekil 3.14. incelenen trafonun 1/1 oktav bandında 250Hz frekans bandındaki gürültü haritalarını içermektedir. Şekil 3.13. trafonun 1/3h bölgesinde gürültü haritasını içermektedir. Şekil 3.14 ise trafonun 2/3h bölgesindeki gürültü haritalarını içermektedir. Trafoların en baskın frekans aralıklarından ikisi 200-300Hz'dir. 1/1 oktav bandında 250Hz merkez frekans bandı 200 ve 300Hz'i kapsamaktadır. Bu durum 250Hz gürültü haritalarının önemini arttırmaktadır. 1/3h gürültü haritaları incelendiğinde gürültü yoğunlukları daha sol taraftaki kenarda yoğunlaşmaktadır. Ayrıca trafoların uzun kenarların sol kısa kenarına yakın bölgelerinde ses yoğunluğu bulunmaktadır. 2/3h gürültü haritaları incelendiğinde yine aynı şekilde gürültü yoğunlukları daha sol taraftaki kenarda yoğunlaşmaktadır. Ayrıca uzun kenarların sol tarafa yakın bölgelerinde gürültü yoğunlaşmaktadır. Fakat 1/3h ile 2/3h gürültü haritaları karşılaştırıldığında 1/3h gürültü haritası çok yüksek ses seviyelerine sahip olduğu gözlemlenmektedir.

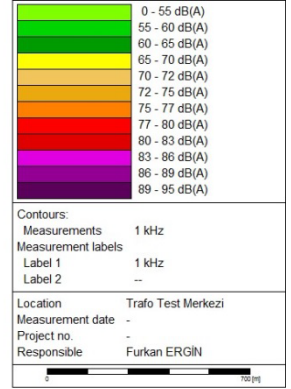
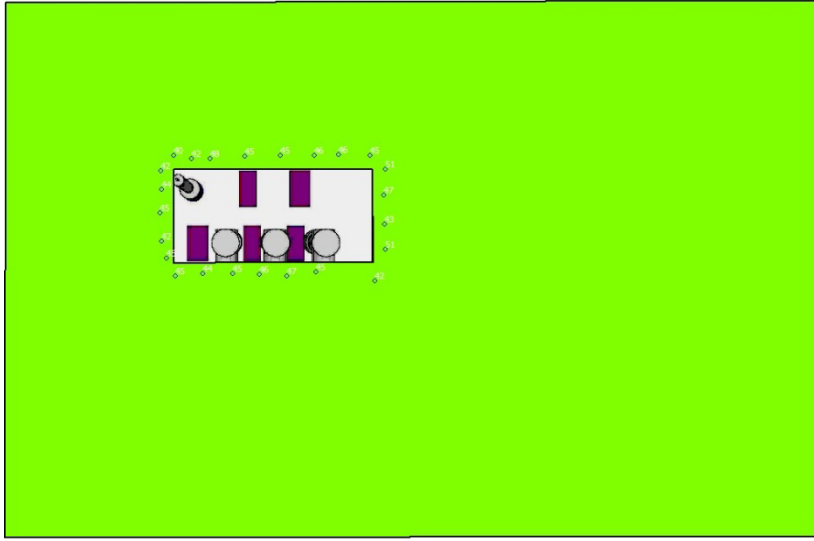


Şekil 3. 15. Trafoların 1/3h bölgesi 500Hz gürültü haritası

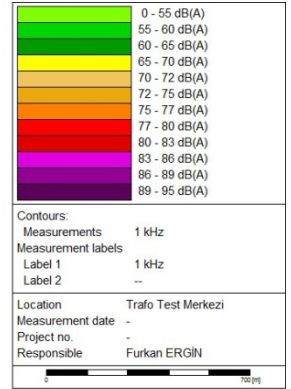
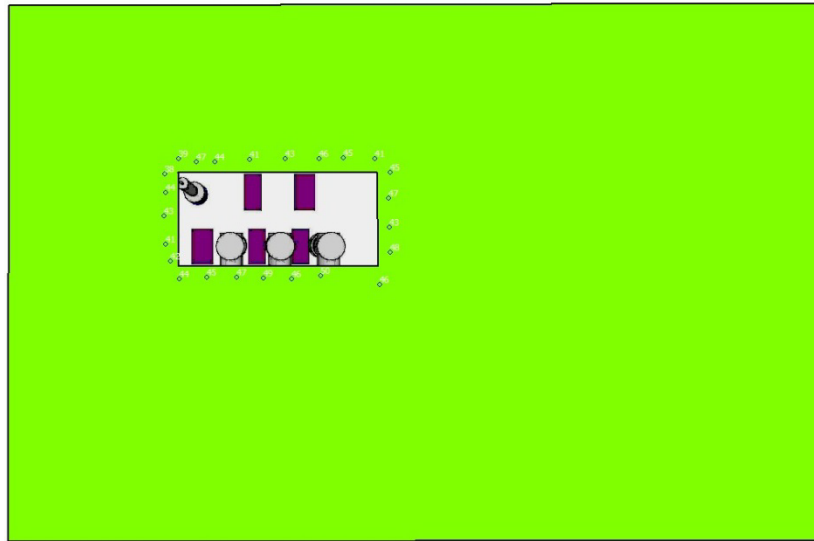


Şekil 3. 16. Trafoların 2/3h bölgesi 500Hz gürültü haritası

500Hz bandı 355Hz ile 710Hz aralığını kapsamaktadır. Şekil 3.15. ve Şekil 3.16. incelenen trafonun 1/1 oktav bandında 500Hz frekans bandındaki gürültü haritalarını içermektedir. Şekil 3.15. trafonun 1/3h bölgesinde gürültü haritasını içermektedir. Şekil 3.16 ise trafonun 2/3h bölgesindeki gürültü haritalarını içermektedir. 1/3h ve 2/3h gürültü haritaları incelendiğinde gürültü yoğunlukları daha çok uzun kenarlarda oluşmaktadır. Fakat gürültü değerleri 50-65dB aralığındadır. Ortalama ses basınç düzeyine etkisi minimal düzeydedir.



Şekil 3. 17. Trafoların 1/3h bölgesi 1000Hz gürültü haritası



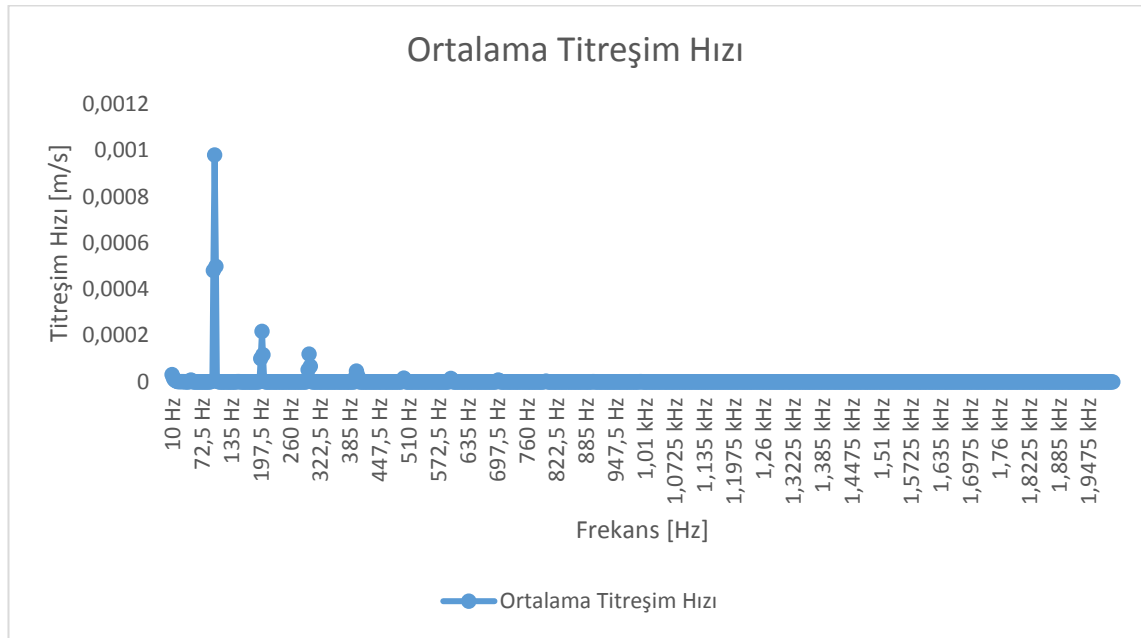
Şekil 3. 18. Trafoların 2/3h bölgesi 1000Hz gürültü haritası

