

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAŞIT İÇ ORTAM GÜRÜLTÜSÜNÜN LABORATUVAR ORTAMINDA
OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burçin BAŞEĞMEZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Otomotiv Programı

OCAK 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAŞIT İÇ ORTAM GÜRÜLTÜSÜNÜN LABORATUVAR ORTAMINDA
OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burçin BAŞEĞMEZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Otomotiv Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İsmail Ahmet GÜNEY

OCAK 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503081704 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi **Burçin BAŞEĞMEZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TAŞIT ORTAM GÜRÜLTÜSÜNÜN LABORATUVAR ORTAMINDA OLUŞTURULMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. İ. Ahmet GÜNEY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Murat EREKE**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Özgen AKALIN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Erdem UZUNSOY
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **19 Aralık 2011**
Savunma Tarihi : **30 Ocak 2012**

Anneanneme,

ÖNSÖZ

Günümüzde taşıtlar günlük hayatın bir vazgeçilmezi olmuştur. Her geçen gün artan rekabet, üreticileri en kaliteli ürünü en ucuza üretmeye zorlamaktadır. Kalitenin en önemli göstergelerinden biri olan araç iç ortam gürültüsü de üreticilerin en çok dikkat ettiği kriterlerden biri haline gelmiştir. Aracın kalitesini arttırmak adına, araç içi gürültü kaynaklarını belirlemek, genel gürültü seviyesini tespit etmek için birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar ise yol ve laboratuvar testleri olarak iki temel grupta incelenmektedir.

Bu tez çalışmasında taşıt iç ortam gürültüsü laboratuvar ortamında oluşturularak, sonuçlar yol testleriyle karşılaştırılmıştır. Sonucunda, laboratuvar ortamında, yol koşullarının ne oranda temsil edilebildiği belirlenmiştir.

Tezimin hazırlanması süresince bana maddi, manevi desteğini esirgemeyen sevgili anneme ve babama,

Yurt dışındaki bu önemli projeyi bana ayarlayan, her zaman bildiklerini bana aktararak çalışmanın aksamadan ilerlemesini sağlayan, yazım aşamasında beni yönlendirerek gerekli bütün kaynaklara ulaşmamı sağlayan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet GÜNEY'e,

Tez çalışmasının her aşamasında yanımda olarak beni yönlendiren, hiçbir zaman desteğini eksik etmeyen, staj sorumlum Florian ODELOT'ya,

Sübjektif akustik değerlendirmelerde tecrübesini paylaşmaktan çekinmeyen Dominique OCTEAU'ya,

Laboratuvar testlerinin gerçekleşmesinde çok büyük emeği olan Laurent GIRARDEAU ve Régis TOUVENET'ye,

Bana çok keyifli bir çalışma ortamı sağlayan sevgili çalışma arkadaşlarım, Florian ODELOT, Dominique OCTEAU, Sébastien BAILLON, David LESOURD, Christian TRIGAUD ve Leandro DE-SOUZA LEAO'ya,

Tezimin yazım aşamasında yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşım Emre YILMAZ'a

sonsuz teşekkür ederim.

Ocak 2012

Burçin Başeğmez
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	2
1.2 Kapsam.....	3
2. YOL TESTLERİ	7
2.1 Araç Seçimi	7
2.2 Pist ve Taşıt Hızı Seçimi	7
2.3 Koltuk Pozisyonları ve Yükleme.....	9
2.4 Ölçüm Noktalarının Seçimi.....	11
2.5 Sensör Seçimi ve Kalibrasyonu.....	12
2.5.1 Sensör seçimi	12
2.5.2 Sensör kalibrasyonu	18
2.6 Yazılım Seçimi	19
2.7 Yol Testleri.....	21
2.7.1 Sensörlerin yerleştirilmesi.....	21
2.7.2 Ölçüm öncesi kontroller.....	24
2.7.3 Veri toplama.....	25
2.8 Sinyal İşleme	26
2.9 Sonuçların Hesaplanması	28
2.10 Yol Testlerinin Sonuçları	33
2.10.1 Taşıt tipi	33
2.10.2 Yol koşulları (Pist seçimi).....	34
2.10.3 Taşıt hızı.....	34
2.10.4 Koltuk yükü.....	35
2.10.5 Koltuk pozisyonu	36
3. LABORATUVAR TESTLERİ	41
3.1 Deney Düzeneği	41
3.2 Ölçüm Noktaları	44
3.3 Kontrol Noktaları	44
3.4 Sensör Seçimi	46
3.5 Koltuk Pozisyonları ve Yükleme.....	48
3.6 Ortam Sıcaklığı	49
3.7 Sinyal Üretimi	49
3.7.1 Transfer fonksiyonlarının hesaplanması	49
3.7.2 İlk sinyalin üretimi	51

3.7.3 İterasyonlar	52
3.8 Laboratuvar Ölçümleri	53
3.8.1 Çok eksenli sarsıcı / Kabin düzeneğindeki testler.....	54
3.8.2 Çok eksenli sarsıcı / Yolcu + Sürücü koltuğu düzeneğindeki testler.....	57
3.8.3 Çok eksenli sarsıcı / Yolcu koltuğu düzeneğindeki testler	58
3.8.4 Tek eksenli sarsıcı / Yolcu koltuğu düzeneğindeki testler.....	59
3.9 Sinyal İşleme	60
3.10 Sonuçların Hesaplanması	60
4. İRDELEMELER.....	65
4.1 Araç İçi Gürültüsünü Etkileyen Kriterler	65
4.1.1 Yol koşulları.....	65
4.1.2 Taşıt hızı.....	65
4.1.3 Taşıt tipi.....	65
4.1.4 Koltuk yükü.....	66
4.1.5 Koltuk pozisyonu	66
4.1.6 Ortam sıcaklığı	66
4.2 Deney Düzeneklerinin Karşılaştırılması.....	67
4.2.1 Çok eksenli / Tek eksenli sarsıcı karşılaştırması.....	68
4.2.2 Çok eksenli sarsıcı – Kabin / Yolcu + Sürücü koltuğu / Yolcu koltuğu ..	69
4.3 Yol Testleri / Laboratuvar Testleri Karşılaştırması.....	70
4.3.1 En iyi kontrol stratejisi	70
4.3.1.1 Çok eksenli sarsıcı / Kabin.....	70
4.3.1.2 Çok eksenli sarsıcı / Yolcu + Sürücü koltuğu.....	71
4.3.1.3 Çok eksenli sarsıcı / Yolcu koltuğu.....	73
4.3.2 Önceki nesil araç sinyalleri	74
4.3.2.1 Çok eksenli sarsıcı / Kabin.....	74
4.3.2.2 Çok eksenli sarsıcı / Yolcu + Sürücü koltuğu.....	75
4.3.3 Sürücü koltuğu sinyallerinin yolcu koltuğu üzerindeki etkisi.....	75
5. SONUÇLAR	79
5.1 Araç İçi Gürültüsünü Etkileyen Kriterler	79
5.2 Deney Düzeneklerinin Karşılaştırılması.....	79
5.3 Yol Testleri / Laboratuvar Testleri Karşılaştırması.....	80
KAYNAKLAR.....	81
EKLER.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	109

KISALTMALAR

DR30	: Parke taşı pist, 30 km/h hızda
DR50	: Parke taşı pits, 50 km/h hızda
PS30	: Arnavut kaldırımı pist, 30 km/h
PS50	: Arnavut kaldırımı pist, 50 km/h
PSD	: Power spectrum denstiy (Güç spektrum yoğunluğu)
ESD	: Power spectrum denstiy (Güç spektrum yoğunluğu)
RMS	: Root mean square

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Mikrofon çeşitleri.....	13
Çizelge 2.2 : Tek eksenli ve Üç eksenli ivmeölçerlerin özellikleri.....	16
Çizelge 2.3 : Çeşitli B&K ivmeölçer modelleri özellikleri.....	17
Çizelge 2.4 : Yol testleri.....	25
Çizelge 2.5 : Her ölçüm noktası için DR30 pistinde A aracından elde edilen frekans – ivme değerleri çizelgesi	31
Çizelge 2.6 : Her ölçüm noktası için DR30 pistinde A aracından elde edilen toplam RMS değerleri çizelgesi.....	32
Çizelge 2.7 : Bütün pistler için – koltuktaki ölçüm noktalarında A ve B aracı RMS değerleri karşılaştırması.....	33
Çizelge 2.8 : A ve B araç kasaları için RMS karşılaştırması – Ortalama bütün pistler / Ortalama PS50 hariç bütün pistler.....	34
Çizelge 3.1 : Kontrol noktaları ve stratejileri.....	45
Çizelge 3.2 : Çok eksenli sarsıcı / Kabin düzeneğindeki laboratuvar testleri.....	55
Çizelge 3.3 : Çok eksenli sarsıcı / Yolcu ve Sürücü koltuğu düzeneğindeki laboratuvar testleri.....	57
Çizelge 3.4 : Çok eksenli sarsıcı / Yolcu koltuğu düzeneğindeki laboratuvar testleri.....	58
Çizelge 3.5 : Tek eksenli sarsıcı (Z) / Yolcu koltuğu düzeneğindeki laboratuvar testleri.....	59
Çizelge 3.6 : Her ölçüm noktası için frekans – ivme değerleri çizelgesi.....	61
Çizelge 3.7 : Her ölçüm noktası için toplam RMS değerleri çizelgesi.....	62
Çizelge 3.8 : DR30 için – Farklı kontrol stratejilerinde bütün ölçüm noktalarında laboratuvar – yol ivme titreşimlerinin yüzde cinsinden karşılaştırması.....	63
Çizelge 3.9 : Bütün pistler için – farklı kontrol stratejilerinde – X, Y, Z yönlerindeki ortalama hataları.....	64
Çizelge 4.1 : Farklı sıcaklıklardaki araç için gürültüsü.....	67
Çizelge 4.2 : Çok eksenli sarsıcı / yolcu koltuğu-6 kanal, çok eksenli sarsıcı / yolcu koltuğu-1 kanal, tek eksenli sarsıcı / yolcu koltuğu-1 kanal; bütün pistlerdeki ortalama titreşim karşılaştırması ve sübjektif dinleme değerlendirmesi.....	69
Çizelge 4.3 : ITER-Ön konsol, ITER-Koltuk, ITER; bütün pistlerdeki, iterasyon noktaları ve koltuk noktalarında ayrı ayrı alınan ortalama titreşim karşılaştırması ve sübjektif dinleme değerlendirmesi.....	71
Çizelge 4.4 : 2 Koltuk-7 kanal, 2 Koltuk-6 kanal, 2 Koltuk-6 kanal”; bütün pistlerdeki ortalama titreşim karşılaştırması ve sübjektif dinleme değerlendirmesi.....	72
Çizelge 4.5 : 1 Koltuk-6 kanal, 1 Koltuk 1 kanal; bütün pistlerdeki ortalama titreşim karşılaştırması ve sübjektif değerlendirmesi.....	73

Çizelge 4.6 : ITER-Ön konsol A aracı, ITER-Ön konsol B aracı sinyallerinin A araç kabini üzerinde çalınması bütün pistlerdeki ortalama titreşim versinin karşılaştırması ve sübjektif dinleme değerlendirmesi.	74
Çizelge 4.7 : 2 koltuk-6 kanal A aracı, 2 Koltuk-6 kanal B aracı sinyallerinin A aracı koltuklarında çalınması, bütün pistlerdeki ortalama titreşim versinin karşılaştırması ve sübjektif dinleme değerlendirmesi	75
Çizelge 4.8 : Yolcu koltuğu-6 kanal-yolcu sinyalleri, yolcu koltuğu-6 kanal-sürücü sinyalleri-Z titreşimleri ters çevrilmiş, yolcu koltuğu-6 kanal-sürücü sinyalleri-Z titreşimleri ters çevrilmemiş; bütün pistlerdeki ortalama titreşim verisinin karşılaştırması ve sübjektif dinleme değerlendirmesi	77
Çizelge A.1 : Ölçüm noktaları.	86

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Parke taşı pist (DR).....	8
Şekil 2.2	: Arnavut kaldırımı pist (PS).....	8
Şekil 2.3	: Koltuk pozisyonları.....	10
Şekil 2.4	: Manken.	11
Şekil 2.5	: Mikrofonların iç ve dış yapısı.	13
Şekil 2.6	: Serbest alan.	14
Şekil 2.7	: Dağınık alan.	14
Şekil 2.8	: Basınç alanı.	14
Şekil 2.9	: Yol testlerinde kullanılan mikrofonlar.....	15
Şekil 2.10	: Tek eksenli ivmeölçer.	16
Şekil 2.11	: Üç eksenli ivmeölçer.	16
Şekil 2.12	: Mikrofon kalibrasyon cihazı.	18
Şekil 2.13	: Mikrofonların kalibrasyonu.....	18
Şekil 2.14	: İvmeölçer kalibrasyon cihazı.....	19
Şekil 2.15	: DataRec 4 Analizörü.	20
Şekil 2.16	: HEAD Recorder yazılımı.	20
Şekil 2.17	: HEAD Analyzer yazılımı.	21
Şekil 2.18	: Loctite.....	22
Şekil 2.19	: Beyaz yapıştırıcı.	22
Şekil 2.20	: İvmeölçer eksen takımı.	23
Şekil 2.21	: Araç eksen takımı.	23
Şekil 2.22	: İvmeölçer yerleşimi örnek 1.....	23
Şekil 2.23	: İvmeölçer yerleşimi örnek 2.....	24
Şekil 2.24	: Butterworth filtresi.	27
Şekil 2.25	: Chebyshev filtresi.....	27
Şekil 2.26	: Bir ivme sinyalinin ortalama ve RMS değerleri.....	30
Şekil 2.27	: DR30 – X Yönü – Koltuk kızıağı sağ ön / arka – A ve B aracı frekansa bağlı ivme titreşimleri karşılaştırması.	32
Şekil 2.28	: DR30 pisti – Z yönü – farklı yüklerdeki koltuk kızıağı ivme titreşimlerinin frekansa bağlı değişimi.....	35
Şekil 2.29	: DR30 pisti – Y yönü – farklı yüklerdeki koltuk başlığı ivme titreşimlerinin frekansa bağlı değişimi.....	36
Şekil 2.30	: DR30 pisti – Z yönü – farklı pozisyonlardaki koltuk kızıağı ivme titreşimlerinin frekansa bağlı değişimi.....	37
Şekil 2.31	: DR30 pisti – X yönü – farklı pozisyonlardaki koltuk oturağı ivme titreşimlerinin frekansa bağlı değişimi.....	38
Şekil 2.32	: DR30 pisti – X yönü – farklı pozisyonlardaki koltuk sırtı ivme titreşimlerinin frekansa bağlı değişimi	38
Şekil 3.1	: Çok eksenli sarsıcı üzerine monte edilmiş taşıt ön kabini.	42
Şekil 3.2	: Çok eksenli sarsıcı üzerine monte edilmiş sürücü ve yolcu koltuğu.	42
Şekil 3.3	: Çok eksenli sarsıcı üzerine monte edilmiş yolcu koltuğu.....	43
Şekil 3.4	: Tek eksenli sarsıcı üzerine monte edilmiş yolcu koltuğu.	43

Şekil 3.5	: Mikrofonların kabin içinde yerleşimi.	47
Şekil 3.6	: Ön sağ giriş ölçüm ve kontrol noktaları ivmeölçerleri.	47
Şekil 3.7	: Sol ön blok alt ayağı ölçüm ve kontrol noktaları ivmeölçerleri.....	48
Şekil 3.8	: DR30 – X yönü – Yol sinyali / ITER-Ön konsol / ITER-Koltuk kontrol stratejilerinin frekansa bağlı ivme titreşimleri karşılaştırması.	62
Şekil 4.1	: Çok eksenli sarsıcı / Kabin düzeneğindeki en iyi kontrol stratejisi : ITER-Ön konsol.	71
Şekil 4.2	: Çok eksenli sarsıcı / Yolcu + Sürücü koltuğu düzeneğindeki en iyi kontrol stratejisi : 2 Koltuk-7 kanal.	72
Şekil 4.3	: Çok eksenli sarsıcı / Yolcu koltuğu düzeneğindeki en iyi kontrol stratejisi : Yolcu koltuğu-6 kanal.....	73
Şekil 4.4	: Koltukların araç içindeki hareketi.	76
Şekil A.1	: Ölçüm noktaları : Kasa üzerindeki ölçüm noktaları. (a) Ön konsol üzerindeki ölçüm noktaları. (b) Koltuk üzerindeki ölçüm noktaları. (c)..	88
Şekil A.2	: Kullanılan sensörlerin ürün katalogları : Mikrofon ürün kataloğu. (a) İvmeölçer ürün kataloğu. (b).....	90
Şekil A.3	: Yazılım ürün katalogları : DataRec 4 Ürün kataloğu. (a) Head Recorder Ürün kataloğu. (b) Artemis Data Acquisition Ürün kataloğu. (c).....	105
Şekil B.1	: Sarsıcı çeşitleri : Teksenli sarsıcı. (a) Çok eksenli sarsıcı. (b)	107
Şekil B.2	: Kontrol noktaları. Kasa ve ön konsol üzerindeki kontrol noktaları. (a) Yolcu ve sürücü koltuğu üzerindeki kontrol noktaları. (b)	108

TAŞIT ORTAM GÜRÜLTÜSÜNÜN LABORATUVAR ORTAMINDA OLUŞTURULMASI

ÖZET

Günümüzde taşıtlar, insan hayatının vazgeçilmez parçaları haline gelmiştir. Gelişen teknoloji, artan rekabet, taşıt üreticilerini daha ucuza daha kaliteli araçlar yapmaya zorlamaktadır. Araç kalitesini gösteren en önemli unsurlardan biri de araç akustiğidir. Araç ne kadar sessizse, o oranda kaliteli olarak kabul edilir. Taşıtlarda en önemli gürültü kaynağı motordur. Dolayısıyla araç içi gürültüsünü iyileştirmek adına, günümüzde daha sessiz motorlar tasarlanmaktadır. Buna ek olarak, her sene devreye giren katı emisyon kriterleri üreticileri farklı arayışlara itmiş, elektrikli araçlara yönelim başlamıştır. Sonuç olarak, motor gürültüsü ciddi oranda azalmış ve motorun maskeleye etkisi neredeyse ortadan kalkmıştır. Bu da araç içinde yeni gürültü kaynaklarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bütün bu gelişmeler ışığında araç içi akustiği; gürültü seviyesi belirlenmesi, yeni gürültü kaynaklarının tespiti her geçen gün daha da önem kazanmaktadır.

Gürültünün birçok parametreye bağlı olması nedeniyle, araç akustiği çalışmalarında kullanılan en iyi yöntem deneysel uygulamalardır. Her yeni projede mutlaka önceden dikkate alınan tasarım kriterleri olmakla beraber, geliştirme ve son akustik onay mutlaka deneysel yollarla yapılmaktadır. Kullanılan deneysel yöntemler, yol testleri, laboratuvar testleri olarak iki farklı grupta incelenebilir. Yol testlerinde, önceden belirlenmiş parkurlarda, belirli hızlarda araç üzerinde akustik testler gerçekleştirilir. Laboratuvar testlerinde ise, sarsıcı üzerine farklı sistemler monte edilebilir (araç kasası, araç içi parçaları); o sistemler daha önceden üretilmiş farklı sinyal gruplarıyla tahrik edilebilir; gürültü seviyesi ve kaynakları belirlenebilir. Yol testlerinde çalışma süresinin daha uzun olmasına ek olarak, tekrarlanabilirlikle ilgili ciddi sıkıntılar vardır. Laboratuvar testleri daha kısa zamanda daha esnek bir çalışma ortamı sağlamaktadır. Dolayısıyla son yıllarda laboratuvar testleri, yol testlerine göre daha çok tercih edilmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı taşıt iç gürültüsünün laboratuvar ortamında simüle edilmesi ve laboratuvar ortamında elde edilen sonuçların yol testleri sonuçlarıyla karşılaştırılmasıdır. Bunun için öncelikle yol testleri gerçekleştirilmiştir. Yol testlerinde hem araç içi gürültü seviyesi ve kaynakları belirlenmiş hem de pistte araç üzerinden titreşim verileri toplanmıştır. Daha sonra, bu titreşim verileri laboratuvar ortamında, sinyal üretmek kullanılmış, yol şartları sarsıcı üzerinde oluşturulmuştur. Son olarak, laboratuvar ortamında elde edilen sonuçlar, yol testleriyle karşılaştırılmış, gerçeğe ne oranda yaklaşıldığı tespit edilmiştir. Yol testleri – laboratuvar testleri karşılaştırmasına ek olarak, laboratuvar testlerinde farklı deney düzenekleri kullanılarak, bu düzenekler arasında bir karşılaştırma yapılmış, düzeneklerin avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir.

CREATION OF THE VEHICLE INTERIOR NOISE IN THE LABORATORY

SUMMARY

Nowadays, vehicles became one of the most indispensable items in a person's life. Due to the new technologies and increasing competition, car makers are obliged to design high quality cars with a lower price. One of the most important criteria which show the good quality is the vehicle acoustics. It is considered that if the vehicle is silent, it has a good quality. The most dominant noise source in a car is the engine. So, in order to improve the vehicle interior acoustics, more silent engines are being designed. In addition to that, because of the strict emission levels permitted by the European norms, the manufacturers are forced to design low emission vehicles. Due to those low emission requirements there is an increasing trend for electrical vehicles. As a result, the engine noise is significantly reduced in new vehicles (nearly zero for the electrical ones). Since the masking effect of the engine is decreased, new noise sources became more perceptible. In order to detect these new noise sources in the car, vehicle interior acoustics studies became more and more important.

Noise is affected by lots of parameters. At the early stages of a vehicle design, theoretical design rules are being used. But in the development and the last approval stages, experimental methods are being used in vehicle acoustics studies. These methods can be grouped as 'road tests' and the 'laboratory tests'. In the road test applications, the vehicle can be tested on the designated test tracks at critical speeds. In the laboratory tests, the road conditions are created on a system called 'shakers'. On the shaker system, different equipment (car body, seats, etc...) can be mounted and different road conditions can be simulated. This way, the noise level and the noise sources can be detected. Road tests have long test times compared to the laboratory tests and they do not have a good repeatability. Laboratory tests can provide more flexible working conditions in a shorter duration. That's why laboratory tests are mostly preferred in vehicle acoustics applications.

The aim of this study is to create the road conditions in the laboratory and to compare them with the road test results. At the beginning, vehicle interior sound level and the noise sources were detected on the road and vibration data were collected at critical measuring points. Then, in the laboratory, those vibration data were used to create the road signals on shaker system. These new signals are used to move the shaker and the road conditions are simulated. Finally, the vibration data were collected and noise sources were detected. Consequently, in the comparison part, laboratory test results were compared with the road test results. In addition to road – laboratory comparison, different laboratory systems were tested and their results were evaluated, their advantages and disadvantages were noted.

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji bir yandan insan hayatını kolaylaştırdığı gibi bir yandan da çevre kirliliğine sebep olmakta ve doğal yaşamı gün geçtikçe daha da çok tehdit etmektedir. Dolayısıyla çevre bilincini yaygınlaştırmak ve doğayı kurtarmak adına yapılan çalışmalar gittikçe artmaktadır. Gürültü kirliliği de belli başlı çevre kirliliklerinden biri olmakla beraber, karayolu araçlarının oluşturduğu gürültü ise gürültü kirliliğinin en önemli bileşenlerindendir. Bu sebeple araç akustiği son yıllarda üreticilerin çok önem verdiği bir konu haline gelmiştir.

Araç akustiği, iç ve dış araç akustiği şeklinde gruplandırılabilir. Araç dışı gürültü düzeyi kanunlarla sınırlandırılmış olup araç içi gürültü düzeyi hakkında kanuni bir sınır bulunmamaktadır. Fakat araç içi gürültüsü sürüş konforunu ve aracın kalitesini gösteren bir parametre olduğundan firmalar, rekabetin iyice arttığı günümüzde bu konuya da çok önem vermektedirler.

Bir taşıtta en baskın gürültü kaynağı motordur. Sessiz bir taşıt yapabilmek için üreticiler motor gürültüsü üzerinde yoğunlaşmışlardır. Bu sebeple, motor teknolojisi gelişmiş ve günümüzde artık eskiye göre daha sessiz motorlar yapılmaktadır. Bununla birlikte araçtan çevreye olan gaz salınımını sıfıra indirmek için otomobil üreticileri elektrikli taşıtlara yönelmektedirler. Bu da içten yanmalı motorlar yerine elektrik motorlarının kullanılması, yani, motor gürültüsünün ‘neredeyse sıfıra’ inmesi anlamına gelmektedir. Motor gürültüsünün azalması ise, araç içinde başka gürültülerin duyulur hale gelmesine sebep olmaktadır. Yani yeni gürültü kaynakları ortaya çıkmaktadır.

Motor gürültüsünün azalmasıyla etkin hale gelen gürültüler, araç içindeki küçük parçaların birbirine sürtünmesi, çarpması ya da parçaların titreşimi sebebiyle ortaya çıkan takırtılardır. Bu istenmeyen sesler genelde, ön konsol, koltukları, orta dikiz aynası, araç içi giydirme... kaynaklı olabilir. Bu gürültüler araca ve iç dizayna göre değişiklik göstermektedir. Bu sebeple bu tip gürültü, daha çok deneysel yolla tespit edilebilmektedir.

Araç iç ortam gürültüsünün tespiti yol üzerinde ya da laboratuvar ortamında yapılabilir. Yol testlerinde, taşıt, kabin gürültüsü açısından kritik pistler üzerinde yine gürültü açısından kritik hızlarda sürülür. Sürüş esnasında, konunun uzmanları taşıttaki gürültü kaynaklarını ve gürültü seviyesinin kabul edilebilir derecede olup olmadığını tespit ederler, aynı zamanda sensörlerle ölçülen çıktılar daha sonra işlenerek değerlendirilir. Gürültü seviyesi firmanın kabul ettiği değerlerin üstündeysse gürültü önleyici ya da azaltıcı çeşitli önlemler alınır. Laboratuvar testlerinde ise yol koşullarını temsil eden sinyaller bir sarsıcı yardımıyla araca verilir. Bu sinyaller, yol testleri esnasında araçtan toplanan titreşim verileri kullanılarak oluşturulan sinyallerdir. Daha sonra, araç içindeki gürültü seviyesi sübjektif değerlendirme ve sensörlerle elde edilen verilerle belirlenir. Gürültü seviyesinin istenilene uygun olup olmadığına karar verilir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Araç iç ortam gürültüsünün tespiti yol testleriyle ya da laboratuvar ortamında gerçekleştirilebilir. Bu iki yöntem karşılaştırıldığında bunların birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Yol testleri daha basit ve gerçeğe daha yakındır. Fakat bu yöntem, tekrarlanabilirliğinin daha zayıf olması, daha çok emek ve zaman istemesi, maliyetin daha yüksek olması gibi olumsuzluklar da doğurmaktadır. Bu sebeple laboratuvar testlerine gün geçtikçe artan bir yönelim vardır.

Bu çalışma temel olarak araç içi gürültü seviyesinin belirlenmesinde yol ve laboratuvar testlerinin bir karşılaştırmasıdır. Projenin amaçları detaylı olarak ise aşağıda belirtilmiştir.

- Araç iç gürültüsünü etkileyen kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlerin titreşim ve gürültüyü ne yönde etkilediğinin tespit edilmesi
 - o Yol koşulları
 - o Taşıt hızı
 - o Koltuk pozisyonları
 - o Koltuk yükü
 - o Ortam sıcaklığı
- Laboratuvar ortamında kullanılan test düzeneklerinin karşılaştırması

- o Tek eksenli sarsıcı / Çok eksenli sarsıcı karşılaştırması
- o Çok eksenli sarsıcı üzerinde – Taşıt ön kabini / Yolcu + Sürücü koltuğu / Yolcu koltuğu karşılaştırması
- Laboratuvar testleriyle, yol şartlarının ne oranda temsil edildiğinin belirlenmesi
 - o En iyi kontrol stratejisinin belirlenmesi
 - o Önceki nesil araç yol sinyallerinin laboratuvarda yeni nesil araç kabini üzerinde çalınması – sonuçların yol sinyalleriyle karşılaştırması
 - o Sürücü koltuğu yol sinyallerinin laboratuvarda yolcu koltuğunda çalınması – sonuçların yol sinyalleriyle karşılaştırması

1.2 Kapsam

Projenin amaçları doğrultusunda öncelikle araç iç gürültüsünü etkileyebilecek kriterler belirlenmiş ve bu kriterlerin araç akustiğine etkisi araştırılmıştır. Yol testlerinde daha önceden belirlenmiş bir taşıt kullanılarak, farklı yol koşulları ve hızlarda, değişik koltuk pozisyonu ve yüklerinde birçok deneme gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerde öncelikle aracın titreşim açısından stratejik noktaları belirlenmiş, daha sonra bu noktalara kalibrasyonu yapılmış ivmeölçerler yerleştirilmiştir. İvmeölçerler veri toplamak için kullanılan ekipmanlara (analizör, bilgisayar) bağlanmış ve ölçüm noktalarından titreşim dataları toplanmıştır. Veri toplamak için Artemis adlı program kullanılmıştır. Titreşim verisi toplanırken bir yandan da uzmanlar tarafından dinleme ve gürültü kaynağı tespit etme çalışması yapılmıştır. Anlatılan bütün bu testler deneme yapılan ilk aracın bir eski versiyonu üzerinde bir kez daha tekrarlanmıştır. Ortam sıcaklığının araç akustiğine etkisi laboratuvar testlerinde belirlenmiştir.

Yol testlerinden sonra bir sinyal işleme süreci gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte toplanılan ivme verilerinin filtrelenmiş, örnekleme frekansları değiştirilmiş ve sarsıcı da kullanılabilecek formata dönüştürülmüştür.

Laboratuvar testlerinde ise öncelikle kullanılan deney düzeneklerinin transfer fonksiyonları hesaplanarak, sistemin karakteristiği belirlenmiştir. Hesaplanan

transfer fonksiyonları ve yoldan toplanan sinyaller yardımıyla deney düzeneklerinde çalınması gereken sinyaller üretilmiştir.

Çalışmanın diğer amaçları, farklı deney düzeneklerinin ‘yol şartları simülasyonu’ açısından karşılaştırılması ve aynı şekilde laboratuvar testleriyle yol şartlarının ne oranda temsil edilebildiğinin tespitidir. Laboratuvar testleri çok yönlü ve tek yönlü (z yönü) olmak üzere iki farklı sarsıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Testlere ilk olarak en karmaşık sistemden yani çok eksenli sarsıcı üzerine monte edilen araç kabini testi ile başlanıp testler en basit olanla yani tek eksenli sarsıcı üzerine monte edilen yolcu koltuğu testi ile bitirilmiştir. Başlangıçta sarsıcıya taşıt kabini (daha sonra resimlerle açıklanacak) monte edilmiştir. Yol testleri esnasında ivmeölçer yerleştirilen bölgelere de ivmeölçerler yine yerleştirilmiştir. Daha sonra, iterasyonlarla üretilen sinyaller çalınarak yol koşullarına ne kadar yaklaşıldığı, kabin gürültüsü ve kabindeki gürültü kaynakları uzmanlarca sübjektif olarak tayin edilmiştir. Ayrıca, bu testte toplanan ivme verileri yol testlerinde toplanan ivme verileriyle karşılaştırılarak, oluşturulan sinyallerin pist koşullarıyla karşılaştırılması objektif olarak da sağlanmıştır. Aynı işlemler iki koltuğun (sürücü – yolcu) ve tek koltuğun (yolcu) çok eksenli sarsıcı üzerine ve tek koltuğun (yolcu) tek eksenli sarsıcı üzerine monte edilmesi için tekrarlanmıştır.

Kullanılan esas aracın bir önceki versiyonundan da yol üzerinde titreşim verisi toplandığından bahsedilmişti. Bir önceki versiyondan toplanan veriler, sarsıcı için uygun sinyallere çevrildikten sonra, laboratuvar ortamında, çok eksenli sarsıcıda yeni (esas) model üzerinde (kabinin; yolcu ve sürücü koltuklarının; yolcu koltuğunun sarsıcı üzerine monte edilmiş hal için) çalınmıştır. Bu çalışmayla aynı modelin iki farklı nesil aracındaki benzerlikler ve farklılıklar gözlenmiştir.

Ek olarak, çok eksenli sarsıcıya sadece yolcu koltuğunun monte edildiği deney düzeneğinde, yolcu koltuğunda sürücü koltuğu sinyalleri çalınmıştır. Bu şekilde koltuğun titreşim ve akustiğe olan etkisi belirlenmiştir.

Daha önce belirtildiği gibi sıcaklığın taşıt gürültüsüne etkisi araştırılmak istenmiştir. Bu sebeple laboratuvar testleri, en karmaşık test olan, taşıt kabinin çok eksenli sarsıcı üzerine monte edildiği hal için üç ayrı deney sıcaklığında tekrar yapılmış ve ortam sıcaklığıyla taşıt kabin gürültüsü arasındaki ilişki saptanmıştır.

Son olarak bütün deney düzenekleri için yol testleri, laboratuvar testleri arasında karşılaştırmalar yapılmış, belirtilen amaçlar doğrultusunda sonuçlar açıklanmıştır.

2. YOL TESTLERİ

2.1 Araç Seçimi

Taşıt iç gürültüsü ölçülmesi istenilen bir projede, kullanılacak karayolu taşıtı, projenin amacına göre değişiklik gösterebilir. Amaca göre binek araç, ya da daha çok yolcu taşımada kullanılan minibüs, otobüs gibi ticari ya da yük taşımada kullanılan kamyonet, kamyon gibi araçlarda ölçüm yapılabilir.

Bu projede esas amaç yol ve laboratuvar ölçümlerinin yapılış şekli, bu yöntemlerin karşılaştırılması gibi genel amaçlar olduğu için ölçümü diğerlerine göre daha az karmaşık olan binek araç seçilmiştir. Ölçüm yapılan alanı küçültmek yani ölçümü daha basit hale getirmek için de ölçümler, sadece sürücü ve yolcu koltuklarının bulunduğu, kabinin ön tarafında gerçekleştirilmiştir. Araç seçilirken göz önünde bulundurulmuş başka bir husus da sıfırdan oluşturulmuş yepyeni bir model seçilmemesidir. Şöyle ki, daha önce de bahsedildiği üzere, yol testleri, bir aracın mevcut versiyonu ile bu aracın bir önceki nesil modeli üzerinde yapılmıştır. Dolayısıyla araç seçiminde esas deney aracının en azından ikinci nesil araç olmasına özen gösterilmiştir. Yapılan testler genel testler olduğundan marka, model de önem taşımamaktadır.

Bu tez çalışmasında seçilen araçlardan bahsedilirken, araçların karışmaması için, esas deney aracı A aracı, A aracının bir önceki versiyonu olan araç da B aracı olarak adlandırılacaktır.

2.2 Pist ve Taşıt Seçimi

Aracın kullanıldığı yol, kabin gürültüsünü büyük ölçüde etkileyen kriterlerden biridir. Düzgün yolda kabin gürültüsü az olurken, bozuk yolda araç içindeki parçaların titreşimi, birbirine sürtünmesi ve çarpması da arttığından kabin gürültüsü de o oranda artacaktır. Araç içi genel gürültü seviyesinin belirlenmesi için düzgün yolda da testler yapılabilir. Fakat aracın düz yolda giderken sessiz olması

bozuk yoldada sessiz olacağı anlamına gelmemektedir. Dolayısıyla bozuk yolda ortaya çıkabilecek gürültü kaynaklarını tespit edilebilmesi için testler yoğunluklu olarak bozuk yollarda yapılmaktadır.