1000Hz bandı 710Hz ile 1420Hz aralığını kapsamaktadır. Şekil 3.17. ve Şekil 3.18. incelenen trafonun 1/1 oktav bandında 500Hz frekans bandındaki gürültü haritalarını içermektedir. Şekil 3.17. trafonun 1/3h bölgesinde gürültü haritasını içermektedir. Şekil 3.18 ise trafonun 2/3h bölgesindeki gürültü haritalarını içermektedir.1/3h ve 2/3h gürültü haritaları incelendiğinde gürültü yoğunlukları tüm kenarlarda hemen hemen aynı

düzyededir. Fakat gürültü değeri genel olarak 50dB değeriinden bile daha düşük seviyededir. Ortalama ses basınç düzeyine etkisi minimal düzeydedir.

3.6 Trafoların Titreşim Ölçümü

Bu çalışmada trafoların titreşim seviyesi tek eksenli bir ivme ölçer ile yapılmıştır. IEC 60076-10 standardı doğrultusunda alınan gürültü ölçüm noktalarına karşılık genel noktalar kazan yüzeyinde işaretlenmiştir. Bu noktalardan titreşim hızı ölçümü yapılmıştır. Böylelikle titreşim seviyesinin artışı ile gürültü seviyesinin artışı arasında korelasyon kurulmuştur. Ortalama titreşim hızı spektrumu aşağıda Şekil 3.18’de gösterilmiştir.

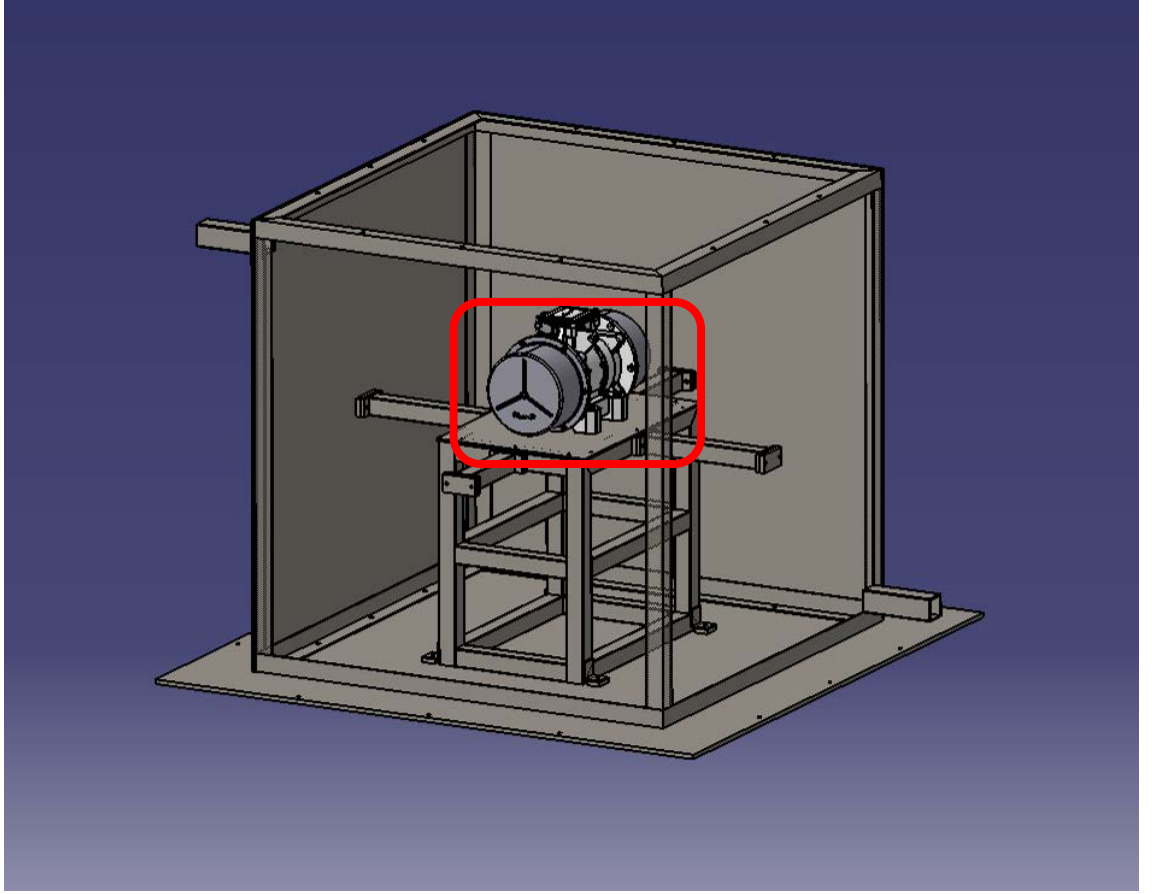


Şekil 3. 19. Trafoların ortalama titreşim hızı spektrumu

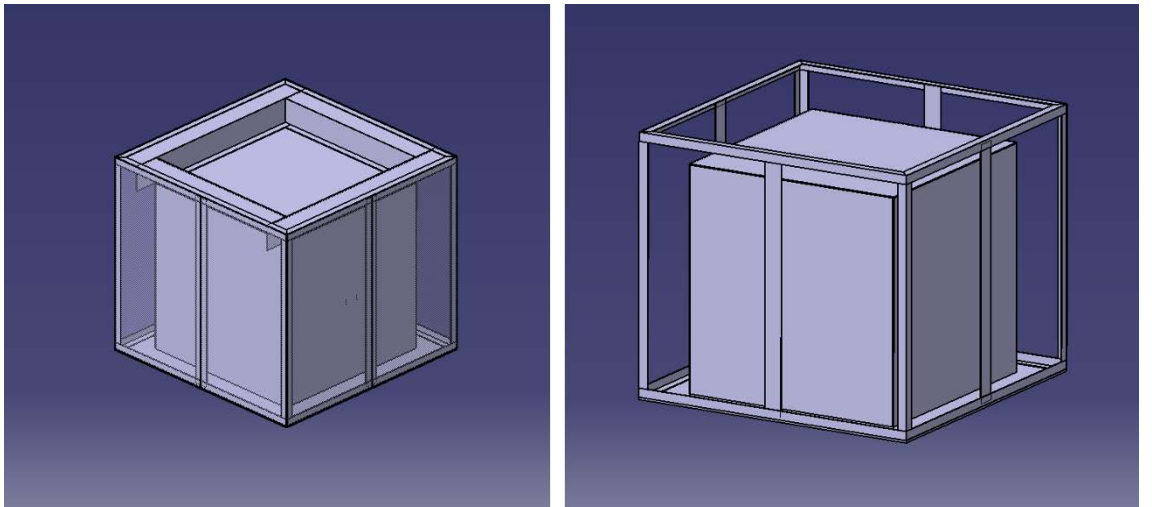
Şekil 3.19’de görüleceği üzere titreşim hızının frekansı 100-200-300Hz’de pik yapmıştır. En fazla titreşim 100Hz’de yoğunlaşmıştır. Gürültü spektrumunda da gürültü en fazla 100Hz’de yoğunlaşmıştır.

3.7 Titreşim Testi Düzeneği Tasarımı

Malzemelerin titreşim altındaki ömürlerinin tespiti ve titreşim altındaki akustik performanslarının tespiti için bir test düzeneği tasarlanmıştır.



Şekil 3. 20. Titreşim Test Düzeneği İç Aksam



Şekil 3. 21. Titreşim Test Düzeneği İzometrik Görüntüleri

Test düzeneğinin çalışma mantığı şu şekildedir;

- Test düzeneği vibrasyon motoru, inventör, kutu profil, köşebent profil ve düz saçtan oluşmaktadır.
- Vibrasyon motoru titreşim üretici olacak kullanılmıştır.
- Vibrasyon motor hızının ayarlanması için sisteme bir adet inventör kullanılmıştır.
- Vibrasyon motorundan üretilen titreşimler kutu profiller sayesinde düzeneğinin dış kısmına iletilmektedir.
- Dış karkas yüzeyine akustik malzemeler monte edilecektir. Böylelikle malzemeler titreşime maruz bırakılacaktır.

3.8 Titreşim Testi Düzeneği Üretimi

Tasarımı yapılan titreşim test düzeneği üretilmiştir. Test düzeneğinin kısımları aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır.



Şekil 3. 22. Titreşim Test Düzeneği Karkası

Titreşim test düzeneğinin karkası tamamen modüler yapıda tasarlanmıştır. Tüm köşebentler sökülebilir yapıdadır. Monte edilebilecek malzeme kalınlığı 150mm olarak belirlenmiştir. Toplam karkas ağırlığı 1000kg'dır.



Şekil 3. 23. Titreşim Test Düzeneği Karkası

Titreşim test düzeneğinde kullanılan vibrasyon motoru özel sabitleme vidaları ile sistemin tam ortasında bulunan platforma sabitlenmektedir. Vibrasyon motorunun besleme frekansı 50Hz'dir. Sistemin ağırlığı 1000kg olduğu için maksimum 1350kg'lık bir sistemi sarsacak şekilde seçilmiştir. Maksimum devri 3000rpm'dir. Kullanılan motorun verimi %75'dir. Motorun gücünün 6 adet kademesi bulunmaktadır. Bu kademeler %100 ile %30 aralığında değişkenlik göstermektedir.



Şekil 3. 24. Titreşim Test Düzeneği İç Profilleri

Şekil 3.23’de görüldüğü üzere titreşim motorundan üretilen titreşimler kutu profiller yardımı ile dış bölgedeki yüzeylere iletilmektedir. Ayrıca motorun bulunduğu platform zemine kutu profillerle bağlanmaktadır.

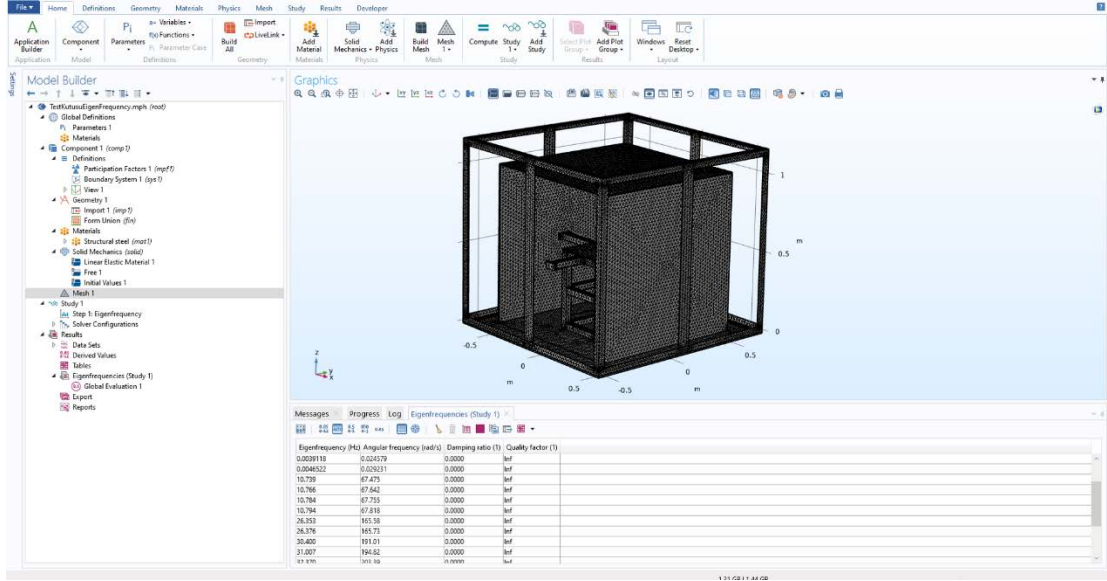


Şekil 3. 25. Titreşim Test Düzeneği Inventör

Sistemde bulunan vibrasyon motorunun üretmiş olduğu titreşim profillerinin değiştirmek amacıyla motor ile uyumlu bir adet inventör kullanılmıştır.

3.9 Titreşim Testi Düzeneği Modal Analiz

Tasarlanan test düzeneğinde titreşim testlerine başlanmadan önce test frekanslarının tespiti için sonlu elemanlar programı üzerinde modal analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler trial lisans kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3. 26. Titreşim Test Düzeneği Modal Analiz Görüntüsü

Eigenfrequency (Hz)	Angular frequency (rad/s)	Damping ratio (1)
0.0039118	0.024579	0.0000
0.0046522	0.029231	0.0000
10.739	67.475	0.0000
10.766	67.642	0.0000
10.784	67.755	0.0000
10.794	67.818	0.0000
26.353	165.58	0.0000
26.376	165.73	0.0000
30.400	191.01	0.0000
31.007	194.82	0.0000
32.370	203.39	0.0000
32.394	203.54	0.0000
34.887	219.20	0.0000
35.468	222.85	0.0000
36.594	229.92	0.0000
53.796	338.01	0.0000

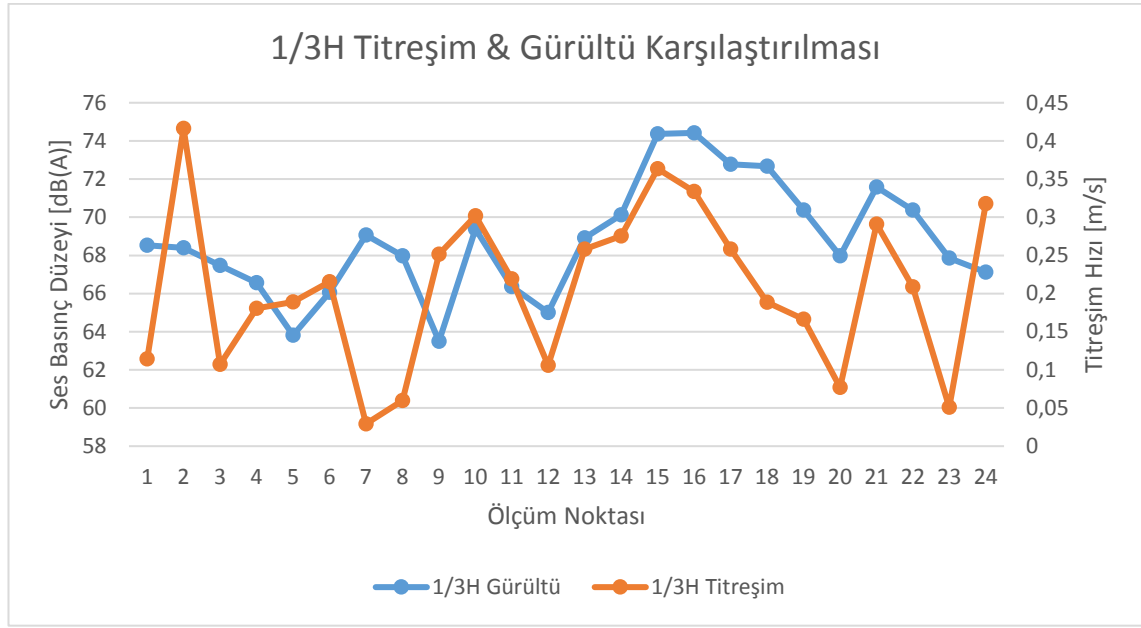
Şekil 3. 27. Titreşim Test Düzeneği Modal Analiz Sonuçları

Şekil 3.26’da görüldüğü üzere sistemin modal frekansları tespit edilmiştir.