Genelde kullanılan pistler firmadan firmaya fark gösterebilmektedir. Firmalar kendi ihtiyaçlarına göre özel tasarım pistler oluşturmakta ve akustik testleri bu özel pistlerde gerçekleştirmektedirler. Bu özel tasarım pistler birbirinden farklı olmasına rağmen tasarım mantıkları benzerlik göstermedir. Şöyle ki, araçta oluşabilecek bütün gürültü tiplerinin meydana gelebilmesi için kasayı geniş bir frekans aralığında tahrik eden ve gerçek hayattaki yol şartlarından daha zorlu koşullar sağlayan pistler kullanılmaktadır.

Bu projede, parke taşı (DR) ve arnavut kaldırımı (PS) olarak adlandırılan iki farklı tip pist kullanılmış olup bu pistler Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Bu pistler, aracın geniş bir frekans aralığında tahrik edilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 2.1 : Parke taşı pist (DR).



Şekil 2.2 : Arnavut kaldırımı pist (PS).

Sürüş hızı da kabin gürültüsü için, pist kadar etkili bir kriterdir. Düşük hızlarda araç daha az tahrik tahrik edilirken, yüksek hızlarda araç tahriki artmaktadır. Fakat belirli bir hız değerinden sonra da hız artışı aracın tahrikinde çok büyük farklar yaratmamaktadır. Dolayısıyla genelde sürüş hızları daha önceden edinilmiş tecrübelerle göre belirlenmektedir.

Bu projede, araç 30 km/h ve 50 km/h hızlarda sürülmüştür. 30 km/h, gerçek hayatta bu tip yollardan ortalama bir geçiş hızıdır. Yine bu tip yollarda, 50 km/h'ten daha yüksek hızlarda araç içi gürültüsü çok büyük bir değişim göstermemekte ve bu tip yollar üzerinden genelde 50km/h'ten daha yüksek hızlarda geçilmemektedir. Bu sebepler ve daha önceden elde edilmiş tecrübeler doğrultusunda sürüş hızları 30 km/h ve 50 km/h olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, parke taş pist üzerinden 30km/h (DR30) ve 50km/h (DR50), arnavut kaldırımı pist üzerinden 30km/h (PS30) ve 50km/h (PS50) hızlarda geçilerek ölçümler yapılmıştır.

2.3 Koltuk Pozisyonları ve Yükleme

Koltuk pozisyonları ve yükleme aracın kullanıcısına göre farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmada da değişik koltuk pozisyonlarının ve yüklerinin koltuk titreşimine etkisi araştırılmak istenmektedir. Farklı koltuk pozisyonlarının ve yüklerinin koltuk üzerindeki noktaların (oturak, sırt, başlık) titreşiminde fark yaratması beklenmektedir. Fakat pozisyon ve yükleme değişiminin koltuk kazağı üzerindeki titreşime etki edip etmediği merak edilmektedir. Bu sebeple, pist üzerinde aşağıda verilen değişik koltuk konumlarında ve yüklemelerinde titreşim verisi toplanmıştır.

Koltuk pozisyonları:

1. Koltuk kazağı konumu: Ön

Koltuk yüksekliği: Yüksek

Koltuk başlığı konumu: Alçak

2. Koltuk kazağı konumu: Orta

Koltuk yüksekliği: Orta

Koltuk başlığı konumu: Yüksek

3. Koltuk kızıağı konumu: Arka

Koltuk yüksekliğı: Alçak

Koltuk başlığı konumu: Yüksek

Koltuk pozisyonları sırasıyla Şekil X'te verilmiştir.



Şekil 2.3 : Koltuk pozisyonları.

Kısa boylu biri koltuğı olabildiğince önde, yüksekte, koltuk başlığını ise en alçak konumda kullanacaktır. 1. Pozisyon kısa boylu insanın kullanım şeklini temsil etmektedir. Uzun boylu biri ise koltuğı olabildiğince arkada, alçakta, koltuk başlığını ise en yüksek konumda kullanacaktır. 3. Pozisyon da uzun boylu birini temsil etmektedir. 2. Pozisyon ise ortalama bir insan için oluşturulmuştur. Bu pozisyonda koltuk başlığının yüksek olarak alınmasının sebebi ise koltuk başlığının yüksek pozisyonda daha kritik (daha çok titreşim ve gürültü yaratacağı) olacağı tahmin edildiğinden, orta boylu kişi için gürültü açısından en kötü senaryoda ölçüm yapılmak istenmiştir.

Koltuk ağırlıkları:

1. Boş
2. İnsan (50 kg)
3. Su dolu manken (70kg)

Kullanılan mankenin bacak kol ve baş kısımları bulunmamaktadır. Bu kısımların eksikliğinin titreşim ve gürültüye etkisini görmek amacıyla testler yolcu koltuğunun insan ile yüklü olduğu durum için de tekrarlanmıştır.



Şekil 2.4 : Manken.

Yol testlerinde aracı kullanan sürücü değiştirilemediğinden koltuk yüklemeleri sadece yolcu koltuğuna uygulanmıştır. Buna karşın koltuk pozisyonları hem sürücü hem de yolcu koltuğunda değiştirilmiştir.

2.4 Ölçüm Noktalarının Seçimi

Yol koşullarının laboratuvar ortamında simüle edilebilmesi için yol testlerinde mümkün olan en çok noktadan titreşim verisi toplanmıştır. Bu simülasyonun gerçeğe en yakın şekilde gerçekleştirilebilmesi için taşıt üzerinde homojen bir şekilde dağılmış noktalardan ölçüm almak gerekmektedir. Bu demektir ki kabinde koltuklar (koltuk kızıağı, oturağı, sırtı, başlığı gibi), ön konsol (ön konsol bağlantı noktaları) ve gövde üzerinde çeşitli noktalardan veri toplamak gerekmektedir. Fakat kabindeki bütün noktalardan ölçüm alınması mümkün değildir. Buna ek olarak, ölçüm noktasının artması ölçümü daha da karmaşıklştıracak ve hataya sebep olacaktır. Bu sebeple, ölçüm noktası sayısında bir optimizasyona gidilmelidir. Bu konuda eğer daha önce yapılmış bir çalışma varsa ölçüm noktalarının seçiminde bu çalışmalardan yararlanılması önerilir ki ölçüm yeri ve sayısı en iyi deneysel yollarla belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada seçilen ölçüm noktaları gövde üzerinden, ön konsoldan ve koltuklardan (sürücü – yolcu) alınan ölçüm noktaları olarak üç ayrı grupta incelenebilir. Gövde ve ön konsol üzerinden alınan ölçüm noktalarının seçimi için daha önce yapılan bir projeden yararlanılmıştır. Daha önce gerçekleştirilen bu projede daha spesifik

alışılıp kabindeki gürültü kaynaklarının belirlenmesi yerine sadece n konsoldaki gürültü kaynaklarının belirlenmesi üzerine yoğunlaşılımtır. Bu sebeple bu projede yapılan aşamalara benzer aşamalar izlenmiştir. n konsol için yapılan bu çalışmada gövde ve n konsol üzerinde bulunan birçok noktadan titreşim verisi toplanmış ve bunlar sarsıcı üzerinde elde edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak yedi adet nokta belirlenmiş ( nokta gövde, dört nokta n konsol üzerinde) ve sadece bu noktalardan titreşim verisi toplanıp bunların sarsıcı üzerinde çalınması durumunda yol koşullarının en iyi şekilde temsil edildiği görülmüştür. Dolayısıyla bu tez çalışmasında n konsol ve gövde üzerindeki noktalar için deneme yapılmamış ve önceki tecrübelerden yararlanılmıştır.

Koltuklardaki lm noktaları ise yolcu ve sürücü koltuğu üzerindeki noktalar olarak iki grupta incelenebilir. Koltuklarla ilgili daha önce herhangi bir çalışma bulunmadığından koltuk üzerinde alınan nokta sayısı gövde ve n konsola oranla daha fazladır (9 nokta yolcu koltuğu, 8 nokta sürücü koltuğu üzerinde). Koltuk üzerinde seçilen ölçüm noktaları ise koltuğun gövdeye bağlandığı noktalar ve koltuk üzerinde titreşimin kritik olabileceği noktalardır.

Sürücü koltuğu üzerinde ise yolcu koltuğunda bir eksik dışında seçilen bütün ölçüm noktaları mevcuttur. Sürücü koltuğu sırtı orta noktasından titreşim verisinin alınmamasının sebebi ise analizörün 24 kanallı olması ve bu noktanın ölçüm noktalarına eklenmesi halinde kullanılan ivmeölçer sayısının 25'e çıkması ve analizörde ivmeölçeri bağlayacak yer kalmamasıdır.

Toplamda 24 adet ölçüm noktası bulunmaktadır. Seçilen bu ölçüm noktaları EK A.1'de verilen izelge ve resimlerde gösterilmiştir.

2.5 Sensör Seçimi ve Kalibrasyonu

2.5.1 Sensör seçimi

Bir araç içi gürültüsü belirleme çalışmasında kullanılan sensörler ivmeölçerler ve mikrofonlardır. Bu çalışmada kabin gürültüsü ölçümü için 3 adet mikrofon ve titreşim ölçümü için de 24 adet ivmeölçer kullanılmıştır. Aşağıda mikrofon ve ivmeölçerlerin çalışma prensipleri, başlıca eşitleri ve hangi kriterlere dayanarak seçildiği hakkında genel bir bilgi verilmiştir.

Mikrofonlar ses dalgalarını (basınç değişimini) elektriksel titreşimlere çeviren elektroakustik cihazlardır. Mikrofonlarda bu dönüşümü sağlayan sistem diyafram-metal plaka sistemidir. Metal plakaya bir kapasitör yoluyla voltaj uygulanır. Ortamda bir basınç değişimi olması durumunda, diyafram içe veya dışa doğru hareket ederek mekanik titreşimler yapar. Bu titreşimler sonucunda, diyaframla metal plaka arasındaki uzaklık değişir. Bu ise, voltajda bir değişime sebep olur. Voltajdaki değişim diyaframa çarpan ses dalgalarıyla orantılıdır. Şekil 2.5'te bir mikrofonun iç ve dış yapısı gösterilmektedir. [1]



Şekil 2.5 : Mikrofonların iç ve dış yapısı.

Ses ölçümlerinde kullanılan mikrofonlar; serbest alan mikrofonları, dağınık alan mikrofonları ve basınç tipi mikrofonlar olmak üzere üç grupta toplanabilir. Değişik çaplarda ve değişik frekans aralıklarında ölçüm yapan mikrofonlar yapılacak ölçümün çeşidine göre seçilmelidir. Ölçüm tipine göre değişik çap ve frekans aralığında çalışan Bruel&Kjaer marka mikrofonlar Çizelge 2.2'de gösterilmektedir. [2]

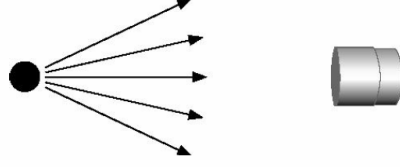
Çizelge 2.1 : Mikrofon Çeşitleri.

Serbest Alan	4939	4188	4189	4190	4191
Çap (inç)	1/4	1/2	1/2	1/2	1/2
Hassasiyet (mV/Pa)	4	31.5	50	50	12.5
Polarizasyon (V)	200	0	0	200	200
Frekans (Hz)	4-100k	8-12.5k	6.3-20k	3.15-20k	3.15-40k
Dinamik Aralık (dB)	28-164	14.2-146	14.6-146	14.5-147	20-161

Basınç Tipi	4944	4947	4192
Çap (inç)	1/4	1/2	1/2
Hassasiyet (mV/Pa)	1	12.5	12.5
Polarizasyon (V)	0	0	200
Frekans (Hz)	4-70k	8-10k	3.15-20k
Dinamik Aralık (dB)	30-170	17.5-160	19-161

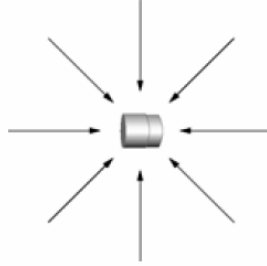
Dağınık Alan	4942	4943
Çap (inç)	1/2	1/2
Hassasiyet (mV/Pa)	50	50
Polarizasyon (V)	0	200
Frekans (Hz)	6.3-16k	3.15-10k
Dinamik Aralık (dB)	14.6-146	15.5-147

Sesin yalnızca tek bir yönden geldiği tüm uygulamalarda (yani açık hava ölçümlerinde veya yansımaların çok az olduğu anekoik odalarda yapılan ölçümlerde) serbest alan mikrofonları kullanılır. [1]



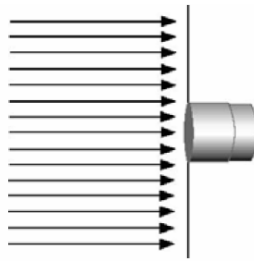
Şekil 2.6 : Serbest alan.

Dağınık alan mikrofonları tüm açılardan gelen seslere eşit tepki veren mikrofonlardır ve yansıtıcı yüzeyleri çok olan veya birçok gürültü kaynağının bulunduğu mekanlarda kullanılır. [1]



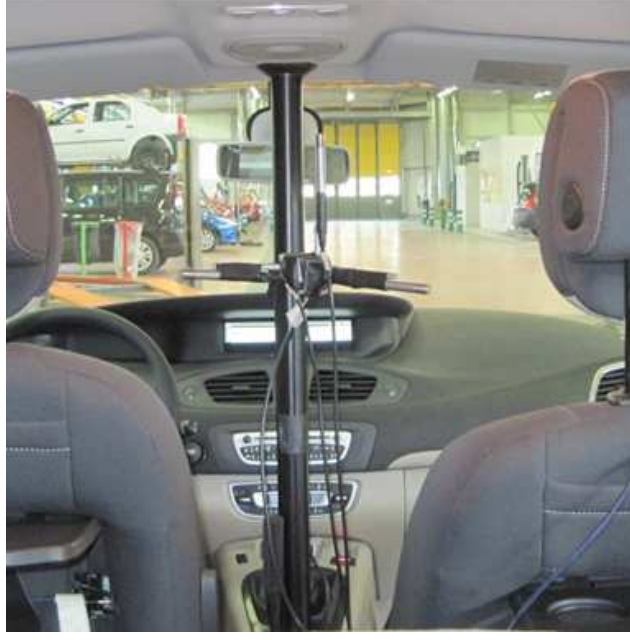
Şekil 2.7 : Dağınık alan.

Basınç tipi mikrofonlar ise, çok yüksek ses seviyelerinin veya hava akış gürültüsünün ölçülmesinde kullanılmaktadır. [1]



Şekil 2.8 : Basınç alanı.

Bu projede, araç kabini birçok yansıtıcı yüzeyin ve gürültü kaynağının olduğu bir ortam olduğundan üç adet PCB marka dağınık alan tipi mikrofon kullanılmıştır. Kullanılan mikrofonların modellerini ve özelliklerini içeren ürün kataloğu EK A.2’de verilmiştir. [3] Şekil 2.6’de ise deney düzeneğinde kullanılan mikrofonlar gösterilmiştir.



Şekil 2.9 : Yol testlerinde kullanılan mikrofönler.

İvmeölçerler ise genel amaçlı mutlak hareket ölçümlelerinde, şok ve titreşim ölçümlelerinde kullanılırlar. Piezoelektrik ve kapasitif ivmeölçerler ise en çok kullanılan tipleridir.

Piezoelektrik ivmeölçerler geniş bir frekans aralığında çalışabilmeleri ve yine geniş bir ölçüm aralığına sahip olmaları nedeniyle en çok kullanılan ivmeölçer çeşididir. Ek olarak, uzun ömürlü olmaları ve güç kaynağı gerektirmemeleri sebebiyle de tercih sebebi olmaktadır. İçerisinde kuvarz ya da seramik kristaller bulunduran piezoelektrik ivmeölçerler, mekanik stres altında elektrik yükü oluşturur. Oluşan bu elektrik sinyali uygulanan kuvvetle orantılıdır. Bu sinyal taşınabilir voltaj sinyaline çevrilerek yerçekimi ivmesi (g) veya (mm/s) cinsinden ivme değeri elde edilir. [4]

Kapasitif ivmeölçerler, düşük seviyeli ve düşük frekanslı titreşimleri ve statik ivmeleri ölçmede kullanılır. İvmeölçerin maruz kaldığı atalet kuvveti, karşılıklı yerleştirilmiş kapasitör şeklinde çalışan iki plaka arasındaki mesafenin yani kapasitansın değişmesine sebep olur. Kapasitansın değişmesi de ivme ile doğru orantılı bir sinyal oluşmasını sağlar. Bu tip ivmeölçerler, özellikle robotik, otomotiv sürüş kalite testleri, bina dinamiği gibi ölçümlerde kullanılır. [2]

İvmeölçerler tek eksenli ve üç eksenli olarak da gruplanabilir. Tek eksenli ivmeölçerler bir tek doğrultudaki titreşimi ölçebilmektedir. Buna karşın üç eksenli modeller ise X, Y ve Z doğrultusundaki titreşim verisi ölçebilmektedir. Tek eksenli ve üç eksenli ivmeölçerler Şekil 2.7 ve 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.10 : Tek eksenli ivmeölçer.



Şekil 2.11 : Üç eksenli ivmeölçer.

Bruel&Kjaer marka üç eksenli ve tek eksenli ivmeölçerlerin özellikleri Çizelge 2.2’de verilmektedir.

Çizelge 2.2 : Tek Eksenli ve Üç Eksenli İvmeölçerlerin Özellikleri.

Tek Eksenli	4507B	4507B-001	4507B-002	4507B-006
Hassasiyet (mV/ g)	100	10	1000	500
Frekans (Hz)	0.3 - 6000	0.1 - 6000	0.4 - 6000	0.2 - 6000
Ölçüm Aralığı (g)	70	70	7	14
Ağırlık (gr)	4,8	4,8	4,8	4,8
Sıcaklık (C)	-54 +121	-54 +121	-54 +121	-54 +121

Üç Eksenli	4506B	4506B-003	4524B
Hassasiyet (mV/ g)	100	500	100
Frekans (Hz)	X: 0,3 - 5500 Y,Z: 0,6 - 3500	X: 0,3 - 4000 Y,Z: 0,6 - 2000	0,2 - 5500
Ölçüm Aralığı (g)	70	14	50
Ağırlık (gr)	15	18	4,8
Sıcaklık (C)	-54 +100	-54 +121	-54 +100

B&K marka, çeşitli hassasiyet ve frekans aralığındaki diğer ivmeölçer modelleri ise Çizelge 2.3’de gösterilmektedir. [2]

Çizelge 2.3 : Çeşitli B&K İvmeölçer Modelleri Özellikleri.

	4321	4371	4379	4381	4393	8309
Hassasiyet (pC/ g)	9,8	9,8	310	98	31	0,04
Frekans (Hz)	0,1 - 12k	0,1 - 12,6k	0,1 - 3,9k	0,1 - 4,8k	0,1 - 16,5k	1 - 54k
Ölçüm Aralığı (g)	500	6000	500	2000	5000	15000
Ağırlık (gr)	55	11	175	43	2,4	3
Sıcaklık (C)	-74 +250	-74 +250	-40 +250	-74 +250	-74 +250	-74 +180
Eksen Sayısı	3	1	1	1	1	1

Kullanılacak ivmeölçerin seçimi ölçüm güvenilirliği açısından önemlidir ve seçim şu kriterlere göre yapılmalıdır; [5]

1. Eksen Sayısı: Tek eksenli ve üç eksenli ölçüm yapabilen ivmeölçerler bulunmaktadır. Kullanım amacına göre bu iki tipten biri seçilmelidir.
2. Ölçüm aralığı: Ölçüm aralığı ivmeölçerin ölçebileceği maksimum ve minimum genliktir. İstenilen ölçüm aralığı seçilen ivmeölçerin ölçüm aralığı değerlerine uygun olmalıdır.
3. Hassasiyet: Hassasiyet, ölçülen giriş sinyali başına çıkış sinyalindeki değişimdir.
4. Frekans: İvmeölçerler belirli frekans aralığında çalışır ve sensör seçiminde sensörün çalıştığı frekans aralığı da göz önünde bulundurulmalıdır.
5. Boyut ve Ağırlık: İvmeölçerin ağırlığı ölçülmek istenilen nesnenin karakteristiğini değiştirebilmektedir. İvmeölçer ağırlığı ölçülmek istenilen sistemin ağırlığından çok küçük olmalıdır.

Bu çalışmada, yukarıda verilen kriterler göz önünde bulundurularak PCB marka 24 adet üç eksenli ivmeölçer seçilmiştir. Bu ivmeölçerlerin 2 tanesinin (sürücü ve yolcu koltuk başlıkları için kullanılmıştır) ölçüm aralığı +/- 500g olup geriye kalanları ise +/- 50g'dir. Koltuk başlıkları için 500g'lık ivmeölçerlerin kullanım sebebi ise bu bölgelerdeki titreşim frekansının diğer bölgelere oranla daha yüksek olacağının tahmin edilmesidir. Seçilen ivmeölçerlerin modellerini ve özelliklerini içeren katalog EK A.2'de verilmiştir. [6]

2.5.2 Sensör kalibrasyonu

Sensör kalibrasyonu da en az sensör seçimi kadar önemlidir. Sensör kalibrasyonunun düzenli olarak yapılması ölçüm güvenilirliği açısından büyük önem taşır. Sensör kalibrasyonu düzenli aralıklarla (sensör üreticisinin belirlediği) bu konuda yetkili firmalarca yapılır. Ayrıca her ölçümden önce kullanıcının da kullanılacak sensörün kalibrasyonunu yapması doğru sonuçlar alınabilmesi için gerekli bir adımdır.

Bu projede de, seçilen sensörlerin periyodik kalibrasyonlarının yapıp yapıldığına dikkat edilmiştir. Buna ek olarak, kullanılan bütün sensörler, ölçümlerden önce kalibre edilmiştir.

Mikrofonların kalibrasyonu için Şekil 2.9’da gösterilen B&K 4231 Sound Calibrator modeli kullanılmıştır. [7]



Şekil 2.12 : Mikrofon kalibrasyon cihazı.

Mikrofon cihaza Şekil 2.10’deki gibi yerleştirilir. Cihaz bunu algıladığında ses basınç düzeyi bilinen sabit ve sürekli bir sinyal yayar. Mikrofondan ölçülen değerle cihazın yaydığı değer karşılaştırılır ve kalibrasyonu yapılır.



Şekil 2.13 : Mikrofon kalibrasyonu.

İvmeölçerlerin kalibrasyonu için ise Şekil 2.11’de gösterilen B&K 4294 Calibration Exciter modeli kullanılmıştır. [8]



Şekil 2.14 : İvmeölçer kalibrasyon cihazı.

İvmeölçer cihazın üst kısmına monte edilir. Cihaz şekilde görülen açma/kapama düğmesinden aktif hale getirilerek 10m/s^2 ’lık bir titreşim yaymaya başlar. İvmeölçerin ölçtüğü değerin 10m/s^2 ’den ne kadar farklı olduğu hesaplanır ve ivmeölçerin kalibrasyonu yapılır.

2.6 Yazılım Seçimi

Sensörlerin ölçüm öncesi kalibrasyon, verilerin kaydedilmesi, kaydedilen verilerin işlenmesi, işlenmiş verilerin laboratuvar ortamına uygun hale getirilmesi gibi belli başlı işlemlerin basit, hızlı ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmesi için uygun yazılım seçimi büyük önem taşımaktadır. Kullanılacak yazılım seçiminde birçok kriter göz önünde bulundurulmalıdır. Öncelikle programı yaratan firmanın köklü, konu üzerinde deneyimi olmasına dikkat edilmelidir. Bunlar sistemin güvenilirliği ve doğabilecek herhangi bir problemde iyi teknik destek alınabilmesi açısından önemlidir. Bunlara ek olarak, firmanın iyi olması, yazılımın zaman geçtikçe firma tarafından yenilenebilmesi, yazılıma yeni kullanım alanlarının açılması anlamına da gelmektedir. Ayrıca seçilen programla birçok işlemin yapılabilmesi, ya da diğer işlemleri yapan programlarla uyumlu çalışabilmesi önemlidir. Örneğin, sensör kalibrasyonu, verilerin kaydedilmesi, kaydedilen verilerin işlenmesi ve laboratuvar ortamına uygun hale getirilmesi gibi işlemlerin aynı yazılım bünyesinde yapılabilmesi ya da bu işlemleri yapan programların birbirlerine uyumlu olması

önemlidir. Diğer taraftan, sistem kapasitesinin ölçümden istenilenlerle uyumlu olması gerekmektedir (kanal sayısı, örnekleme frekansı, kullanılan filtre... gibi). Son olarak, her bilgisayar programının da olduğu gibi programın kullanıcı dostu yani kullanımının basit olmasına dikkat edilmelidir.

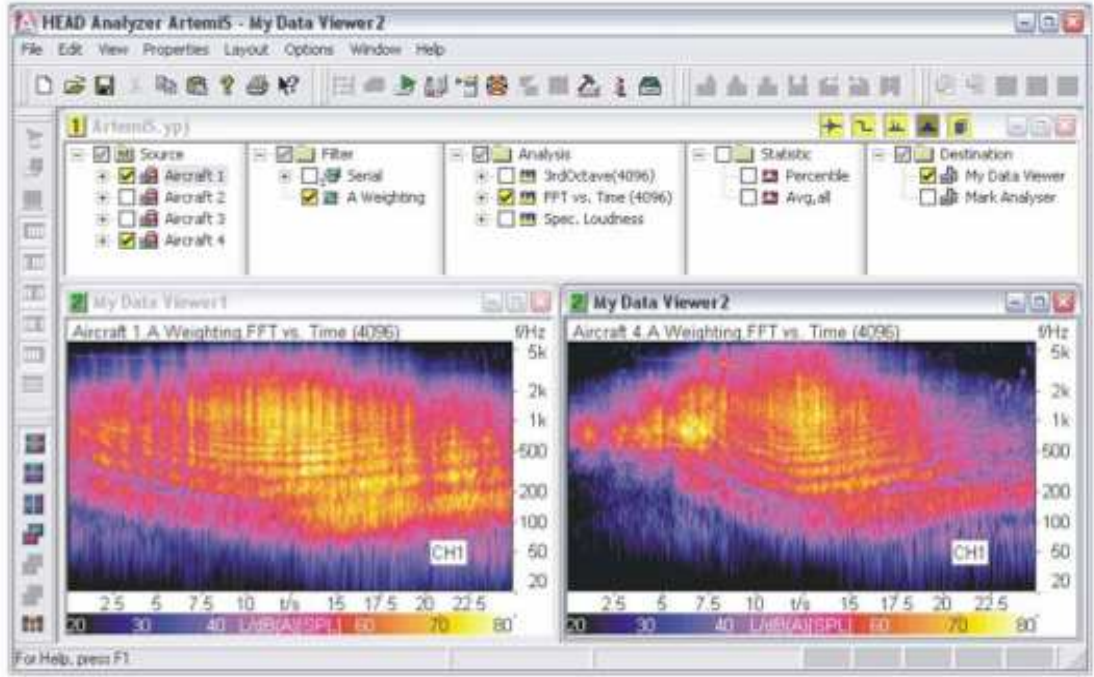
Bu çalışmada, bahsedilen kriterler göz önünde bulundurularak yazılım için HEAD Acoustics firmasıyla çalışılmıştır. Veri toplama ve kaydetme için DataRec_4 model analizörü ve HEAD Recorder yazılımı, veri işleme ve analizi için ise HEAD Analyzer yazılımı kullanılmıştır. DataRec_4, HEAD Recorder ve HEAD Analyzer Şekil 12, 13 ve 14’de gösterilmiş, bunların ürün katalogları da EK A.3’de verilmiştir. [9], [10], [11]



Şekil 2.15 : DataRec_4 Analizörü.



Şekil 2.16 : HEAD Recorder yazılımı.



Şekil 2.17 : HEAD Analyzer yazılımı.

Ölçümlerde kullanılan 3 mikrofon için 3 mikrofon giriqli, 24 adet 3 eksenli ivmeölçer için ise 72 (24x3) kanallı bir analizöre ihtiyaç duyulmuştur. Bunlara ek olarak, ölçümlerin taşıt içinde yapılacağı göz önünde bulundurulduğunda analizörün taşınabilir olması gerekmektedir. Seçilen DataRec_4 modeli bütün bu ihtiyaçları karşılamaktadır. Seçilen HEAD Recorder ve HEAD Analyzer ise bu analizörle uyumlu kullanımı kolay programlar olduğundan, tercih edilmiştir.

2.7 Yol Testleri

2.7.1 Sensörlerin yerleştirilmesi

Yol testlerine başlamadan önce sensörler, belirlenen ölçüm noktalarına yerleştirilmiştir. Mikrofonların sabitlenmesi için özel bir aparat ve yapışkan bant kullanılmıştır. İvmeölçerler ise ölçüm noktalarına yapıştırılarak monte edilmiştir.

X, Y ve Z doğrultularında yerleştirilmek üzere testlerde üç adet mikrofon kullanılmıştır. Ölçüm kuralları gereği, mikrofonlar ses ölçümü yapılacak ortamın ortasında konumlandırılmıştır. Bunun sağlanması için de Şekil 6'da gösterilen bir aparat ve yapışkan bant kullanılmıştır.

İvmeölçerlerin, X-Y, Y-Z ya da X-Z yüzeyine dik bir şekilde yapıştırılması gerekmektedir. Sensörler, bu yüzeylere 90°'den farklı bir açıyla yerleştirilirse toplanan ivme verisi gerçeği yansıtmayacaktır. Bu sebeple, yapıştırma işlemi için duruma göre iki farklı tip yapıştırıcı kullanılmıştır. Ölçüm noktasında, istenilen konumda bir yüzey varsa Loctite marka yapıştırıcı kullanılmıştır. [12]



Şekil 2.18 : Loctite.

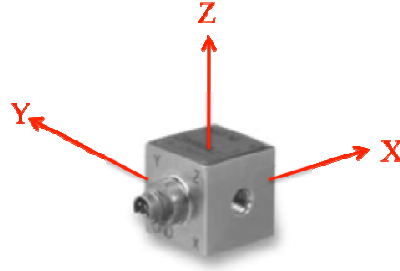
Buna karşın ölçüm noktası istenilen konumda değil ise, beyaz yapıştırıcı adı verilen bir yapıştırıcı kullanılmıştır. Beyaz yapıştırıcının özelliği iki farklı bileşenden (toz halinde bulunan esas bileşen ve sıvı halinde bulunan aktivatör bileşenden) oluşması, bu iki bileşenin karıştırılmasıyla yumuşak, şekil verilebilir bir hamur kıvamına getirilebilmesidir. Hamur kıvamına getirilen yapıştırıcıyla da istenilen yapıştırma yüzeyi elde edilir. İstenilen yapıştırma yüzeyi oluşturulduktan kısa bir zaman sonra yapıştırıcı katılaşır, ivmeölçer ölçüm noktasına istenilen konumda yapıştırılmış olur. Şekil 19'de beyaz yapıştırıcı ile yapıştırılmış bir sensör gösterilmiştir.



Şekil 2.19 : Beyaz yapıştırıcı.

Titreşim verisinin doğru toplanabilmesi için ivmeölçerlerin yerleştirilme yönüne çok dikkat edilmelidir. Şekil 20'de üç eksenli bir ivmeölçer gösterilmiştir. İvmeölçer 6 yüzeyden oluşmaktadır. Her yüzey kendine dik olarak etkiyen titreşimi ölçmektedir.

Buna göre kablo bağlantısının olduğu doğrultuyla X, yer yüzeyine dik doğrultuyla Z, diğer doğrultuyla da Y yönündeki titreşimler ölçülmektedir.



Şekil 2.20 : İvmeölçer eksen takımı.

Ölçümde oluşabilecek karışıklığın önüne geçebilmek için araç için de bir eksen takımı belirlenmelidir. Bu çalışmada araç için kabul edilen eksen takımı Şekil 21’de gösterilmiştir.



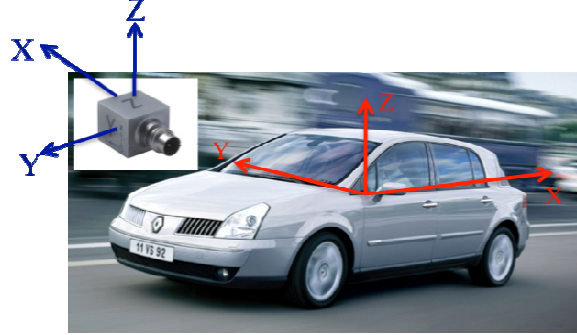
Şekil 2.21 : Araç eksen takımı.

Buna göre ivmeölçer araca Şekil 22’de görüldüğü gibi yapıştırılabiliyorsa, ivmeölçerin X yüzeyi aracın X yönündeki titreşimini, Y yüzeyi Y yönündeki titreşimini, Z yüzeyi Z yönündeki titreşimini ölçecektir.



Şekil 2.22 : İvmeölçer yerleşimi Örnek 1.

Buna karşın ivmeölçer araca ancak Şekil 23’de görüldüğü gibi yapıştırılabiliyorsa, ivmeölçerin X yüzeyi araçta Y yönündeki titreşimi, Y yüzeyi –X yönündeki titreşimi, Z yüzeyi Z yönündeki titreşimi ölçecektir.



Şekil 2.23 : İvmeölçer yerleşimi Örnek 2.

İvmeölçerler ölçüm noktalarına yapıştırıldıktan sonra konumlarına dikkat edilmiş ve hangi yüzeyin hangi titreşimi ölçtüğü kaydedilerek bir ölçüm tablosu oluşturulmuştur.

2.7.2 Ölçüm öncesi kontroller

Deney düzeneğinin hazırlanması esnasında gözden kaçmış olabilecek hataların tespit edilmesi ve düzeltilebilmesi için ölçüm öncesinde çeşitli kontroller yapılmalıdır. Bu çalışmada da ölçüm aşamasından önce şu kontroller yapılmıştır:

1. Sensörlerin iyi yapışıp yapışmadığı kontrol edilmiştir. (Tam olarak yapışmayan sensör yanlış titreşim verisi toplanmasına neden olacaktır.)
2. Sensörlerin (ivmeölçer - X, Y, Z eksenleri ve mikrofonlar) çalışıp çalışmadığının kontrolü yapılmıştır. Bunun için sensörler analizöre, analizörde HEAD Recorder’ın yüklü olduğu bilgisayara bağlanmış, her ivmeölçerin üç eksenine daha sonra mikrofonlara temasta bulunularak, bu sensörlerden sinyalin alınıp alınmadığı bilgisayardan kontrol edilmiştir.
3. İvmeölçerlerin yönlerinin ivmeölçer tablosuna doğru kaydedilip kaydedilmediği kontrol edilmiştir.

Lastik basıncı araç içi titreşimini etkileyen bir parametredir. Yol testlerinden önce A ve B aracının lastik basınçları 2,2 bar’a ayarlanmıştır.

2.7.3 Veri toplama

Gerekli bütün ön hazırlıklar tamamlandıktan sonra yol testlerine geçilmiştir. Yol testleri iki tip pist üzerinde, farklı hızlarla, değişik koltuk pozisyonlarında ve yüklemelerinde, iki değişik araç (A ve B aracı) için tekrarlanmıştır. B aracı üzerinde yol testlerine başlanmadan önce, A aracının yolcu ve sürücü koltukları sökülmüş ve B aracı monte edilmiştir. Bu şekilde iki aracın koltuklarından kaynaklanan farkların önüne geçilmiş, yol testlerinde aynı koltuklar kullanılmıştır. Toplamda 40 test gerçekleştirilmiştir. Yapılan bütün testler Çizelge 2.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 : Yol testleri.

TEST NO	ARAÇ	PİST	HIZ (km/s)	KOLTUK YÜKLEMESİ	KOLTUK KONUMU
1	A	PS	30	Boş	ÖN - YÜKSEK - ALÇAK
2	A	PS	30	Boş	ORTA - ORTA - YÜKSEK
3	A	PS	30	Boş	ARKA - ALÇAK - YÜKSEK
4	A	PS	50	Boş	ÖN - YÜKSEK - ALÇAK
5	A	PS	50	Boş	ORTA - ORTA - YÜKSEK
6	A	PS	50	Boş	ARKA - ALÇAK - YÜKSEK
7	A	DR	30	Boş	ÖN - YÜKSEK - ALÇAK
8	A	DR	30	Boş	ORTA - ORTA - YÜKSEK
9	A	DR	30	Boş	ARKA - ALÇAK - YÜKSEK
10	A	DR	50	Boş	ÖN - YÜKSEK - ALÇAK
11	A	DR	50	Boş	ORTA - ORTA - YÜKSEK
12	A	DR	50	Boş	ARKA - ALÇAK - YÜKSEK
13	A	PS	30	İnsan	ORTA - ORTA - YÜKSEK
14	A	PS	50	İnsan	ORTA - ORTA - YÜKSEK
15	A	DR	30	İnsan	ORTA - ORTA - YÜKSEK
16	A	DR	50	İnsan	ORTA - ORTA - YÜKSEK
17	A	PS	30	Manken	ORTA - ORTA - YÜKSEK
18	A	PS	50	Manken	ORTA - ORTA - YÜKSEK
19	A	DR	30	Manken	ORTA - ORTA - YÜKSEK
20	A	DR	50	Manken	ORTA - ORTA - YÜKSEK
21	B	PS	30	Boş	ÖN - YÜKSEK - ALÇAK
22	B	PS	30	Boş	ORTA - ORTA - YÜKSEK
23	B	PS	30	Boş	ARKA - ALÇAK - YÜKSEK
24	B	PS	50	Boş	ÖN - YÜKSEK - ALÇAK
25	B	PS	50	Boş	ORTA - ORTA - YÜKSEK
26	B	PS	50	Boş	ARKA - ALÇAK - YÜKSEK
27	B	DR	30	Boş	ÖN - YÜKSEK - ALÇAK
28	B	DR	30	Boş	ORTA - ORTA - YÜKSEK
29	B	DR	30	Boş	ARKA - ALÇAK - YÜKSEK

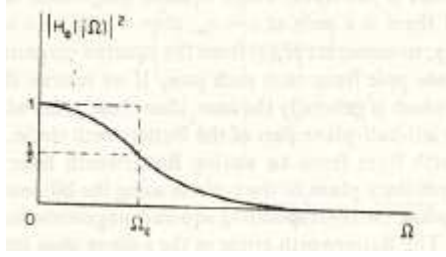
30	B	DR	50	Boş	ÖN - YÜKSEK - ALÇAK
31	B	DR	50	Boş	ORTA - ORTA - YÜKSEK
32	B	DR	50	Boş	ARKA - ALÇAK - YÜKSEK
33	B	PS	30	İnsan	ORTA - ORTA - YÜKSEK
34	B	PS	50	İnsan	ORTA - ORTA - YÜKSEK
35	B	DR	30	İnsan	ORTA - ORTA - YÜKSEK
36	B	DR	50	İnsan	ORTA - ORTA - YÜKSEK
37	B	PS	30	Manken	ORTA - ORTA - YÜKSEK
38	B	PD	50	Manken	ORTA - ORTA - YÜKSEK
39	B	DR	30	Manken	ORTA - ORTA - YÜKSEK
40	B	DR	50	Manken	ORTA - ORTA - YÜKSEK
A aracı : Esas deney aracı, B aracı : A modelinin bir önceki versiyonu					
PS : Arnavut kaldırımı pist DR : Parke taş pist					
Koltuk Konumu : Koltuk kazağı konumu : Ön Koltuk yüksekliği : Yüksek Koltuk başlığı konumu : Alçak Koltuk kazağı konumu : Orta Koltuk yüksekliği : Orta Koltuk başlığı konumu : Yüksek Koltuk kazağı konumu : Arka Koltuk yüksekliği : Alçak Koltuk başlığı konumu : Yüksek					

2.8 Sinyal İşleme

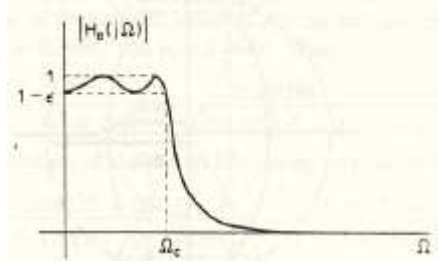
Yol testleri esnasında toplanılan sinyallerin işlenmesi, en az sinyal toplamak kadar önemlidir. Sinyal işlemenin belli başlı adımları, yol testlerinden elde edilen sinyallerin, filtrelenmesi, örnekleme frekanslarının değiştirilmesi ya da sürelerinin kısaltılmasıdır. gibi belli başlı adımlardan oluşmaktadır. Bu etaplar her projede ihtiyaca göre belirlenmektedir. Bütün bu işlemlerle, elde edilen bilginin daha anlaşılır hale getirilmesi ve sistemde daha az yer kaplaması amaçlanmaktadır.

Sinyal filtreleme, istenmeyen frekansların sinyalden çıkarılması işlemidir. Elde edilmek istenen frekans aralığına göre filtreleme işlemini gerçekleştirecek filtre seçilir. Filtreler genel olarak yüksek geçirgen (belirli bir frekans değerinin üstündeki frekansları geçirir), alçak geçirgen (belirli bir frekans değerinin altındaki frekansları geçirir), bant geçirgen (belirli bir frekans aralığını geçirir) olarak üç gruba ayrılır. [13]

Bunun dışında filtreler, tanımlandıkları polinoma göre adlandırılır. Yaygın olarak kullanılan filtreler, Butterworth, Chebyshev, Bessel filtreleridir. Şekil 2.24 ve 2.25’de gösterildiği gibi, Butterworth filtresinde frekans kesim noktasında daha yumuşak bir geçiş sağlanırken, Chebyshev’de bu geçiş daha dik bir şekilde olmaktadır. [14]



Şekil 2.24 : Butterworth filtresi.



Şekil 2.25 : Chebyshev filtresi.

Dolayısıyla farklı karakterlerdeki bu filtreler gerçekleştirilen projedeki ihtiyaçlara göre seçilir.

Örnekleme frekansı, 1 saniyede kaydedilen veri sayısıdır. Saniyede kaydedilen nokta sayısı artması ölçümün gerçeğe daha yakın olmasını sağlarken bir yandan da verilerin sistemde daha fazla yer kaplamasına neden olacaktır. Dolayısıyla örnekleme frekansında bir optimizasyon yapılmalıdır. Bu optimizasyon yapılırken Nyquist örnekleme frekansı teoremi göz önünde bulundurulmalıdır. Nyquist Teoremi'ne göre, sinyaldeki verileri kaybetmemek adına, örnekleme frekansı, sinyaldeki en yüksek frekansın minimum iki katı olmalıdır. [13]

Bu çalışmada sinyal işleme etapları aşağıda sırasıyla verilmiştir.

1. Mikrofonlar ve ivmeölçerlerden elde edilen sinyallerin iki farklı dosya şeklinde kaydedilmesi : Bu çalışmada sadece ivmeölçerlerden elde edilen sinyaller işlenmiştir. Bu sebeple, öncelikle, mikrofon ve ivmeölçer verileri birbirinden ayrılmıştır. Bu adımdan sonraki adımların hepsi ivmeölçer verileri üzerinde yapılmıştır.
2. Verilerinin filtrelenmesi : Butterworth (4. Derece, alçak geçiren filtre, kesim frekansı 512 Hz) filtresi kullanılmıştır.
3. Verilerin örnekleme frekansının değiştirilmesi : DataRec_4'ün (analizör) sinyal kaydederken kullandığı örnekleme frekansı 8192 Hz'dir. Sinyalin sistemde daha az yer kaplaması için sinyalin örnekleme frekansı 1024 olarak

değiştirilmiştir. Bu işlemde Nyquist Örnekleme Frekansı Teoremi göz önünde bulundurulmuş, örnekleme frekansı, kullanılan filtrenin kesim frekansı olan 512 Hz'in iki katı olan 1024 Hz olarak seçilmiştir.

4. Yapılan her ölçümün süresinin 20 saniyede kesilmesi : Sinyal süresi arttıkça sinyalin sistemde kapladığı yer de artmaktadır. Burda bir optimizasyon yapılmış ve sinyaller 20 sn'de kesilmiştir.
5. Negatif yönlü ölçüm noktalarının (-) ile çarpılıp pozitif hale getirilmesi : Bölüm 2.7.1'de bahsedildiği üzere, ivmeölçerler araca yerleştirilirken aracın ve ivmeölçerlerin eksen takımlarına dikkat edilmiş ve ivmeölçerlerin araca yerleştiriliş şekillerine göre bir ölçüm tablosu oluşturulmuştur. Bu tabloya göre yönü negatif olan ölçüm noktaları (-) ile çarpılıp pozitif hale getirilmiştir. Bu çarpımın sebebi, sinyallerdeki negatif yönün ortadan kaldırılmak istenmesidir. Şöyle ki, negatif yönlü ölçüm noktalarından kasıt, bu tabloda yerine göre aracın X yönündeki titreşimi ivmeölçerin -Y yönüyle ölçülmektedir. Bu negatif yönü ortadan kaldırmak, sarsıcıda negatif yönlü bir titreşim üretilmesini engellemek adına, negatif yönlü ölçüm noktaları (-) ile çarpılmalıdır.

Yukarıda verilen adımlar tamamlandıktan sonra sinyaller laboratuvar testlerinde kullanılacak olan sarsıcıya uygun bir formata dönüştürülmüştür.

2.9 Sonuçların Hesaplanması

Sonuçların hesaplanmasında kullanılacak yaklaşımın belirlenmesi için öncelikle çalışılan sinyal (gürültü) tipinin belirlenmesi gerekmektedir.

Gürültü, frekans dağılımına ve ses düzeyinin zamanla değişimine göre iki farklı kritere bağlı olarak sınıflandırılabilir.

Gürültü, frekans dağılımına göre; geniş bant gürültü ve dar bant gürültü olmak üzere iki gruba ayrılır.

- Geniş bant gürültü: Geniş bir frekans spektrumuna sahiptir, hiçbir frekans bandında toplanmamıştır. Bu tip gürültü 'beyaz gürültü' olarak adlandırılır.
- Dar bant gürültü: Frekans dağılımı belli bir frekans bandında toplanmıştır.

Gürültü, ses düzeyinin zamanla değişimine göre ise de, kararlı ve kararsız gürültü olmak üzere iki grupta incelenebilir.

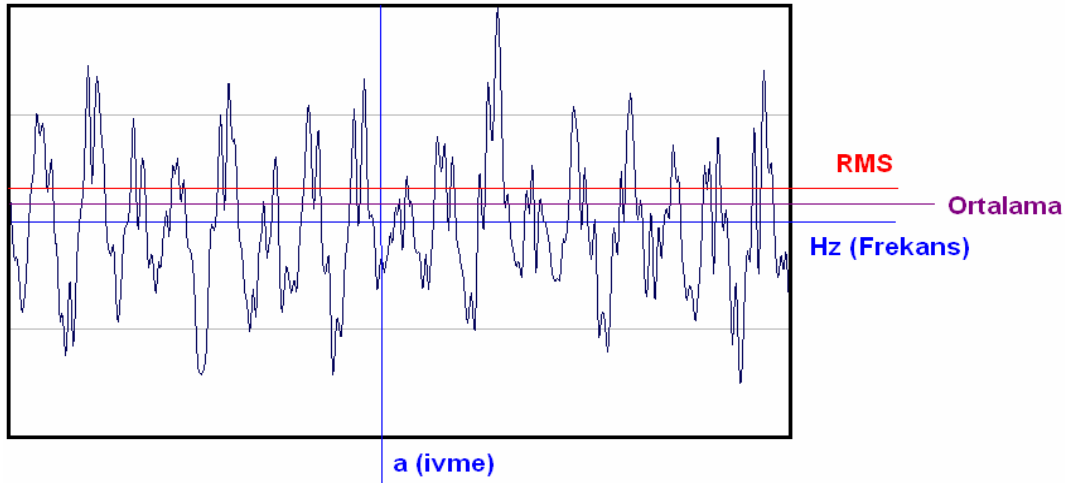
- Kararlı sinyal: Bu tip sinyaller istatiksel olarak zamana bağlı bir değişim göstermezler. Eğer kararlı gürültü bir süre dinlenir, ara verilip bir saat sonra tekrar dinlenirse, sinyalde herhangi bir fark gözlenemez. Bu da sinyalin karakteristiğinde zamana bağlı bir fark olmadığının kanıtıdır. Kararlı sinyaller de kendi arasında iki gruba ayrılır;
 - o Periyodik sinyal: Periyodik sinyaller, belirli bir periyoda sahip olan sinyallerdir. Stasyonier çalışan bir makinenin çıkardığı gürültü periyodik sinyal olarak kabul edilir.
 - o Periyodik olmayan (random – rasgele) sinyal: Periyodik olmayan sinyaller belirli bir periyoda sahip olmayan, farklı genliklerde bileşenler içeren sinyallerdir. Fakat bu tip sinyaller zamana bağlı bir değişim de göstermezler. Periyodik olmayan sinyallere verilecek en güzel örnek yağmur gürültüsüdür.
- Kararsız sinyal: Bu tip sinyaller zamana bağlı değişim gösteren sinyallerdir. Değişim dalgalanma, durup tekrar başlama şeklinde gözlenebilir.
 - o Kesikli – Dalgalı sinyal: Matkap ya da havai fişek gürültüsü kesikli – dalgalı sinyale örnek olarak verilebilir.
 - o Darbeli (geçici, süreksiz) sinyal: Darbeli sinyaller, kesikli – dalgalı sinyale oranla çok daha kısa süreli sinyallerdir. Uçak gürültüsü darbeli sinyal olarak kabul edilir.

Sinyalin frekans dağılımına göre sinyalin hangi yaklaşımla inceleneceğine karar verilir. Kullanılan yaklaşımlar ise güç, güç spektrum yoğunluğu ve enerji spektrum yoğunluğu olarak üçe ayrılır. Fakat bu yaklaşımlardan önce bilinmesi gereken karekök ortalama (root mean square – RMS) kavramıdır.

Karekök ortalama, istatiksel bir ölçü olup, negatif ve pozitif ögeleri sahip değişken bir fonksiyonun büyüklüğü olarak tanımlanır. Herhangi bir ivme sinyalinin ortalama ve RMS değerleri (2.1) ve (2.2) denklemleriyle hesaplanır.

$$Ortalama = \frac{1}{T} \int_0^T |a(t)| dt \quad (2.1)$$

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T |a^2(t)| dt} \quad (2.2)$$



Şekil 2.26 : Bir ivme sinyalinin ortalama ve RMS değerleri.

Sinyalleri incelerken kullanılan üç ayrı yaklaşım ise aşağıda açıklanmıştır.

- Güç (PWR): Periyodik sinyallerde kullanılır. Burada sinyalin taşıdığı güç hesaplanır. Bir ivme sinyali için birimi $(m/s^2)^2$ 'dir.

$$PWR = RMS^2 \quad (2.3)$$

- Güç spektrum yoğunluğu (PSD): Periyodik olmayan sinyallerde kullanılır. Burada birim frekans başına sinyalin taşıdığı güç hesaplanır. Bir ivme sinyali için birimi $(m/s^2)^2/Hz$ 'dir.

$$PSD = \frac{PWR}{BantGenisligi} \quad (2.4)$$

- Enerji spektrum yoğunluğu (ESD): Kararsız sinyallerde kullanılır. Burada sinyalin süresi de önem taşıdığından, birim frekans başına sinyalin taşıdığı enerji hesaplanır. Bir ivme sinyali için birimi $(m/s^2)^2 s/Hz$ 'dir.

$$ESD = PSD * Sinyal\ Süresi \quad (2.5)$$

Bu projede söz konusu sinyaller kararlı – periyodik olmayan sinyallerdir. Dolayısıyla yoldan ve laboratuvarından toplanan ivme sinyallerinin RMS ve PSD değerleri hesaplanmıştır. [13], [15]

Yol sinyallerinin incelenmesinde aşağıdaki adımlar takip edilmiştir.

1. RMS ve PSD değerlerinin hesaplanması

2. PSD cinsinden ifade edilen sinyallerin süperpoze edilmesi
3. 0-50 Hz arası dikkate alınarak yüzde cinsinden hata hesaplanması (Sadece A ve B aracı karşılaştırması için)
4. Ortalama hatanın hesaplanması (Sadece A ve B aracı karşılaştırması için)

Adımları belirtilen hesaplama yöntemi detaylı bir A ve B aracı karşılaştırması üzerinden anlatılacaktır.

İlk olarak yol testlerinden zamana bağlı olarak toplanan ve daha sonra işlenen dataların (PS30, PS50, DR30, DR50 – her pist için – her ölçüm noktası için ayrı – farklı frekans aralıklarında) RMS ve PSD değerleri hesaplanmıştır. Aşağıda PSD ve RMS hesaplama tablolarının bir bölümü verilmiştir.

Çizelge 2.5 : Her ölçüm noktası için DR30 pistinde A aracından elde edilen frekans – ivme değerleri çizelgesi.

 **Güç spektrumu**

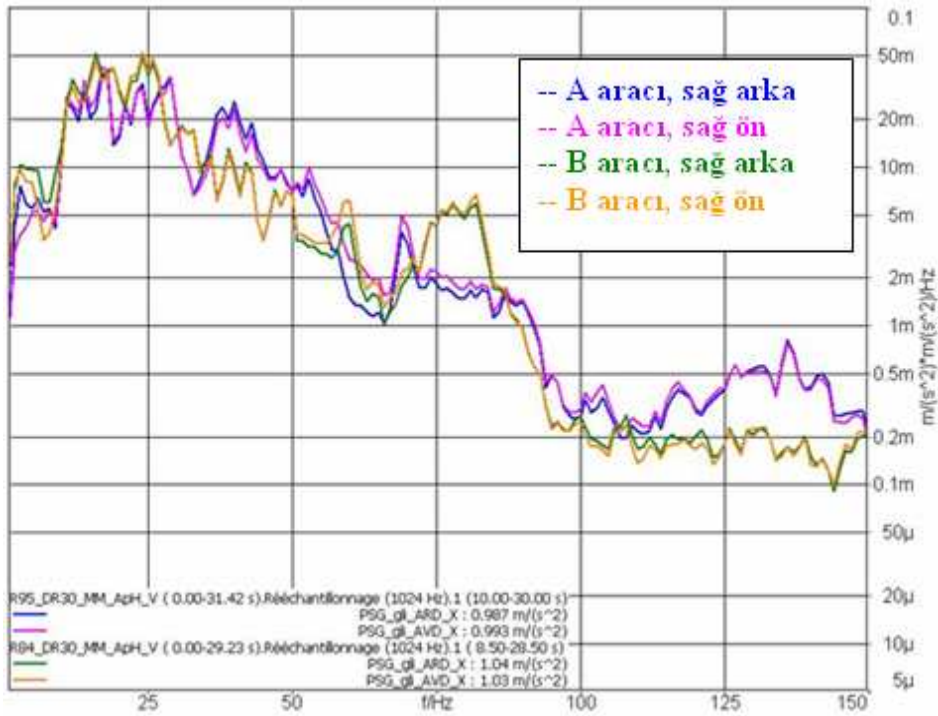
Sorte:	Power spectral density							ModuleInfo_2_02 = string (Type: 1, S
Valeurs glob	1.06 m/(s ²)	1.31 m/(s ²)	2.11 m/(s ²)	0.944 m/(s ²)	1.18 m/(s ²)	2.03 m/(s ²)	1.51 m/(s ²)	
frequency	virtual quantit	virtual quantit	virtual quantit	virtual quantit	virtual quantit	virtual quantit	virtual qua	
f	virt. qu.	virt. qu.	virt. qu.	virt. qu.	virt. qu.	virt. qu.	virt. qu.	
Hz	m/(s ²)*m/(s ²)	m/(s ²)*m/(s ²)	m/(s ²)*m/(s ²)	m/(s ²)*m/(s ²)	m/(s ²)*m/(s ²)	m/(s ²)*m/(s ²)	m/(s ²)*m/(s ²)	
	LONG AVD	LONG AVD	LONG AVD	PIED MIL	INPIED MIL	INPIED MIL	INPIED MIL	
1	0,00167374	0,01339709	0,11400771	0,00172096	0,00382899	0,02441743	0,048007	
2	0,00370378	0,04623012	0,34383002	0,0047785	0,02316727	0,15596457	0,118097	
3	0,00383565	0,03947768	0,24924989	0,00446208	0,06530932	0,23096995	0,070987	
4	0,00476815	0,01166339	0,2614522	0,00406933	0,05222563	0,15541062	0,111572	
5	0,00458149	0,0134968	0,28017712	0,00612966	0,08714161	0,41590574	0,099538	
6	0,00538159	0,01349199	0,19315909	0,0077883	0,08687326	0,42838171	0,046950	
7	0,00352258	0,01389614	0,1170236	0,0069681	0,02556315	0,14146106	0,049915	
8	0,00267887	0,06202706	0,09121775	0,01675676	0,03349979	0,24735838	0,033825	
9	0,00447952	0,05894209	0,10008984	0,01144957	0,03707396	0,22017436	0,053395	
10	0,01011277	0,01987325	0,10778948	0,00991297	0,0139037	0,11785369	0,054577	
11	0,03109294	0,01846827	0,13856111	0,02751517	0,02631906	0,21494155	0,057264	
12	0,03488698	0,02261993	0,18102889	0,02140604	0,02460769	0,1693406	0,109276	
13	0,02252942	0,02400658	0,25011575	0,01659869	0,0194889	0,14419347	0,079688	
14	0,03963053	0,05910125	0,36788404	0,02494202	0,03892209	0,20070525	0,080623	
15	0,03872719	0,09998094	0,34669766	0,02306112	0,0283371	0,13622883	0,163413	
16	0,03453175	0,05421327	0,23192361	0,02836674	0,02233797	0,07876215	0,087283	
17	0,05089576	0,0526079	0,09648902	0,03928744	0,02329897	0,08370321	0,075302	
18	0,04197463	0,06687031	0,07429844	0,02666742	0,01518236	0,04072938	0,087065	
19	0,01494276	0,03320554	0,05710784	0,01386625	0,01346954	0,02739004	0,033234	
20	0,0192911	0,03877068	0,03449004	0,01948043	0,01117644	0,0240914	0,02872	
21	0,03063866	0,05409924	0,02951062	0,02379968	0,01001559	0,01848557	0,043152	

Çizelge 2.6 : Her ölçüm noktası için DR30 pistinde A aracından elde edilen toplam RMS değerleri çizelgesi.

Unité :	$m/(s^2)*m/(s^2)$				
	LONG_AVD_X DIC24001	LONG_AVD_Y DIC24002	LONG_AVD_Z DIC24003	PIED_MIL_INF_X DIC24004	PIED_MIL DIC24
VG Total	1,12	1,66	4,43	0,88	1,3
VG 0-50Hz	1,01	1,18	4,11	0,74	1,1
VG 20-50Hz	0,64	0,41	0,47	0,42	0,4
VG 0-100Hz	1,10	1,61	4,41	0,85	1,3
VG 50-100Hz	0,09	0,43	0,30	0,12	0,2
RMS Total	1,06	1,29	2,11	0,94	1,1
RMS 0-50Hz	1,01	1,08	2,03	0,86	1,0
VG 20-50Hz	0,80	0,64	0,69	0,65	0,6
RMS 0-100Hz	1,05	1,27	2,10	0,92	1,1
RMS 50-100Hz	0,30	0,66	0,55	0,34	0,4

Çizelge de görüldüğü gibi, DR30 pistinde A aracından, farklı frekans aralıklarında, her ölçüm noktası için RMS değerleri hesaplanmıştır. Aynı hesaplamalar B aracından toplanan sinyaller için de yapılmıştır.

A ve B aracı için ayrı ayrı elde edilen PSD değerleri grafik üzerinde gösterilerek süperpoze edilmiştir. Aşağıdaki tabloda DR30 pistinde A ve B aracı için yolcu koltuğu kazağı ön sol ve arka sol ölçüm noktalarından X yönünde elde edilen PSD eğrileri süperpozisyonu gösterilmiştir.



Şekil 2.27 : DR30 – X Yönü – Koltuk kazağı sağ ön/arka – A ve B aracı frekansa bağlı ivme titreşimleri karşılaştırması.

Grafikte de görüldüğü üzere 50 Hz'e kadar, eğriler aynı olmamasına rağmen izledikleri yollar benzerdir. Dolayısıyla RMS değerleri karşılaştırması [0-50Hz] aralığında yapılmıştır.

A ve B aracına ait RMS değerleri arasındaki fark yüzde cinsinden ifade edilmiştir.

Çizelge 2.7 : Bütün pistler için – koltuktaki ölçüm noktalarında A ve B aracı RMS değerleri karşılaştırması.

		PSG gli ARD			PSG gli AVD			PSG gli ARG		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
DR30	R95	0,987	1,14	1,87	0,993	1,21	1,94	0,917	1,15	1,41
	R84	1,04	1,24	1,71	1,03	1,16	1,71	1,01	1,26	1,41
	erreur R84/R95	5%	9%	9%	4%	4%	12%	10%	10%	1%
DR50	R95	1,33	1,65	2,49	1,3	1,76	2,55	1,26	1,74	2,01
	R84	1,46	1,6	2,23	1,46	1,49	2,23	1,26	1,62	2,01
	erreur R84/R95	10%	3%	10%	12%	15%	13%	8%	7%	2%
PS30	R95	1,14	1,12	1,38	1,13	1,35	1,42	1,09	1,16	1,31
	R84	1,03	1,27	1,21	1,04	1,22	1,21	1,04	1,29	1,2
	erreur R84/R95	10%	13%	12%	8%	10%	15%	5%	10%	3%
PS50	R95	1,5	1,49	1,72	1,52	1,71	1,79	1,46	1,6	1,71
	R84	1,14	1,37	1,38	1,13	1,3	1,37	1,09	1,38	1,5
	erreur R84/R95	24%	7%	21%	26%	24%	23%	26%	14%	15%
Moyenne par points										
	erreur R84/R95	12%	8%	13%	12%	13%	16%	12%	10%	5%


A > B
A < B

Daha sonra bütün pistlerin ortalamaları, A ve B araç kasalarındaki ortalama hata hesaplanmıştır.

Yukarıda da belirtildiği gibi, sadece A ve B aracı karşılaştırmasında dört hesaplama aşaması da yapılmıştır. Geriye kalan bütün kriterler (taşıt hızı, yol koşulları, koltuk yükü,...) için sadece ilk iki adım olan RMS – PSD hesabı ve PSD eğrileri süperpozisyonu yapılmıştır.

2.10 Yol Testlerinin Sonuçları

2.10.1 Taşıt tipi

Taşıt tipinin koltuk titreşimlerine ve araç içi gürültüsüne olan etkisini belirlemek için aynı aracın yeni ve bir önceki nesil versiyonlarında testler gerçekleştirilmiştir.

Daha önce açıklandığı gibi, önceki nesil araca yeni nesil aracın koltukları monte edilmiş ve yol üzerinde aynı ölçüm noktalarından veri toplanmıştır. Bu toplanan veriler yeni nesil araç üzerinden toplanan verilerin RMS değerleriyle karşılaştırılmış ve iki araç kasası arasındaki fark yüzde cinsinden belirlenmiştir.

Çizelge 2.8 : A ve B araç kasası titreşim RMS karşılaştırması – Ortalama bütün pistler / Ortalama PS50 hariç bütün pistler.

Dispersion entre R84 - R95 sur PISTES				
MOYENNE	erreur R84/R95	11%	14%	9%
MOYENNE SANS PS50	erreur R84/R95	8%	11%	8%

Tabloda görüldüğü üzere iki araç RMS seviyelerinde ~%10'luk bir fark mevcuttur. Başka bir gözlem ise, bu farkın PS50 pistine ait spesifik bir durum olmasıdır. PS50 pisti dikkate alınmadan yapılan ortalama hesabında aradaki fark daha düşmektedir. Sonuç olarak seçilen iki araç kasası arasındaki fark kabul edilebilir bir seviyede olup, eski nesil araç sinyalleri laboratuvarda sinyal üretiminde kullanılabilecek seviyededir.

2.10.2 Yol koşulları (Pist seçimi)

Yol koşullarının koltuk titreşimleri ve araç içi gürültüsüne olan etkisini belirlemek için yol testleri iki farklı pist üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Pist seçiminde araç, mümkün olan en geniş frekans bandında tahrik edilerek, araç içinde oluşabilecek maksimum gürültü oluşturulması hedeflenmiştir. Deney sonuçlarında görülmüştür ki seçilen 2 pist, arnavut kaldırımı ve parke taş aracın geniş bir frekans bandında titreşimini sağlamış, araç içinde oluşabilecek bütün gürültü tipleri büyük ölçüde oluşturulmuştur. Dolayısıyla seçilen pistler laboratuvar testlerinde sinyal oluşturmada kullanılabilir sonucuna ulaşmaktadır.

2.10.3 Taşıt hızı

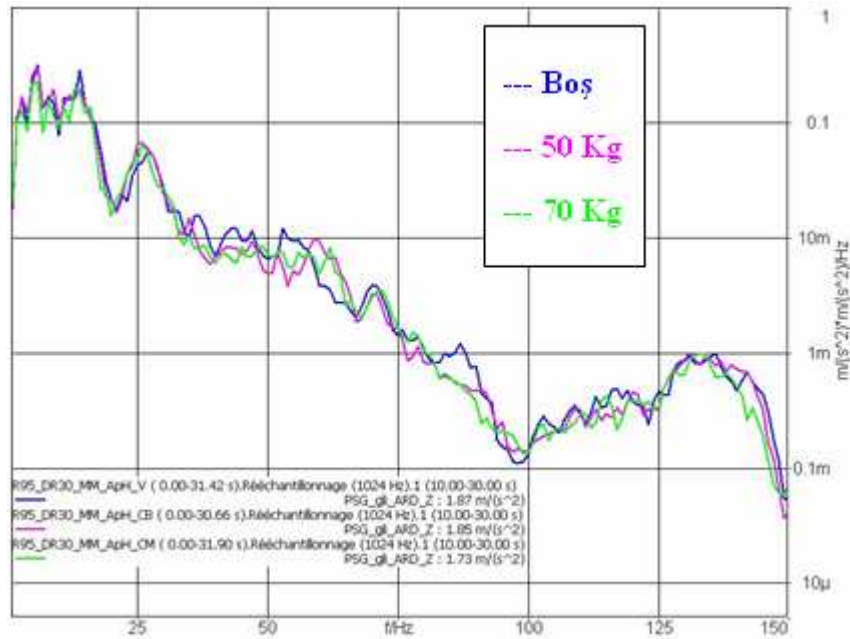
Taşıt hızının koltuk titreşimleri ve araç içi gürültüsüne olan etkisini belirlemek için yol testleri 30 ve 50 km/saat olmak üzere 2 farklı taşıt hızında gerçekleştirilmiştir.

Beklendiği gibi, yol testi sonuçlarında, taşıt hızının araç içi gürültüsüne ve koltuk titreşimlerine etkisi olduğu gözlenmiştir. Araç hızı arttıkça titreşim ve gürültü seviyesinin artmaktadır. Buna karşın, farklı hızlarda araç içinde farklı gürültü kaynakları olduğundan laboratuvarda sinyal üretimi her iki taşıt hızı için de gerçekleştirilecektir.

2.10.4 Koltuk yükü

Koltuk yükünün koltuk titreşimlerine ve araç içi gürültüsüne olan etkisini belirlemek için boş, 50 kg, 70 kg olmak üzere üç farklı konfigürasyonda testler gerçekleştirilmiştir.

Koltuk yükü ilk olarak sinyal üretme yönüyle değerlendirilmiştir. Laboratuvar testlerinde sinyal üretimi için kullanılacak noktalar koltuk kızıağı üzerinden seçilecektir. Öncelikle koltuğun boş ya da yüklü olmasının koltuk kızıağından toplanan titreşimlere etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Bunun için her üç konfigürasyondan elde edilen PSD eğrileri süperpoze edilerek sinyaller karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma bütün pistler ve X, Y, Z yönündeki titreşimler için tekrarlanmıştır. Aşağıda örnek olarak DR30 pisti – Z yönündeki karşılaştırma verilmiştir.

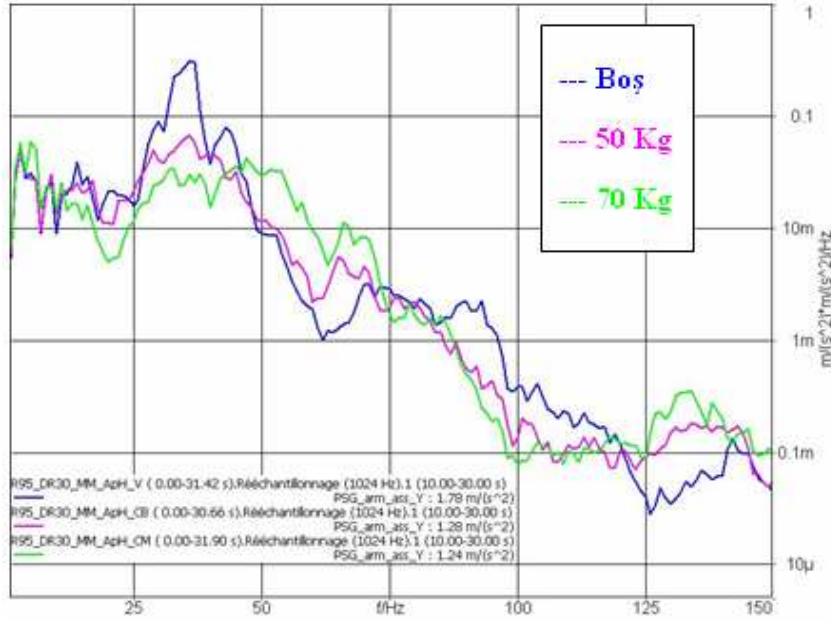


Şekil 2.28 : DR30 Pisti – Z Yönü – Farklı yüklerdeki koltuk kızıağı ivme titreşimlerinin frekansa bağlı değişimi.

Grafikte de görüldüğü üzere koltuğun yüklü olup olmaması koltuk kızıağındaki titreşimlerde bir fark yaratmamaktadır. Yapılan bütün karşılaştırmalarda da bir fark görülmemiştir. Sonuç olarak koltuk yükünün koltuk kızıağı titreşimlerine bir etkisi olmadığından, laboratuvar testlerinde sinyal üretimine de bir etkisi olmadığı belirlenmiştir.

Koltuk yükü ikinci olarak araç içi gürültüsüne etkisi yönünden değerlendirilmiştir. Buna göre her üç konfigürasyonda, koltuk sırtı, başlığı, oturağı gibi ölçüm

noktalarından elde edilen titreşim verileri karşılaştırılmış, koltuk yükünün araç içi gürültüsüne etkisi araştırılmıştır. Aşağıda örnek olarak koltuk başlığı – DR30 pisti – Y yönündeki karşılaştırma verilmiştir.



Şekil 2.29 : DR30 Pisti – Y Yönü – Farklı yüklerdeki koltuk başlığı ivme titreşimlerinin frekansa bağlı değişimi.

Verilen örnekte mavi ile gösterilen eğri boş duruma aittir. Bu belirgin fark yapılan diğer karşılaştırmalarda da belirlenmiştir. Dolayısıyla koltuk yükü araç içi gürültüsünü etkileyen bir parametredir diyebiliriz. Bu sebeple, laboratuvar testleri, akustik açıdan en kritik yük olan boş durum için yapılacaktır.