4. BULGULAR

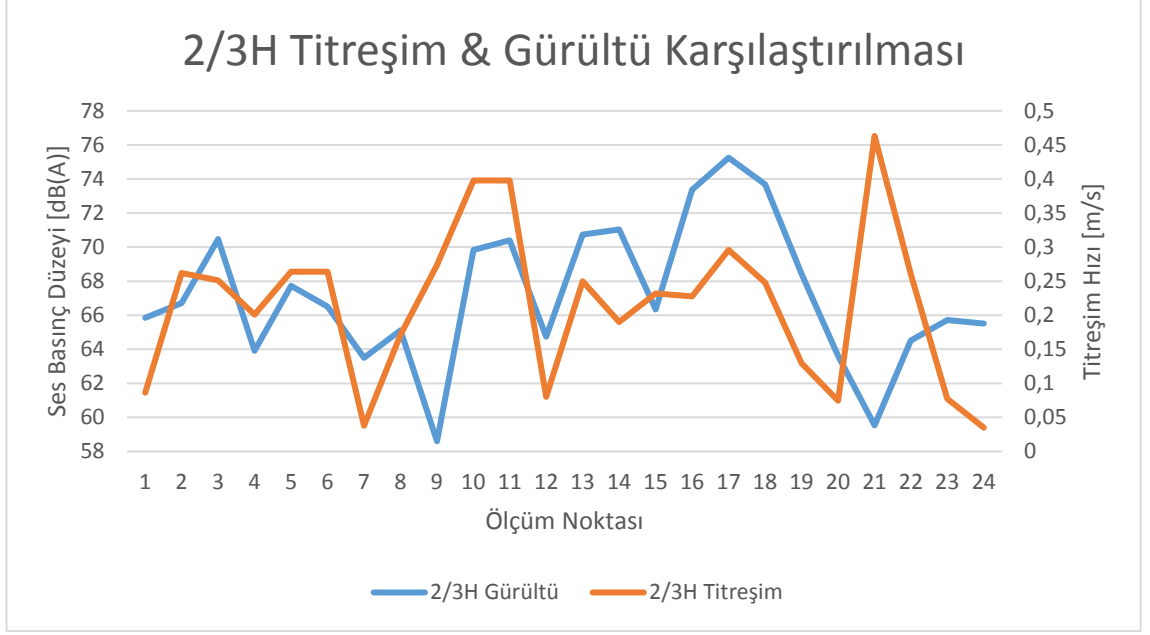
4.1 Gürültü ve Titreşim Korelasyonu

Trafo üzerinden alınan titreşim hızı ve gürültü seviyeleri kıyaslanmıştır. Titreşim hızı arttıkça gürültü seviyesinin arttığı Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4. 1. Trafoların 1/3H bölgesi gürültü ve titreşim karşılaştırması

Şekil 4.1 incelendiğinde trafo üzerindeki titreşim seviyeleri arttıkça genel olarak gürültü seviyeleri de arttığını gözlemlemekteyiz. Grafiğin genel eğitimi bu durumu göstermektedir. Fakat bazı bölgelerde titreşim seviyesi artmasına rağmen gürültü seviyeleri sabit kalmıştır. Bazı bölgelerde ise titreşim seviyesinde düşüş olmasına rağmen gürültü seviyesinde artış olmuştur. Bu durum trafonun gürültü seviyesindeki etkini tek başına titreşim olmadığını göstermektedir.



Şekil 4. 2. Trafoların 2/3H bölgesi gürültü ve titreşim karşılaştırması

Şekil 4.2 incelendiğinde trafo üzerindeki titreşim seviyeleri arttıkça genel olarak gürültü seviyeleri de arttığını gözlemlemekteyiz. Grafiğin genel eğitimi bu durumu göstermektedir. Fakat bazı bölgelerde titreşim seviyesi artmasına rağmen gürültü seviyeleri sabit kalmıştır. Bazı bölgelerde ise titreşim seviyesinde düşüş olmasına rağmen gürültü seviyesinde artış olmuştur. Fakat bu farklılıklar 2/3h bölgesinde 1/3h bölgesine göre daha az miktardadır. Bu durum da zeminden yansımaların etkisinin 1/3h bölgesinde ölçüm sonuçlarına etki ettiğini gözlemlemekteyiz.

4.2. Trafolarda Gürültü Kontrolü Uygulamaları

Trafolarda gürültü kontrolü uygulamaları genel olarak 2 aşamada gerçekleştirilmektedir. Bu uygulamalardan mantolama çalışması ve kabin çalışmasıdır. Bu çalışmalar ile ilgili genel hatlar ve örnekler aşağıda belirtilmiştir.

4.2.1. Mantolama

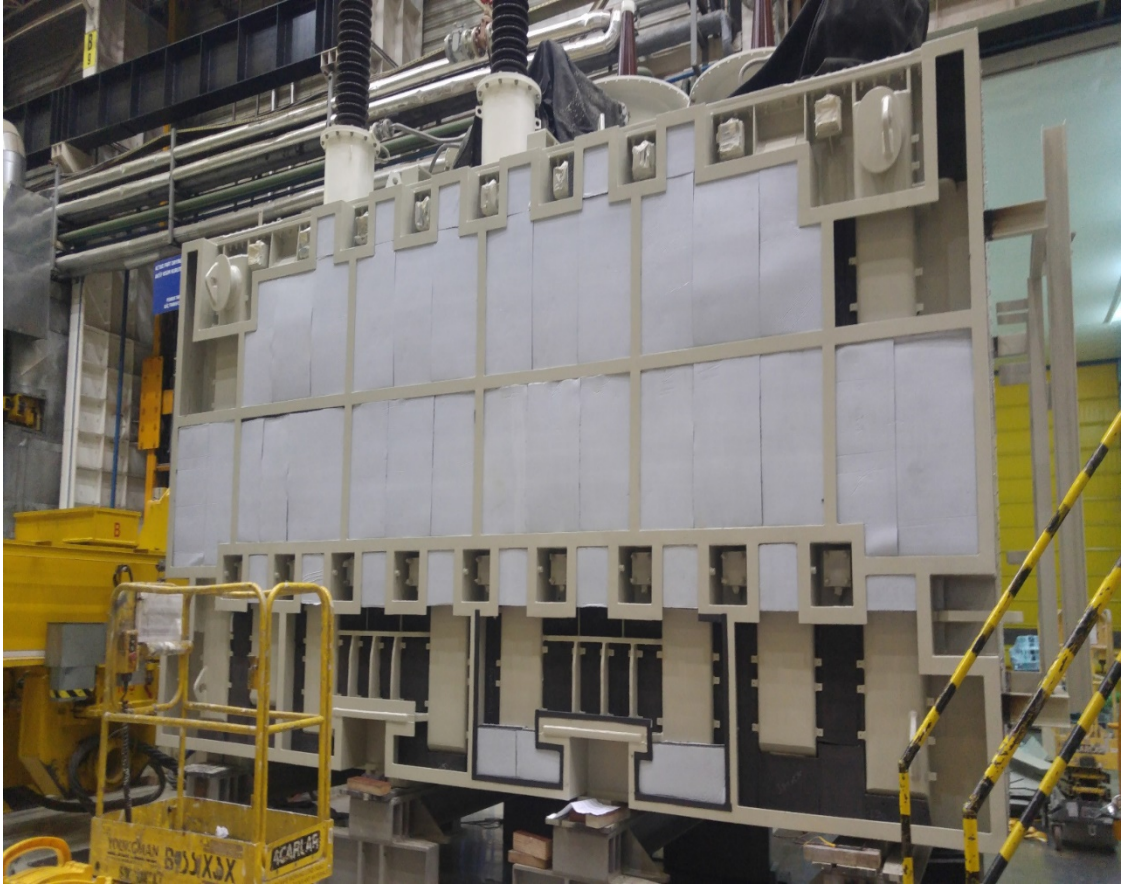
En yaygın olarak kullanılan gürültü kontrolü metodudur. Genel olarak trafo kazanı üzerine akustik malzemeler monte ederek gürültü seviyesinin düşürülmesi amaçlanmaktadır.