2.10.5 Koltuk pozisyonu

Koltuk pozisyonunun koltuk titreşimlerine ve araç gürültüsüne olan etkisini belirlemek için üç farklı koltuk pozisyonunda testler gerçekleştirilmiştir. Bölüm 2.6’da kullanılan koltuk pozisyonları açıklanmıştır.

Koltuk pozisyonları ilk olarak sinyal üretme yönüyle değerlendirilmiştir. Bölüm 4.1.4’te de belirtildiği gibi, laboratuvar testlerinde sinyal üretimi için kullanılacak noktalar koltuk kazağı üzerinden seçilecektir. Öncelikle farklı koltuk pozisyonlarının koltuk kazağındaki titreşimlere etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Bunun için farklı koltuk pozisyonlarından elde edilen PSD eğrileri süperpoze edilerek sinyaller karşılaştırılmıştır. Aşağıda örnek olarak DR30 pisti – Z yönündeki karşılaştırma verilmiştir.



Şekil 2.30 : DR30 Pisti – Z Yönü – Farklı pozisyonlardaki koltuk kazağı ivme titreşimlerinin frekansa bağlı değişimi.

Grafikte de görüldüğü üzere her üç konfigürasyon arasında belirgin bir fark bulunmamaktadır. Yapılan bütün karşılaştırmalarda da bir fark görülmemiştir. Sonuç olarak koltuk pozisyonunun koltuk kazağı titreşimlerine bir etkisi olmadığından, laboratuvar testlerinde sinyal üretimine de bir etkisi olmadığı belirlenmiştir.

Koltuk pozisyonu ikinci olarak araç içi gürültüsüne etkisi yönünden değerlendirilmiştir. Buna göre her üç konfigürasyonda, koltuk sırtı, başlığı, oturağı gibi ölçüm noktalarından elde edilen titreşim verileri karşılaştırılmış, koltuk yükünün titreşime etkisi araştırılmıştır. Aşağıda örnek olarak koltuk oturağı – DR30 pisti – X yönündeki, koltuk sırtı – DR30 – X yönündeki karşılaştırmalar verilmiştir.



Şekil 2.31 : DR30 Pisti – X Yönü – Farklı pozisyonlardaki koltuk oturağı ivme titreşimlerinin frekansa bağlı değişimi.



Şekil 2.32 : PS30 Pisti – X Yönü– Farklı pozisyonlardaki koltuk sırtı ivme titreşimlerinin frekansa bağlı değişimi.

Verilen örnekte farklı koltuk pozisyonlarında koltuk oturağı titreşimlerinde bir fark gözlenmemektedir. Buna karşın koltuk sırtı titreşimlerinde ise farklı frekanslarda, farklı konfigürasyonların daha baskın olduğu gözlenmiştir. Koltuk sırtında görülen bu durum koltuk başlığında da görülmüştür. Sonuç olarak yapılan bütün ölçümlerde

titreşim seviyeleri karşılaştırıldığında koltuk pozisyonunun koltuk oturağı titreşiminde etkili olmadığı, koltuk sırtı ve başlığı titreşiminde ise etkin olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla koltuk pozisyonu araç içi gürültüsünü etkileyen bir parametredir diyebiliriz. Baskın olan koltuk pozisyonu frekans aralığı ve piste göre farklılık gösterdiğinden, laboratuvar testlerinde ortalama bir yolcuyu temsil eden, 2. konfigürasyon kullanılacaktır.

3. LABORATUVAR TESTLERİ

3.1 Deney Düzeneği

Yol koşullarını laboratuvar ortamında simüle etmek için sarsıcı sistemler kullanılır. Sarsıcılar temel olarak tek eksenli ve çok eksenli sarsıcılar olarak ikiye ayrılabilir. Tek eksenli olanlar daha basit bir teknolojiye sahip olduklarından daha ucuz fakat yol koşullarını yaratmak bakımından çok eksenli sarsıcılara oranla daha sınırlıdır. EK B.1’de Team Corporation firmasının tek eksenli ve çok eksenli sarsıcılarına ait ürünleri ve çalışma aralıkları verilmiştir [16], [17]. Bu projede her iki tip sarsıcının da kullanılmasının nedeni, iki sarsıcı tipinin karşılaştırılarak, koltuk titreşim / akustik ölçümlerinde tek eksenli sarsıcının yeterli olup olmayacağını belirlemektir.

Kullanılacak sarsıcı belirlendikten sonra, sarsıcı üzerine monte edilecek ve yol üzerinde giden taşıtı temsil edecek düzeneğe karar verilmelidir. Bu çalışmada birkaç düzenek kullanılmıştır. Kullanılan düzenekler sırasıyla;

1. Çok eksenli sarsıcı üzerine monte edilmiş taşıt ön kabini
2. Çok eksenli sarsıcı üzerine monte edilen sürücü ve yolcu koltuğu
3. Çok eksenli sarsıcı üzerine monte edilen yolcu koltuğu
4. Tek eksenli sarsıcı üzerine monte edilen yolcu koltuğudur

Bölüm 2.1’de de bahsedildiği üzere, yol testlerinde ölçümleri basitleştirmek adına, ölçümler taşıtın ön bölümünden alınmıştır. Bu sebeple de, laboratuvar testinde ilk düzenek olarak taşıt ön kabini kullanılmıştır. Buna ek olarak kabin gürültüsüne koltukların etkisini belirlemek de proje amaçlarından biridir. Bu sebeple, ikinci düzenek olarak, çok eksenli sarsıcı / yolcu + sürücü koltuğu düzeneği kullanılmıştır. Yol testleri esnasında sürücü koltuğunda sürücü olduğundan, ikinci düzenekte sürücü koltuğuna 70 kg’lık ağırlık konulmuştur. Projede kullanılan tek eksenli sarsıcıya, sistemin kısıtları yüzünden, taşıt kabini ya da yolcu – sürücü koltuğu gibi ağır düzenekler monte edilememiştir. Dolayısıyla tek eksenli sarsıcı üzerine sadece yolcu koltuğu monte edilerek de deneyler gerçekleştirilmiştir. Tek eksenli sarsıcıyla yapılan bu deneyleri çok eksenli sarsıcıyla karşılaştırabilmek adına da, çok eksenli

sarsıcıya da bu düzenek (yolcu koltuğu) bağlanmış ve deneyler çok eksenli sarsıcı üzerinde de gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki şekillerde kullanılan düzenekler monte edildikleri sarsıcılarla birlikte verilmiştir.



Şekil 3.1 : Çok eksenli sarsıcı üzerine monte edilmiş taşıt ön kabini.



Şekil 3.2 : Çok eksenli sarsıcı üzerine monte edilmiş sürücü ve yolcu koltuğu.



Şekil 3.3 : Çok eksenli sarsıcı üzerine monte edilmiş yolcu koltuğu.



Şekil 3.4 : Tek eksenli sarsıcı üzerine monte edilmiş yolcu koltuğu.

3.2 Ölçüm Noktaları

Yol ve laboratuvar testlerini karşılaştırmak için laboratuvar testlerinde yol testlerinde kullanılan ölçüm noktaları kullanılmalıdır.

Bu çalışmada da laboratuvar testlerinde kullanılan ölçüm noktalarının yol testleriyle aynı olmasına dikkat edilmiştir.

3.3 Kontrol Noktaları

Kontrol noktası kavramının anlaşılabilmesi için öncelikle bir sarsıcıda, sinyal oluşturmanın temel prensibinin kavranması gerekmektedir. Çok eksenli ve tek eksenli sarsıcılarda yol sinyali oluşturmanın prensibi aynı olmakla beraber, çok eksenli sarsıcıda sinyal üretmek tek eksenli göre biraz daha karmaşıktır. Yol testlerinde ivmeölçer yerleştirilen bütün noktalardan üç yönlü titreşim verisi toplanmaktadır. Bu veri, yoldan lastiklere, lastiklerden taşıta aktarılan titreşim verisidir. Laboratuvar testlerinde ise, sarsıcının, bu ölçüm noktalarında aynı etkiyi yaratması istenmektedir.

Özet olarak; ölçüm noktalarındaki titreşim bilinmektedir, bu titreşimi ölçüm noktalarında yaratmak için sarsıcının nasıl titreşmesi gerektiği bulunmalıdır. Ölçüm noktalarına ait titreşim verisinden, sarsıcı titreşiminin elde edilmesine sinyal üretme (uydurma) işlemi adı verilir.

Sinyal üretme işlemine öncelikle kullanılan düzeneğe sarsıcı arasındaki ilişkinin bulunması ile başlanır. Bu ilişki sarsıcı – düzeneğe arasındaki transfer fonksiyonlarının hesaplanmasıyla bulunur. Transfer fonksiyonu hesaplama temel prensibi şu şekildedir, sarsıcı, geniş frekans bandında, bilinen bir sinyalle tahrik edilir. Daha sonra sistemin bu sinyale olan tepkisi tespit edilir. Bunun için düzeneğin çeşitli bölgelerinden titreşim verisi ölçülmelidir. Büyük sistemler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda, kullanılan ölçüm noktası sayısı da fazla olacaktır. Ölçüm noktası sayısının artması transfer fonksiyonu hesabını zorlaştıran bir durumdur. Bu sebeple, transfer fonksiyonu hesabı için optimum sayıda sinyal üretimi açısından stratejik konumlarda noktalar belirlenmelidir. Şöyle ki;

1. Seçilen bu noktalar optimum sayıda olmalıdır. (Az olması gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmesini, çok olması hesaplamayı zorlaştırmaktadır.)

2. Gerçeğe yakın sonuçlar için noktaların düzeneğin içinde homojen bir şekilde dağılmış olması gerekmektedir.
3. Bu noktaların belirlenmesi en iyi deneysel yolla yapılmaktadır. Bu sebeple eğer daha önceden, benzer çalışmalar varsa önceki tecrübelerden yararlanılması önerilmektedir.

Verilen bu kriterlere göre seçilen noktalara da kontrol noktaları adı verilmektedir.

Bu çalışmada, kontrol noktaları, yukarıda açıklanan kriterler göz önünde bulundurularak, ölçüm noktaları arasından seçilmiştir. Bölüm 3.1’de verilen her düzeneğin için farklı kontrol noktaları kullanılmıştır. Öte yandan, her düzeneğin için en iyi kontrol stratejisini belirlemek adına, birkaç alternatif denenmiştir.

Her düzeneğin için kullanılan kontrol stratejileri aşağıda Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Kontrol Noktaları ve stratejileri.

Düzenek	Kontrol stratejisi	Kanal Sayısı	Kontrol noktaları
SARSICI / KABİN	ITER	6	Ön Sağ Kiriş - Y, Z
			Sol Ön Blok Alt Ayağı - X, Y, Z
			Sol Ön Blok Üst Ayağı - Y
	ITER-Ön Kons.	12	Ön Sağ Kiriş - Y, Z
			Sol Ön Blok Alt Ayağı - X, Y, Z
			Sol Ön Blok Üst Ayağı - Y
			Ön Konsol Sol Bağlantı Noktası - X, Y, Z
			Ön Konsol Sağ Bağlantı Noktası - Z
			Ön Konsol Üst Bağlantı Kancası - X
			Vites Kolu Konsolu - Z
	ITER-Koltuk	12	Ön Sağ Kiriş - Y, Z
			Sol Ön Blok Alt Ayağı - X, Y, Z
			Sol Ön Blok Üst Ayağı - Y
			Yolcu Koltuğu Kızağı Sağ Ön - X, Z
			Yolcu Koltuğu Kızağı Sol Arka - Y, Z
			Sürücü Koltuğu Kızağı Sol Ön - X, Z
	ITER-Ön Kons.-B aracı	12	Ön Sağ Kiriş - Y, Z
			Sol Ön Blok Alt Ayağı - X, Y, Z
			Sol Ön Blok Üst Ayağı - Y
			Ön Konsol Sol Bağlantı Noktası - X, Y, Z
			Ön Konsol Sağ Bağlantı Noktası - Z
			Ön Konsol Üst Bağlantı Kancası - X
			Vites Kolu Konsolu - Z
	ITER-Koltuk-B aracı	12	Ön Sağ Kiriş - Y, Z
			Sol Ön Blok Alt Ayağı - X, Y, Z
			Sol Ön Blok Üst Ayağı - Y
			Yolcu Koltuğu Kızağı Sağ Ön - X, Z
			Yolcu Koltuğu Kızağı Sol Arka - Y, Z
			Sürücü Koltuğu Kızağı Sol Ön - X, Z
SARSICI /	2Kol.	6	Yolcu Koltuğu Kızağı Sağ Ön - X, Z

Yolcu ve Sürücü Kol.	6Kanal		Yolcu Koltuğu Kızağı Sol Arka - Y, Z
			Sürücü Koltuğu Kızağı Sol Ön - X, Z
	2Kol.-7Kanal	7	Yolcu Koltuğu Kızağı Sağ Ön - X, Z
			Yolcu Koltuğu Kızağı Sol Arka - Y, Z
			Yolcu Koltuğu Kızağı Sol Ön - Y
			Sürücü Koltuğu Kızağı Sol Ön - X, Z
	2Kol.-6Kanal"	6	Yolcu Koltuğu Kızağı Sağ Ön - X, Z
			Yolcu Koltuğu Kızağı Sol Arka - Z
			Yolcu Koltuğu Kızağı Sol Ön - Y
			Sürücü Koltuğu Kızağı Sol Ön - X, Z
	2Kol.-6Kanal"-B aracı	6	Yolcu Koltuğu Kızağı Sağ Ön - X, Z
			Yolcu Koltuğu Kızağı Sol Arka - Z
			Yolcu Koltuğu Kızağı Sol Ön - Y
			Sürücü Koltuğu Kızağı Sol Ön - X, Z
SARSICI / Yolcu Kol.	Sarsıcı / 1 Z	1	Yolcu Koltuğu Kızağı Sağ Ön - Z
	Yolcu Kol.-6Kanal	6	Yolcu Koltuğu Kızağı Sağ Ön - Y, Z Yolcu Koltuğu Kızağı Sol Ön - X, Z Yolcu Koltuğu Kızağı Sol Arka - Y, Z
	Yolcu Kol.-6Kanal-Sürücü Kol. Sinyali	6	Sürücü Koltuğu Kızağı Sağ Ön - X, Z Sürücü Koltuğu Kızağı Sol Ön - Y, Z Sürücü Koltuğu Kızağı Sol Arka - Y, Z
SARSICI 1Z / Yolcu Kol.	Sarsıcı / 1 Z	1	Yolcu Koltuğu Kızağı Sağ Ön - Z

Kontrol stratejilerinin fotoğrafları ise EK B.3'te ayrıca verilmiştir.

3.4 Sensör Seçimi

Taşıt kabin gürültüsü ölçümlerinde kullanılan sensörler ve bunların seçiminde göz önünde bulundurulan kriterler Bölüm 2.4'te açıklanmıştır. Laboratuvar testlerinde de sensör seçimleri bu kriterlere göre yapılmıştır.

Laboratuvar testlerinde kullanılan sensörler yol testlerinde kullanılan mikrofon ve ivmeölçerler kullanılmıştır. Mikrofonların araç içine yerleştirilmesinde aynı aparat kullanılmış, mikrofonların yol testlerindeki gibi konumlandırılmasına dikkat edilmiştir. Mikrofonların yerleşimi Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 : Mikrofonların kabin içinde yerleşimi.

Mikrofonlarda olduğu gibi, ivmeölçerler de yol testlerindeki gibi konumlandırılmış, titreşim datası aynı bölgelerden toplanmıştır.

Ölçüm noktalarındaki ivmeölçerlere ek olarak, kontrol noktalarına da ivmeölçerler yerleştirilmiştir. Bölüm 3.3'te, transfer fonksiyonları hesabından bahsedilmişti. Buna göre, sarsıcı bilinen bir sinyal ile tahrik edilmekte, sistemin bu sinyale tepkisi ise kontrol noktalarından ölçülmektedir. Bu ölçüm ise kontrol noktalarına yerleştirilen ivmeölçerle yapılmaktadır.

Kontrol noktalarında kullanılan ivmeölçerler için yine PCB markası tercih edilmiş ve bu markanın +/- 50g'lık 3 eksenli ivmeölçerleri kullanılmıştır. Her bir kontrol noktası aynı zamanda bir ölçüm noktasıdır. Kontrol noktalarında kontrol ve ölçüm amaçlı iki adet ivmeölçer kullanılır. Data toplanan bölgenin aynı olması adına, ivmeölçerler mümkün olan en yakın şekilde konumlandırılmalıdır. Aşağıdaki resimlerde kontrol ve ölçüm noktalarına yerleştirilen ivmeölçerlerden birkaçı gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Ön sağ giriş ölçüm ve kontrol noktaları ivmeölçerleri.



Şekil 3.7 : Sol ön blok alt ayağı ölçüm ve kontrol noktaları ivmeölçerleri.

3.5 Koltuk Pozisyonları ve Yükleme

Koltuk pozisyonunun ve yüklemesinin koltuk titreşimlerine olan etkisini araştırmak için, farklı pozisyon ve yüklemelerde yol testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testlere göre de koltuk pozisyonu ve yüklemesinin, koltuk kazağı titreşimlerine bir etkisi olmadığı görülmüştür. Buna karşın koltuk oturağı, sırtı ve başlığında pozisyon ve yükün etkisi olduğu gözlenmiştir.

Pozisyon ve yükün koltuk kazağı titreşimlerini etkilememesi, bu bölgede bulunan kontrol noktalarının da etkilenmeyeceği anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, sinyal üretme işleminin herhangi bir pozisyon ve yükte yapılabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, bu çalışma göstermiştir ki, yol testlerinde sinyal toplama işlemi tek bir koltuk pozisyonu ve yükü için yapılabilir, yol testlerinin süresi önemli ölçüde kısaltılabilir.

Yol testleri sonuçlarında belirtildiği gibi, titreşim açısından en kritik yük, koltuğun boş olduğu haldir. Diğer taraftan, koltuk pozisyonu için aynı yargıya varılamamakta, farklı frekans aralıklarında farklı pozisyonlar baskın çıkmaktadır. Bu sebeple laboratuvar testlerinde, ortalama bir kullanıcıyı temsil eden 2. konfigürasyon (Koltuk kazağı konumu: Orta / Koltuk yüksekliği: Orta / Koltuk başlığı konumu: Yüksek) kullanılmıştır.

3.6 Ortam Sıcaklığı

Ortam sıcaklığının değişmesi araç içi gürültü seviyesinin değişmesine ve yeni gürültü kaynaklarının ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir. Bu durum, değişen ortam sıcaklığının malzeme özelliklerini değiştirmesinden kaynaklanmaktadır. Her malzemenin de değişen sıcaklığa verdiği tepkinin farklı olduğu da unutulmamalıdır. Bu nedenlerden dolayı, araç kabini tasarımında, seçilen malzemenin sıcaklık değişimine verdiği tepkinin de göz önünde bulundurulması önemlidir.

Bu çalışmada laboratuvarında çok eksenli sarsıcı – kabin üzerinde 0°C, 20°C, 40°C’lerde testler gerçekleştirilmiş, sıcaklık – gürültü ilişkisi araştırılmıştır. Sarsıcının bulunduğu oda akustik özelliklere sahip olmasının yanında iklimik özelliklere de sahiptir ve bu odada farklı sıcaklıklarda testler gerçekleştirilebilmektedir. Yapılan testler Çizelge 3.3’te verilmiştir.

3.7 Sinyal Üretimi

Ölçüm noktalarındaki titreşim verisi bilinmektedir. Bilinen bu veriden sarsıcı sinyalinin hesaplanmasına sinyal üretimi adı verilir. Bölüm 3.3’te sinyal üretiminden genel hatlarıyla bahsedilmişti, bu bölümde ise sinyal üretimi daha ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır.

3.7.1 Transfer fonksiyonlarının hesaplanması

Sarsıcıda sinyalinin hesabı için öncelikle sarsıcı ile düzenek arasındaki transfer fonksiyonlarının bulunması gerekmektedir. Transfer fonksiyonu genel olarak, sisteme verilen giriş sinyaliyle, sistemin bu sinyale verdiği cevabın arasındaki ilişki olarak tanımlanır. Herhangi bir sarsıcı – deney düzeneği arasındaki transfer fonksiyonu ise şu şekilde hesaplanır. İlk olarak, sarsıcı, bilinen bir sinyalle geniş frekans bandında tahrik edilir (giriş sinyali: X). Bu tip çalışmalarda kullanılan sinyale ‘beyaz gürültü’ adı verilir. Daha sonra, düzeneğin bu sinyale verdiği cevap (çıkış sinyali: Y) ölçülür. Bu ölçüm, kontrol noktalarına yerleştirilen ivme ölçerlerle yapılır. Buna göre sarsıcı – düzenek arasındaki transfer fonksiyonu;

$$Y = H \cdot X \quad (3.1)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Tek eksenli sarsıcı, tek kontrol noktası olduğu durumda (tek kanallı bir ölçümde) transfer fonksiyonu denklem (3.1) ile hesaplanabilir. Ama çoğu zaman kullanılan sistemler bundan daha karmaşıktır ve sistem karmaşıktıkça hesaplamalar da o oranda zorlaşacaktır. Daha karmaşık bir sistem olan, ‘Multi-Input Multi-Output (MIMO)’ sistemlerde bir transfer fonksiyonu matrisi oluşturulmalıdır [18].

Bir MIMO sisteminde, input sayısı p , output sayısı q olsun. Buna göre $x_i(t)$ zamana bağlı giriş sinyali, $y_i(t)$ ise zamana bağlı çıkış sinyali olarak belirlenirse, sistem denklem (3.2) ile tanımlanır.

$$y_r(t) = (h_{ri} * x_i)(t), \quad r=1,2,\dots,q \quad (3.2)$$

(3.2)’nin Laplace Transformu alındığında,

$$Y_r(s) = H_{ri}(s)X_i(s), \quad r=1,2,\dots,q \quad (3.3)$$

Bütün inputlar denklemde gösterilirse,

$$Y_r(t) = \sum_{i=1}^p (h_{ri} * x_i)(t), \quad r=1,2,\dots,q \quad (3.4)$$

(3.4)’ün Laplace Transformu alındığında,

$$Y_r(s) = \sum_{i=1}^p H_{ri}(s)X_i(s), \quad r=1,2,\dots,q \quad (3.5)$$

Bütün outputlar $Y(s)$ ’te gösterilirse,

$$Y(s) = \begin{bmatrix} Y_1(s) \\ Y_2(s) \\ \vdots \\ Y_q(s) \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Bütün input’lar $X(s)$ ’te gösterilirse,

$$X(s) = \begin{bmatrix} X_1(s) \\ X_2(s) \\ \vdots \\ X_p(s) \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Bütün input ve outputlar için transfer fonksiyonu gösterimi,

$$H(s) = \begin{bmatrix} H_{11}(s)H_{12}(s).....H_{1p}(s) \\ H_{21}(s)H_{22}(s).....H_{2p}(s) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ H_{q1}(s)H_{q2}(s).....H_{qp}(s) \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Yukarıda verilen, $Y(s)$, $X(s)$ ve $H(s)$ 'e göre p input, q outputlu bir sistemin transfer fonksiyonu denklem (3.6)'yla hesaplanır.

$$Y(s) = H(s)X(s) = \begin{bmatrix} H_{11}(s)H_{12}(s).....H_{1p}(s) \\ H_{21}(s)H_{22}(s).....H_{2p}(s) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ H_{q1}(s)H_{q2}(s).....H_{qp}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1(s) \\ X_2(s) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ X_p(s) \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Bu çalışmada da transfer fonksiyonları, her bir düzenek (Çok eksenli sarsıcı – Kabin, Çok eksenli sarsıcı – Yolcu ve Sürücü Koltukları, Çok eksenli sarsıcı – Yolcu Koltuğu, Tek eksenli sarsıcı – Yolcu koltuğu) ve her düzeneikte farklı kontrol stratejileri için hesaplanmıştır. Projede kullanılan çok eksenli sarsıcı 6 serbestlik derecesine sahip bir sarsıcıdır. Tek eksenli sarsıcı ise 1 serbestlik derecesine sahip ve sadece Z doğrultusunda titreşim veren bir sarsıcıdır. Öncelikle sarsıcılarda geniş frekans aralığına sahip, bilinen bir sinyal çalınmıştır. Daha sonra bilinen bu sinyalin yarattığı etki, kontrol noktalarına yerleştirilmiş olan ivmeölçerler yardımıyla ölçülmüştür. Giriş ve çıkış sinyalleri bilinen bir sistemin transfer fonksiyonları ise (3.6) bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Örneğin, çok eksenli sarsıcı – Kabin düzeneği ITER kontrol stratejisi için 6 serbestlik dereceli sarsıcıdan dolayı input sayısı (p) 6, 6 kanal sayısına sahip ITER kontrol stratejisinde output sayısı (q) 6 olacaktır. ITER – Ön Konsol kontrol stratejisinde ise, 12 kanaldan veri toplandığı için output sayısı 12 olacaktır.

Bu şekilde her kanala karşılık gelen bütün transfer fonksiyonları hesaplanmıştır.

3.7.2 İlk sinyalin üretimi

Transfer fonksiyonlarının tanımlanmasından sonraki adım, sarsıcı sinyalinin üretilmesidir. Bu aşamada bilinenler, kontrol noktalarındaki çıkış sinyali (yol testlerinden elde edilmiş titreşim verisi) ve sistemin karakteristiğini belirten transfer

fonksiyonlarıdır. Bu veriler kullanılarak, sisteme verilmesi gereken giriş sinyali yani sarsıcıda çalınması gereken sinyal bulunmalıdır. Giriş sinyali, teorik olarak 3.3 bağıntısıyla hesaplanabilir.

$$Y = H^{-1} * X \quad (3.10)$$

3.3 bağıntısına göre, kontrol noktalarındaki sinyal (çıkış sinyali; Y), transfer fonksiyonunun tersiyle çarpıldığında X sinyali elde edilmeli ve X sinyali sarsıcıda çalındığında da ise tekrar Y sinyaline ulaşılabilmelidir. Fakat pratikte 3.3 bağıntısıyla elde edilen X sinyali, sarsıcıda çalındığında Y sinyali elde edilemez. Bu, transfer fonksiyonunun lineer olmamasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, istenilen sinyalin bulunabilmesi için, iterasyon yapılmalıdır.

3.7.3 İterasyonlar

İterasyon istenilene, hedefe ya da bir sonuca yaklaşmak amacıyla yapılan bir tekrarlama işlemidir. İterasyon işleminde yapılan her tekrara iterasyon adı verilir. Her tekrarda, bir önceki iterasyonun sonucuna (çıkışına) iterasyon fonksiyonu adı verilen bir bağıntı uygulanır ve bir sonraki iterasyonun başlangıç noktası elde edilmiş olur. Yani her iterasyonun sonucu, bir sonraki iterasyonun başlangıç noktasıdır.

Şu aşamada bilinenler, yol sinyali (deney düzeneğinden alınmak istenen çıkış sinyali), sistemin transfer fonksiyonları (Bölüm 3.7.1’de hesaplanmıştı). Bu bilinenlerden yola çıkılarak bulunmak istenen sistemin giriş sinyali, yani yol sinyalini elde edebilmek için sarsıcıda çalınması gereken sinyaldir. Bir önceki bölümde de bahsedildiği gibi, sistem lineer bir karakteristiğe sahip olsaydı, giriş sinyali aşağıda verilen (3.4) bağıntısıyla kolayca hesaplanabilirdi.

$$\{Y_o(w)\} = [H(w)]^{-1} \{X_r(w)\} \quad (3.11)$$

Sistemin lineer olmaması sebebiyle, sisteme verilmesi gereken sinyalin hesaplanması için iterasyon yapılmalıdır. Genel bir iterasyon için aşağıdaki adımlar izlenir [19].

3.4 bağıntısına IFFT (inverse FFT) uygulanır, U_0 zaman cinsinden ifade edilir.

$$\{Y_o(t)\} = IFFT[\{Y_o(w)\}] \quad (3.12)$$

Zaman cinsinden elde edilen Y_0 , sarsıcıda çalınır ve kontrol noktalarındaki çıkış sinyali $X_1(t)$ şeklinde ölçülür.

Tahmin edildiği gibi $X_1(t)$, elde edilmek istenen $X_r(t)$ ’e eşit değildir. İki sinyal arasındaki fark (hata) ise,

$$\varepsilon_I(t) = \{X_r(t)\} - \{X_1(t)\} \quad (3.13)$$

Fark, frekans cinsinden ifade edilirse,

$$\Delta X_1(w) = FFT[\{\varepsilon_1(t)\}] \quad (3.14)$$

Fark sinyali elde etmek için sinyale sağlanması gereken giriş sinyali,

$$\{\Delta Y_1(w)\} = [H(w)]^{-1} * \{\Delta X_1(w)\} \quad (3.15)$$

Giriş sinyalinin zaman cinsinden ifadesi,

$$\{\Delta Y_1(t)\} = IFFT\{\Delta Y_1(w)\} \quad (3.16)$$

İlk iterasyonda elde edilen sinyal,

$$\{Y_1(t)\} = \{Y_0(t)\} + \{\Delta Y_1(t)\} \quad (3.17)$$

Elde edilen yeni giriş sinyali sistemde tekrar çalınır, sistemden alınan çıkış sinyali ile elde edilmek istenen yol sinyali arasındaki hata tekrar hesaplanarak, iterasyon adımları tekrarlanır. İterasyon süreci, hata sıfıra yaklaşıp kadar devam edilir. Buna göre (3.10)-(3.14) denklemlerinin i cinsinden ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\varepsilon_i(t) = \{X_r(t)\} - \{X_i(t)\} \quad (3.18)$$

$$\Delta X_i(w) = FFT[\{\varepsilon_i(t)\}] \quad (3.19)$$

$$\{\Delta Y_i(w)\} = [H(w)]^{-1} * \{\Delta X_i(w)\} \quad (3.20)$$

$$\{\Delta Y_i(t)\} = IFFT\{\Delta Y_i(w)\} \quad (3.21)$$

$$\{Y_i(t)\} = \{Y_{i-1}(t)\} + \{\Delta Y_i(t)\} \quad (3.22)$$

Bu projede de yukarıda açıklanan geleneksel iterasyon yaklaşımına yakın bir algoritma kullanılmıştır. Projede kullanılan algoritmadaki tek fark, Y_0 'ın yarısı alınmış ve sarsıcıda $Y_0/2$ çalınmıştır. Sistemde $Y_0/2$ 'in $X_1(t)/2$ elde edilmiş, $X_r(t)$ ile $X_1(t)/2$ arasındaki hata hesaplanmıştır. Bu yolla istenilen yol sinyaline (giriş sinyali) daha küçük adımlarla yaklaşılarak, gerçeğe benzeyen bir sinyal üretilmiştir.

Çizelge 3.1'de belirtilen düzenek ve kontrol stratejileri için transfer fonksiyonları hesaplanmış, itereasyonlar tamamlanmış ve 'sarsıcı giriş sinyalleri' üretilmiştir.

3.8 Laboratuvar Ölçümleri

Üretilen sinyalin doğrulaması ise laboratuvar ölçümleriyle yapılır. Bölüm 3.8'de anlatılan metotlarla kullanılan sistemin transfer fonksiyonları hesaplanır, daha sonra bu transfer fonksiyonları ve yol sinyalleri baz alınarak sarsıcıda çalınması gereken sinyaller üretilir.

Bir sonraki adım, üretilen sinyallerle gerçeğe ne kadar yaklaşıldığının yani yol koşullarının ne oranda elde edildiğinin kontrolüdür. Üretilen sinyaller sarsıcıda çalınır sonuçlar aşağıdaki iki yolla kontrol edilir,

- Titreşim sinyallerinin karşılaştırılması
- Sübjektif – Akustik karşılaştırma

Titreşim sinyallerinin karşılaştırması metodunda, yol testinde ölçüm noktalarından elde edilen titreşim verisiyle, laboratuvar testinde elde edilen sinyaller karşılaştırılır. Bunun için laboratuvar ve yol testlerinde mümkün olduğunca aynı noktalardan ölçüm almak önemlidir. Unutulmamalıdır ki sinyal üretme bir yaklaşımdır dolayısıyla, her ölçüm noktasında %100 aynı çıkış sinyalini elde etmek mümkün olmamakla beraber, artık gelişen sarsıcı sistemleri ve iterasyon yazılım teknolojileriyle yol-laboratuvar test sonuçları arasındaki hata ciddi oranda azalmıştır. Sübjektif – akustik karşılaştırma metodunda ise, tecrübeli kulaklardan yararlanılır. Yol testlerinde ve laboratuvar testlerinde ortamdaki tecrübeli kulaklar hangi pistte hangi hızda gidildiğinin tespit edebilir aynı şekilde hangi pistin ve hızın ne oranda simüle edildiğini anlayabilir. Bu yöntem kişinin tecrübesine bağlı olmakla beraber, kulağın çok tecrübeli olması durumunda titreşim verisi karşılaştırmasına oranla daha anlamlı sonuçların elde edildiği bir yoldur.

Bu çalışmada Bölüm 3.1’de belirtildiği gibi, 4 farklı deney düzeneği kullanılmıştır. Bunlar,

1. Çok eksenli sarsıcı üzerine monte edilmiş taşıt ön kabini (SARSICI / KABİN)
2. Çok eksenli sarsıcı üzerine monte edilen sürücü ve yolcu koltuğu (SARSICI / Yolcu ve Sürücü Koltuğu)
3. Çok eksenli sarsıcı üzerine monte edilen yolcu koltuğu (SARSICI / Yolcu Koltuğu)
4. Tek eksenli sarsıcı üzerine monte edilen yolcu koltuğudur (SARSICI 1Z / Yolcu Koltuğu)

3.8.1 Çok eksenli sarsıcı / Kabin düzeneğindeki testler

Gerekli bütün ön hazırlıklar tamamlandıktan sonra laboratuvar testlerine geçilmiştir. Laboratuvar testlerine en karmaşık düzenek olan çok eksenli sarsıcı / kabin

düzenegiyle başlanmıştır. Öncelikle yol testlerinde de yapıldığı gibi, yol testinde kullanılan A aracının yolcu ve sürücü koltukları araç kabinine monte edilmiştir. Bu şekilde kabin ve A aracı arasında koltuk kaynaklı farklar minimize edilmeye çalışılmıştır. Yol testi sonuçlarında belirlendiği gibi, koltuk pozisyon ve yüklemesinin kontrol noktalarından toplanan sinyale etkisi olmamıştır. Fakat pozisyon ve yüklemenin ölçüm noktalarındaki titreşimi etkilediği gözlenmiştir. Laboratuvar testleri titreşim açısından en kritik durum olan boş halde ve ortalama kullanıcıyı temsil eden koltuk konumu: orta / koltuk yüksekliği: orta / koltuk başlığı: yüksek pozisyonda yapılmıştır. Pist çeşidi, taşıt hızı ve taşıt tipi laboratuvar ortamında ayrı ayrı gözlenmek istendiğinden, Arnavut kaldırımı ve parke taş pistlerinde 30 ve 50 km/h hızlarda, A ve B taşıtlarında ayrı ayrı gerçekleştirilen yol testlerinde toplanan bütün sinyaller laboratuvar testlerinde denenmiştir. Farklı hız, yol ve taşıt tiplerinde gerçeği en iyi temsil eden kontrol stratejisinin bulunması amaçlanmıştır. Bunun için daha önce de bahsedildiği gibi titreşim verisi karşılaştırılmış, yol ve laboratuvar testleri arasındaki hata hesaplanmıştır. Bu hesaplama ek olarak kabin içindeki gürültü seviyesi dinlenmiş, yol testlerindeki gürültüyle subjektif olarak karşılaştırılmıştır. En iyi kontrol stratejisinin tespit edilmesinden sonra ortam sıcaklığının gürültüye etkisi araştırılmış ve 0°C, 20°C, 40°C’de testler tekrarlanmıştır.

Çok eksenli sarsıcı / Kabin düzenegiyle toplamda 32 test gerçekleştirilmiş ve bu testler Çizelge 3.2’te verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Çok eksenli sarsıcı / kabin laboratuvar testleri.

TEST NO	DÜZENEK	Kontrol Stratejisi	PİST	HIZ (km/s)	Ortam Sıcaklığı
1	KABİN / SARSICI	ITER	AK	30	-
2	KABİN / SARSICI	ITER	AK	50	-
3	KABİN / SARSICI	ITER	PT	30	-
4	KABİN / SARSICI	ITER	PT	50	-
5	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol	AK	30	-
6	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol	AK	50	-
7	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol	PT	30	-
8	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol	PT	50	-
9	KABİN / SARSICI	ITER / Koltuk	AK	30	-
10	KABİN / SARSICI	ITER / Koltuk	AK	50	-

11	KABİN / SARSICI	ITER / Koltuk	PT	30	-
12	KABİN / SARSICI	ITER / Koltuk	PT	50	-
13	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol B Aracı	AK	30	-
14	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol B Aracı	AK	50	-
15	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol B Aracı	PT	30	-
16	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol B Aracı	PT	50	-
17	KABİN / SARSICI	ITER / Koltuk B Aracı	AK	30	-
18	KABİN / SARSICI	ITER / Koltuk B Aracı	AK	50	-
19	KABİN / SARSICI	ITER / Koltuk B Aracı	PT	30	-
20	KABİN / SARSICI	ITER / Koltuk B Aracı	PT	50	-
21	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol	AK	30	0°C
22	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol	AK	50	0°C
23	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol	PT	30	0°C
24	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol	PT	50	0°C
25	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol	AK	30	20°C
26	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol	AK	50	20°C
27	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol	PT	30	20°C
28	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol	PT	50	20°C
29	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol	AK	30	40°C
30	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol	AK	50	40°C
31	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol	PT	30	40°C
32	KABİN / SARSICI	ITER / Ön Konsol	PT	50	40°C

3.8.2 Çok eksenli sarsıcı / Yolcu ve Sürücü koltuğu düzeneğindeki testler

Kabin düzeneğinden sonra en karmaşık ikinci düzenek olan çok eksenli sarsıcı / Yolcu ve Sürücü koltuğu düzeneğine geçilmiştir. Bu düzenekte de çalışmanın en başından beri kullanılan koltuklar kullanılmıştır. Koltuklar direk olarak sarsıcının üzerinde araç pozisyonundaki gibi monte edilmiştir. Koltuk pozisyon ve yükü kabin testindeki ile aynıdır. Laboratuvar testleri, iki tip pist, taşıt ve farklı hızlar için de tekrarlanmıştır. Burada üç kontrol stratejisi karşılaştırılmış, en iyi olanı subjektif (dinleme) ve objektif (titreşim verisi karşılaştırma) yöntem uygulanarak belirlenmiştir.

Çok eksenli sarsıcı / Yolcu ve Sürücü Koltuğu toplamda 16 test gerçekleştirilmiş ve bu testler Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Çok eksenli sarsıcı / yolcu ve sürücü koltuğu laboratuvar testleri.

TEST NO	DÜZENEK	Kontrol Stratejisi	PİST	HIZ (km/s)	Ortam Sıcaklığı
1	Yolcu ve Sürücü Kol. / SARSICI	7 kontrol noktası	AK	30	-
2	Yolcu ve Sürücü Kol. / SARSICI	7 kontrol noktası	AK	50	-
3	Yolcu ve Sürücü Kol. / SARSICI	7 kontrol noktası	PT	30	-
4	Yolcu ve Sürücü Kol. / SARSICI	7 kontrol noktası	PT	50	-
5	Yolcu ve Sürücü Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası	AK	30	-
6	Yolcu ve Sürücü Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası	AK	50	-
7	Yolcu ve Sürücü Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası	PT	30	-
8	Yolcu ve Sürücü Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası	PT	50	-
9	Yolcu ve Sürücü Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası	AK	30	-
10	Yolcu ve Sürücü Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası	AK	50	-
11	Yolcu ve Sürücü Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası	PT	30	-
12	Yolcu ve Sürücü Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası	PT	50	-
13	Yolcu ve Sürücü Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası B Aracı	AK	30	-
14	Yolcu ve Sürücü Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası B Aracı	AK	50	-

15	Yolcu ve Sürücü Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası B Aracı	PT	30	-
16	Yolcu ve Sürücü Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası B Aracı	PT	50	-

3.8.3 Çok eksenli sarsıcı / Yolcu koltuğu düzeneğindeki testler

Bir sonraki adım olan, çok eksenli sarsıcı / yolcu koltuğu deney düzeneğinde testler gerçekleştirilmiştir. Sarsıcıya sadece yolcu koltuğu araç pozisyonundaki gibi aynı konfigürasyonda monte edilmiştir. Laboratuvar testleri iki koltuk üzerinde gerçekleştirilen testlerdeki gibi, iki tip pist, taşıt ve farklı hızlar için de tekrarlanmıştır. Burada 6 kontrol noktalı ve 1 kontrol noktalı olmak üzere 2 kontrol stratejisi karşılaştırılmıştır. 6 kontrol noktasıyla 1 kontrol noktasına göre çok daha iyi bir sonuç elde edileceği aşikârdır. Burada esas amaç 1 kontrol noktalı stratejiyle de yol şartları temsil edilebiliyor mu, bu araştırılmıştır. Bu testlere ek olarak, 6 noktalı kontrol stratejisi için, yolcu koltuğuna sürücü koltuğu sinyalleri (yol testlerinden elde edilen) verilmiştir ve yolcu koltuğundan titreşim verisi toplanmıştır. Buradaki amaç ise, gelecekteki projelerde bir sinyal grubuyla hem sürücü hem koltuk koltuğu üzerinde akustik test gerçekleştirilirse anlamlı sonuçlar elde edilir mi sorusunun cevabını bulmaktır. Bu uygulamanın kontrol stratejisinde dikkat edilen nokta, sinyallerin ‘ayna etkisi’ dikkate alınarak uygulanmasıdır. Şöyleki, sürücü koltuğunun sol ön kazağından toplanan sinyaller, yolcu koltuğunun sağ ön kazağındaki kontrol noktasına, titreşim yönü ‘ters çevrilerek’ uygulanmıştır.

Çok eksenli sarsıcı / Yolcu Koltuğu düzeneğiyle toplamda 12 test gerçekleştirilmiş ve bu testler Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Çok eksenli sarsıcı / yolcu koltuğu laboratuvar testleri.

TEST NO	DÜZENEK	Kontrol Stratejisi	PİST	HIZ (km/s)	Ortam Sıcaklığı
1	Yolcu Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası	AK	30	-
2	Yolcu Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası	AK	50	-
3	Yolcu Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası	PT	30	-
4	Yolcu Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası	PT	50	-
5	Yolcu Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası / Sürücü Siny.	AK	30	-

6	Yolcu Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası / Sürücü Siny.	AK	50	-
7	Yolcu Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası / Sürücü Siny.	PT	30	-
8	Yolcu Kol. / SARSICI	6 kontrol noktası / Sürücü Siny.	PT	50	-
9	Yolcu Kol. / SARSICI	1 kontrol noktası	AK	30	-
10	Yolcu Kol. / SARSICI	1 kontrol noktası	AK	50	-
11	Yolcu Kol. / SARSICI	1 kontrol noktası	PT	30	-
12	Yolcu Kol. / SARSICI	1 kontrol noktası	PT	50	-

3.8.4 Çok eksenli sarsıcı / Yolcu koltuğu düzeneğindeki testler

Son olarak, tek eksenli sarsıcı (Z) / Yolcu koltuğu düzeneğinde testler gerçekleştirilmiştir. Sarsıcıya sadece yolcu koltuğu araç pozisyonundaki gibi aynı konfigürasyonda monte edilmiştir. Çok yönlü Laboratuvar testleri iki koltuk üzerinde gerçekleştirilen testlerdeki gibi, iki tip pist, taşıt ve farklı hızlar için de tekrarlanmıştır. Kullanılan sarsıcı sadece z yönünde titreşim oluşturduğundan burada koltuk üzerinde tek kontrol noktası seçilmiş, koltuğa bu noktadan sadece z yönünde titreşim verilmiştir. Tek eksenli sarsıcının çok eksenli sarsıcıya göre sadece maliyet avantajı vardır. Dolayısıyla burada az bir yatırımla yani tek eksenli sarsıcıyla koltuk akustiği üzerine representatif bir çalışma yapılabilir mi'nin cevabı aranmıştır. Çok eksenli sarsıcı testlerinde olduğu gibi, dinleme ve titreşim verileri karşılaştırılarak test düzeneği değerlendirilmiştir.

Tek eksenli sarsıcı (Z) / Yolcu Koltuğu düzeneğiyle toplamda 4 test gerçekleştirilmiş ve bu testler Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5 : Tek eksenli sarsıcı (Z) / yolcu koltuğu laboratuvar testleri.

TEST NO	DÜZENEK	Kontrol Stratejisi	PİST	HIZ (km/s)	Ortam Sıcaklığı
1	Yolcu Kol. / SARSICI 1Z	1 kontrol noktası Gabarit	AK	30	-

2	Yolcu Kol. / SARSICI 1Z	1 kontrol noktası Gabarit	AK	50	-
3	Yolcu Kol. / SARSICI 1Z	1 kontrol noktası Gabarit	PT	30	-
4	Yolcu Kol. / SARSICI 1Z	1 kontrol noktası Gabarit	PT	50	-

3.9 Sinyal İşleme

Laboratuvar testlerinde sinyal işleme etabında yol testlerinde kullanılan aynı adımlar izlenmiştir. Buna göre Bölüm 2.8.1’de açıklanan 4 etapta laboratuvar testlerinde kaydedilen sinyaller optimize edilmiştir. Sırasıyla,

1. Mikrofonlar ve ivmeölçerlerden elde edilen sinyallerin iki farklı dosya şeklinde kaydedilmiştir.
2. Veriler Butterworth filtresiyle (4. Derece, alçak geçirgen filtre, kesim frekansı 512 Hz) filtrelenmiştir. .
3. Verilerin örnekleme frekansı 1024 olarak değiştirilmiştir.

3.10 Sonuçların Hesaplanması

Laboratuvar ölçümleri bölümünde de anlatıldığı gibi, üretilen yol sinyalleri her düzenek için ayrı ayrı çalınmış ve bütün ölçüm noktalarından titreşim verisi toplanmıştır. Toplanan sinyaller yol testlerinde uygulanan sinyal işleme adımları takip edilerek işlenmiştir. Bu bölümde ise, yol sinyalleri ile laboratuvar testlerinden elde edilen ve işlenen sinyallerin karşılaştırılması için kullanılan hesap mantığı açıklanacaktır.

Yol sinyalleri ile laboratuvarda elde sinyaller arasındaki karşılaştırma, bölüm 2.9’da kullanılan hesap mantığı kullanılarak yapılmıştır. Sinyallerin RMS değerleri arasındaki farkın yüzde cinsinden ifade edilerek hata hesaplanmıştır. Hesaplama sırasında aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

5. RMS ve PSD değerlerinin hesaplanması
6. PSD cinsinden ifade edilen sinyallerin süperpoze edilmesi
7. 0-50 Hz arası dikkate alınarak yüzde cinsinden hata hesaplanması
8. Ortalama hatanın hesaplanması

Adımları belirtilen hesaplama yöntemi detaylı bir şekilde çok eksenli sarsıcı / Kabin deney düzeneği üzerinden anlatılacaktır.

İlk olarak laboratuvar testlerinden zamana bağlı olarak toplanan ve daha sonra işlenen dataların (PS30, PS50, DR30, DR50 – her pist için – her kontrol stratejisi için – her ölçüm noktası için ayrı – farklı frekans aralıklarında) güç spektrumları hesaplanmıştır. Aşağıda PSD hesaplama tablosunun bir bölümü verilmiştir.

Çizelge 3.6 : Her ölçüm noktası için frekans – ivme değerleri çizelgesi.

Güç Spektrumu

Sorte:	Power spectral density								ModuleInfo_2_02 = string (Type: 1, Se								
Valeurs glob	1.00 m/(s ²)	1.12 m/(s ²)	2.11 m/(s ²)	1.09 m/(s ²)	0.967 m/(s ²)	1.88 m/(s ²)	1.75 m/(s ²)										
frequency	virtual quantit	virtual quantit	virtual quantit	virtual quantit	virtual quantit	virtual quantit	virtual quantit	virtual quant									
f	virt. qu.	virt. qu.	virt. qu.	virt. qu.	virt. qu.	virt. qu.	virt. qu.	virt. qu.									
Hz	m/(s ²)*m/(s ²)	m/(s ²)*m/(s ²)	m/(s ²)*m/(s ²)	m/(s ²)*m/(s ²)	m/(s ²)*m/(s ²)	m/(s ²)*m/(s ²)	m/(s ²)*m/(s ²)	m/(s ²)*m/(s ²)									
	LONG_AVD	LONG_AVD	LONG_AVD	PIED_MIL_IN	PIED_MIL_IN	PIED_MIL_IN	PIED_MIL_IN	PIED_MIL_IN									
1	0,00124286	0,00818778	0,06680349	0,00159892	0,00268141	0,01974507	0,039429										
2	0,0019373	0,03733166	0,17600623	0,00469917	0,01723113	0,12341592	0,075928										
3	0,0016474	0,04110803	0,14950146	0,00397856	0,04579115	0,2290189	0,028825										
4	0,00176165	0,01511166	0,13480285	0,00432098	0,03731101	0,15224569	0,044983										
5	0,00170495	0,00701131	0,1143956	0,00628484	0,02788741	0,21608312	0,038250										
6	0,00229698	0,00796808	0,09216516	0,00455582	0,0311803	0,31155497	0,019760										
7	0,00197199	0,01314523	0,03934331	0,00455076	0,01016772	0,13772872	0,030097										
8	0,00196692	0,06753611	0,06159791	0,01518867	0,01532965	0,1790704	0,024653										
9	0,00799793	0,0760363	0,125517	0,01694389	0,03144613	0,24609724	0,073345										
10	0,02090129	0,02920677	0,25540689	0,01835033	0,01901719	0,13654108	0,153199										
11	0,03138429	0,02053835	0,4744018	0,03356953	0,02653741	0,24437362	0,088227										
12	0,04636376	0,04837749	0,50756937	0,03129567	0,03045878	0,24416514	0,190764										
13	0,0337303	0,0617064	0,49825802	0,03018173	0,01778754	0,13575689	0,220067										
14	0,03987739	0,06379571	0,56102562	0,06292827	0,02628047	0,20991388	0,122227										
15	0,09012637	0,15234946	0,27495196	0,05398288	0,03520037	0,2538259	0,147159										
16	0,07274804	0,12269993	0,17753786	0,04523927	0,01917809	0,10645303	0,13909										
17	0,06216701	0,03063924	0,11896538	0,06704274	0,01721913	0,10429641	0,101626										
18	0,0621321	0,04805383	0,04133192	0,05592459	0,01027664	0,06628487	0,098586										
19	0,02875162	0,04625256	0,02820055	0,02647062	0,01033691	0,01540223	0,072777										
20	0,02083445	0,03351868	0,02568866	0,02494346	0,0111384	0,02395542	0,066507										

İkinci olarak, bu değerlere göre, RMS değerleri hesaplanmıştır. Aşağıda PS30 pisti, ITER-Ön Konsol kontrol stratejisi için oluşturulmuş RMS hesaplama tablosunun bir kısmı verilmiştir.

Çizelge 3.7 : Her ölçüm noktası için toplam RMS değerleri çizelgesi.

Unité :	$m/(s^2)*m/(s^2)$				
	LONG_AVD_X DIC24001	LONG_AVD_Y DIC24002	LONG_AVD_Z DIC24003	PIED_MIL_INF_X DIC24004	PIED_MIL DIC24
VG Total	0,74	0,99	3,71	0,76	0,9
VG 0-50Hz	0,73	0,98	3,69	0,75	0,9
VG 20-50Hz	0,43	0,33	0,47	0,44	0,2
VG 0-100Hz	0,74	0,99	3,71	0,76	0,9
VG 50-100Hz	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0
RMS Total	0,86	0,99	1,93	0,87	0,9
RMS 0-50Hz	0,85	0,99	1,92	0,87	0,9
RMS 20-50Hz	0,65	0,58	0,68	0,66	0,5
RMS 0-100Hz	0,86	0,99	1,93	0,87	0,9
RMS 50-100Hz	0,08	0,08	0,11	0,07	0,0

Tabloda da görüldüğü gibi, PS30 pisti ve ITER-Ön Konsol kontrol stratejisi için farklı frekans aralıklarında, her ölçüm noktası için RMS değerleri hesaplanmıştır.

Elde edilen PSD değerleri grafik üzerinde gösterilerek, farklı kontrol stratejileri süperpoze edilmiştir. Aşağıdaki tabloda PS30 pisti için yol sinyali, ITER-Ön konsol ve ITER-Koltuk kontrol stratejisiyle süperpoze edilmiştir.



Şekil 3.8 : DR30 – X Yönü – Yol Sinyali / ITER Ön Konsol / ITER Koltuk – frekansa bağlı ivme titreşimleri karşılaştırması.

Grafikte de görüldüğü üzere sonuçlar 50 Hz'e kadar birbirlerine çok yakındır. Dolayısıyla RMS değerleri karşılaştırması [0-50Hz] aralığında yapılmıştır.

Hesaplanmış olan RMS değerleri ile yol sinyalleri arasındaki fark yüzde cinsinden ifade edilmiştir. Bu işlem çok eksenli sarsıcı / kabin konfigürasyonu üzerinde

uygulanan bütün kontrol stratejilerinde ortak bir tabloda toplanmıştır. İlgili tablonun bir kısmı aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 : DR30 için - farklı kontrol stratejilerinde bütün ölçüm noktalarında laboratuvar – yol ivme titreşimleri yüzde cinsinden karşılaştırması.

Ecart en % par rapport DR30 REF PISTE	LONG AVD_X	LONG AVD_Y	LONG AVD_Z	PIED_ML_IN F_X	PIED_ML_IN F_Y	PIED_ML_IN F_Z	PIED_ML_SUP X	PIED_ML_SUP Y	PIED_ML_SUP Z	PSG_g i_ARG_X	PSG_g i_ARG_Y	PSG_g i_ARG_Z	PSG_g i_AVG_X	PSG_g i_AVG_Y	PSG_g i_AVG_Z	PSG_g i_ARD_X	PSG_g i_ARD_Y	PSG_g i_ARD_Z	PSG_g i_AVG_X	PSG_g i_AVG_Y	PSG_g i_AVG_Z
TVAC-UNIT-6v ITER	26%	1%	4%	11%	1%	2%	67%	0%	0%	19%	4%	4%	25%	27%	59%	30%	21%	38%	34%	28%	28%
TVAC-UNIT-12v ITER-SIE	21%	14%	2%	2%	13%	1%	14%	5%	8%	2%	12%	7%	1%	12%	3%	1%	6%	5%	0%	8%	8%
TVAC-UNIT-12v ITER-PsB	15%	9%	5%	1%	7%	7%	0%	6%	17%	1%	18%	3%	3%	5%	2%	6%	15%	3%	5%	3%	3%
TVAC-UNIT-12v ITER-PsB DS	1%	3%	4%	26%	3%	5%	18%	1%	10%	25%	17%	8%	21%	2%	0%	30%	10%	1%	29%	1%	1%
R34-TVAC-UNIT-6v ITER	26%	8%	7%	15%	2%	7%	52%	0%	11%	26%	57%	56%	27%	22%	62%	34%	46%	52%	34%	42%	42%
R34-TVAC-UNIT-12v ITER-SIE	9%	5%	13%	8%	10%	3%	8%	15%	14%	7%	15%	13%	3%	7%	13%	10%	11%	12%	3%	4%	4%
R34-TVAC-UNIT-12v ITER-PsB	2%	2%	14%	12%	5%	14%	4%	15%	22%	16%	27%	13%	15%	1%	8%	21%	22%	7%	20%	3%	3%
TVAC-2SIE-6v										3%	18%	3%	3%	7%	4%	1%	3%	1%	0%	7%	7%
TVAC-2SIE-6v PSO-AVD-Y										5%	2%	1%	4%	3%	4%	1%	10%	1%	2%	19%	19%
TVAC-2SIE-7v										4%	22%	2%	4%	2%	4%	0%	5%	1%	1%	11%	11%
TVAC-SIG-R34-2SIE- 6v-PSO-AVD-Y										6%	20%	6%	6%	5%	14%	8%	3%	3%	8%	3%	3%
TVAC-1SIE(PSO)-6v Signal PSO										1%	15%	4%	2%	7%	5%	11%	4%	3%	9%	1%	1%
TVAC-1SIE(PSO)-6v Signal CND										5%	15%	1%	5%	14%	2%	2%	1%	8%	0%	1%	1%
TVAC-1SIE-1v-Z										71%	80%	38%	74%	87%	3%	30%	64%	1%	65%	79%	79%
TVAC-1SIE-1v-Z Gabit										23%	42%	119%	51%	63%	116%	79%	57%	67%	72%	26%	26%
POT-1SIE-1v-Z										54%	56%	25%	65%	62%	22%	63%	66%	1%	62%	59%	59%
POT-1SIE-1v-Z Gabit										25%	15%	157%	23%	11%	145%	18%	41%	131%	21%	27%	27%

3%	Hata < %15		Sarsıcı > Pist
16%	%15 < Hata < %30		Sarsıcı < Pist
31%	%30 < Hata < %50		
55%	Hata > %50		

Bu tabloya göre, hatanın %15'ten düşük olması durumunda simülasyon çok iyi, %15-%30 arası orta, %30-%50 kötü, %50'den yüksek ise kabul edilemez durumdur. Titreşimin hangisinde daha yüksek olduğu ise de hatanın altında bulunan pembe/yeşil kısımla ifade edilmiştir. Buna göre, pembe, sarsıcıda titreşimin daha yüksek olduğunu, yeşil ise pistte daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.9 her pist için oluşturulmuştur. Karşılaştırmayı daha anlamlı hale getirmek için ortalama RMS değeri hesaplanmıştır. Ortalama hesabında bütün ölçüm noktalarının kullanılmamış, yerine kontrol noktalarının ortalaması alınmıştır. Kontrol noktaları tekrar hatırlatılacak olursa,

- Kabin üzerindeki noktalar
- Ön konsol üzerindeki noktalar

- Sürücü koltuk kızıağı – sol ön, sağ arka / Yolcu koltuk kızıağı – sağ ön / sol arka

Alınan ortalamalara göre çok eksenli sarsıcı / kabin düzeneği için her piste göre X Y Z yönünde ortalama değerler hesaplanmıştır. Son olarak, her kontrol stratejisi için global bir hata değeri elde etmek için bütün pistlerin hata ortalamaları alınmış ve aşağıdaki tablo oluşturulmuştur.

Çizelge 3.9 : Bütün pistler için – farklı kontrol stratejilerinde – X, Y, Z yönlerindeki ortalama hatalar.

Stratégie de Pilotage	Ecart en % par rapport REF PISTE - Points D'itération (UNIT, PdB, CND-AVG-ARD, PSG-ARG-AVD) - RMS [0-50Hz]														
	Dalles Romaines 30km/h			Dalles Romaines 50km/h			Pavés Sandouville 30km/h			Pavés Sandouville 50km/h			MOYENNE		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
TVAC-UNIT-12v ITER-PdB	6%	10%	5%	7%	11%	8%	7%	14%	11%	5%	18%	11%	6%	13%	9%
TVAC-UNIT-12v ITER-PdB'09	19%	6%	5%	20%	10%	5%	8%	13%	7%	7%	21%	12%	13%	12%	7%
R84-TVAC-UNIT-12v ITER-PdB	13%	10%	14%	6%	16%	14%	7%	20%	17%	18%	33%	21%	11%	20%	16%
TVAC-UNIT-12v ITER-SIE	6%	10%	5%	7%	14%	7%	8%	13%	8%	5%	13%	9%	7%	12%	7%
R84-TVAC-UNIT-12v ITER-SIE	8%	10%	13%	12%	18%	13%	11%	19%	18%	24%	33%	22%	14%	20%	17%
TVAC-UNIT-6v ITER	28%	22%	27%	36%	30%	40%	40%	40%	66%	54%	44%	76%	40%	34%	52%
R84-TVAC-UNIT-6v ITER	30%	28%	28%	20%	21%	34%	25%	34%	58%	22%	27%	51%	24%	28%	43%

Diğer düzenekler için de aynı hesaplama mantığı uygulanmış olup sonuçlar bu şekilde elde edilmiştir.

4. İRDELEMELER

Projenin amaçları doğrultusunda elde edilen bütün sonuçlar bu bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.

4.1 Araç İçi Gürültüsünü Etkileyen Kriterler

Bölüm 2.10'da araç iç gürültüsünü etkileyen kriterlerden (ortam sıcaklığı haricinde) bahsedilmişti. Bu bölümde ise bu kriterler genel hatlarıyla özetlenmiştir.

4.1.1 Yol koşulları

Pist seçiminde araç, mümkün olan en geniş frekans bandında tahrik edilerek, araç içinde oluşabilecek maksimum gürültü oluşturulması gerekmektedir. Test sonuçlarına göre de araç, seçilen pistlerde (Arnavut kaldırımı ve parke taş) geniş bir frekans bandında tahrik edilmiş, araç içinde oluşabilecek bütün gürültü tipleri büyük ölçüde oluşturulmuştur. (Bkz. Bölüm 2.10.1)

4.1.2 Taşıt hızı

Araç hızı arttıkça titreşim ve gürültü seviyesinin artmaktadır. Buna karşın, farklı hızlarda araç içinde farklı gürültü kaynakları oluşabilmektedir. Seçilen hızlar ile araç içerisinde oluşabilecek bütün gürültü tipleri büyük ölçüde oluşturulmuştur. (Bkz. Bölüm 2.10.2)

4.1.3 Taşıt tipi

Taşıt tipinin koltuk titreşimlerine ve araç içi gürültüsüne olan etkisini belirlemek için aynı aracın yeni ve bir önceki nesil versiyonlarında testler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak seçilen iki araç kasası arasındaki fark kabul edilebilir bir seviyededir. Dolayısıyla, eski nesil araç sinyalleri yeni kasa üzerinde sinyal üretiminde kullanılabilmektedir. (Bkz. Bölüm 2.10.3)

4.1.4 Koltuk yükü

Koltuk yükünün koltuk titreşimlerine ve araç içi gürültüsüne olan etkisini belirlemek için boş, 50 kg, 70 kg olmak üzere üç farklı konfigürasyonda testler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak koltuk yükünün araç içi gürültüsünü etkileyen bir parametre olduğu, en kritik konfigürasyonun da boş durum olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple, herhangi bir araç içi gürültü seviyesi belirleme çalışmasında, akustik açıdan en kritik yük olan boş durum kullanılmalıdır. (Bkz. Bölüm 2.10.4)

4.1.5 Koltuk pozisyonu

Koltuk pozisyonunun koltuk titreşimlerine ve araç gürültüsüne olan etkisini belirlemek için üç farklı koltuk pozisyonunda testler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, koltuk pozisyonunun araç içi gürültüsünü etkileyen bir parametre olduğu belirlenmiştir. Baskın olan koltuk pozisyonu frekans aralığı ve piste göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Buna göre laboratuvar testleri ortalama bir insanı temsil eden orta koltuk yüksekliği ve mesafesine sahip konfigürasyonda gerçekleştirilmiştir. (Bkz. Bölüm 2.10.5)

4.1.6 Ortam sıcaklığı

Ortam sıcaklığının araç içi gürültüsüne etkisini görebilmek için laboratuvar testlerinde farklı sıcaklıklarda testler gerçekleştirilmiştir. Araç içi gürültüsü maksimum düzeyde tespit edilmek istendiğinden çok eksenli sarsıcı / kabin deney düzeneğinde PS50 sinyaliyle 0°C, 20°C, 40°C'lerde testler yapılmıştır. Testler gerçekleştirilirken aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulmuştur.

- Her sıcaklık geçişi arasında araç min 4 saat şartlandırılmalıdır.
- Sıcaklık kontrolü için kritik parçalar üzerine sıcaklık sensörü yerleştirilmelidir.
- İyi bir sübjektif değerlendirme için gürültü tespiti işlemi aynı gün içerisinde gerçekleştirilmelidir.

Belirtilen kriterlere göre elde edilen test sonuçları aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Çizelge 4.1 : Farklı sıcaklıklardaki araç içi gürültüsü.

Gürültü Tipi	Sıcaklık		
	0°C	20°C	40°C
Direksiyon airbag (tıkırtı)	-	-	-
Radyo (tıkırtı)	-	+	+
Yan cep (tıkırtı)	-	-	-
Gösterge ekranı (tıkırtı)	+	+	+
Tavan (tıkırtı)	+	+	+
Koltuk başlığı (tıkırtı)	+	+	+
Yolcu koltuğu süngeri (gıcırdama)	+	+	+
Orta dikiz aynası (gıcırdama)	-	-	-

Tablodaki sonuçlar ise aşağıdaki kriterlere göre belirtilmiştir,

- (-): Gürültü yok,
- (+): Ses var fakat müşteriyi rahatsız edecek boyutta değil,
- (++): Müşteriyi rahatsız edecek seviyede ses var.

Tabloya göre araç içindeki radyoda sıcaklığın artmasıyla gürültü seviyesinin değiştiği gözlenmiştir. Bu sonuca göre, sıcaklık araç içi gürültü seviyesini etkileyen bir parametredir diyebiliriz. Dolayısıyla araç içi gürültüsü / gürültü kaynağı belirleme çalışmalarında sıcaklık da akustiği etkileyen bir parametre olarak dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada esas amaç sıcaklık titreşime etkisi olmadığından sıcaklıkla ilgili çok ayrıntılı bir çalışma yapılmamış, sıcaklığın etkisi sadece genel olarak belirlenmiştir. Daha detaylı sonuçlar için, daha kapsamlı bir çalışma yapmak gerekmektedir.

4.2 Deney Düzeneklerinin Karşılaştırılması

Laboratuvar testleri 4 farklı deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir.

- Çok eksenli sarsıcı / kabin
- Çok eksenli sarsıcı / sürücü + yolcu koltukları
- Çok eksenli sarsıcı / yolcu koltuğu
- Tek eksenli sarsıcı / yolcu koltuğu

4.2.1 Çok eksenli / Tek eksenli sarsıcı karşılaştırması

Bölüm 3.1’de de anlatıldığı gibi çok eksenli – tek eksenli sarsıcıların birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Çok eksenli sarsıcı ile daha büyük bir deplasman oluşturulabilir, parça, birçok yönde, daha geniş frekans aralığında yani gerçeğe daha yakın bir şekilde tahrik edilebilir. Tek eksenli sarsıcı da ise, frekans ve deplasman aralığı daha sınırlıdır. Parça sadece tek eksenle tahrik edilebilir. Buna karşın sistem daha basit bir yapıya sahip olduğundan, çok eksenli sarsıcıya göre daha az maliyetlidir. Dolayısıyla test düzeneğinden beklenenler doğrultusunda düzenek seçimi yapılmalıdır. Tek eksenli sarsıcıyla yol şartları kabul edilebilir seviyede oluşturulabiliyorsa, daha ucuz bir düzenek olan tek eksenli sarsıcı tercih edilmelidir.

Laboratuvar testlerine başlamadan önce çok eksenli sarsıcının ile tek eksenli sarsıcıya oranla yol sinyallerine daha yakın sonuçlar vermesi bekleniyordu. Burada esas görülmek istenen bir koltuk akustiği ve titreşimi çalışmasında çok eksenli sarsıcı gerekip gerekmediğidir.

Bu doğrultuda Çok eksenli sarsıcı / Yolcu koltuğu-6 kanal; Çok eksenli sarsıcı / Yolcu koltuğu-1 kanal; Tek eksenli sarsıcı / Yolcu koltuğu-1 kanal kontrol stratejilerinin RMS değerleri karşılaştırılmıştır. Tabloda da görüldüğü gibi, tek eksenli (1 Kanal – Z yönünde) yapılan kontrol stratejilerinde hata çok yüksektir, yol koşulları simüle edilememektedir. Titreşim verisi karşılaştırmasına ek olarak, sübjektif değerlendirmede de sadece Z yönünde yapılan bir tahrik akustik olarak da doğru sonuçlar vermemektedir.

Çizelge 4.2 : Çok eksenli sarsıcı / Yolcu koltuğu-6 kanal, Çok eksenli sarsıcı / Yolcu koltuğu-1 kanal, Tek eksenli sarsıcı-1 kanal, bütün pistlerdeki ortalama titreşim karşılaştırması ve sübjektif dinleme değerlendirmesi.

Ecart en % par rapport REF PISTE (MOY. DR30,DR50,PS30,PS50) - RMS [0-50Hz]					
Stratégie de Pilotage	MOYENNE			Ecoule Subjective	
	X	Y	Z	Note	Commentaire
TVAC-1SIE(PSG)-6Voies	8%	10%	7%	++	bonne représentativité
TVAC-1SIE-1Voie-Z	74%	75%	19%	-	pas représentatif
POT-1SIE-1Voie-Z	44%	53%	21%	-	pas représentatif

Tablodaki sonuçlar ise aşağıdaki kriterlere göre belirtilmiştir,

- Titreşim verisi karşılaştırması
 - o Yeşil (Hata<%15): Yol şartları çok iyi bir şekilde simüle edildi,
 - o Sarı (%15<Hata<%30): Yol şartları orta seviyede simüle edildi,
 - o Kırmızı (%15<Hata<%30): Yol şartları kötü seviyede simüle edildi
 - o Beyaz (Hata>%50): Yol şartları simüle edilemedi.
- Sübjektif dinleme
 - o (++): Yol şartları çok iyi bir şekilde simüle edildi,
 - o (+): Yol şartları iyi bir şekilde simüle edildi,
 - o (-): Yol şartları simüle edilemedi.

Bu çalışmanın sonuçları göstermiştir ki, bir koltuk akustiği ve titreşimi çalışmasında tek eksenli sarsıcı yeterli olmamakta, yol sinyalleri koltuk üzerinde istenilen düzeyde yaratılamamaktadır. Çok eksenli bir sarsıcı iyi bir simülasyon için mutlaka gereklidir.

4.2.2 Çok eksenli sarsıcı – Kabin / Yolcu + Sürücü koltuğu / Yolcu koltuğu

Çok eksenli sarsıcı üzerinde üç farklı konfigürasyonda testler gerçekleştirilmiştir. Sarsıcının üzerine sırasıyla, taşıt kabini, yolcu + sürücü koltukları, yolcu koltuğu monte edilmiş, yol sinyalleri çalınarak düzeneklerdeki titreşim seviyeleri ölçülmüş, gürültü seviyeleri belirlenmiştir.

Taşıt kabini düzeneği ile araç içindeki genel durum simüle edilmek istenmiştir. Yol testlerinde kasadan, ön konsoldan ve koltuklardan elde edilen veriler laboratuvar testlerinde aynı noktalardan elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Sübjektif akustik değerlendirmeye araç içi gürültü seviyesi yoldaki ile karşılaştırılmıştır.

Koltuk düzeneklerinde ise, araç kasasından bağımsız olarak, sadece koltuklar üzerinde yoğunlaşmıştır. Buna göre üretilen yol sinyalleri çalınmış, ölçüm noktaları üzerindeki titreşim verileri yol sinyalleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca sübjektif akustik değerlendirme ile de koltuklardaki potansiyel gürültü kaynakları belirlenmiştir.