Avantajları;

- Kolay kurulum
- Maliyet

Dezavantajları;

- Düşük akustik performans



Şekil 4. 3. Örnek Mantolama Uygulaması

4.2.2. Gürültü Kabini

Yüksek ses dm istenilen durumlarda kullanılmaktadır. Trafonun bir kapalı kutu içerisine alınmasıdır.

Avantajları:

- Yüksek Akustik Performans
- Uzun Dayanım

Dezavantajları:

- Maliyet
- Kurulum



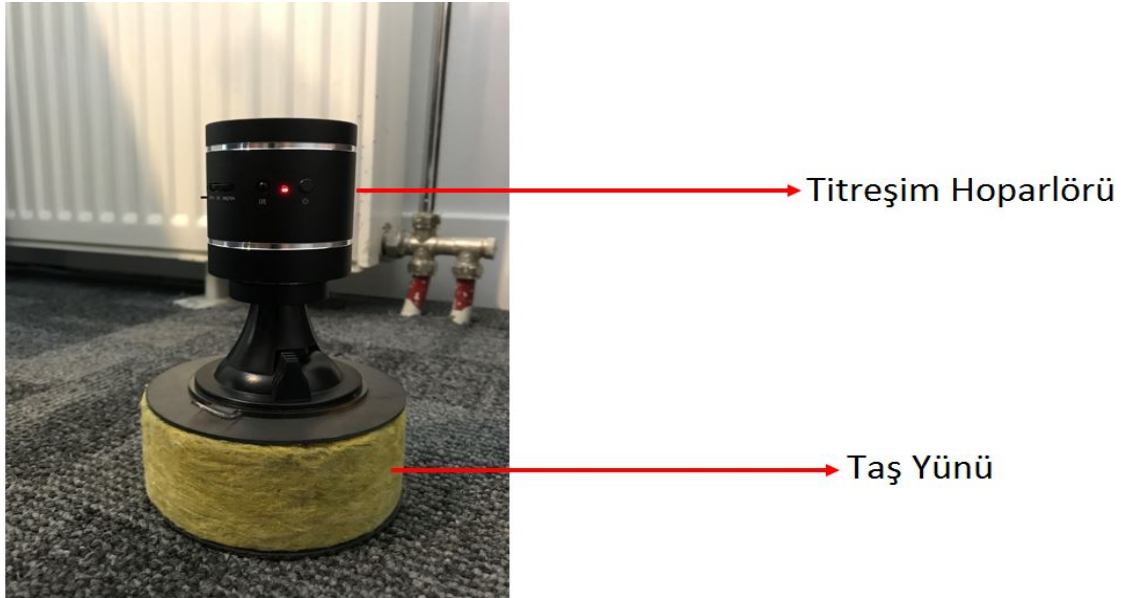
Şekil 4. 4. rnek Gürültü Kabini Uygulaması

4.3 Akustik Malzemelerin Titreşim Ömürleri

Bu tez çalışmasında yapılan çalışmalarda trafoların gürültü ve titreşim frekanslarının en baskın frekansının 100 Hz olduğunu tespit ettik. Trafolarda yapılan gürültü uygulamalarında sıklıkla taş ve kaya yünü kullanılmaktadır. Fakat bu malzemeler lifli yapıya sahiptir. Özellikle trafolarda uygulanan mantolama çalışmalarında malzemeler titreşen trafo kazanı üzerine monte edilmektedir. Titreşime maruz kalan malzemeler zaman ile birlikte liflerinin birbirinden ayrıldığı gözlemlenmiştir. Zaman ile lifler birbirinden ayrılarak dökülmeler gerçekleşmektedir. Bu mekanik değişim sonucunda malzemelerin akustik performansları azaldığı düşünülmektedir.

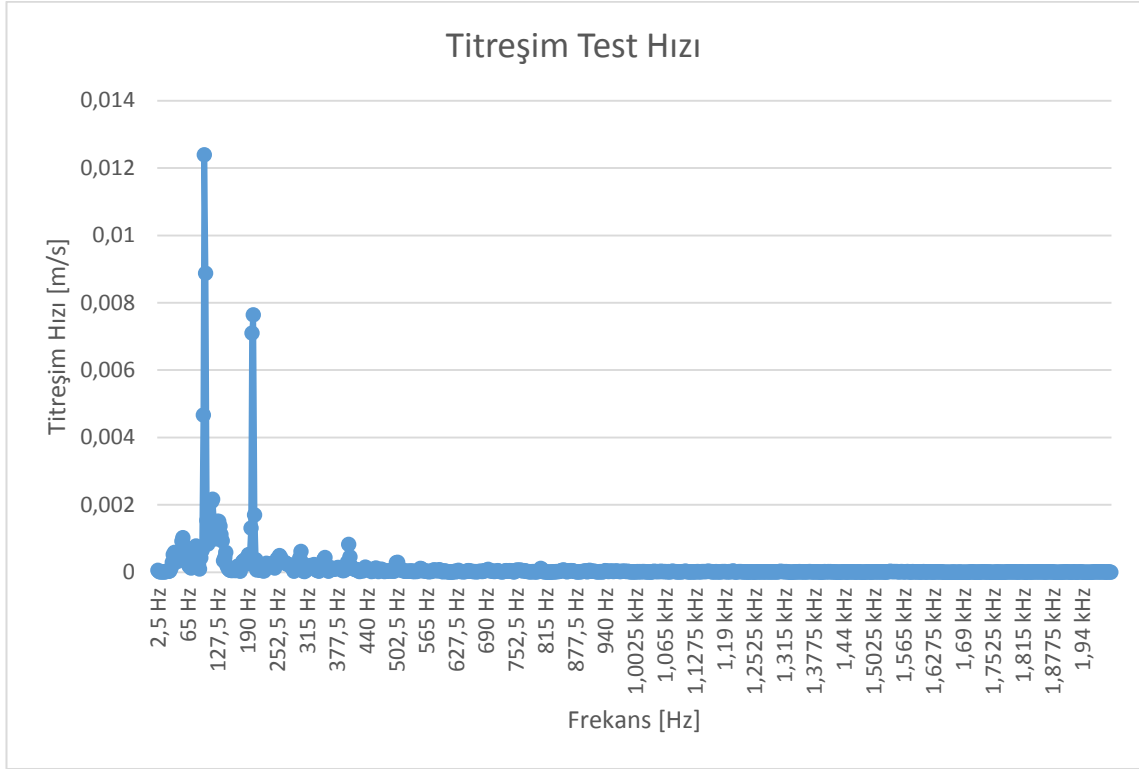
Titreşimin bu etkisini analiz etmek için bu tez çalışmasında lifli malzemelerden en yaygın olarak kullanılan taş yünü malzemesi seçilmiştir. Titreşim testi için trafoların en baskın titreşim ve gürültü frekansı olan 100Hz frekans bandı olmak üzere trafoların gürültü/titreşim spektrumuna benzer bir sinyal seçilmiştir.

Taş yünü malzemesi Şekil 4.5’de gösterildiği üzere titreşime maruz bırakılmıştır. Malzeme üzerine titreşimin homojen yayılması için titreşim hoparlörü bir sac üzerine oturtulmuştur. Titreşim bütün bölgelerden eşit büyüklükte taş yünü üzerine etki ettirilmiştir.



Şekil 4. 5. Akustik malzemelerin titreşim ömür testi düzeneği

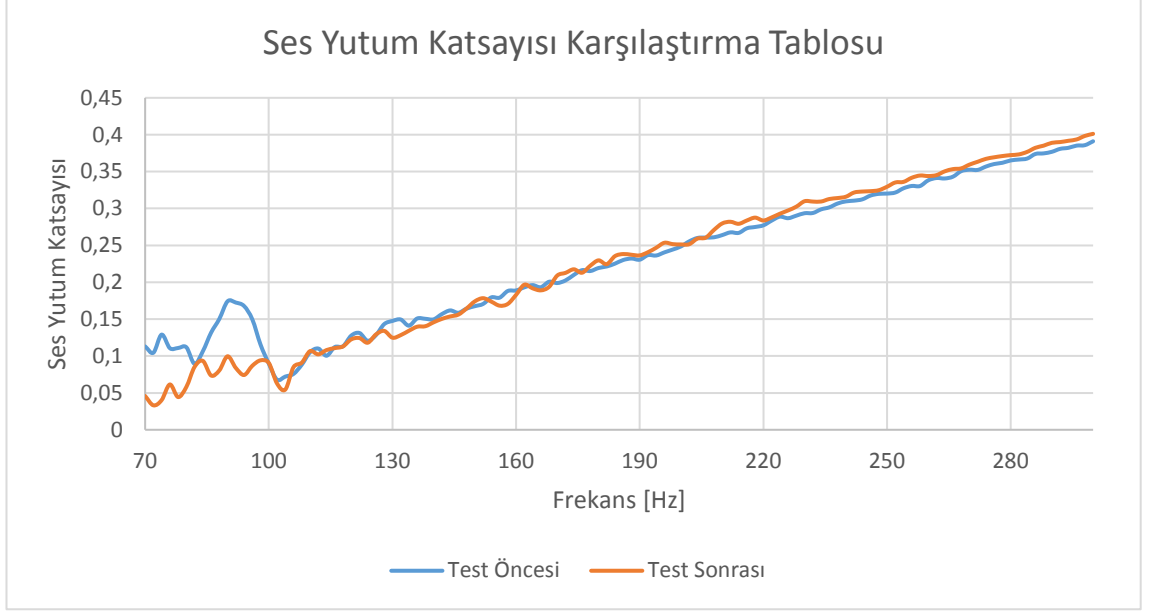
Taş yünü malzemeye etki eden titreşim bir ivme ölçer ile ölçülmüştür. İvme ölçer ile titreşim hızı ölçülmüştür. Ölçülen titreşim hız spektrumu aşağıdaki Şekil 4.6'de gösterilmektedir.



Şekil 4. 6. Test düzeneğinde ölçülen titreşim hız spektrumu

Deney öncesinde ve sonrasında taş yünü malzemenin ses yutum katsayısı ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan taş yünü malzemenin yoğunluğu 150kg/m^3 'tür. Malzeme kalınlığı 40mm'dir. Toplam titreşim test süresi 90dk'dır. Testin doğruluğunu arttırmak amacıyla testler 3'er kez tekrarlanmıştır.

Test öncesinde ve sonrasında malzemenin ses yutum katsayısı değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma grafiği aşağıdaki Şekil 4.7'te gösterilmektedir.



Şekil 4. 7. Titreşim testi öncesi ve sonrası ses yutum katsayısı

4.4 Titreşim Testi Düzeneği Ömür Testi

Tasarımı ve üretimi yapılan titreşim test düzeneği etrafına piyasada ses yalıtım projelerinde yoğunlukla kullanılan taş yünü malzemesi kaplanmıştır. Taş yünü malzemenin sabit kalabilmesi için dış kısmına 4 mm sac ile kapatılmıştır. Böylelikle taş yünü malzemesi sadece sistemin üretmiş olduğu titreşime maruz bırakılmıştır.



Şekil 4. 8. Titreşim Test Düzeneği Taş Yünü Dolgusu

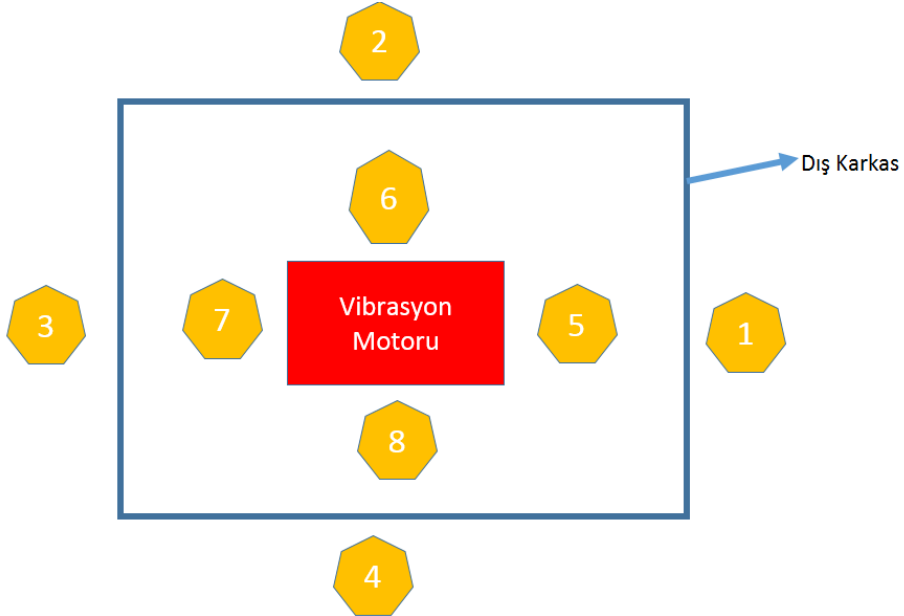


Şekil 4. 9. Titreşim Test Düzeneği Kapalı Hali

Malzeme inventör ile motorun devri 40_Hz'de sabit tutularak titreşim altında yaşlandırma testine tabi tutulmuştur. Test düzeneğinin iç bölgesinden ve dış bölgesinden titreşim ve gürültü ölçülmüştür.

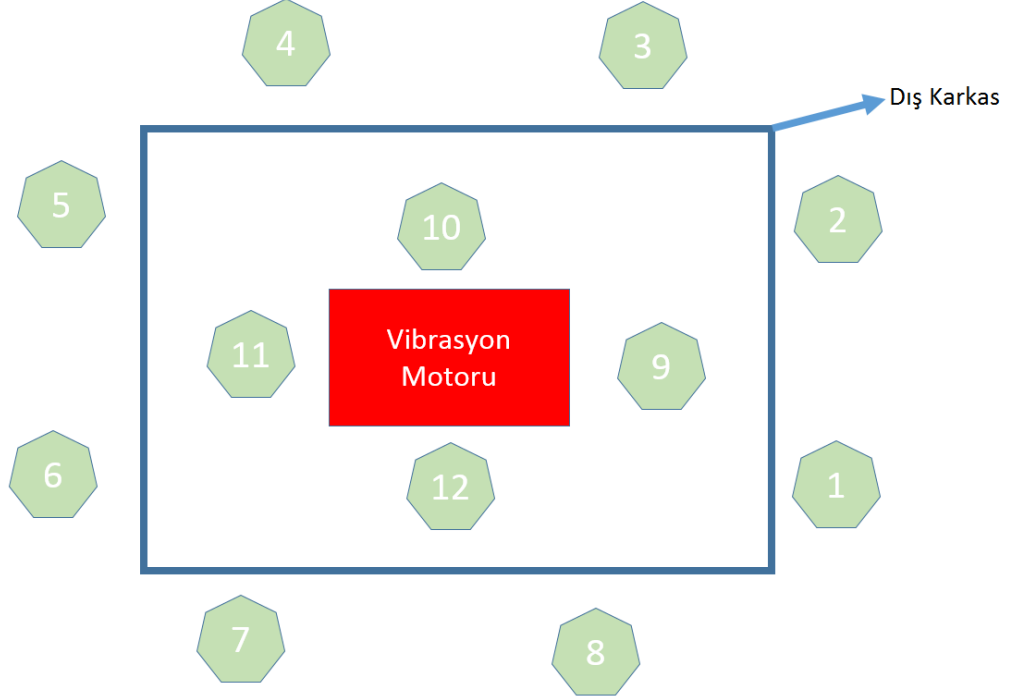


Şekil 4. 10. Test Çalışma Frekansı



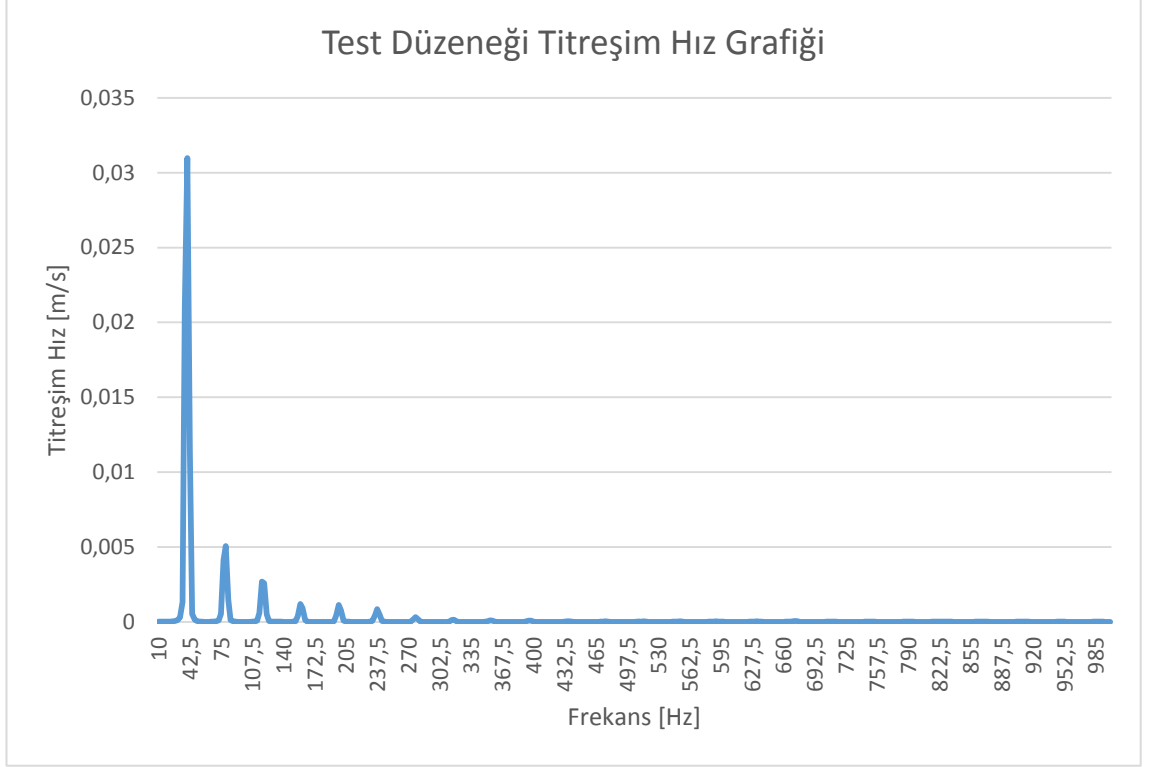
Şekil 4. 11. Titreşim Test Düzeneği Gürültü Ölçüm Noktaları

Gürültü ölçüm şablonu Şekil 3.28’de gösterilmektedir. Ölçümler test düzeneğinin 4 kenarından alınmıştır. Bu dört noktaya karşılık gelen vibrasyon motorunun 4 bölgesinden ölçüm alınmıştır. Ölçümler 8 saat arayla tekrarlanmıştır.



Şekil 4. 12. Titreşim Test Düzeneği Titreşim Ölçüm Noktaları

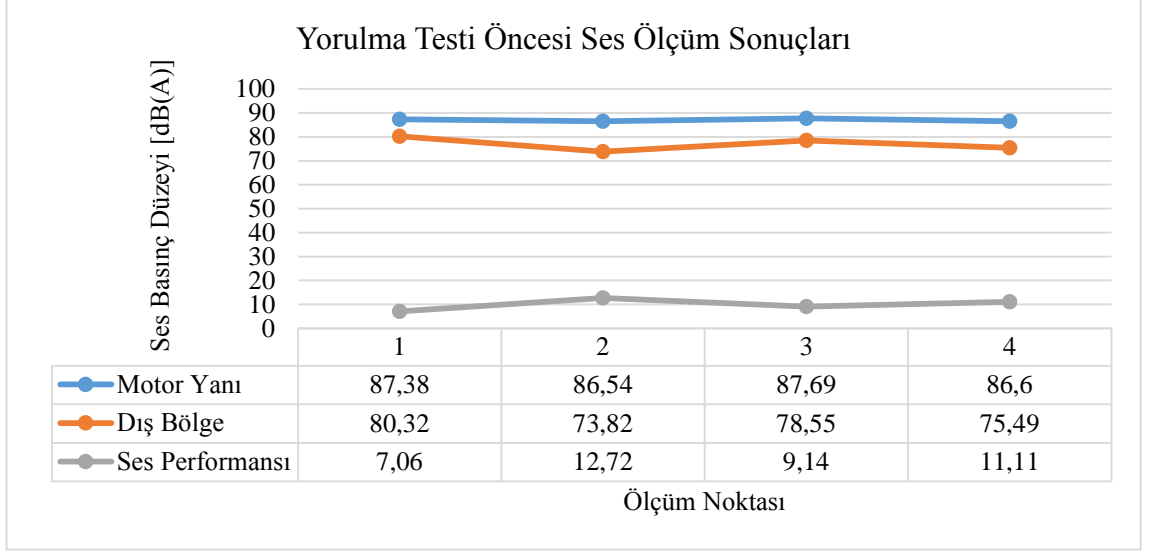
Titreşim ölçümleri vibrasyon motorunun bulunmuş olduğu tablanın 4 kenarından alınmıştır. Test düzeneğinin dış bölgesinde ise her yüzeyde 2 adet olmak üzere toplam 8 adet ölçüm alınmıştır.



Şekil 4. 13. Titreşim Test Düzeneği Titreşim Genliği

Test esnasında inventör yardımı ile vibrasyon motoru 40_Hz'de çalışmaktadır. Motorun bulunmuş olduğu tabladan ölçülen frekansa bağlı titreşim hız grafiği Şekil 4. 10. da gösterilmektedir. Grafikten de gösterildiği üzere titreşim hız seviyesi 40_Hz başta olmak üzere 80_Hz ve 120_Hz de pik yapmaktadır.

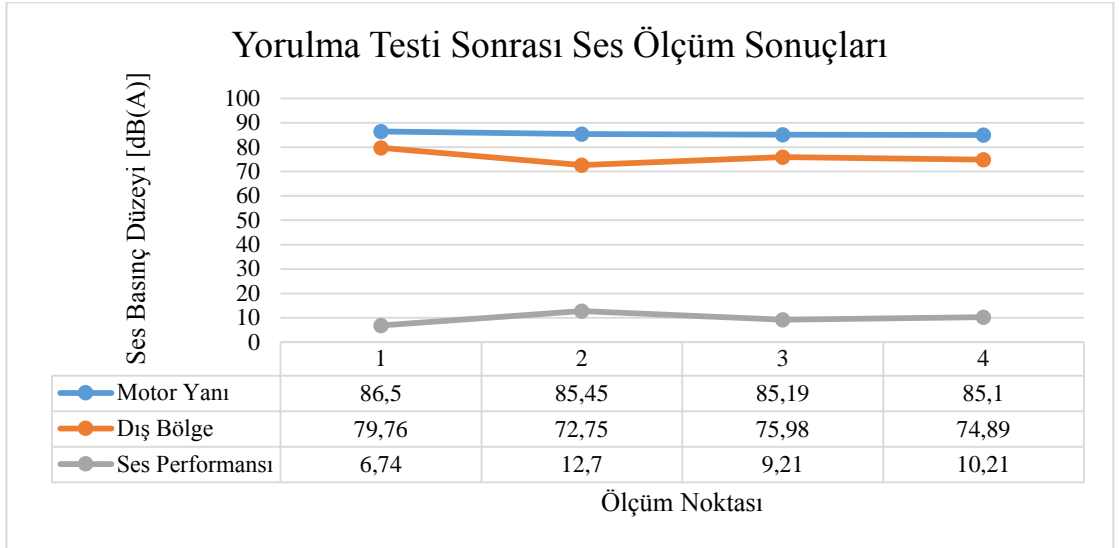
Şekil 4.11'de görüldüğü üzere test düzeneğinin 4 kenarının iç ve dış bölgesinden gürültü ölçümü alınmıştır. Bu noktadaki ses düzeyleri birbirinden çıkartılarak taş yünü malzemesinin ses kesicilik özelliği tespit edilmiştir. Malzemenin yorulma testinden önce akustik performansını gösteren ölçüm sonuçları Şekil 4.14'deki gibidir.



Şekil 4. 14. Yorulma Testi Öncesi Ses Ölçüm Sonuçları

Şekil 4.14'deki sonuçlar incelendiğinde taş yünü malzemesinin ortalama ses kesicilik özelliği 10_dB(A)'dır.

Malzeme 40Hz frekansında titreşime maruz bırakılarak yorulma testine maruz bırakılmıştır. Malzemenin yorulma testinden sonra akustik performansını gösteren ölçüm sonuçları Şekil 4.15'deki gibidir.



Şekil 4. 15. Yorulma Testi Sonrası Ses Ölçüm Sonuçları

Şekil 4.15'deki sonuçlar incelendiğinde taş yünü malzemesinin ortalama ses kesicilik özelliği 9,71dB(A)'dır.



Şekil 4. 16. Yorulma Testi Sonrası Taş Yünü Malzemesi

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bulgular ve tartışma bölümündeki veriler incelendiğinde trafoların gürültü seviyeleri titreşim verileri kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Fakat trafoların gürültü değerlerine tek etki titreşim değeri olmadığı da gözlemlenmiştir. Trafonun bulunmuş olduğu ortam gibi çeşitli etkiler de trafoların gürültü değerlerine etki etmektedir. Fakat ses dalgalar halinde yayılım sağladığından dolayı titreşimden kaynaklı gürültü düzeyinin tam olarak hangi noktada ne kadar ses basınç düzeyine etki ettiği yüksek hassasiyetle tespit edilememektedir. Bu durumun sebeplerinden biri de titreşimin neden olduğu gürültü kaynaktan çıktığı esnada havada belirli miktarda yutulmasıdır. Bu durum da ses ölçüm mikrofونunun bire bir aynı ses düzeyini ölçememesini neden olmaktadır.

Şekil 4.1 ve 4.2 incelendiğinde titreşim verilerinin oluşturduğu grafik ile ses basınç düzeyleri kıyaslandığında aşağıdaki sonuçlar tespit edilmiştir.

1. 1/3H bölgesinden ölçülen titreşim verilerinin oluşturduğu grafik eğrisi (Şekil 4.1) ölçülen ses basınç düzeyi eğrisi ile daha fazla eşleşmektedir. Bu durum da titreşimi oluşturan ana kaynak olan trafo çekirdeğinin konumuyla alakalıdır.
2. 2/3H bölgesinden ölçülen titreşim verilerinin oluşturduğu grafik eğrisi (Şekil 4.2) ölçülen ses basınç düzeyi eğrisi ile eşleşmemektedir. Bu durumun sebebi ise titreşim kaynağından uzaklaşarak titreşim ölçümünün yapılmasıdır.

Gürültü kontrolü uygulamalarında maliyet göz önüne alınarak en fazla kullanılan malzemelerden biri olan taş yünü malzemesidir.

Bu tez çalışmasında taş yünü malzemesinde iki farklı yöntem ile titreşim ile yorulma testine maruz bırakılmıştır.

Birinci yöntem Şekil 4.5'te görülen test düzeneğidir. Taş yünü malzemesi 100Hz ve 200Hz frekans bandında baskın olan titreşime maruz bırakılmıştır. Toplam test süresi 90 dakikadır. Test öncesinde ve test sonrasında taş yünü malzemesinin ses yutum katsayısı empedans tüpü yardımı ile ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları ve karşılaştırma tablosu Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Şekil 4.7'de görüldüğü üzere taş yünü malzemesinin trafoların maruz bırakıldığı özellikle titreşim genliğinde ses yutum değerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

İkinci yöntem Şekil 4.8'te görülen test düzeneğidir. Taş yünü malzemesi bir vibrasyon motoru yardımı ile 40Hz frekans bandında baskın olan titreşime maruz bırakılmıştır. Toplam test süresi 8 saattir. Test başlangıcında ve test sonucunda sistemin iç ve dış bölgesinden gürültü seviyeleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Yorulma testinin başlangıcında taş yünü malzemesinin ortalama ses kesicilik performansı 10 dB(A)'dır. Yorulma testinden sonra ise ses kesicilik performansı 9,71dB(A)'ya düşmüştür. Ortalama %3'lük bir performans kaybı oluşmuştur.

Taş yünü malzemesinde test sonrası yapısal bozulmalara başlamıştır. Özellikle Şekil 4.16'dan da görüleceği üzere dış ortama lifler dökülmeye başlamıştır. Bu durumda akustik performansını düşürmektedir. İki test düzeneğinde de elde edilen veriler ile bu gözlemler birbirlerini doğrular niteliktedir.

KAYNAKLAR

- Attenborough, K. 1982.** Acoustical characteristics of porous materials. *Physics Reports*, , 179–227. [https://doi.org/10.1016/0370-1573\(82\)90131-4](https://doi.org/10.1016/0370-1573(82)90131-4)
- Cobo, P. 2008.** A model comparison of the absorption coefficient of a Microperforated Insertion Unit in the frequency and time domains. *Applied Acoustics*, 69(1):, 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2006.07.011>
- Khan, M., Sharma, B. B., Javed, K. 2016.** Pervasive approach to acoustic source perception in horizontal plane. *Perspectives in Science*, 8:, 667–669. <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.06.053>
- Kmita, G., Kozupa, M., Platek, R., Krol, J., Juskiewicz, G. 2014.** The approach to the noise and vibration management in the power products design. *Advanced Materials Research : Advanced Materials Research*, (Vol. 1016): 234–238. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1016.234>
- Kozupa, M., Kmita, G. 2014.** Investigation on noise radiation to structure vibration correlation in vibroacoustic of transformer. *Vibroengineering Procedia : Vibroengineering Procedia* (Vol. 3), , 160–164.
- Novosel, J., Bošnjak, B., Kelemen, F., Capuder Bikić, K., Pregartner, H., Case, J. 2017.** Influence of the Power Transformer Tank Design on the Sound Level. *Procedia Engineering : Procedia Engineering* (Vol. 202), , 280–287. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.715>
- Peng, L. 2017.** Sound absorption and insulation functional composites. *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction : Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction*, Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing, China pp: 333–373. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100411-1.00013-3>
- Trinh, V. H., Langlois, V., Guillemot, J., Perrot, C., Khidas, Y., Pitois, O. 2019.** Tuning membrane content of sound absorbing cellular foams: Fabrication, experimental evidence and multiscale numerical simulations. *Materials and Design*, 162:, 345–361. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.11.023>
- Qiu, X. 2016.** Acoustic testing and evaluation of textiles for buildings and office environments. *Performance Testing of Textiles: Methods, Technology and Applications : Performance Testing of Textiles: Methods, Technology and Applications*, RMIT University, Melbourne, VIC, Australia, pp; 103–128. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100570-5.00006-2>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Furkan ERGİN
Doğum Yeri ve Tarihi : Şalpazarı / 01.10.1993
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Mediha Hayri Çelik Fen Lisesi, 2011
Lisans : Uludağ Üniversitesi, MMF Otomotiv Mühendisliği
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : PechoM Endüstri Makine A.Ş.– 30.10.2015 tarihinden itibaren.

İletişim (e-posta) : furkanergin61@gmail.com, fergin@pechom.com.tr

Yayımları :