Sonuç olarak her üç düzenekte de yol sinyallerine yakın veriler elde edilmiş, yol sinyalleri laboratuvar ortamında başarıyla oluşturulduğu kanıtlanmıştır.

4.3 Yol Testleri / Laboratuvar Testleri Karşılaştırması

Bölüm 3.10’da yol testleri ve laboratuvar testleri karşılaştırmasında kullanılan method açıklanmıştır. Bu metoda göre yol testleri ve laboratuvar testlerinde elde edilen sinyallerin RMS değerleri karşılaştırılmış ve aralarındaki hata yüzde cinsinden hesaplanmıştır. Aşağıda ise bu karşılaştırma sonuçlarına göre,

- Her deney düzeneği için en iyi kontrol stratejisi
- Önceki nesil araçtan toplanan sinyallerin yeni nesil araç kabini üzerindeki etkisi,
- Sürücü koltuğu sinyallerinin yolcu koltuğu üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

4.3.1 En iyi kontrol stratejisi

4.3.1.1 Çok eksenli sarsıcı / Kabin

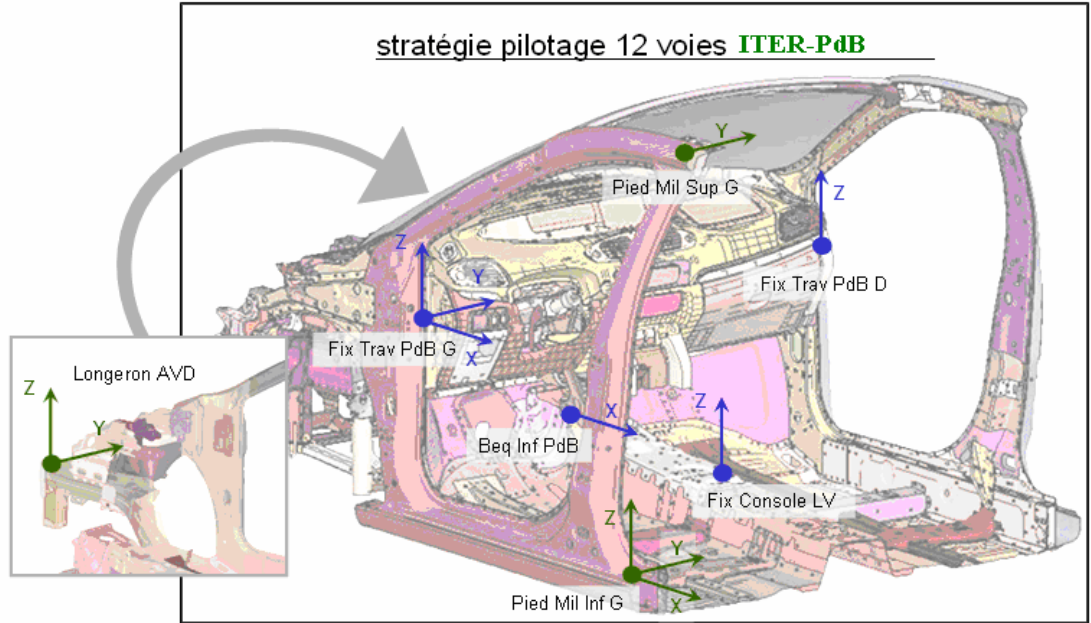
Çok eksenli sarsıcı üzerine taşıt kabininin yerleştirildiği düzenekte, çizelge X’e göre 3 adet kontrol stratejisi belirlenmişti. Bunlar ITER-Ön Konsol (12 Kanal), ITER-Koltuk (12 Kanal), ITER (6 Kanal) idi. Bu üç kontrol stratejisiyle elde edilen titreşim verileri yol sinyalleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, ITER-6 kanal üzerinde yapılan pilotaj ile en kötü sonuç elde edilmiş, yol koşullarının simüle edilemediği görülmüştür. Buna göre iyi bir yol simülasyonu için 6 kanal üzerinden bir kontrol yeterli değildir. ITER-Ön Konsol ve ITER-Koltuk kontrol stratejileri karşılaştırıldığında ise sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Sübjektif değerlendirmede ise, ITER-Koltuk stratejisiyle koltuklardaki gürültü seviyesinin yoldaki duruma göre biraz daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu sebeple iterasyon noktaları üzerinden alınan ortalamaya ek olarak, yolcu koltuğu noktaları üzerinden ikinci bir ortalama alınmış, RMS değerleri bu ortalamaya göre yol datalarıyla karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.3 : ITER-Ön Konsol, ITER-Koltuk, ITER; bütün pistlerdeki, iterasyon noktaları ve koltuk noktalarında ayrı ayrı alınan ortalama titreşim karşılaştırması ve sübjektif dinleme değerlendirmesi.

Ecart en % par rapport REF PISTE (MOYENNE DR30, DR50, PS30, PS50) - RMS [0-50Hz]								
Stratégie de Pilotage	MOY PTS ITERATION			MOY PTS SIE PSG			Ecoute Subjective	
	X	Y	Z	X	Y	Z	Note	Commentaire
TVAC-UNIT-12Voies ITER-PdB	6%	13%	9%	6%	9%	7%	++	bonne représentativité
TVAC-UNIT-12Voies ITER-SIE	7%	12%	7%	5%	12%	7%	+	niv plus fort sur PdB
TVAC-UNIT-6Voies ITER	40%	34%	52%	27%	32%	109%	-	pas représentatif

Bölüm 4.2.1’de verilen kriterlere göre, en iyi kontrol stratejisinin ITER-Ön Konsol stratejisi olduğu belirlenmiştir.

Aşağıda çok eksenli sarsıcı / kabin deney düzeneği için en iyi kontrol stratejisi olan ITER-Ön Konsol stratejisinin kontrol noktaları şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Çok eksenli sarsıcı / Kabin düzeneğindeki en iyi kontrol stratejisi – ITER-Ön Konsol.

4.3.1.2 Çok eksenli sarsıcı / Yolcu + Sürücü koltuğu

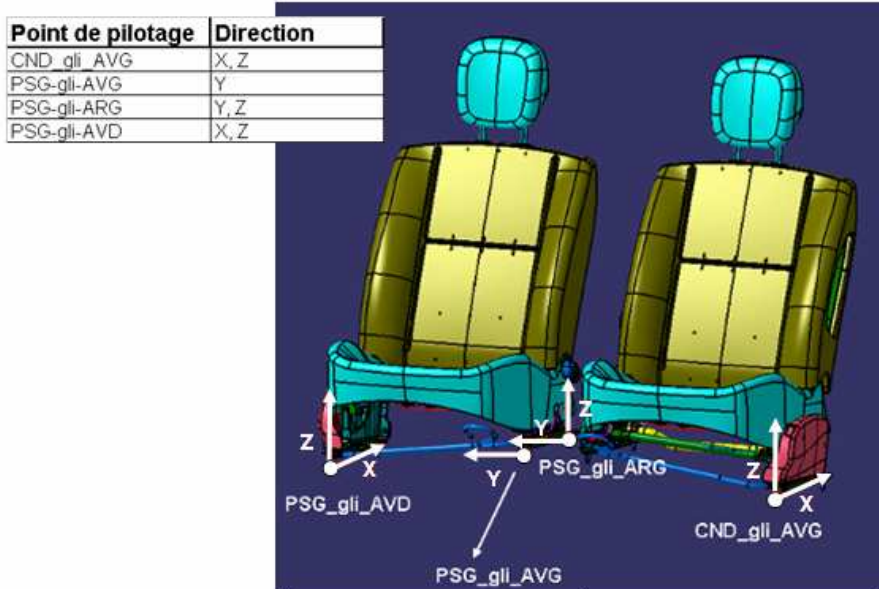
Çok eksenli sarsıcı üzerine yolcu ve sürücü koltuklarının yerleştirildiği düzeneğe, çizelge X’e göre 3 adet kontrol stratejisi belirlenmişti. Bunlar 2 Koltuk-6 Kanal, 2 Koltuk-7 Kanal, 2 Koltuk-6 Kanal” idi. Bu üç kontrol stratejisiyle elde edilen titreşim verileri yol sinyalleriyle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.4 : 2 Koltuk-7 Kanal, 2 Koltuk-6 Kanal, ITER, 2 Koltuk-6 Kanal”; bütün pistlerdeki ortalama titreşim karşılaştırması ve sübjektif dinleme değerdendirilmesi.

Ecart en % par rapport REF PISTE (MOYENNE DR30, DR50, PS30, PS50) - RMS [0-50Hz]					
Stratégie de Pilotage	MOYENNE			Ecoute Subjective	
	X	Y	Z	Note	Commentaire
TVAC-2SIE-7Voies [CND-AVG-X, Z; PSG-AVD-X, Z; PSG-AVG-Y ; PSG-ARG-Y, Z]	5%	13%	8%	++	bonne représentativité
TVAC-2SIE-6Voies [CND-AVG-X, Z; PSG-AVD-X, Z; PSG-AVG-Y ; PSG-ARG-Z]	6%	15%	8%	++	bonne représentativité
TVAC-2SIE-6Voies [CND-AVG-X, Z; PSG-AVD-X, Z; PSG-ARG-Y, Z]	4%	16%	8%	+	niv un peu fort

Bölüm 4.2.1’de verilen kriterlere göre, 7 kanal ile yapılan pilotajda RMS değerdlerinin yol datalarına daha yakın olduğu gözlenmiştir. Sübjektif dinlemede de bu kontrol stratejisinin en iyi kontrol stratejisi olduğu teyit edilmiştir. Buna ek olarak 2 Koltuk-6 Kanal stratejisi ile de sübjektif değerdlendirmede iyi sonuçlar elde edilmiştir. Dolayısıyla maksimum 6 noktadan kontrolün yapılabildiği deney düzenekleri için ‘2 koltuk üzerinde yapılan deneylerde’ bu kontrol stratejisinin de iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Aşağıda çok eksenli sarsıcı / yolcu + sürücü koltuğu deney düzeneği için en iyi kontrol stratejisi olan 2 Koltuk-7 Kanal stratejisinin kontrol noktaları şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : Çok eksenli sarsıcı / Yolcu + Sürücü koltuğu düzeneğindeki en iyi kontrol stratejisi – 2 Koltuk-7 Kanal.

4.3.1.3 Çok eksenli sarsıcı / Sürücü koltuğu

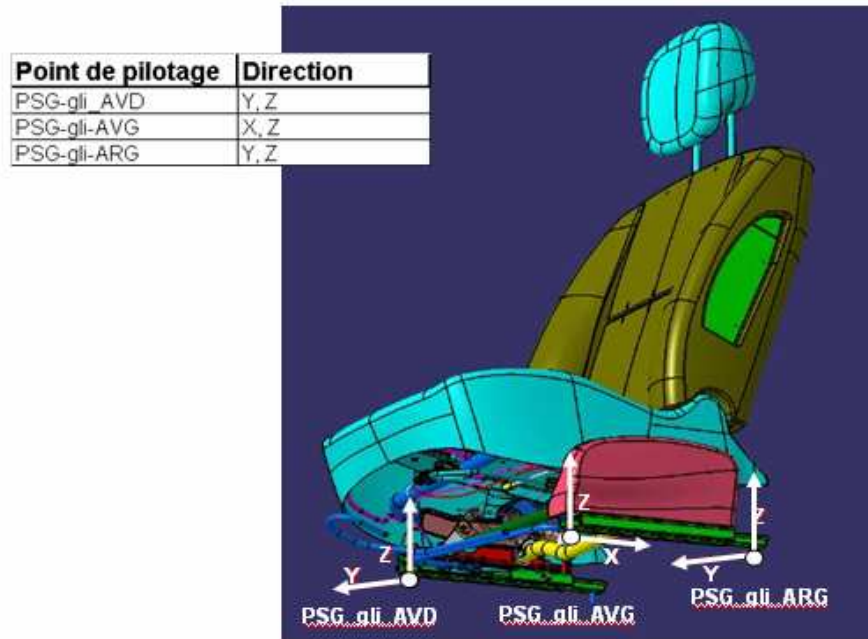
Çok eksenli sarsıcı üzerine yolcu koltuğunun yerleştirildiği düzenekte, 2 kontrol stratejisi denenmişti. Bunlar Yolcu Koltuğu-6 Kanal, Yolcu Koltuğu-1 Kanal idi. Bu iki kontrol stratejisiyle elde edilen titreşim verileri yol sinyalleriyle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.5 : 2 Koltuk-7 Kanal, 2 Koltuk-6 Kanal, ITER, 2 Koltuk-6 Kanal”; bütün pistlerdeki ortalama titreşim karşılaştırması ve sübjektif dinleme değerlendirmesi.

Ecart en % par rapport REF PISTE (MOY. DR30,DR50,PS30,PS50) - RMS [0-50Hz]					
Stratégie de Pilotage	MOYENNE			Ecoute Subjective	
	X	Y	Z	Note	Commentaire
TVAC-1SIE(PSG)-6Voies	8%	10%	7%	++	bonne représentativité
TVAC-1SIE-1Voie-Z	74%	75%	19%	-	pas représentatif

Bölüm 4.2.1’de verilen kriterlere göre, 1 kanal üzerinden yapılan pilotaj ile yol koşullarının simüle edilemediği görülmüştür. Buna göre tek koltuk üzerinde iyi bir yol simülasyonu için 1 kanal üzerinden kontrol yeterli değildir. 6 Kanal ile yapılan pilotajda yol datalarına yakın veriler elde edilmiş, sübjektif dinleme ile de bu durum teyit edilmiştir.

Aşağıda çok eksenli sarsıcı / yolcu koltuğu deney düzeneği için en iyi kontrol stratejisi olan yolcu koltuğu-6 kanal stratejisinin kontrol noktaları şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Çok eksenli sarsıcı / Yolcu koltuğu düzeneğindeki en iyi kontrol stratejisi – Yolcu koltuğu-6 Kanal.

4.3.2 Önceki nesil araç sinyalleri

4.3.2.1 Çok eksenli sarsıcı / Kabin

Bölüm 4.3.1’de çok eksenli sarsıcı / kabin deney düzeneğinde belirlenen en iyi kontrol stratejisinin ITER-Ön Konsol olduğu belirtilmişti. Buna göre önceki nesil araç sinyalleri karşılaştırması bu kontrol stratejisi üzerinden yapılmıştır. Bu bölümde önceki nesil araçtan toplanan sinyallerin yeni nesil araç kabini üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Buradaki amaç, güncel bir aracın yeni versiyonu geliştirilirken, yeni kasa üzerinde eski kasa yol datalarının kullanılma ihtimalinin araştırılmasıdır. Bilindiği üzere, araç geliştirme esnasında sıkışık proje planlamalarında araç-yol testi yapmak pek mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla eski nesil araçtan toplanan verilerin yeni geliştirilen araçta sarsıcı üzerinde çalınması durumunda yol koşulları sağlanabiliyorsa, bu durum araç geliştirme esnasında çok büyük avantaj sağlamaktadır. Buna göre, yoldan ve laboratuvarından elde edilen titreşim dataları karşılaştırılmış, sübjektif dinleme yapılmış ve sonuçlar aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, Y ve Z eksenlerinde hata 15%’in üzerine çıkmıştır.

Çizelge 4.6 : ITER-Ön Konsol A aracı, ITER-Ön Konsol B aracı sinyallerinin A araç kabini üzerinde çalınması, bütün pistlerdeki ortalama titreşim verisinin karşılaştırması ve sübjektif dinleme değerlendirmesi.

Ecart en % par rapport REF PISTE (MOY. DR30,DR50,PS30,PS50) - RMS [0-50Hz]					
Stratégie de Pilotage	MOYENNE			Ecoute Subjective	
	X	Y	Z	Note	Commentaire
TVAC-UNIT-12Voies ITER-PdB	6%	13%	9%	++	bonne représentativité
TVAC-SIGNAL R84-UNIT-12Voies ITER-PdB	11%	20%	16%	++	pas d'écart
TVAC-SIGNAL R84-UNIT-12Voies ITER-PdB- SANS PS50!	9%	15%	15%		

Çizelge 4.6 Bölüm 4.2.1’de verilen kriterlere göre değerlendirildiğinde, Y ve Z eksenlerinde hata 15%’in üzerine çıktığı görülmüştür. Bu %15’in üzerindeki hata, sadece laboratuvar kaynaklı olmayıp iki araç kasası arasındaki tasarım farklarından da kaynaklanmaktadır. Bölüm 2.10.1’de de belirtildiği gibi iki araç kasası RMS seviyelerinde ~%10’luk bir fark mevcuttur. Sonuç olarak iki araç kasası arasındaki farklara laboratuvar sistemi kaynaklı hatalar da eklenince farkın %15’in üzerine çıkması normaldir. Yol sinyali karşılaştırmasında olduğu gibi DR50 pistinin

laboratuvar-yol sinyali karşılaştırmasında da ortalamaya dahil edilmediği takdirde, hata %15'e inmektedir.

Titreşim karşılaştırmasına ek olarak, sübjektif dinlemede bir fark gözlenmemiş, akustik açıdan yol koşullarının iyi bir şekilde temsil ettiği gözlenmiştir.

Özet olarak, eski araç yol sinyalleriyle yeni araç kasası üzerinde yapılan bir laboratuvar testinde yoldaki akustik koşullar yaratılır sonucuna varılmaktadır.

4.3.2.2 Çok eksenli sarsıcı / Yolcu + sürücü koltuğu

Bölüm 4.3.1'de çok eksenli sarsıcı / yolcu + sürücü koltuğu deney düzeneğinde iki kontrol stratejisinin de birbirine çok yakın olduğu gözlenmişti. Önceki nesil araç sinyalleri karşılaştırması ise iyi sonuçların elde edildiği 2 Koltuk-6 Kanal kontrol stratejisi üzerinden yapılmıştır. Bu bölümde önceki nesil araçtan toplanan sinyallerin yeni nesil araç koltukları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Buradaki ama., kabin düzeneğiyle aynıdır fakat bu etapta sadece koltuklar üzerine yoğunlaşmıştır.

Çizelge 4.7 : 2Koltuk-6 Kanal A aracı, 2Koltuk-6 Kanal B aracı sinyallerinin A aracı koltuklarında çalınması, bütün pistlerdeki ortalama titreşim verisinin karşılaştırması ve sübjektif dinleme değerlendirmesi.

Ecart en % par rapport REF PISTE (MOY. DR30,DR50,PS30,PS50) - RMS [0-50Hz]					
Stratégie de Pilotage	MOYENNE			Ecoute Subjective	
	X	Y	Z	Note	Commentaire
TVAC-2SIE-6Voies PSG-AVG-Y	6%	15%	8%	++	bonne représentativité
TVAC-SIG R84-2SIE-6Voies PSG-AVG-Y	13%	14%	13%	++	pas d'écart

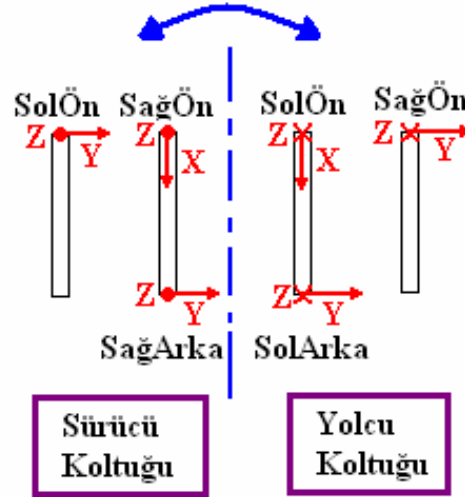
Bölüm 4.2.1'deki kriterlere göre, RMS değerleri arasındaki fark %15'i geçmemekte, sübjektif değerlendirmede ise akustik açıdan bir fark saptanmamaktadır.

Sonuç olarak, eski araç yol sinyalleriyle yeni koltukları üzerinde yapılan bir laboratuvar testinde yoldaki akustik koşullar yaratılır sonucuna varılmaktadır.

4.3.3 Sürücü koltuğu sinyallerinin yolcu koltuğu üzerindeki etkisi

Bölüm 4.3.1'de çok eksenli sarsıcı / yolcu koltuğu deney düzeneğinde en iyi kontrol stratejisi olarak Yolcu Koltuğu-6 kanal olduğu belirlenmişti. Sürücü koltuğu sinyallerinin yolcu koltuğu üzerindeki etkisi araştırılırken bu kontrol stratejisi kullanılmıştır.

Sürücü sinyallerinin yolcu koltuğuna uygulanmasının amacı, ileriki projelerde kullanılmak üzere koltuk için tek bir sinyal grubu oluşturulması durumunda, yol koşullarının ne oranda simüle edilebildiğinin belirlenmesidir. Sürücü koltuğu sinyallerinin yolcu koltuğuna uygulanmasında dikkat edilmesi gereken bazı kriterler bulunmaktadır. Öncelikle koltukların araç içerisindeki hareketleri göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre koltukların aracın ortasından geçen bir eksen etrafında ok ile gösterilen şekilde hareket edildiği düşünülmüştür. Bu sebeple, sürücü koltuk kazağının sol ön noktasından toplanan veri, yolcu koltuk kazağının sağ ön noktasına; sürücü koltuğu sağ ön noktasının verileri, yolcu koltuğunun sol ön noktasına ve yine aynı şekilde, sürücü koltuğunun sağ arka noktasının verileri, yolcu koltuğunun sol arka noktasına uygulanmıştır. Bu işleme ise ayna etkisi ismi verilmiştir. Koltukların hareketi ve titreşim data uygulama noktaları aşağıdaki şekilde açıklanmıştır.



Şekil 4.4 : Koltukların araç içindeki hareketi.

Şekilde gösterilen ok yönündeki hareketin tam olarak sağlanabilmesi için ayna etkisine ek olarak, sürücü koltuğundan Z ekseninden toplanan sinyaller (-) ile çarpılarak ters çevrilmiştir.

Gerekli işlemler tamamlandıktan sonra, elde edilen verilerin RMS değerleri % cinsinden karşılaştırılmış ve subjektif akustik değerlendirme yapılmıştır.

Çizelge 4.8 : Yolcu Koltuğu-6 Kanal-Yolcu sinyalleri, Yolcu Koltuğu-6 Kanal-Sürücü sinyalleri-Z titreşimleri ters çevrilmiş, Yolcu Koltuğu-6 Kanal-Sürücü sinyalleri-Z titreşimleri ters çevrilmemiş; bütün pistlerdeki ortalama titreşim verisinin karşılaştırması ve sübjektif dinleme değerlendirmesi.

Ecart en % par rapport REF PISTE (MOY. DR30,DR50,PS30,PS50) - RMS [0-50Hz]					
Stratégie de Pilotage	MOYENNE			Ecoute Subjective	
	X	Y	Z	Note	Commentaire
TVAC-1SIE(PSG)-6v-Signal PSG	8%	10%	7%	++	bonne représentativité
TVAC-1SIE(PSG)-6v-Signal CND- Effet Miroir-Z inversés	10%	13%	8%	++	bonne représentativité
TVAC-1SIE(PSG)-6v-Signal CND- Effet Miroir	11%	38%	9%	-	niv trop fort

Çizelge 4.8, Bölüm 4.2.1’de verilen krikterlere göre değerlendirildiğinde, ‘ayna etkisine’ ek olarak Z yönündeki sinyallerinin (-) ile çarpılmadığı durumda Y ekseninde %38’lik bir fark oluşmuş, aynı şekilde akustik değerlendirmede ise de gürültü seviyesi normalden çok yüksek çıkmıştır. Bu sonuçlara göre Z eksenindeki dataların (-) ile çarpılması gerekliliği belirlenmiş ve uygulanmıştır. Bu uygulama sonrasında her ekseninde %15’ten düşük bir fark elde edilmiş, sübjektif değerlendirmede ise de yol koşullarındaki gürültü seviyesinin benzer olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, sürücü sinyalleri, yolcu koltuğuna uygulandığında yol koşullarına benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu da ilerideki projeler için ‘koltuk gürültüsü’ testleri için tek bir sinyal grubu oluşturulabileceği ve bu sinyal grubuyla hem sürücü hem de yolcu koltuğunun tahrik edilebileceği anlamına gelmektedir.

5. SONUÇLAR

Bölüm 4. teki irdelemeler ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

5.1 Araç İçi Gürültüsünü Etkileyen Kriterler

Yol koşulları ve taşıt hızının araçtaki titreşimlere ve araç içi gürültüsüne etkisi vardır. Bu kriterler araçta mümkün olan bütün gürültü kaynaklarını ortaya çıkaracak şekilde seçilmelidir.

Taşıt tipinin titreşim ve gürültüye etkisi olsa da, bu çalışmada kullanılan aynı model farklı iki nesil araç üzerinden toplanan titreşim verileri ve araçtaki gürültü kaynakları benzerdir. Laboratuvar testlerinde bir bu modelin iki farklı nesil araç kasası tahrikinde aynı sinyal grubu kullanılabilir.

Koltuk yükü ve koltuk pozisyonlarının koltuk kazağı titreşimlerine bir etkisi olmadığından, bu kriterlerin laboratuvar da sinyal üretiminde dikkate alınmasına gerek yoktur. Buna karşın farklı yük ve pozisyonlar koltuk sırtı ve başlığı gibi oturmağın üstündeki bölümlerdeki titreşimlerde etkilidir. Sonuç olarak, maksimum gürültü için koltuk boş olmalıdır. Fakat pozisyon için bu durum söz konusu değildir, farklı koltuk pozisyonları gürültüyü farklı şekilde etkilemektedir.

Ortam sıcaklığı malzeme karakteristiğini etkileyen bir parametredir. Her malzemenin değişen sıcaklığa tepkisi farklı yönde olduğundan sıcaklık artışı gürültüyü artırır ya da azaltır denilemez, sıcaklık değişimi farklı gürültü kaynaklarının ortaya çıkmasına sebep olabilir. Bölüm 4. teki irdelemeler ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

5.2 Deney Düzeneklerinin Karşılaştırılması

Çok eksenli ve tek eksenli sarsıcı karşılaştırmasına göre koltuk gürültüsünün belirlenmesinde tek eksenli sarsıcıyla yol koşullarının temsil edilemediği belirlenmiştir. Buna göre koltuk titreşim ve gürültü çalışmasında anlamlı bir çalışma için çok eksenli sarsıcı gereklidir.

Çok eksenli sarsıcı üzerinde gerçekleştirilen 3 farklı test düzeneğiyle (Kabin, yolcu+sürücü koltuğu, yolcu koltuğu) yol koşulları yaratılmıştır. Sonuç olarak, çok eksenli sarsıcıda kabin düzeneğiyle araç içi gürültü seviyesi belirlenebilmektedir. Buna ek olarak, sadece koltuklarla yapılan bir çalışmada ise yol koşulları yaratılabilmekte, koltuktaki gürültü kaynakları ayrıntılı olarak görülebilmektedir.

5.3 Yol Testleri / Laboratuvar Testleri Karşılaştırması

Çok eksenli sarsıcı / Kabin düzeneğinde, araç içi titreşimleri ve gürültüsünün en iyi temsil edildiği kontrol stratejisi 'ITER-Ön Konsol'dur.

Çok eksenli sarsıcı / Yolcu+Sürücü koltuğu düzeneğinde, koltuk titreşimleri ve gürültüsünün en iyi temsil edildiği kontrol stratejisi '2 Koltuk-7 Kanal'dır.

Çok eksenli sarsıcı / Yolcu koltuğu düzeneğinde, koltuk titreşimleri ve gürültüsünün en iyi temsil edildiği kontrol stratejisi '1 Koltuk-6 Kanal'dır.

Laboratuvarda, aynı araç modelinin 2 farklı nesil araç kasası için tek bir sinyal grubu kullanılabilir mi sorusunun cevabı araştırılmıştır. Araç kasaları aynı olmamasına rağmen, bu çalışma olumlu sonuç vermiş, aynı sinyal grubu kullanıldığında anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre, yeni bir araç geliştirme çalışmasında, yol testi gerçekleştirilemiyorsa, laboratuvarda proto araç kasası üzerinde eski aracın sinyalleriyle yapılacak bir çalışma, araç içi muhtemel gürültü kaynaklarının belirlenmesinde doğru sonuçlar verecektir.

Aynı çalışma, koltuklar üzerinde de yapılmış, benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yeni araç koltuğu eski nesil araç sinyalleriyle tahrik edildiğinde yol testlerindeki gürültü ve titreşim oluşturulmuştur.

Son olarak, sürücü koltuğu sinyallerinin yolcu koltuğu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Koltukların araç içindeki hareketleri göz önünde bulundurularak sinyaller irdelemeler bölümünde açıklandığı şekilde değiştirilmiştir. Sonuçta, sürücü sinyalleri, yolcu koltuğuna uygulandığında yol koşullarına benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu da ilerideki projeler için 'koltuk gürültüsü' testleri için tek bir sinyal grubu oluşturulabileceği ve bu sinyal grubuyla hem sürücü hem de yolcu koltuğunun tahrik edilebileceği anlamına gelmektedir.

KAYNAKLAR

- Du Y., Guan D.,** (ty). Study on method of dynamic simulation using adaptive control, State Key Lab of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, China
- Kamen E. W.,** (1990). Signals and Systems, Sf. 300-301, Prentice-Hall, INC., Englewood Cliffs, New Jersey
- Oppenheim A. V., Schafer R. W.,** (1975). Digital signal processing, Sf. 211-219, Prentice-Hall, INC., Englewood Cliffs, New Jersey
- Özgüven N.,** (1986). Endüstriyel Gürültü Kontrolü, Sf. 17, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara.
- Savran, B., Yüksek Lisans Tezi.** (2009). İletim yolu analizi metodunun bir araç üzerinde uygulanması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği.
- Şanlıtürk K. Y., Ders Notları.** (2009). Data Acquisition Signal Processing
- B&K Product Data,** (ty). Sound Calibrator Type 4231, < <http://www.bksv.com/products/telecomaudiosolutions/electroacoustics/accessories/soundcalibrator/type4231.aspx>>, alındığı tarih: 24.09.2010
- B&K Product Data,** (ty). Calibration Exciter - Type 4294 and Type 4294-002, < <http://www.bruel.hu/doksik/rezgeskalibrator.pdf>>, alındığı tarih: 24.09.2010
- B&K Primer Measuring Vibration,** (ty). < <http://www.bksv.com/library/primers.aspx>>, alındığı tarih: 03.12.2009
- Head Acoustics, Data Sheet,** (2010). DataRec 4 Series, *Modular 32-Bit Data Acquisition System With Signal Conditioning.* < http://www.lb-acoustics.at/lb-acoustics_en/Downloadzone/DATaRec_4_en.pdf>
- Head Acoustics, Data Sheet,** (2010). Head Recorder (Code 4630), *Recorder software for front ends supported by HEAD acoustics* < http://www.head-acoustics.de/downloads/eng/headrecorder/D4630e7_HEAD_Recorder.pdf >
- Head Acoustics, Data Sheet,** (2010). Artemis Basic Version (Code 4600), *Multichannel analysis software for acoustic and vibration analysis, base version* < http://www.head-acoustics.de/downloads/eng/artemis/D4600e9_ArtemiS.pdf >
- Loctite, Technical Data Sheet,** (2008). Loctite 480 < <http://www.loctitehf.com/assets/tds/480-EN.pdf>>

- PCB Piezotronics, Vibration Division.** (2004). Accelerometers: Product Catalog. PCB Group, <
http://www.pcb.com/Linked_Documents/Vibration/VIB300E_1204.pdf
 >, alındığı tarih: 24.09.2010
- PCB Piezotronics, Acoustic Products.** (ty). High temperature acoustic measurement model number HT378B02, <
http://www.pcb.com/Linked_Documents/Vibration/TM_AC_HT378B02_Lowres.pdf>, alındığı tarih: 29.09.2010
- PCB Piezotronics, Microphone Handbook.** (ty). Test and Measurement Microphones, <
http://www.pcb.com/Linked_Documents/Vibration/Microphone_handbook.pdf> , alındığı tarih: 24.09.2010
- Sensr, Practical Guide to Accelerometers.** (ty). <
<http://www.sensr.com/pdf/practical-guide-to-accelerometers.pdf>> ,
 alındığı tarih: 24.09.2010
- Team Corporation,** (ty). Vertical Vibration System, <
<http://www.teamcorporation.com/vertical.php>>, alındığı tarih: 13.11.2011
- Team Corporation,** (ty). Cube, < <http://www.teamcorporation.com/cube.php>>,
 alındığı tarih: 13.11.2011

- [1] **PCB Piezotronics, Microphone Handbook.** (ty). Test and Measurement Microphones, <
http://www.pcb.com/Linked_Documents/Vibration/Microphone_handbook.pdf> , alındığı tarih: 24.09.2010
- [2] **Savran, B., Yüksek Lisans Tezi.** (2009). İletim yolu analizi metodunun bir araç üzerinde uygulanması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği.
- [3] **PCB Piezotronics, Acoustic Products.** (ty). High temperature acoustic measurement model number HT378B02, <
http://www.pcb.com/Linked_Documents/Vibration/TM_AC_HT378B02_Lowres.pdf> , alındığı tarih: 29.09.2010
- [4] **B&K Primer Measuring Vibration,** (ty). <
<http://www.bksv.com/library/primers.aspx>> , alındığı tarih: 03.12.2009
- [5] **Sensr, Practical Guide to Accelerometers.** (ty). <
<http://www.sensr.com/pdf/practical-guide-to-accelerometers.pdf>> ,
alındığı tarih: 24.09.2010
- [6] **PCB Piezotronics, Vibration Division.** (2004). Accelerometers: Product Catalog. PCB Group, <
http://www.pcb.com/Linked_Documents/Vibration/VIB300E_1204.pdf> , sf. (1.35-1.49), alındığı tarih: 24.09.2010
- [7] **B&K Product Data,** (ty). Sound Calibrator Type 4231, <
<http://www.bksv.com/products/telecomaudiosolutions/electroacoustics/accessories/soundcalibrator/type4231.aspx>> , alındığı tarih: 24.09.2010
- [8] **B&K Product Data,** (ty). Calibration Exciter - Type 4294 and Type 4294-002, <
<http://www.bruel.hu/doksik/rezgeskalibrator.pdf>> , alındığı tarih: 24.09.2010
- [9] **Head Acoustics, Data Sheet,** (2010). DataRec 4 Series, *Modular 32-Bit Data Acquisition System With Signal Conditioning.* < http://www.lb-acoustics.at/lb-acoustics_en/Downloadzone/DATaRec_4_en.pdf>
- [10] **Head Acoustics, Data Sheet,** (2010). Head Recorder (Code 4630), *Recorder software for front ends supported by HEAD acoustics* <
http://www.head-acoustics.de/downloads/eng/headrecorder/D4630e7_HEAD_Recorder.pdf>
- [11] **Head Acoustics, Data Sheet,** (2010). Artemis Basic Version (Code 4600), *Multichannel analysis software for acoustic and vibration analysis, base version* <
http://www.head-acoustics.de/downloads/eng/artemis/D4600e9_ArtemiS.pdf>
- [12] **Loctite, Technical Data Sheet,** (2008). Loctite 480
<http://www.loctitehf.com/assets/tds/480-EN.pdf>>
- [13] **Şanlıtürk K. Y., Ders Notları.** (2009). Data Acquisition Signal Processing
- [14] **Oppenheim A. V., Schafer R. W.,** (1975). Digital signal processing, Sf. 211-219, Prentice-Hall, INC., Englewood Cliffs, New Jersey

- [15] **Özgüven N.**, (1986). Endüstriyel Gürültü Kontrolü, Sf. 17, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara.
- [16] **Team Corporation**, (ty). Vertical Vibration System, < <http://www.teamcorporation.com/vertical.php>>, alındığı tarih: 13.11.2011
- < http://www.pcb.com/Linked_Documents/Vibration/Microphone_handbook.pdf> , alındığı tarih: 24.09.2010
- [17] **Team Corporation**, (ty). Cube, < <http://www.teamcorporation.com/cube.php>>, alındığı tarih: 13.11.2011
- [18] **Kamen E. W.**, (1990). Signals and Systems, Sf. 300-301, Prentice-Hall, INC., Englewood Cliffs, New Jersey
- [19] **Du Y., Guan D.**, (ty). Study on method of dynamic simulation using adaptive control, State Key Lab of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, China

EKLER

EK A.1 : Ölçüm noktaları

EK A.2 : Kullanılan sensörlerin ürün kataloğu

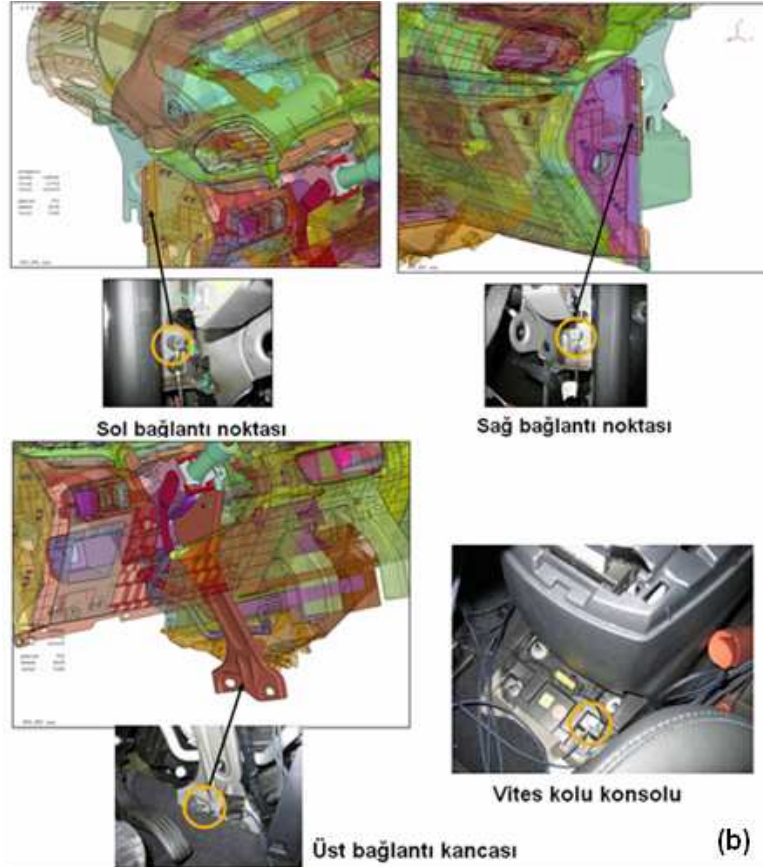
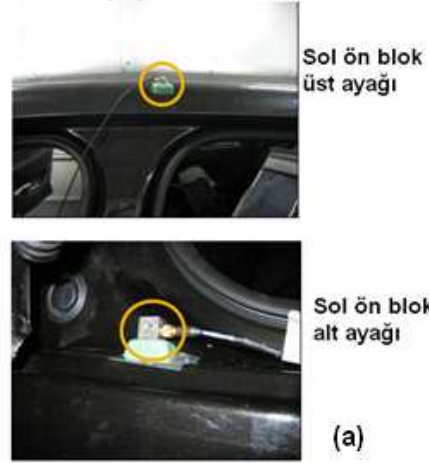
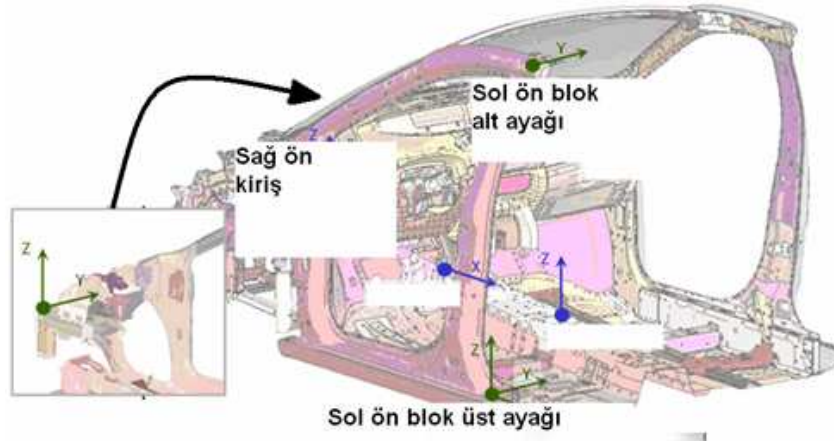
EK A.3 : Yazılım ürün katalogları

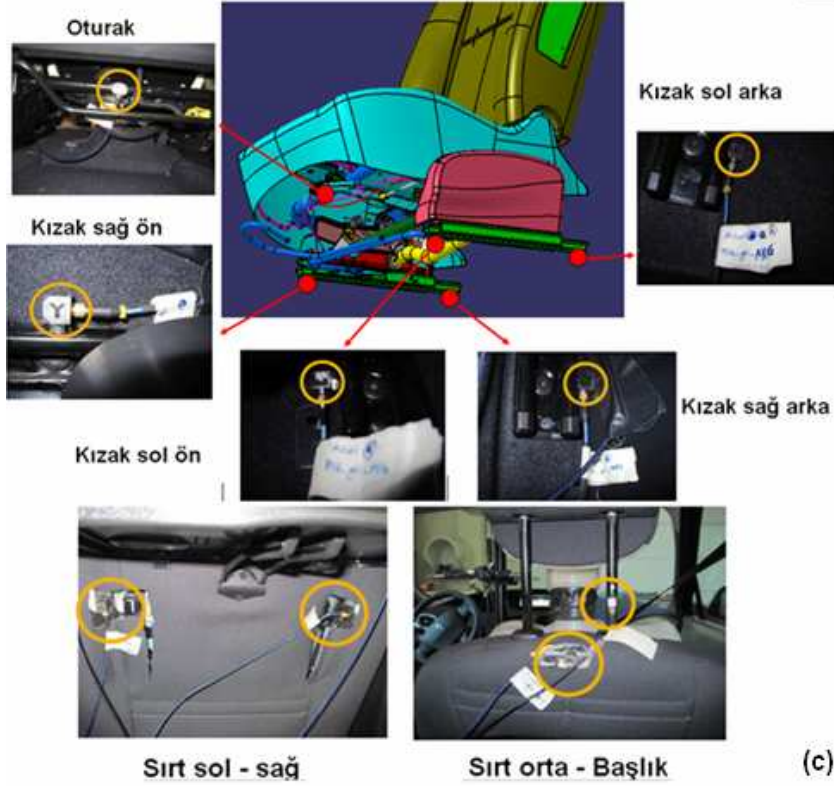
EK B.1 : Sarsıcı – ürün katalogları

EK B.2 : Kontrol noktaları

EK A.1**Çizelge A.1 : Ölçüm noktaları.**

ÖLÇÜM NOKTALARI		
Kasa üzerindeki ölçüm noktaları	1	Ön sağ giriş
	2	Sol ön blok alt ayağı
	3	Sol ön blok üst ayağı
Ön konsol üzerindeki ölçüm noktaları	4	Sol bağlantı noktası
	5	Sağ bağlantı noktası
	6	Üst bağlantı kancası
	7	Vites kolu konsolu
Yolcu koltuğu üzerindeki ölçüm noktaları	8	Kızak sol ön
	9	Kızak sağ ön
	10	Kızak sol arka
	11	Kızak sağ arka
	12	Oturak
	13	Sırt sol
	14	Sırt sağ
	15	Sırt orta
Sürücü koltuğu üzerindeki ölçüm noktaları	16	Başlık sağ
	17	Kızak sol ön
	18	Kızak sağ ön
	19	Kızak sol arka
	20	Kızak sağ arka
	21	Oturak
	22	Sırt sol
	23	Sırt sağ
	24	Başlık sağ





Şekil A.1 : Ölçüm noktaları : Kasa üzerindeki ölçüm noktaları. (a) Ön konsol üzerindeki ölçüm noktaları. (b) Koltuk üzerindeki ölçüm noktaları. (c)



PCB® Acoustic Products

Engineered Faster than
the Speed of Sound

Highlights

- Operating temperature to +120 °C (+250 °F)
- Operates from ICP® sensor power
- Low noise floor
- Wide frequency range
- System sensitivity guaranteed within +/- 1.7 dB
- Temperature range eliminates the need for high-priced probe microphones
- ½" package with BNC connectors
- Competitively priced, best value on the market

Applications

- Engine analysis
- Manifold testing
- Transfer path analysis
- General acoustic testing in high temperature applications
- Exhaust pipes
- HVAC tests



HT378B02



An experienced engineer understands the value of looking at all components within a test and measurement system. It is not just the specifications of the microphone or preamplifier alone, but how they work together. How important is having a great microphone design alone, if it is limited by the specifications of the preamplifier? PCB® has been one of the top names in sensors for decades. We understand applications. PCB® designed the specifications of the microphones and preamplifiers to both work seamlessly to maximize the applications available for the combination.

With this in mind, PCB® is proud to introduce the Industry Exclusive Model HT378B02. The preamplifier was designed with the microphone in mind. Not just to work with the microphone, but to complement it. This microphone and preamplifier combination can be operated in +120 °C applications. An educated end-user is our best customer.

See why users worldwide, from the top names in Automotive, Aerospace, Defense, Universities, Computers, Consultants and Appliances, trust PCB® acoustic products with their important high accuracy tests and have made us one of the fastest growing acoustic sensor manufacturers in the world. Model HT378B02 is TEDS compliant to IEEE 1451.4

High Temperature Acoustic Measurement Model Number HT378B02

Nominal Diameter	1/2" 12.5 mm	Polarization Voltage	0 Volts (Prepolarized Style)
Response Characteristic	Free-Field	Constant Current Excitation	2-10 mA, ICP® Sensor Power
Open Circuit Sensitivity at 250 Hz (+/- 1.7 dB)	50 mV/Pa	Operating Temperature - Microphone	-40 to +250 °F -40 to +120 °C
Frequency Range (+/- 1 dB)	5 Hz to 10 kHz	Operating Temperature - Preamplifier	-40 to +250 °F -40 to +120 °C
Frequency Range (+/- 2 dB)	3.15 Hz to 20 kHz	Operating Temperature - System	-40 to +250 °F -40 to +120 °C
Lower Limiting Frequency (-3dB point)	11Hz to 2.4 Hz	Connector	BNC
Dynamic Range (3% Distortion Value)	146 dB [1]	Size (Diameter x Length, with Grid cap)	0.52" x 3.88" 13.2 mm x 98 mm
Dynamic Range at Nominal Sensitivity	135 dB [1]	Microphone Component	377820
Noise Floor (Cartridge Thermal Noise)	17 dBA [1] [2]	Preamplifier Component	HT426E01
Excitation Voltage	20 to 32 VDC	Warranty	Total Customer Satisfaction (TCS)

Notes:

[1] 1 to 20 µV [2] 4.9 Vrms, minimum 7 Vpk

PCB PIEZOTRONICS®

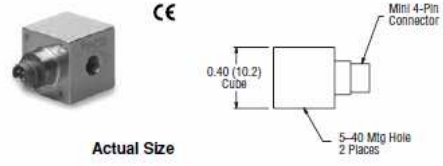
PCB Piezotronics • Toll-Free in USA 888-684-0013 • 716-684-0001 • www.pcb.com

(a)

Model 356B21 — General purpose, cube-shaped, triaxial accelerometer with 4-pin connector

- 10 mV/g [1.02 mV/(m/s²)] sensitivity
- 2 Hz to 10 kHz frequency range (± 5%)
- 4 gram (0.14 oz) weight
- ± 500 g (4900 m/s²) amplitude range
- Mating cable assembly provided

Recommended cables and accessories (S) — see page 4.2
Select an ICP® sensor signal conditioner from those featured in section 3
Options: A, HT, J — see pages xvii to xx for option information

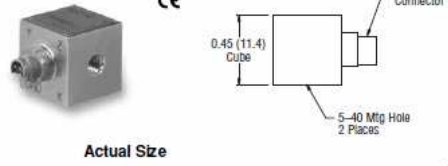


Model 356A32 — Smallest, 100 mV/g triaxial accelerometer with 4-pin connector

- 100 mV/g [10.2 mV/(m/s²)] sensitivity
- 0.7 Hz to 5000 Hz frequency range
- 5.4 gram (0.19 oz) weight
- ± 50 g (491 m/s²) amplitude range
- Mating cable assembly provided

Recommended cables and accessories (S) — see page 4.2
Select an ICP® sensor signal conditioner from those featured in section 3
Options: T, TLA, TLB, TLC — see pages xvii to xx for option information

TEDS
ELECTRONIC
DATA STORAGE



(b)

Şekil A.2 : Kullanılan sensörlerin ürün katalogları : Mikrofon ürün katalogu. (a)
İvmeölçer ürün katalogu. (b)



DATA SHEET

DATaRec 4 Series HEAD acoustics Edition

Modular 32-Bit Data Acquisition System
With Signal Conditioning

Overview

DATaRec 4 is a modular 32-bit data acquisition system consisting of various power supply modules, signal modules and link modules, which can be combined into custom solutions.

In a quick and straightforward manner, individual signal modules (AES/EBU, ICP®, RPM, Charge, brake pressure, steering angle etc.) can be connected to a power supply module and – via USB – to a computer, resulting in a ready-to-use system.

Even entire measurement systems with a large number of channels can be custom-built in a few easy steps. This is achieved with link modules, which connect the signal modules and turn them into a complete compact or decentral system.

Measurements with the link modules LMF2 and LMF4 are controlled by the computer. The modules pass the measurement data to the computer via IEEE 1394b, Gigabit Ethernet or USB 2.0 for further processing. LMF2 record+lema can also be operated without a computer in stand-alone mode. This module saves the data, via IEEE 1394b, to one of the two SMM storage modules or on a USB stick, for example.

Furthermore, LMF2 record+lema also features an interface for using the absolute time information of the IRIG Time Code as well as GPS and PPS (pulses per second) data.

Features

- Modular data acquisition system:
 - Digital and analog signal modules, e.g. with RPM, AES/EBU, ICP®, voltage, charge, CAN bus and switchable AC/DC inputs (for measuring DC quantities such as brake pressure or steering angle)
 - High-pass and low-pass filters for the signal modules DIC6B, DIC6L, DEBU, CHG6 and DIC24X (CHG6 with low-pass only)
 - Link modules for connecting several subsystems into a complete system
 - Power supply modules with DC (9 - 36 V / 12 - 36 V) or AC inputs (90 - 130 and 180 - 260 V), 47 - 63 Hz
- Operation of DATaRec 4 systems with a computer (LMF2, LMF4) or as a stand-alone system (LMF2 record+lema) with direct storage of data on a SMM128 or SMM256 storage module, a USB stick or an external hard disk
- High flexibility for setting up custom systems
- 32-bit data format
- 600 Mbps system data rate
- Number of channels:
 - 1 - 384 (with link modules LMF2 and LMF2 record+lema)
 - 1 - 768 (with link module LMF4)
- Interface for a single signal module: USB 2.0
- Interfaces for multiple signal modules and a link module: IEEE 1394b (FireWire®), Gbit Ethernet (10/100/1000 Base T), USB 2.0
- Direct connection of TEDS sensors (DIC24X, DIC24, DIC6B, DIC6L and DEBU)
- Electrical isolation of signal modules
- Rugged design for mobile use
- Easy plug-in connection between individual modules
- Seat mount for mobile use

Applications

- Sound and vibration analysis
- Acoustic environment protection
- Trouble shooting
- Sound engineering
- Quality control



Power modules

The power modules PWAC, PWD and PWH9 convert an external supply voltage to the system voltage of 24 V required by the modules.

The PWD and PWH9 modules are fed with DC voltage (e.g. vehicle power supply voltage or PSH II or - for PWD - PHS I.1 from HEAD acoustics). They can be used if the total power consumption of the signal modules to be powered does not exceed 50 W (PWD) respectively 96 W (PWH9).

The PWAC module is fed by a direct mains power connection via a suitable power cable. Thanks to its higher power output, it can be used to supply modules with a total power consumption of up to 150 W.



All modules can be easily and firmly connected to each other and can be easily removed again

Link modules

The link modules LMF2, LMF2 record+lemo and LMF4 serve as a central connection and processing unit if several signal modules and power modules are to be combined into a system. Besides other functions, the link modules "collect" the data streams generated by the individual signal modules and transfer them to the PC or – with LMF2 record+lemo – directly to a memory device in stand-alone mode.

The interfaces IEEE 1394b (FireWire®), Gbit Ethernet (10/100/1000 Base T) and USB 2.0 are available therefor.

In stand-alone operation, LMF2 record+lemo saves the data directly to an SMM128 or SMM256 storage module, a USB stick or an external hard disk. A computer is required for the configuration only, not for recording.

Each of the link modules LMF2 and LMF2 record+lemo is equipped with two link inputs. To each input, up to eight signal modules (subsystems) can be connected. Both LMF2 modules thus allow up to 16 signal modules to be connected. LMF4 has four inputs, allowing up to 36 signal modules with a maximum of 768 channels to be used.

Storage modules

For stand-alone operation with the link module LMF2 record+lemo, two storage modules with capacities of 128 and 256 GB are available. For reading the data, the modules can be connected to a computer via USB.

Signal modules

The signal modules are used for connecting the sensors used for a measurement and for processing the incoming sensor signals. For different sensor types, different corresponding modules are available. All modules can be combined with each other in any possible way.

The signal modules are equipped with an amplifier, a 24-bit A/D converter and an anti-aliasing filter. With DIC6B, DIC6L, DIC24X and DEBU two channels can be used as RPM inputs - one channel in the case of DIC24 and CHG6.

DIC24X provides 24 Line-/ICP® inputs with a sampling frequency of up to 50 kHz per channel. Six inputs are equipped with switchable DC coupling and can be used for classical dynamic measurement, e.g. sound and vibration, and also for more static measurements like brake pressure or steering angle. Four channels are equipped with switchable high-pass and low-pass filters. Two channels are configurable as RPM channels with a 32 x module sampling frequency.



Storage modules SMM128 and SMM256

Using a single signal module

If only one signal module is used, it can be connected to a computer via USB and powered by a PWD, PWH9 or PWAC power module. A link module is not required.



Example of a system with a single signal module (DIC24X - as of firmware 2.39 - with the power module PWD)

Combining several signal modules into a system

One of the advantages of DATaRec 4 is the possibility to easily combine several modules into an extensive measurement setup.

Thanks to the two link connectors of each module, wiring several modules together is very simple. The supply power as well as the totality of all received signals are passed through each single module.

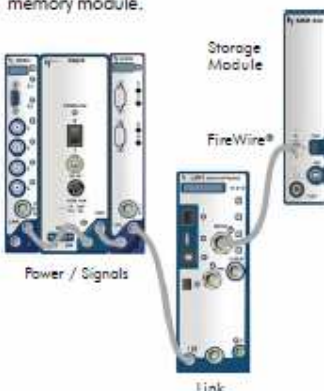
To facilitate wiring, all modules have the connectors located on the front side.

The connection between the modules is made with a serial cable bridge.

Within each subsystem, one power module is mandatory; it is also possible to use several power modules in a subsystem. The number of power modules required depends on the total power consumption of the connected signal modules and the link module, which is fed with supply voltage by the subsystem.

Using a stand-alone system without a computer

In this constellation, the measurements are controlled directly by the link module LMF2 record+memo and recorded by the memory module.



Example of a stand-alone application with the Link module LMF2 record+memo

Seat mount DSM

Several modules connected to each other can be transported safely and easily in the seat mount. The seat belt connector ensures the safe mounting when using the system in a vehicle.

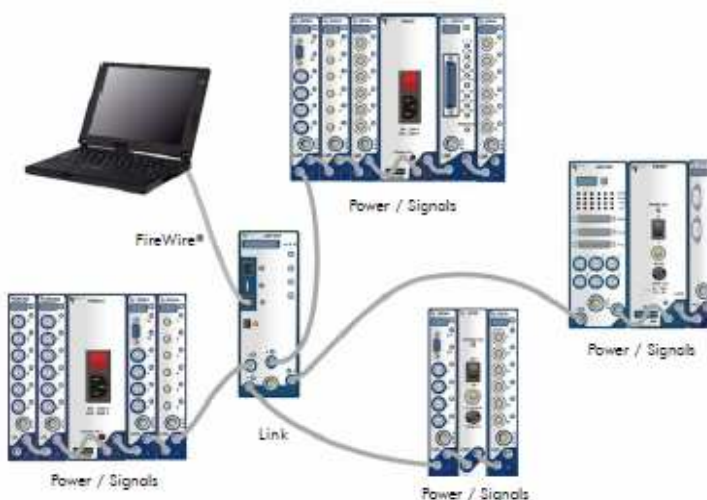


Seat mount DSM

Software

The recording software HEAD Recorder and the analysis software ArtemiS from HEAD acoustics are the ideal software companions for DATaRec 4.

Together, they form a perfectly matched, complete system from a single supplier, which helps to solve every-day tasks – from data acquisition to analysis and to the documentation of results – quickly and successfully.



Example of a DATaRec 4 system with the link module LMF4 and four subsystems

Power Modules

- PWAC (code 3650)
AC power supply
90 - 130 V / 180 - 260 V
(up to 150 W)
- PWD (code 3651)
9 - 36 V DC power supply
(up to 50 W)
- PWH9 (code 3652)
12 - 36 V DC power supply
(up to 96 W)

Signal Modules

- DIC68 (code 3610)
6-channel ICP® module with BNC,
200 kS/s per channel
- DIC68 filter (code 3611)
6-channel ICP® module with BNC,
200 kS/s per channel, HP and LP
filter
- DIC6L (code 3612)
6-channel ICP® module with LEMO,
200 kS/s per channel
- DIC6L filter (code 3613)
6-channel ICP® module with LEMO,
200 kS/s per channel, HP and LP
filter
- CHG6 (code 3614)
6-channel charge input module
with micro-dot connectors, 200 kS/s
per channel
- CHG6 filter (code 3615)
6-channel charge input module
with micro-dot connectors, 200 kS/s
per channel, LP filter
- DEBU (code 3616)
4-channel ICP® module with a
2-channel digital AES/EBU input,
200 kS/s per channel
- DEBU filter (code 3617)
4-channel ICP® module with a
2-channel digital AES/EBU input,
200 kS/s per channel, HP and LP
filter
- DIC24 (code 3630)
24-channel ICP® module with
D-Subconnector, 50 kS/s per
channel
- DIC24X (code 3631)
24-channel ICP®/voltage data
acquisition system
(as of firmware 2.39)
- CAN4 (code 3640)
4-channel CAN bus (2.0A and
2.0B) record module, 1000 kbit per
CAN bus

Link Modules

- LMF2 (code 3602)
Link module for 2 subsystems with
USB 2.0, IEEE 1394b (FireWire®)
and Gbit Ethernet (10/100/1000
Base T)
- LMF2 record+lemo (code 3603)
Link module for 2 subsystems, with
USB 2.0, IEEE 1394b (FireWire®),
Gbit Ethernet (10/100/1000 Base
T) and GPS for stand-alone
operation or use with a computer

- LMF4 (code 3604)
Link module for 4 subsystems with
USB 2.0, IEEE 1394b (FireWire®)
and Gbit Ethernet (10/100/1000
Base T)

Storage Modules

- SMM128 (code 3660)
DATARec 4 storage module
with 128 GB flash memory
- SMM256 (code 3661)
DATARec 4 storage module
with 256 GB flash memory

Cables

- CDB II.1 (Code 3556)
Breakout cable 6 x BNC > D-sub
25-pin (DIC24X)
- LBR I.01 (code 3670-01)
Link connection cable between
2 modules, for compact systems
- LBR I.1 (code 3670-1)
Link connection cable between
2 modules, for compact systems,
1 m (39.37")
- LBR I.2 (code 3670-2)
Link connection cable between
2 modules, for compact systems,
2 m (78.74")
- LBR I.3 (code 3670-3)
Link connection cable between
2 modules, for compact systems,
3 m (118.11")
- LBR I.5 (code 3670-5)
Link connection cable between
2 modules, for compact systems,
5 m (196.85")
- LBR I.10 (code 3670-10)
Link connection cable between
2 modules, for compact systems,
10 m (393.7")

- CDB IV.1 (code 3671)
Cable D-Sub > BNC female
- CLU IV.2 (code 3673-2)
LEMO 17-pin > USB plug,
connection cable input module to
PC (w/o link module), 2 m (78.74")
- CLO III.1.5 (code 3674-1.5)
Power cable for PWD9D, LEMO 2-
pin > banana plugs, 1.5 m (59")
- CLO IV.1 (code 3675-1)
Power cable for power supply input
directly on signal modules (without
PWD), LEMO 9-pin > banana
plugs, 1 m (39.37")
- CLX III.X (code 3676)
Cable PSH I.1 > PWD
- CMD V.3 (code 9835-3)
Connection HMS III and HMS IV to
DEBU
DSUB9 > DSUB9 + XLR3, 3 m
(118.11")

Accessories

- DSM (code 3690)
DATARec 4 Seat Mount
Seat Mount for DATARec 4 systems
- PSH II (code 1317)
Power Supply 90 V - 264 V (50 Hz)
- PSH I.1 (code 1364)
Power Supply (for PWD)
100 - 240 V (47 - 63 Hz)

Software

- HEAD Recorder (code 4630)
Programmable recording software
- ArtemiS (code 4600)
Multi-channel analysis software for
acoustic and vibration analysis
(incl. HEAD Recorder)

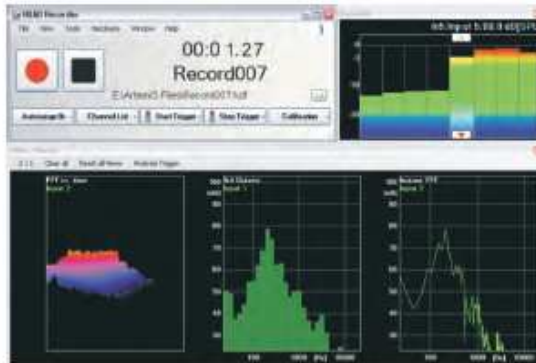
Power Consumption: Link, Signal, Storage Modules

LMF2:	30 W (max.)
LMF2 record+lemo:	30 W (max.)
LMF4:	30 W (max.)
DIC68:	10 W (typ.), 11.6 W with filter (typ.)
DIC68 filter:	10 W (typ.), 11.6 W with filter (typ.)
DIC6L:	10 W (typ.), 11.6 W with filter (typ.)
DIC6L filter:	10 W (typ.), 11.6 W with filter (typ.)
CHG6:	11 W (typ.), 12.6 W with filter (typ.)
CHG6 filter:	11 W (typ.), 12.6 W with filter (typ.)
DEBU:	9 W (typ.), 10.2 W with filter (typ.)
DEBU filter:	9 W (typ.), 10.2 W with filter (typ.)
DIC24:	15 W (typ.)
DIC24X:	18 W (typ.)
CAN4:	10 W (max.)
SMM128:	10 W (max.)
SMM256:	10 W (max.)

Maximal Power: Power Modules

PWAC:	150 W
PWH9:	96 W
PWD:	50 W

(a)



Features

- Versatile recorder software with modern, innovative concept for front ends supported by HEAD acoustics
- Safe operation especially in mobile mode thanks to clearly arranged main window with large buttons
- Highly convenient mouse- or keyboard-controlled recording
- Easy handling via user-configurable buttons for frequently used functions
- Different task-specific layouts and configurations can be saved in the archive of the HEAD Recorder
- Intuitive front end configuration via graphical representation of the supported front ends; allows the connection of sensors via copy & paste
- Configuration of virtual front ends for future transfer to real front ends
- Safe handling and optimal recording level via automatic level control
- For an uncomplicated acquisition of RPM or other parameters: Recording of OBD-2 information (e.g. by means of the CAN4 module of the DATArec 4 series)
- Trigger functions, including additional triggers based on analysis results
- Direct visual online monitoring of incoming signals (up to 16 windows with various analysis types), level and audio signal display (up to 6 channels with the same unit in one window)
- Online generation of
 - new channels (calculated individually from existing channels), e.g. for determining the average, the difference, but also more complex calculations,
 - pulse signals from analog signals, e.g. if the front end has no (or not enough) pulse channels
 The generated channels can be used to trigger a recording and can be saved.
- Quick „diagnosis“ of the pulses shown in an analysis window
- Acoustic control via playback
- Automatic performance of simple or complex measurement procedures via programmable flow control
- UDI (User Defined Information) can be conveniently saved along with the recorded data
- Interface to the ArtemiS analysis software (version 7 or later)
- Recording of triggered video signals and the corresponding audio signals (synchronized playback of the videos in ArtemiS)
- Saving of user documentation for use with HEAD Data Portal and ArtemiS

DATA SHEET

HEAD Recorder (Code 4630)

Recorder software for front ends supported by HEAD acoustics

The HEAD Recorder

is a versatile recording software with innovative concept, which represents a convincing synthesis of advanced functionality and easy handling thanks to its sophisticated concept. This becomes obvious already in the main window with its large, clearly arranged buttons, which can be operated conveniently even in mobile use. Additional buttons in the main window can be freely assigned to frequently used functions by the user in order to automate various tasks.

Other functionalities and windows can be individually configured and arranged on the screen independently of each other. For different tasks, the respective working environment can be saved and restored again when needed.

The principle of the HEAD Recorder to perform even extensive measurement processes in a safe and easy way is also reflected by the measurement control system. It allows the user to predefine entire measurement procedures, which are then performed automatically. Furthermore, the front end view, the online monitoring system with up to 16 analysis windows and other features make the HEAD Recorder a safe and convenient tool even for inexperienced users, greatly facilitating their daily working routine.

Applications

Recordings e.g. with artificial heads of the HMS III and HMS IV generation, the DATArec 4 series, the BEQ II two-channel front end, the multi-channel systems SQuab II and III, the OctoBox+ eight-channel front end, the SQuadrigo four-channel front end as well as front ends from SONY (EX series), TEAC (GX1, RX 800) or SINUS Messtechnik GmbH and with digital soundcards



The main window of the HEAD Recorder with its large, easily accessible recording buttons and the five programmable buttons below.

Main Window

The modern concept of the HEAD Recorder allows you to customize the software for a wide variety of tasks. For example, if you only need the recording controls and a few additional functions, for example in mobile operation, the main window with its large, clearly arranged recording buttons and its user-programmable function buttons is all you need. The software can be controlled with the mouse as well as with the keyboard.

All other windows can be freely configured and arranged on the screen. Each window has a convenient docking function.

That way, you can create exactly the working environments you need and save them for future use with all settings including the window layout.

Programmable Buttons

The five programmable buttons (below the Start/Stop buttons in the main window) can be configured very easily and can be assigned to frequently needed functions by the user.

Sensor Connection / Front End View

The front end view displays the connected front end and the sensors. The current sensor setup and the configuration of the front end are detected automatically.

The sensor symbols can be intuitively dragged with the mouse onto the corresponding front end connectors or modules, thus connecting them. It is also possible to copy sensor symbols via drag & drop. A click on a sensor symbol opens a convenient dialog window, where you can individually

Alternatively, the HEAD Recorder also provides a channel list, where sensors can be connected „conventionally“.

Even without a connected front end, a (pre)configuration is possible. By using a virtual front end, custom settings can be configured, saved and used, for example, at a different workstation. After connecting a real front end, the entire configuration of the virtual front end can be transferred to it.

Sensor Calibration

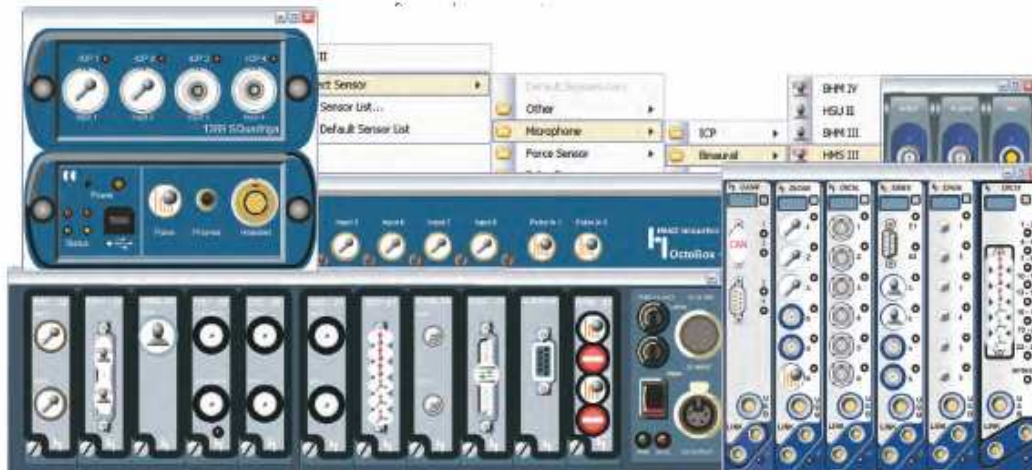
For the quick calibration of the used sensors, the HEADRecorder offers various methods depending on the sensor type.

Generated (virtual) Online-Channels

From existing channels, the HEAD-Recorder can generate the sum, the average etc. or user-defined quantities. For example, the slip (RPM 1 - RPM 2) can be determined online, or various CAN bus data can be combined in a new channel. This is facilitated by the easy-to-use Calculation Term Editor.

If a front end has no (or not enough) pulse inputs, pulse channels can be generated by analog signals.

All generated channels can be saved and used, for example, for triggering, just like other channels.



The front end view shows a photo of the connected front end (SQLab III, SQuadriga, OctoBox+, DATARec 4, SONY EX) and allows an intuitive connection of the sensors.

02.2010 D4630e6

Subject to change

Trigger

Various trigger options offer broad possibilities for individual settings; an acoustic trigger feedback signal is available, too.

A special feature is offered with the additional analysis triggers, which allow, for example, a certain A-weighted level value or, when using the FFT spectrum, a user-defined frequency to be used as the trigger criterion.

Online Monitoring

The online monitoring function allows a direct visual control of the incoming signals. For up to 16 diagrams, the analysis type and the display parameters can be configured. In one window, up to 6 channels with the same unit can be displayed.

Automatic Recording Level Adjustment (Autorange)

The automatic recording level adjustment examines the incoming signal and determines the optimal recording level for all channels. Each channel can also be adjusted manually.

The recording level (range) of each channel can be adjusted via the context menu or manually via the arrows.

Audio Signal View / Level View / Tachometer

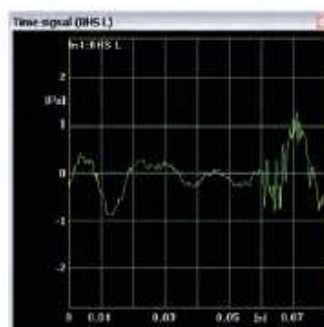
Besides the online monitoring function, the HEAD Recorder offers additional possibilities for visual control:

The audio signal view shows the current incoming signal similarly to an oscilloscope. In the level view, the recording levels can be adjusted for each channel.

Any number of tachometers can be displayed on the screen to visualize pulse channels. RPM / speed values can be displayed in an analog or digital fashion.

UDI (User Defined Information)

UDI entries (UDI = User Defined Information) are information added to a recording by the user and saved along with it. The entries can be specific comments, but can also be



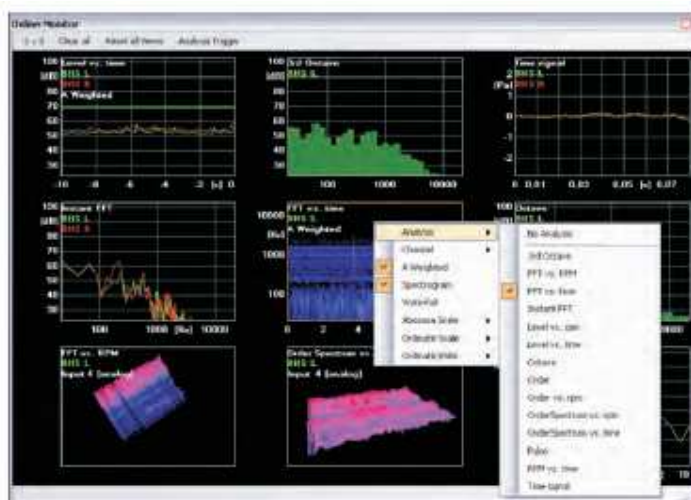
The audio signal view allows a visual control of the incoming signal (oscilloscope). Furthermore, it displays the status during the calibration of sensors.

generated automatically, for example date and time (via the UDI form editor).

The UDI is made available again when the recording is analyzed in ArtemiS or other HEAD acoustics programs.



In ArtemiS, videos recorded with the HEAD Recorder can be played back and analyzed synchronously to the playback cursor in the Mark Analyzer.



The following analysis types are available for online monitoring: FFT spectrum, FFT vs. time, octave, audio signal, A-weighted level vs. time, RPM, analyses, third octave band spectrum, FFT vs. RPM, level vs. time, level vs. RPM, order vs. RPM, order spectrum vs. time, order spectrum vs. RPM, RPM vs. time. Selectable display parameters are spectrogram, waterfall and pulse channels. The waterfall diagram can be dragged into any desired position with the mouse.

Recording of Video Files

The HEAD Recorder allows triggered video signals to be recorded along with the corresponding audio signals. The synchronization of the data is achieved by means of stored time stamp information, which is retained even after the HDF file has been processed.

Videos (AVI) can be played back in ArtemiS (with ATP 01). Single frame display, zoom etc. are possible.

The video function can be used, for example, to attribute transient sound events to a filmed action.

Recording Flow Control

A flow control editor for controlling the recording procedure allows you to define simple or complex program sequences – with no programming knowledge required – which are then executed automatically (at the click of a button or triggered). A fully automated measurement process is possible as well as user interaction via dialogs and buttons.

Export and Further Processing with Artemis

Recordings made with the HEAD Recorder can be automatically transferred into the Source Pool of the Artemis analysis software (version 7 or later), where they are available for further processing.

Connection between HEAD Recorder and HEAD Data Portal

As from version 2.0 the HEAD Recorder is equipped with an interface to the HEAD Data Portal, the software for efficient data management. This allows for the completely automatic creation of user documentation with the HEAD Recorder during the recording process and to search and use this documentation with the data organization in the HEAD Data Portal afterwards.

Requirements

- Up-to-date graphics driver with DirectX9 support
 - ≥ 8 MB graphics card (graphics card with 64 MB or 128 MB recommended)
 - Windows® XP (languages: US / Western European)
 - ≥ 1.5 GHz Pentium M (or comparable)
 - ≥ 1 GB RAM
- or
- Windows® VISTA™ (32 bit: Business, Ultimate - languages: US / Western European)
 - ≥ Core2Duo Processor 2 GHz
 - ≥ 2 GB RAM
- or
- Windows® 7 (Professional, Enterprise, Ultimate - languages: US / Western European)
 - ≥ Core2Duo Processor 2 GHz
 - ≥ 2 GB RAM

Scope of supply

- HEAD Recorder (Code 4630)
- Dongle

02_2010 D4630e6

Subject to change

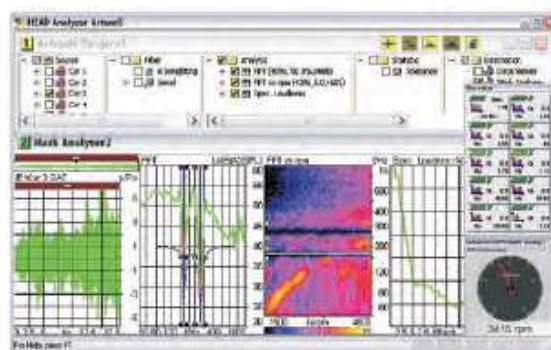


Example of a programmed automatic recording of a run-up and a run-down.

Archive

In the archive of the HEAD Recorder, complete recorder environments including their individual settings (window layout, recording procedures, channel configuration, programmable buttons, triggersettings etc.) can be saved for future use.

That way, the archive can be filled with any number of working environments for different tasks and requirements. When loading an environment, you can choose whether you want to restore the complete recorder environment or only a part of the settings.



The flow control can also trigger additional processing steps (analysis, filtering, mark analyzer etc.) in ArtemiS fully automatically.

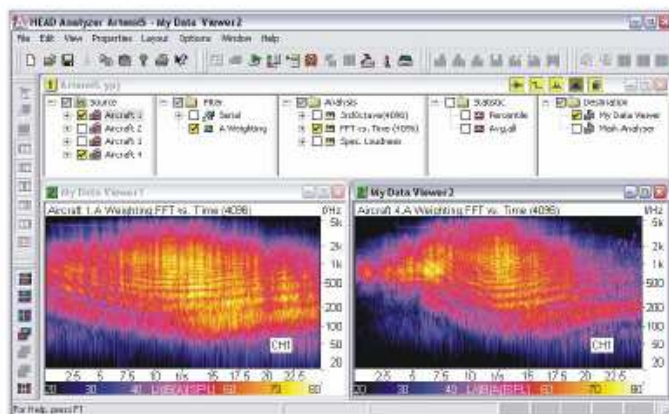


HEAD Data Portal HEAD Data Portal is a user-friendly software being used for an efficient data management and information management.

Supported front ends

- HMS III and HMS IV artificial heads
- DataRec 4 series HEAD edition
- BEQ II two-channel front ends
- SQuab II und III multi-channel systems
- OctoBox+ eight-channel front end
- Squadex four-channel front end
- MHS II und III Headset for NoiseBook
- DataRec 2 series (A80, A160, DISC16)
- DataRec 3 series (A480, DISC6)
- DataRec 4 series
- SONY EX series
- TEAC GX1 front end
- Sinus Harmonie front end
- Digital sound cards
- PEAK CAN adapter
- ASIO front end (e. g. RME HSDP series)
- GPS receiver

(b)



Features

- Multi-channel data acquisition and analysis
- Programmable flow control for automating frequently needed procedures
- Programmable recorder software (HEAD Recorder)
- Structured documentation of data (HEAD Data Portal)
- Binaural measurements

The ArtemiS multi-channel analysis software

is the proven solution for all types of sound and vibration analysis. Using the latest multi-processor-compatible software technologies, ArtemiS is not only a highly efficient and versatile analysis tool, but also provides easy handling. All major functions can be accessed via drag & drop, greatly facilitating your

DATA SHEET

ArtemiS basic version (Code 4600)

Multi-channel analysis software for acoustic and vibration analysis, base version



The project-oriented arrangement

of the user interface, which is subdivided into five areas ("pools"), as well as the clearly arranged controls, make your individual working steps and the progression of the entire analysis process as transparent as possible.

In the data pool, the files to be analyzed are listed in a clearly arranged folder structure. For further processing, you simply use the mouse to pick the desired filters, analysis methods, statistic functions, export and display options from the filter, analysis, statistics, export or destination pool, respectively.

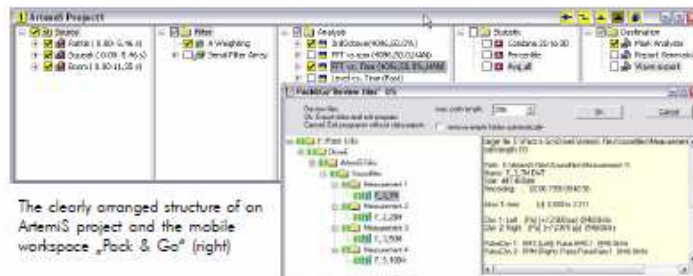
The modular design

of ArtemiS allows a flexible adaptation even for special requirements. Using the ArtemiS Tool Packs (ATPs), you can make use of extended functionality - more than

- Multi-processor support
- Filters, analysis, statistic calculations, display functions, import/export functions
- Network support
- Modular design
- Automatic multiple analysis
- Multi-language user interface and context-sensitive help
- Automated documentation with standardized templates

Applications

- Sound and vibration analysis
- Sound engineering
- Product development and quality control
- Sound design
- Acoustic fault diagnostics
- Psychoacoustics



The clearly arranged structure of an ArtemiS project and the mobile workspace „Pack & Go“ (right)

every day working routine. Even complex tasks can be performed intuitively and quickly with ArtemiS. Any number of measurement channels can be filtered, displayed, archived and exported in one step, where each activated file is automatically subjected to all desired analysis steps.

100 analysis, statistic calculations, import and export functions - and thus turn ArtemiS into a customized system for your special applications. For data acquisition and the structured organization of data HEAD Recorder and HEAD Data Portal are available as constituent parts of ArtemiS.

02.2010 D4600e8 Subject to change

General tools

ArtemiS possesses general tools, which facilitate handling and a working with ArtemiS substantially.

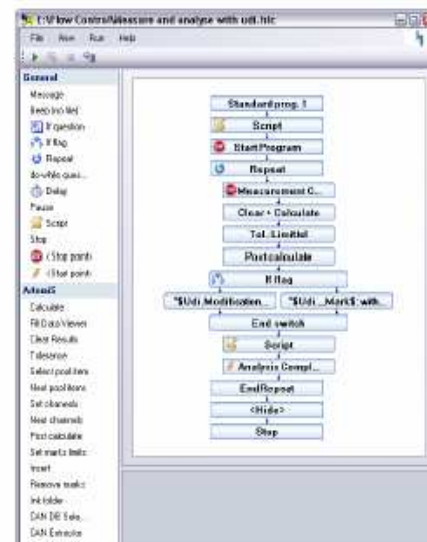
- The flow control module allows repeatedly performed procedures to be automated quickly, easily and without any programming knowledge. A fully automated workflow is possible as well as user interaction via dialogs and buttons.

The flow control module also allows other software products to be connected to ArtemiS automatically, e.g. Microsoft® Excel® and Word.

- The mobile workspace (Pack & Go) allows for an uncomplicated archiving of complex ArtemiS projects, the individual work environment respectively its dislocation e.g. to an other computer included.
- The Mark Editor is a tool for the quick and convenient editing and playback of audio signals. Signals can be cut in consideration of a reference variable, and the sequences can be saved as new files.
- The Tolerance Scheme Editor allows to create and to edit tolerance curves.
- For all order analyses a frequency offset can be adjusted, e.g. for calculation of electric motors

- Channels can be selected by means of editable filters
- HEAD Noise Metrics allows various - predefined - noise metrics (for combustion engines) to be calculated
- Beyond that ArtemiS offers the possibility of storing individual working environments (e.g. automatically), informs about the projects, measurements or diagrams used last, permits a storing of result diagrams as pixel diagram or as meta file and much more besides.

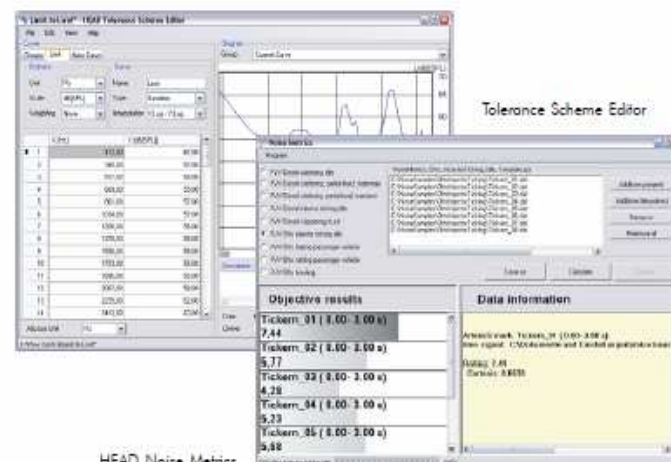
Data acquisition



Example of a flow control in ArtemiS

Besides the familiar channel list, the HEAD Recorder also provides images of different front ends, so the sensors used can be calibrated easily and safely.

Furthermore, various real-time analysis functions make sure that the user always remains in control of what is happening during a recording. With the HEAD Recorder, triggered video signals can be recorded along with audio signals and played back synchronously (in ArtemiS, with ATP 01).



HEAD Noise Metrics

The HEAD Recorder supports directly from ArtemiS recordings with front ends from HEAD acoustics (artificial heads of the HMS III generation, the two-channel front end BEQ II, the multi-channel systems SQLab II and III, the eight-channel front end OctoBox+, the HEAD acoustics edition DATaRec4 and the four-channel front end Squadrigo), front ends from SONY (EX series), SINUS Messtechnik GmbH as well as digital sound cards.

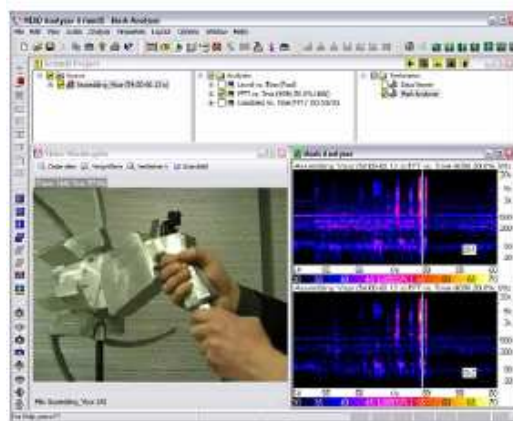
With its customizable interface and a flow control editor for the facilitation of repeating measurement procedures, the HEAD Recorder is clearly structured and easy to use.



The number, sizes and positions of the windows in the HEAD Recorder can be customized

02.2010 D4600e8

Subject to change



Data Organization

The HEAD Data Portal is a software being used for the structured documentation and organization of data on local and network drives. Due to its clear format, the HEAD Data Portal allows for the quick searching, combining, displaying and comparing of data.

The versatile Data Viewer, the statistics module and other features help to directly display and compare files or single channels from different files and to capture results at once.

The analysis software ArtemiS and the programmable recording software

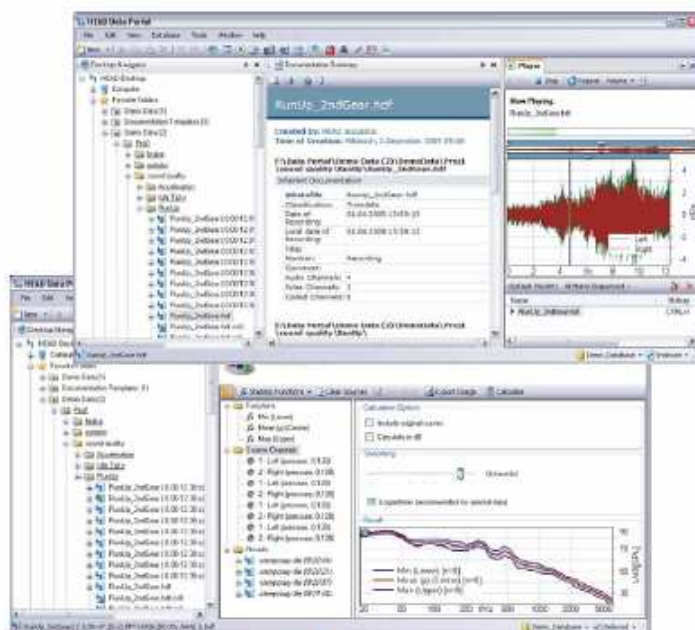
HEAD Recorder combine perfectly with the HEAD Data Portal: For instance, the HEAD Recorder allows important documentation to be automatically generated during the recording process and to be used for the organization and searching with HEAD Data Portal. The HEAD Data Portal concurrently inserts the recorded data into an ArtemiS project, where the documentation can be selected with ease. The Documentation Summary of the HEAD Data Portal can be opened in ArtemiS via the info box.

Data Pool

- The Pulse Wizard provides, among other functions, a correction mechanism for the optimization of revolution speed (rpm) data generation. A missing rpm value can be inserted manually or numerically or can be determined automatically from a significant order in the signal.
- User-defined information about measurement objects, measurement location, time etc. can be saved along with the measured data and used in further applications.
- Import of Wave and ASCII files via individual templates

Filter Pool

- The base version of ArtemiS allows the simultaneous use of up to four IIR filters, which can be configured individually.
- Customers can individually select the spectral weighting functions for each channel, for example separate functions for airborne and structure-borne sound.
- G-weighting according to ISO 7196 allows infrasonic measurements.
- Conversion of physical units (e.g. g to m/s²)
- The delay function allows a channel selective time shifting, e.g. for compensation a delay between the audio signal and the rpm.



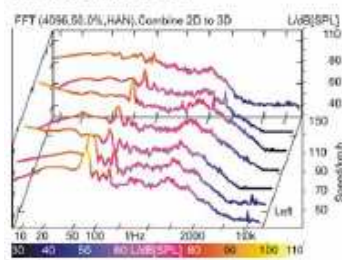
HEAD Data Portal is a user-friendly software platform for a efficient data und information management.

02.2010 D460De8

Subject to change

Statistic Pool

- ArtemiS can determine the average value, the maximum and minimum value, the sum and the difference of time signals.
- Furthermore, calculation results can be displayed in a diagram and exported as single value (minimum, maximum, mean values).
- Two-dimensional results from different data sets can be combined into a three-dimensional data set.



Two-dimensional results can be combined into a three-dimensional data set

- ArtemiS automatically performs a tolerance check and displays the tolerance curves in the result window and in the Mark Analyzer.
- Two or more phase-shifted digital pulses allow for the extraction of the reference variable rotation angle, which can be used as new analog channel.

Destination Pool

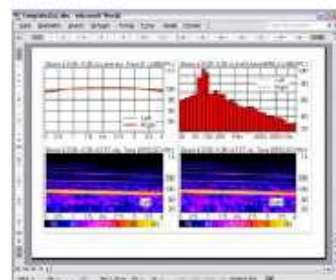
- The Mark Analyzer is a complete analyzer for time signals. Simply drag marks, filters or analysis functions onto a Mark Analyzer with the mouse, and the analyzer will automatically perform the corresponding calculations.

- For data exchange with third-party systems, the base version of ArtemiS provides several import and export options – Wave, ASCII, Excel and ATFX. In addition, other useful options – such as fading for Wave export etc. – are available.

- „Living“ diagrams can be inserted into Microsoft® PowerPoint®, Word or other programs supporting the integration of properties. At the same time, the usual functionality of the diagrams with ArtemiS (zooming, scaling, magnifying) remains unaffected.

- Easily and safely analysis results can be automated exported by means of an easy to use report generator in standardized Word documents.

- The Data Viewer provides a clean overview of the results (up to 64 diagrams) and a wide range of possibilities for your individual layout of the analysis result presentation. Furthermore, the Data Viewer allows the diagrams to be exported to various formats (Word, BMP, TIFF, JPEG, PNG).

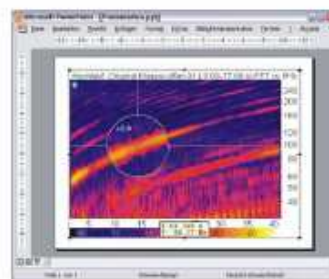


Example of a report in MS Word

Analysis Pool

The following analysis types are available in the base version:

- 1/3-octave spectrum / 1/3-octave spectrum (peak hold) / 1/3-octave spectrum vs. time
- Level vs. time / level vs. rpm
- FFT (averaged) / FFT vs. time (peak value) / FFT vs. time / FFT vs. rpm
- Order levels vs. time (cut) / order levels vs. rpm (cut)
- For all order analyses and all order filters (that applies to the ATPs too) a frequency offset can be adjusted
- Harmonic distortion / Harmonic distortion vs. time / Harmonic distortion vs. frequency
- Power spectral density (PSD) (averaged) / power spectral density vs. time / power spectral density vs. rpm
- Specific loudness can be chosen according to DIN 45631, ISO 532 A/B (based on FFT or digital filters) or HEAD algorithm
- Reverberation time vs. band



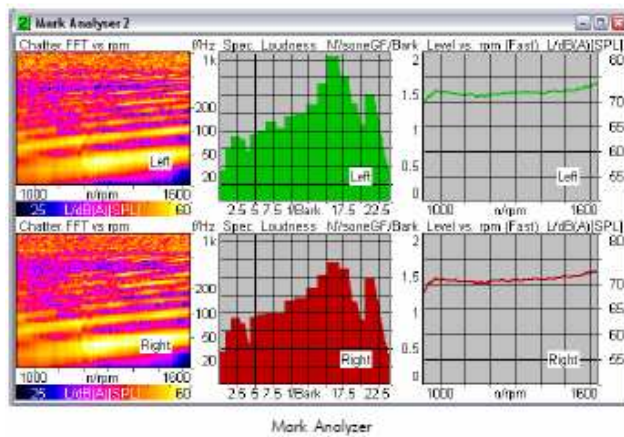
„Living“ diagram in PowerPoint®

Delivery items

- ArtemiS basic version (Code 4600) Setup CDs
- HEAD Recorder (Code 4630) Recording software
- HEAD Data Portal (Code 4660) Software for structured and cross-linked documentation, viewing and organization of data
- Dongle

Requirements

- Up-to-date graphics driver with DirectX9 support
- ≥ 8 MB graphics card (graphics card with 64 MB or 128 MB recommended)
- NET Framework 3.5 (HEAD Data Portal)
- Windows® XP (languages: US / Western European)
- ≥ 1.5 GHz Pentium M (or comparable)
- ≥ 1 GB RAM
- OR
- Windows® VISTA™ (64 bit and 32 bit: Business, Ultimate - languages:



02.2010 D4600e8 Subject to change

US / Western European)
 ≥ Core2Duo Processor 2 GHz
 ≥ 2 GB RAM

OR

- Windows® 7 (Professional, Enterprise, Ultimate - languages: US / Western European)
 ≥ Core2Duo Processor 2 GHz
 ≥ 2 GB RAM

Recommended

- SQL Server 2005 Express Edition (HEAD Data Portal)

**ArtemiS basic version
 (Code 4600)**

Technical Data

Filter Pool

IIR-Filter

Filter kind: Bandstop / Bandpass /
 Highpass / Lowpass /
 Allpass

Frequency: 1 - 24000 Hz

Filter Type: Butterworth / Bessel /
 Tschebycheff 0.5 - 3 dB

Filter Order: 1 - 4

Filter Quality: 0.1 - 1000

Export / import: HIS data (for headphone
 equalization)

Equalization: Lin / BHM III / BHM III.2 /
 BHM III.3 / FF, DF, ID for
 HSU II / HSU III / HSU III.1

Calculate

Enables the time signal operations multiplication of the
 levels, constant component and change of the sampling
 rates before the analysis

Differentiation / Integration

Single or multiple differentiation or integration of the time
 signals

Resample Signal

Adjustable target frequency

Stretch factor: 0.1 - 10

Frequency weighting

A- / B- / C- / D / G-Weighting (IEC 61672 / ISO 7196)

Unit conversion

Acceleration: m/s^2 ; g ; ft/s^2 ; in/s^2

Speed: m/s ; ft/s ; in/s

Distance: m ; ft ; in

Delay

Delay of individual or multiple channels by an adjustable
 value (positive or negative)

Analysis Pool

**1/nth Octave / 1/nth Octave (peak hold) /
 1/nth Octave vs. time**

Method: FFT synthesis

Band resolution: Octave / 3rd octave

Band order frequencies: Nominal / Octave / Decade

Spectral Weighting: Lin / A- / B- / C- / D- /
 G-Weighting / Equal
 Loudness

Window Function: Rectangle / Hanning /
 Hamming / Blackman /
 Bartlet / Kaiser-Bessel 8 -
 16 / Flat-top / Gauss 8,
 16, 32

Spectrum Size: $16 \cdot 2^{20}$ Samples

Overlap: 1 - 99 %

Row: A / B

Level vs. time / Level vs. RPM

Spectral Weighting: Lin / A- / B- / C- / D- /
 G-Weighting

Downsampling: adjustable

Time Weighting: Fast / slow / impulse /
 manual (0 - 60 s) /
 rectangle (0 - 60 s)

Reverberation time: Decay range selectable

Level vs. RPM

Step size (RPM): 0.001 - 1000

Slope: RPM (Detect) /
 RPM (Falling) /
 RPM (Rising))

Bypass

Instead of analyzing Bypass displays the time signal in
 the Mark Analyzer or the Data Viewer

Differentiation / Integration

Differentiation and integration of a selected time signal

Reverberation time vs. band

Band resolution: Octave / 3rd Octave /
 6th Octave

Row: A / B

Time constant (ms): 1 - 1000
 Fixed / Frequency dependent
 (for 1 kHz)

Frequency range (Hz): 10 - 30000

Reverberation time: Decay range selectable

Analysis Pool FFT (Average) / FFT v. time (peak hold) / FFT vs. time / FFT vs. RPM Spectrum Size: 16 - 2 ²⁰ Samples Window Function: Rectangle / Hanning / Hamming / Blackman / Bartlet / Kaiser-Bessel 8 - 16 / Flat-top / Gauss 8, 16, 32 Spectral Weighting: Lin / A- / B- / C- / D- / G-Weighting / Equal Loudness / Integrate (1x) - (2x) / Differentiate (1x) - (2x) Overlap 1 - 99 % Smooth: Off / octave - 24th octave (intensity av. / dB averaging) Amplitude scaling: rms / peak FFT vs. time / FFT vs. RPM Phase: none / reference channel FFT vs. RPM Step (RPM): 0.001 - 1000 Slope: RPM (Falling) / RPM (Detect) / RPM (Rising) / CA / Rotation Order vs. time / Order vs. RPM Window Function: Rectangle / Hanning / Hamming / Blackman / Bartlet / Kaiser-Bessel 8 - 16 / Flat-top / Gauss 8, 16, 32 Spectral Weighting: Lin / A- / B- / C- / D- / G-Weighting Amplitude scaling: rms / peak Step Size (s): 0.001 - 1000 Spectral Resolution (order): selectable Spectral Range (order): selectable Time Weighting: fast / slow / manual Algorithm: Variable DFT size / RPM-sync. resampling / Time domain averaging Phase: off / Ref. channel / Ref. order / Ref. to pulse Frequency offset (Hz): selectable Order vs. RPM Step (RPM): 0.001 - 1000 Slope: RPM (Falling) / RPM (Detect) / RPM (Rising) Order cut display: Hz / RPM		Power Spectral Density (Average) / Power Spectral Density vs. time / Power Spectral Density vs. RPM Spectrum Size: 16 - 2 ²⁰ Samples Window Function: Rectangle / Hanning / Hamming / Blackman / Bartlet / Kaiser-Bessel 8 - 16 / Flat-top / Gauss 8, 16, 32 Spectral Weighting: Lin / A- / B- / C- / D- / G-Weighting / Equal Loudness / Integrate (1x) - (2x) / Differentiate (1x) - (2x) Overlap 1 - 99 % Smooth: Off / octave - 24th octave (intensity av. / dB averaging) Power Spectral Density vs. RPM Slope: RPM (Falling) / RPM (Detect) / RPM (Rising) / CA / Rotation Spec. Loudness Calculation Method: DIN 45631 ISO 532 A (FFT/FFT 3rd Octave) ISO 532 B (filter/FFT) HEAD algorithm Window Function: Rectangle / Hanning / Hamming / Blackman / Bartlet / Kaiser-Bessel 8 - 16 / Flat-top / Gauss 8, 16, 32 Spectrum Size: 16 - 2 ²⁰ Samples ⁰ Sound field: Free / Diffuse Overlap 1 - 99 % Frequency Scale: Hz / Bark Filter order: 4. / 6. order ISO 532A Frequency Scale: Hz / ERB Resample Signal Assignment of new sampling frequencies Stretch faktor: 0.1 - 10 Harmonic Distortion / Harmonic Distortion vs. Frequency / Overlap: 1 - 99 % DFT size: 256 - 2 ²⁰ Samples Frequency range: 0 - 500 000 Hz Reference: Signal Power / 1st Harmonic / All Harmonics Results: THD / THD+N / SN / Sum / Single Harmonic Distortion vs. Frequency Frequency Scale: Lin (selectable in Hz) / Octave / 3rd Octave / 6th Octave	
---	--	---	--

(c)

02.2010 D4600e8 Technical Data Subject to change

Şekil A.3 : Yazılım Ürün Katalogları : DataRec 4 Ürün kataloğu. (a) Head Recorder Ürün kataloğu. (b) Artemis Data Acquisition Ürün kataloğu. (c)



Team
CORPORATION

Vibration Testing Solutions

Automotive Seismic Aerospace Military Packaging Special

**Systems
&
Solutions**

HOME
PRODUCTS
SALE ITEMS
NEWS
DOCUMENTS
CONTACT
ABOUT TEAM

CUBE™

Overview

With a history of more than 30 CUBE™ installations over the past 17 years, Team Corporation has taken 6 Degree of Freedom testing a giant step forward. An advanced technology hydraulic test system that offers 6 Degrees of Control, the CUBE™ can accurately replicate virtually any vibration environment, including very high frequencies, with precise digital control.

The CUBE™ simulates real-world 6 Degree of Freedom vibration with complete, simultaneous control of the amplitude and phase of all 6 Degrees of Freedom. Offering simultaneous or sequential excitation of test articles in Sine, Random and Time Wave Form Replication, the CUBE™ sets the standard for multi-axis vibration testing.

Features

- Frequency 0 - 250 Hz
- Force ratings up to 62 kN
- Single axis to 6 axis vibration
- Displacements up to 100 mm (vertical)
- Quiet - fully enclosed mechanism
- Compact - 1.2 m x 1.2 m
 - Friction-free hydrostatic bearings
 - Use up to 5 test surfaces simultaneously
 - Man-rated systems available



- Excellent replication of measured data to higher frequencies than ever before
- Fluid film bearings assure long life and low maintenance
- Small footprint allows more systems to be put into the lab
- Head Expanders increase the mounting surface

Copyright 2005 by Team Corporation - All Rights Reserved

(a)



Team
CORPORATION

Vibration Testing Solutions

**Systems
&
Solutions**

Automotive
Seismic
Aerospace
Military
Packaging
Special

HOME

PRODUCTS

SALE ITEMS

NEWS

DOCUMENTS

CONTACT

ABOUT TEAM

Vertical Vibration Systems

Overview

The Team vibration test system is a high performance, versatile and cost effective testing system. The Team system has been developed specifically for vibration testing and is particularly advantageous for vibration tests requiring high force, long stroke or very low frequency capability. With the capability of sine, random, sine on random, random on random, or resonant search & dwell, the Team system will provide consistent, reliable test results year after year.

With the modular line of components, Team can provide you with a system that is best tailored to your test requirements. The actuator force, stroke and velocity are optimized to provide the highest frequency response within your budget constraints.

The air isolated seismic base will allow the system to be used on existing floors without modification, while the ultra low frequency isolators allow testing to very low frequencies.



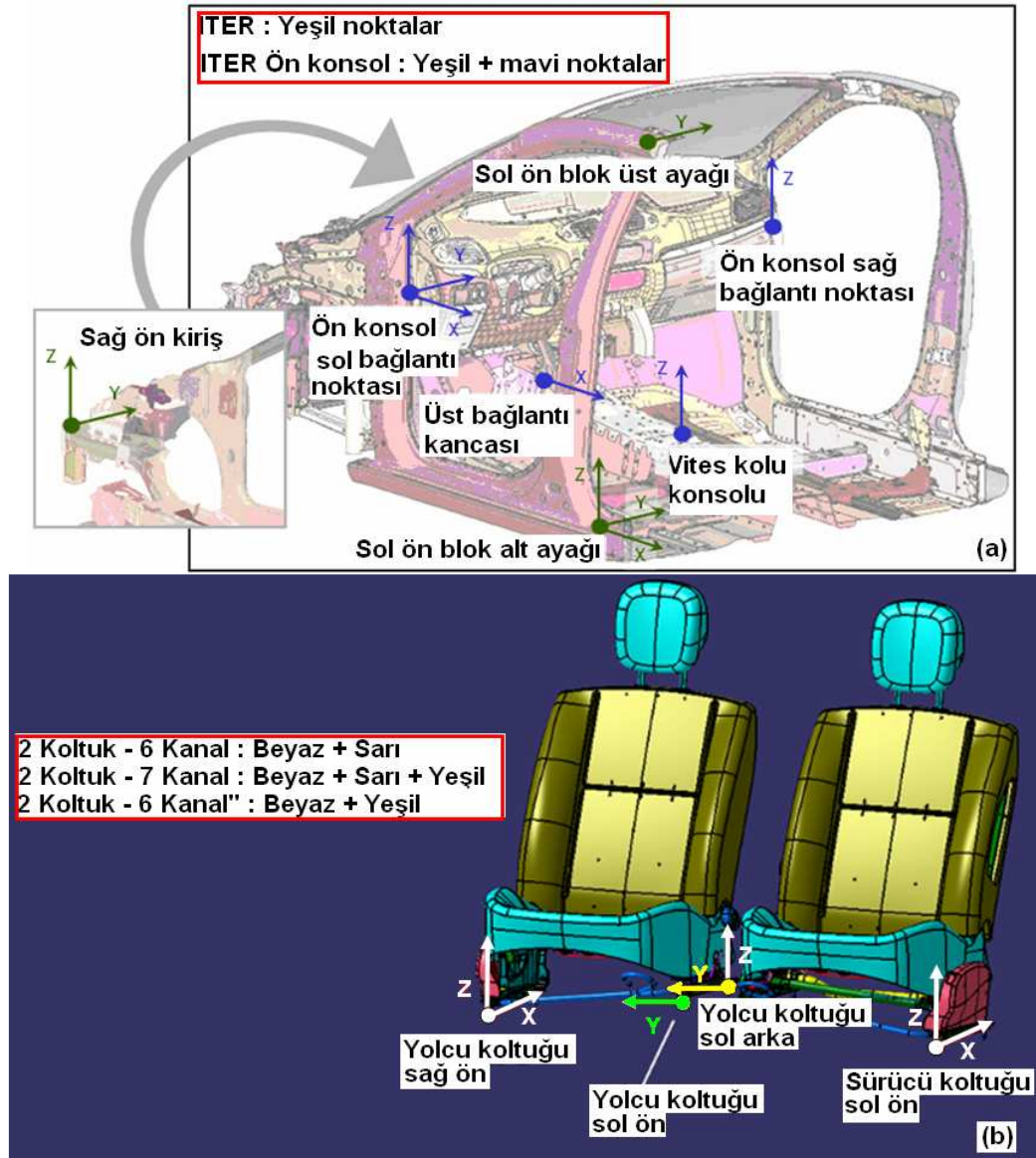
Features

- Team valve for over 500 Hz. capability
- Force range – 2,000 – 50,000 lb.
- Stroke range – 2 – 10 inches
- Magnesium head expanders
- Air isolated seismic bases
- System designed for high frequency vibration testing from the base up
- Hydrostatic bearing supported piston
- No annual teardown / seal replacement

Copyright 2005 by Team Corporation - All Rights Reserved

Şekil B.1 : Sarsıcı çeşitleri : Çok eksenli sarsıcı. (a) Tek eksenli sarsıcı. (b)

EK B.2



Şekil B.2 : Kontrol Noktaları : Kasa ve ön konsol üzerindeki kontrol noktaları. (a)
Yolcu ve sürücü koltuğu üzerindeki kontrol noktaları. (b)

ÖZGEÇMİŞ	
----------	--

Ad Soyad: Burçin BAŞEĞMEZ

Doğum Yeri ve Tarihi: Bursa, 04.04.1987

E-Posta: burcin.basegmez@renault.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği