İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK HIZLI DENİZ TAŞITI İÇİN KOLTUK TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Orhan KÖSEBAY

Anabilim Dalı : **Makina Mühendisliği**

Programı : **Otomotiv**

HAZİRAN 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK HIZLI DENİZ TAŞITI İÇİN KOLTUK TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Orhan KÖSEBAY

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Haziran 2008

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail Ahmet GÜNEY

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Murat EREKE (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. İrfan YAVAŞLIOL (Y.T.Ü.)

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Günümüz koşulları, insanları daha çok taşıt kullanmaya zorunlu kılmaya başlamıştır. Gelişen teknolojiler ve değişen yaşam standartları insanları taşıtlarla içiçe yaşamaya itmektedir. Bütün bunlar, detaylı çalışmalar ışığında taşıtların konfor değerlerinin insan sağlığını kötü yönde etkilemeyecek düzeye getirilmesini zorunlu kılmaktadır. En az sivil taşıtlar kadar savunma sanayiinde kullanılan taşıtların da konfor sorunu, personel sağlığı ve zindeliği için çözülmesi gereken önemli bir konudur.

Bu tez çalışmasıda savunma sanayii amaçlı bir deniz taşıtının konfor değerleri, teorik ve pratik çalışmalar sonucu uygun seviyeye getirilmiştir.

Tezimin hazırlanması süresince bana her türlü desteği veren, beni her an motive eden anneme ve babama,

Her zaman bildiklerini bana aktarmaya hazır olan, gerektiğinde deniz üzerinde 130 km/h ile seyir yapan botta ölçüm yapmaya hiç tereddütsüz katılan, tezim için gereken bütün cihaz, donanım ve yazılımları bana sağlayan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. İsmail Ahmet GÜNEY'e,

Her zaman hayalini kurduğum, içinde yenilikçi bir tasarım, üretim ve optimizasyon olan bir tez çalışması yapmayı bana mümkün kılan, üniversite öğrencisi projelerine desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen, tecrübelerinden birçok şey öğrendiğim ve daha öğreneceğim, amcamız Sayın Ekber ONUK'a,

Tasarım kabiliyeti, resim yeteneği, sonsuz üretim tecrübeleriyle bana çok şey katan, süspansiyonlu koltuğun kompozit üretim mimarı, ağabeyimiz Sayın Eralp NOYAN'a,

Tahminimden uzun süren laboratuvar testlerinde beni hiçbir zaman geri çevirmeyen ve yardımını esirgemeyen Makina Fakültesi Araştırma Görevlisi Sayın Dr. Kubilay YAY'a,

Laboratuvarda teknik desteklerinden dolayı sevgili Faruk ARSLAN'a,

Manevi desteğini her an bana hissettiren sevgili sözlüm Pınar ERGÜN'e,

sonsuz teşekkür ederim.

HAZİRAN 2008 **Orhan KÖSEBAY**

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
SEMBOL LİSTESİ **ix**
ÖZET **x**
SUMMARY **xi**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Çalışmanın Amacı 2
1.2 Savunma sanayii amaçlı yüksek hızlı deniz taşıtları 2
1.3 Kapsam 3
2. İNSAN VÜCUDU VE MEKANİK TİTREŞİMLER **4**
2.1 Titreşim teorisi 4
2.1.1 Yer değiştirme, hız ve ivme 5
2.1.2 Rezonans 6
2.2 İnsan vücudunun mekanik titreşimlere cevabı 8
2.2.1 Giriş 8
2.2.2 Ağırlıklandırılmış frekanslar 10
2.2.3 Deniz tutması 11
3. YÜKSEK HIZLI, SAVUNMA SANAYİİ AMAÇLI DENİZ TAŞITLARI **12**
3.1 Yonca Onuk Tersanesi, MRTP Platformu 12
3.2 MRTP botlarının rutin seyir programlarının insan sağlığına etkileri 15
3.3 MRTP16 16
4. TAŞIT KOLTUKLARI **17**
4.1 Tanım 17
4.2 Süspansiyonlu koltuklar 18
4.2.1 Süspansiyonlu koltuk tipleri 23
4.2.2 Süspansiyonlu koltukların ana elemanları 24
4.2.2.1 Koltuk (oturak) süngeri 25
4.2.2.2 Süspansiyon yayı 25
4.2.2.3 Süspansiyon amortisörü 26
4.3 MRTP'ler için tasarlanan süspansiyonlu koltuk 27
4.3.1 Koltuğun CAD modelinin elde edilmesi 27
4.3.2 İlk prototip koltuğun imalatı 31

5. DİNAMİK SİSTEMİN BİLGİSAYAR MODELİNİN OLUŞTURULMASI 33
5.1 İki serbestlik dereceli titreşim modeli 34
5.2 Koltuğun hareket denklemleri ve matematik modeli 34
6. TESTLER 37
6.1 Süspansiyonlu koltukların test prosedürleri 37
6.2 Deniz testleri 39
6.2.1 Ölçüm ekipmanları 41
6.2.1.1 İvme sensörleri 42
6.2.1.2 Front end (bilgi işleme ünitesi) 42
6.2.1.3 Bilgisayar programı (Pulse) 43
6.3 Laboratuvar testleri 43
6.3.1 Hidropuls laboratuvarı 43
6.3.2 Deney düzeneği 44
7. HESAPLAR, KARŞILAŞTIRMALAR VE SİSTEM OPTİMİZASYONU 47
7.1 Ağırlıklı konfor katsayısının belirlenmesi 47
7.2 Laboratuvar tesleri ile Matlab modeli testlerinin karşılaştırılması 48
7.3 Sistemin optimizasyonu 52
8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 61
KAYNAKLAR 63
EKLER 65
ÖZGEÇMİŞ 73

KISALTMALAR

MRTP : Multi Role Tactical Platform (Çok Maksatlı Taktik Platform)
ISO : International Organization for Standardization
CAD : Computer Aided Design
BS : British Standards
FFT : Fast Fourier Transform

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1 : Deniz taşıtları azami seyir hızları.....12
Tablo 3.2 : MRTP botları rutin seyir programları..... 15
Tablo 6.1 : "2 deniz şiddeti"nin özellikleri..... 39
Tablo 7.1 : Test için seçilen yay ve amortisör katsayıları..... 49
Tablo 7.2 : Yayların en iyi konfor sayıları..... 56
Tablo 7.3 : Yay ve sünger, bütün sistemin en iyi konfor sayıları..... 60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Titreşimin gösterimi. x : Yer değiştirme ; t : Zaman..... 4
Şekil 2.2 : Periyodik titreşim. x : Yer değiştirme ; ωt : Açısal hız x Zaman..... 4
Şekil 2.3 : Sönüm özelliği farklı olan iki sistemin titreşim gösterimleri..... 5
Şekil 2.4 : Rezonansın grafik gösterimi..... 7
Şekil 2.5 : Mekanik titreşim eksen takımı.....9
Şekil 2.6 : ISO 2631-1 (1997) Ağırlıklandırılmış frekans grafiği.....10
Şekil 2.7 : Deniz tutması için ağırlıklandırılmış frekans grafiği..... 11
Şekil 3.1 : Yonca Onuk Tersanesi MRTP botları [16].....13
Şekil 3.2 : Elyaf takviyeli kompozit yapılı ürünlerin imalat prosedürü..... 14
Şekil 3.3 : MRTP16 – Gümrükler 413 botu genel yerleşim resmi.....16
Şekil 4.1 : Süspansiyonu mekanizması olan ve süspansiyon mekanizması olmayan iki koltuğun mekanik titreşim aktarımlarının karşılaştırılması [2].....19
Şekil 4.2 : Süspansiyonlu koltuk şematik gösterimi.....20
Şekil 4.3 : Süspansiyonlu koltuğun çalışma şekli..... 21
Şekil 4.4 : Tipik bir süspansiyonlu koltuğun titreşim aktarım (transfer fonksiyon) grafiği.....22
Şekil 4.5 : Havalı koltukların tesisat şeması..... 23
Şekil 4.6 : Konvansiyonel tip yay ve amortisöre sahip süspansiyonlu koltuklar.... 24
Şekil 4.7 : Helisel yay..... 25
Şekil 4.8 : Çift tüplü hidrolik amortisör.....26
Şekil 4.9 : Üst ve Orta Baza.....28
Şekil 4.10 : Orta Baza ve amortisör grubu.....28
Şekil 4.11 : Alt Baza.....28
Şekil 4.12 : Süspansiyonlu koltuğun montaj resimleri.....29
Şekil 4.13 : Koltuğun en alt ve en üst pozisyondaki halinin kesit görünüşü.....30
Şekil 4.14 : Koltuğun ahşap modeli..... 31
Şekil 4.15 : Alt bazanın kalıplanması.....32
Şekil 4.16 : Montajı tamamlanmış prototip koltuk.....32
Şekil 5.1 : Süspansiyonlu koltuğun dinamik model yaklaşımı..... 33
Şekil 5.2 : İki serbestlik dereceli sistemin gösterimi.....34
Şekil 6.1 : Süspansiyonlu koltuk testlerinde kullanılan, insanı simule eden aparatlar.....38
Şekil 6.2 : Deniz testleri sırasında çekilmiş bir fotoğraf.....40
Şekil 6.3 : Koltuk üzerine yerleştirilen ivme sensörleri.....40
Şekil 6.4 : Titreşim ölçüm sistemi ana elemanları..... 41
Şekil 6.5 : Testlerde kullanılan ivme sensörü..... 42
Şekil 6.6 : Front end (bilgi işleme ünitesi).....42
Şekil 6.7 : Pulse programı arayüzü.....43
Şekil 6.8 : Hidropuls laboratuvarından bir resim.....44
Şekil 6.9 : 75 kg ağırlığında insanı simule eden kum torbaları.....45
Şekil 6.10 : İvme sensörlerinin yerleşimi.....45

Şekil 6.11 : Hidropuls laboratuvarı test fotoğrafları.....46
Şekil 7.1 : W_k Ağırlıklandırılmış frekanslar katsayıları grafiği..... 47
Şekil 7.2 : Ölçülen uyarı sinyalinin ivme – frekans şeklinde gösterimi.....48
Şekil 7.3 : I. Test için laboratuvar testi çıktıları..... 50
Şekil 7.4 : I. Test için Matlab testi çıktıları..... 50
Şekil 7.5 : II. Test için laboratuvar çıktıları..... 51
Şekil 7.6 : II. Test için Matlab çıktıları..... 51
Şekil 7.7 : C_2 = 10000 N/m yay için konfor optimizasyon eğrisi..... 53
Şekil 7.8 : C_2 = 15000 N/m yay için konfor optimizasyon eğrisi..... 53
Şekil 7.9 : C_2 = 20000 N/m yay için konfor optimizasyon eğrisi..... 54
Şekil 7.10 : C_2 = 25000 N/m yay için konfor optimizasyon eğrisi..... 54
Şekil 7.11 : C_2 = 30000 N/m yay için konfor optimizasyon eğrisi..... 55
Şekil 7.12 : C_2 = 15000 - 30000 N/m yayları için konfor optimizasyon eğrisi.....55
Şekil 7.13 : C_2 = 10000 N/m yay + C_3 = 1000 N/m sünger için konfor optimizasyonu.....57
Şekil 7.14 : C_2 = 15000 N/m yay + C_3 = 1000 N/m sünger için konfor optimizasyonu.....57
Şekil 7.15 : C_2 = 20000 N/m yay + C_3 = 1000 N/m sünger için konfor optimizasyonu.....58
Şekil 7.16 : C_2 = 25000 N/m yay + C_3 = 1000 N/m sünger için konfor optimizasyonu.....58
Şekil 7.17 : C_2 = 30000 N/m yay + C_3 = 1000 N/m sünger için konfor optimizasyonu.....59
Şekil 7.18 : C_2 = 15000 - 30000 N/m yayları + C_3 = 1000 N/m sünger için konfor optimizasyon eğirisi.....59
Şekil 8.1 : MRTP16 botu dümenevine yerleştirilmiş süspansiyonlu koltuk..... 62
Şekil 1 : 1. Süspansiyon opsiyonunun transfer fonksiyonu grafiği.....65
Şekil 2 : 1. Süspansiyon opsiyonunun konfor grafiği..... 66
Şekil 3 : 2. Süspansiyon opsiyonunun transfer fonksiyonu grafiği..... 67
Şekil 4 : 2. Süspansiyon opsiyonunun konfor grafiği..... 67
Şekil 5 : 3. Süspansiyon opsiyonunun transfer fonksiyonu grafiği.....68
Şekil 6 : 3. Süspansiyon opsiyonunun konfor grafiği..... 69
Şekil 7 : 4. Süspansiyon opsiyonunun transfer fonksiyonu grafiği..... 70
Şekil 8 : 4. Süspansiyon opsiyonunun konfor grafiği..... 70
Şekil 9 : 5. Süspansiyon opsiyonunun transfer fonksiyonu grafiği.....71
Şekil 10 : 5. Süspansiyon opsiyonunun konfor grafiği..... 72

SEMBOL LİSTESİ

x	**:** Yatay yer değiştirme [m]
y	: Yatay yer değiştirme [m]
z	: Düşey yer değiştirme [m]
h	: Düşey yer değiştime (zemin) [m]
t	**:** Zaman [s]
ω	**:** Açısal Hız [rad/s]
θ	: Açı [rad]
f_n	: Doğal frekans [Hz]
ω_n	: Açısal hız cinsinden doğal frekans
ξ , D	: Sönüm oranı
W_k	: Düşey kuvvet faktörü (ISO 2631-1 (1997))
W_b	: Düşey kuvvet faktörü (BS 6841 (1987))
W_d	: Yatay kuvvet faktörü (ISO 2631-1 (1997))
m	: Kütle [kg]
K	: Sönüm katsayısı [Ns/m]
C	: Yay sertliği katsayısı [N/m]
$\ddot{h}$	: Zemin uyarı sinyali [m/s^2]
$\frac{\ddot{z}_2}{\ddot{h}}$	: Koltuk / Zemin transfer fonksiyonu
$\ddot{z}_2 \cdot W_k$	: Konfor değerlerini veren fonksiyonu
C_2	: Süspansiyon yayı sertlik katsayısı [N/m]
K_2	: Süspansiyon amortisörü sönüm katsayısı [Ns/m]
D_2	: Süspansiyon amortisörü sönüm oranı
C_3	: Sünger yay sertliği katsayısı [N/m]
K_3	: Sünger sönüm katsayısı [Ns/m]
D_3	: Sünger sönüm oranı

YÜKSEK HIZLI DENİZ TAŞITI İÇİN KOLTUK TASARIMI

ÖZET

Taşıtlar, günlük hayatın ve savunma sanayiinin vazgeçilmez parçalarıdır. Savunma sanayii için geliştirilen birtakım insansız taşıtlar dışında, tüm taşıtlarda en az bir sürücü olmak üzere insan taşınır ve insan taşıyan tüm taşıtlarda, her zaman çözülmesi gereken bir konfor sorunu vardır. Aslına bakılırsa konfor problemi, başlı başına bir insan sağlığı problemidir. Taşıtla seyir halindeyken insana etkiyen mekanik titreşimler kontrol altına alınmadığı takdirde vücutta ağrılar, baş dönmesi, yorgunluk gibi fizyolojik rahatsızlıklarla beraber gerginlik, davranış bozukluğu gibi sinirsel rahatsızlıklar da oluşabilmektedir. İnsan sağlığı için uygun konfor değerlerinin bir süspansiyon sistemi ile sağlanması gerekir.

Taşıtlarda kullanılan süspansiyon sistemlerinin iki ana hedefi vardır. Bunlardan birincisi taşıt seyir dinamiğini kontrol etmek, ikincisi ise konfor değerlerini istenilen mertebede tutmaktır. Bunun yanında birçok ticari ve savunma sanayiinde kullanılan taşıtlarda seyir dinamiği kontrolünden ziyade sürüş konforunun kontrol altında tutulması gerekir. Bu tip durumlarda sadece insan konforunu kontrol eden süspansiyonlu koltuk, süspansiyonlu taşıt kabini vb. sistemler kullanılır.

Bu tez çalışmasıda savunma sanayii amaçlı kullanılmak üzere inşa edilen yüksek hızlı deniz taşıtları için süspansiyonlu bir koltuk tasarımı ve üretimi konu alınmıştır. Seyir halinde çeşitli hızlarda yapılan deniz testleri sonucunda taşıta etkiyen uyarı sinyalleri elde edilmiştir. Matlab programı kullanılarak bilgisayar ortamında koltuk sisteminin matematik modeli oluşturulmuş, bilgisayar simülasyonlarıyla sistemin cevabı incelenmiştir. Bilgisayar modelinin doğruluğunu irdelemek amacıyla gerçek koltukta farklı yay ve sönüm değerleri kullanılarak bir takım laboratuvar testleri yapılmıştır. Yapılan laboratuvar testlerinde koltuğun cevabı, Brüel & Kjaer titreşim ölçme cihazlarıyla elde edilmiştir. Bilgisayar simulasyon sonuçları ile gerçek model test sonuçları karşılaştırılmıştır. Simulasyon ve gerçek testler ışığında süspansiyonlu koltuk sisteminin konfor optimizasyonu yapılmıştır.

SEAT DESIGN FOR A HIGH SPEED MARINE SURFACE VEHICLE

SUMMARY

Vehicles are indispensable objects for Defense Industry as well as being a part of our daily life. On board of all vehicles, except for those unmanned vehicles for the defense industry, there is at least the driver or more people which bring along the problem of human comfort to be solved. Indeed the seating comfort problem is a human health problem. If the mechanical vibrations imposed to people on a vehicle in motion are not properly taken under control, it may result in physiological discomfort such as whirling, body pains, weariness as well as nervous illnesses or misbehavior. Proper comfort values for human health can be achieved by a suitable suspension system.

The suspension systems used on vehicles have two main goals. The first goal is to control the motion dynamics of the vehicle, and the second goal is to keep the comfort values at the required levels. Moreover, in most of the commercial vehicles and vehicles serving for the defense industry, keeping comfort values under control has priority importance over controlling the motion dynamics of the vehicle. Under such conditions, vehicle cabins or seats with suspension systems are utilized, controlling the human comfort values.

The subject of this Thesis is the design and production of a suspension seat to be utilized on board of high speed boats under construction for defense industry. Input signal values imposed on the vehicle are measured during tests carried on sea at various sailing speeds. A mathematical model of the seat is developed using Matlab program in computer environment and reaction of the system during computer simulation has been recorded. To verify the accuracy of the computer model, a number of tests have been carried in laboratory with the actual seat with various spring and dampening values. The reactions of the seat during the laboratory tests are recorded by Brüel & Kjaer vibration measurement instrument. The results of the real model tests in the laboratory are verified against those obtained from computer simulation. The comfort optimization of the suspension seat system has been achieved on the basis of the computer simulation and real model test results.

1. GİRİŞ

Bir taşıtın ne kadar iyi tasarlanmış olduğunu gösteren başlıca özelliklerden biri o taşıtın ne kadar konforlu olduğudur. Rekabetin iyice arttığı günümüzde sadece kara taşıtlarında değil, hava ve deniz taşıtlarında da müşteriler satın alacakları taşıtın konfor değerlerini sorgulamaktadırlar. Pek tabi taşıtın konforlu yapılması, sadece müşterinin ilgisini çekmek için değil, aynı zamanda taşıt kullanıcısının sağlığını da korumak için gereklidir.

Savunma sanayii amaçlı kullanılacak bir deniz taşıtının konforlu olması, içindeki personelin sağlığı, dolayısıyla askeri görevin başarısı için büyük önem arz etmektedir. Bu tip botlarda uygun konfor değerlerinin elde edilmesi için titreşim sönümleyici mekanik sistemler kullanılarak gerekli önlemler alınmalıdır.

Uygun konfor değerlerine getirilmek istenen taşıt bir kara taşıtı ise, taşıtın yol alacağı güzergâhtaki zemin özellikleri incelenip, bunlara göre yapay bir yol uyarı spektrumu bulunabilir. Sonrasında taşıtın süspansiyon sistemi ve varsa süspansiyonlu koltuk sisteminin matematik modeli bilgisayarda elde edilir, hesaplanan yol uyarı spektrumu etkisindeki konfor değerleri bulunabilir ve son olarak konfor optimizasyonu yapılabilir. Fakat bir deniz taşıtının konfor hesaplarını yapabilmek için kara taşıtları için bahsedilen yöntemlerin yol spektrumu ile ilgili olan kısmı geçersizdir. Deniz taşıtlarının hızlarının artmasıyla beraber suya temas eden yüzeylerin azalması, seyir yapabildikleri deniz şiddeti koşullarının çok değişken özelliklerde olabilmesi, hafif gövde yapıları sayesinde kimi zaman dalgaların üzerinden zıplayarak geçmeleri sebepleriyle bu botlara seyir halinde etkiyen uyarı fonksiyonu ancak ölçüm yapılarak elde edilebilir.

İnsan sağlığı için gerekli olan kullanıcı konforu gereksinimleri, “ISO 2631–1 İnsan titreşimi standartları” çerçevesinde belirlenmiştir. Çalışmanın ileriki bölümlerinde ISO 2631–1 ile ilgili bilgiler verilecek, sonuçlar ve tartışma bölümünde bu standartlar baz alınarak optimizasyon yapılacaktır.

1.1 Çalışmanın amacı

Seyir halindeyken deniz taşıtına etkiyen uyarılar sonucunda taşıtta bir takım mekanik titreşimler meydana gelir. Bu mekanik titreşimlerin taşıtta seyir yapan kişilere hangi büyüklüklerde ulaştığı, taşıtın konfor değerini belirler. Kötü konfora sahip yüksek hızlı deniz taşıtlarında seyir yapan kişilerde fizyolojik ve sinirsel olmak üzere birçok sağlık problemleri ortaya çıkmaktadır. Hele ki savunma sanayii amaçlı kullanılan yüksek hızlı deniz taşıtlarının konforu, olası bir göreve gidildiğinde asker personelin sağlığının yerinde olması açısından çok önemlidir.

Bu tez çalışmasının amacı, savunma sanayii amaçlı kullanılan yüksek hızlı deniz taşıtları olan Yonca Onuk MRTP botlarının konfor değerlerinin iyileştirilmesidir. Konforun uygun seviyeye çekilmesi için bu taşıtlarda kullanılacak bir süspansiyonlu koltuk tasarlanmıştır. Koltuk üzerindeki süspansiyon ekipmanlarının parametreleri, bilgisayar modeli kullanılarak optimize edilmiştir.

1.2 Savunma sanayii amaçlı yüksek hızlı deniz taşıtları

Savunma sanayii üç ana gruptan oluşur. Bunlar:

1. Kara birlikleri,
2. Hava birlikleri,
3. Deniz birlikleri'dir.

Bir ülkenin savunma sanayii'nin üçte birini oluşturan "Deniz birlikleri"nin en önemli silahı deniz taşıtlarıdır. Türkiye'nin üç tarafı denizlerle kaplı olması, ayrıca stratejik olarak Avrupa ile Asya'yı birbirine bağlayan bir coğrafyada olması, savunma sanayii amaçlı deniz taşıtlarının da önemini arttırmaktadır.

Bu tezde, uygun konfor değerlerine ulaşmak için tasarlanacak koltuk, Yonca Onuk Tersanesi'nin, 1995'ten beri tasarım ve üretimini yaptığı MRTP kodlu savunma sanayii amaçlı yüksek hızlı deniz taşıtları için geliştirilecektir. MRTP'nin açılımı "Multi Role Tactical Platform", yani "Çok Maksatlı Taktik Platform"dur. MRTP botları ortalama seyir hızlarıyla kıyı şeritlerinde devriye görevi görebildikleri gibi çok yüksek seyir hızlarına çıkarak kısa sürede belirli bölgelere hücum edebilme kabiliyetindedirler.

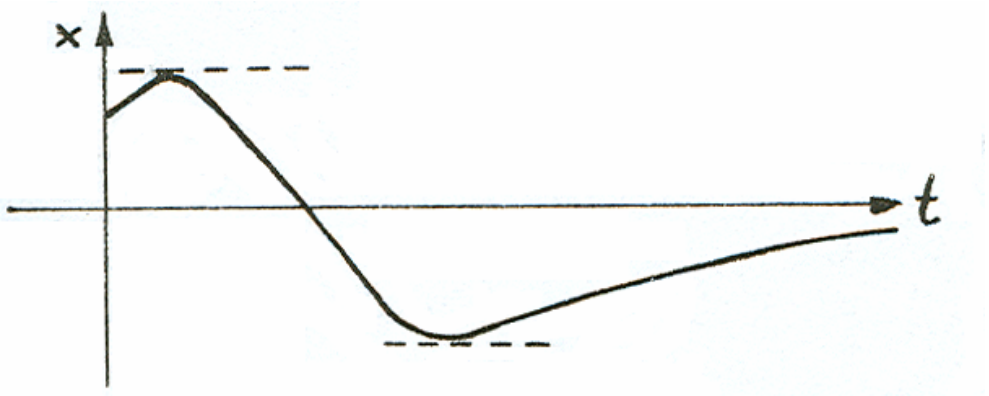
1.3 Kapsam

Bu tez çalışmasında öncelikle konfor problemi olan deniz taşıtında, olabilecek en kötü deniz durumlarında seyir esnasında ne gibi mekanik titreşimlerin oluştuğu ölçülmüştür. Deniz taşıtında yapılan ölçümlerde, ivmeölçerler, bilgi işleme ünitesi ve Brüel & Kjaer lisanslı Pulse titreşim analiz programı kullanılmıştır. Bu çalışmalarla paralel olarak bir süspansiyonlu koltuk CAD modeli tasarlanmış ve koltuk prototipinin imalatı yapılmıştır. Sonrasında koltuk dinamik sistemi, iki kütleli titreşim modeli şeklinde bilgisayarda modellenmiştir. Modelleme için Matlab programı kullanılmıştır. Bilgisayar modeli üzerinde süspansiyon parametreleri değiştirilerek koltuğun titreşim ve konfor davranışı irdelenmiştir. Matlab'de yapılan programın verdiği sonuçları doğrulamak amacıyla prototip koltuk, İTÜ Otomotiv Anabilim Dalı binasında bulunan Hidropuls laboratuvarında testlere tabi tutulmuştur. Daha önce botta yapılmış olan ölçüm sonucu elde edilen uyarı sinyali, hidrolik pompalar aracılığıyla üzerinde insan oturan koltuğa etkitilmiştir. Laboratuvar testlerinin sonuçları, koltuk üzerinden alınan ölçümlerle elde edilmiş, Matlab modelinin sonuçlarıyla karşılaştırılmış, Matlab modelinin doğruluğu irdelenmiştir. Son olarak ISO 2631–1 İnsan titreşimi standartları kullanılarak koltuğun konfor optimizasyonu gerçekleştirilmiş, uygun süspansiyon parametrelerinin seçimi yapılmıştır.

2. İNSAN VÜCUDU VE MEKANİK TİTREŞİMLER

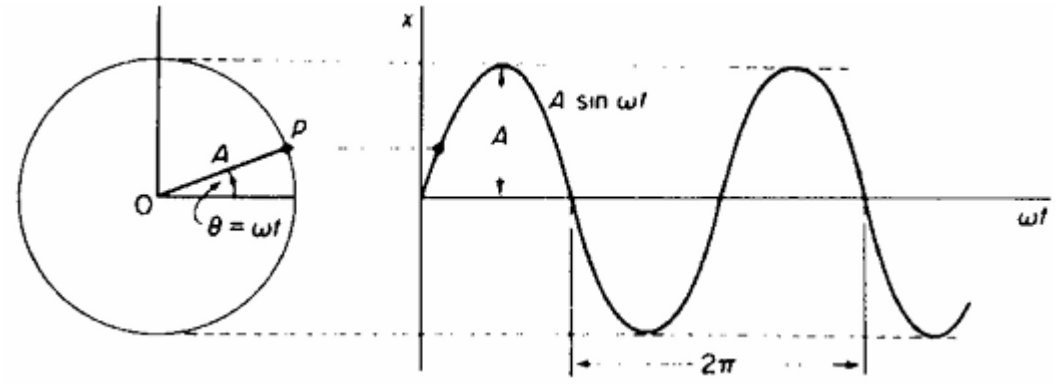
2.1 Titreşim Teorisi

Titreşim, bir denge noktası etrafındaki mekanik salınımdır. En basit gösterimiyle bir mekanik titreşim Şekil 2.1'de yer almaktadır. Titreşimler en genel ifadeleriyle "periyodik titreşimler" ve "periyodik olmayan titreşimler" olarak ikiye ayrılılar [9].



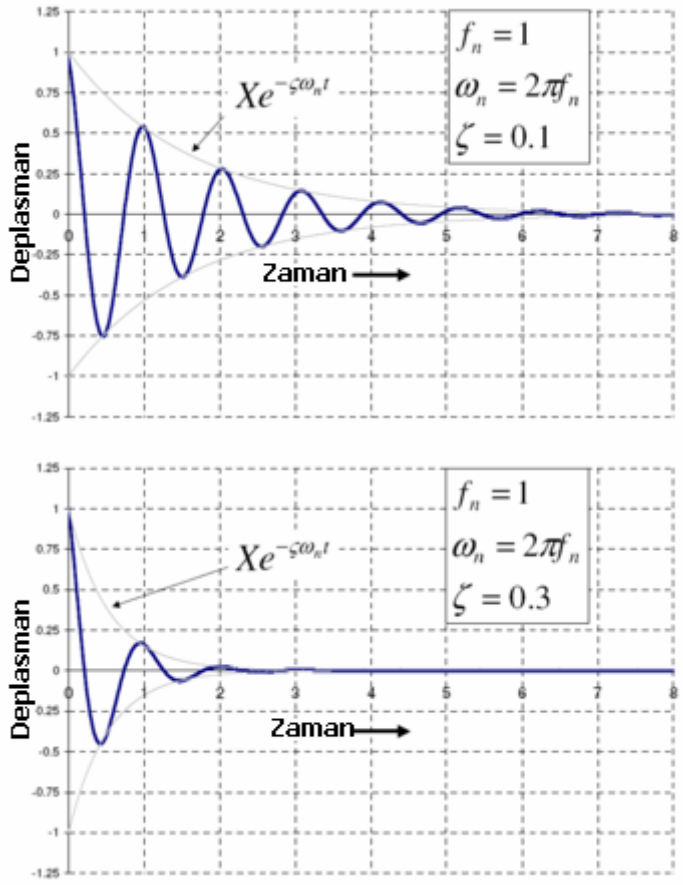
Şekil 2.1: Titreşimin gösterimi. x : Yer değiştirme ; t : Zaman.

Şekil 2.2'de gösterildiği gibi periyodik titreşimler, belirli ve eşit zaman aralıkları içinde bütün özellikleri ile aynen tekrarlanan titreşimlerdir [9]. Periyodik olmayan titreşimlerde ise genlik ve zaman aralıkları rastgele değişiklikler gösterir.



Şekil 2.2: Periyodik titreşim. x : Yer değiştirme ; ωt : Açısal hız x Zaman.

Bütün titreşim sistemlerinde titreşimi azaltan ve sıfırlayan sönüm özelliği vardır. Sönüm özelliği titreşim yapan malzemelerin iç sönümünden gelebileceği gibi sisteme bağlanmış bir titreşim sönümleyici elemanla da sağlanabilir. Sistemlerdeki sönüm elemanı olan amortisörlerden ilerki bölümlerde bahsedilecektir. Şekil 2.3'te sönüm oranları farklı olan iki titreşim sisteminin grafikleri verilmiştir [17]. Şekilde altta gösterilen sistemin sönüm oranı daha yüksektir. Bu sebeple titreşim daha kısa bir sürede etkisini kaybeder ve yok olur.



Şekil 2.3 : Sönüm özelliği farklı olan iki sistemin titreşim gösterimleri.

2.1.1 Yer Değiştirme, Hız ve İvme

Her titreşim sinyali üç parametre içerir. Bunlar yer değiştirme, hız ve ivme olup birbirlerinden ayrılamayacak şekilde ilişki içindedirler. Örneğin, büyük dalgalar üzerinde yükselip alçalan bir gemi gibi yavaş hareket eden bir düşey salınım

düşünülürse; gemi gelen her dalgada yükselip dalganın tepesinde duracak, daha sonra aşağıya dalga çukuruna inecek, bir sonraki dalga ile tekrar yükselecektir. Şüphesiz en büyük düşey yer değiştirme geminin dalganın tepesinde olduğu an yaşanmaktadır, ancak o an hız sıfırdır. Öte yandan en az düşey yer değiştirme geminin dalganın çukurunda olduğu an olup o anda hız yine sıfırdır. En yüksek hızlar ise gemi yükselirken veya alçalırken yaşanmaktadır. Öte yandan düşeyde değişen hıza bağlı olarak periyodik bir ivme değişimi ve yavaşlama devresi oluşur. Hiçbir dalgada yer değiştirme, hız ve ivme değerleri birbirleri ile aynı olmayacaktır. Hatta bir sinüs dalgası için yer değiştirme ve ivme birbirleri ile zıt ilişki içindedirler [2].

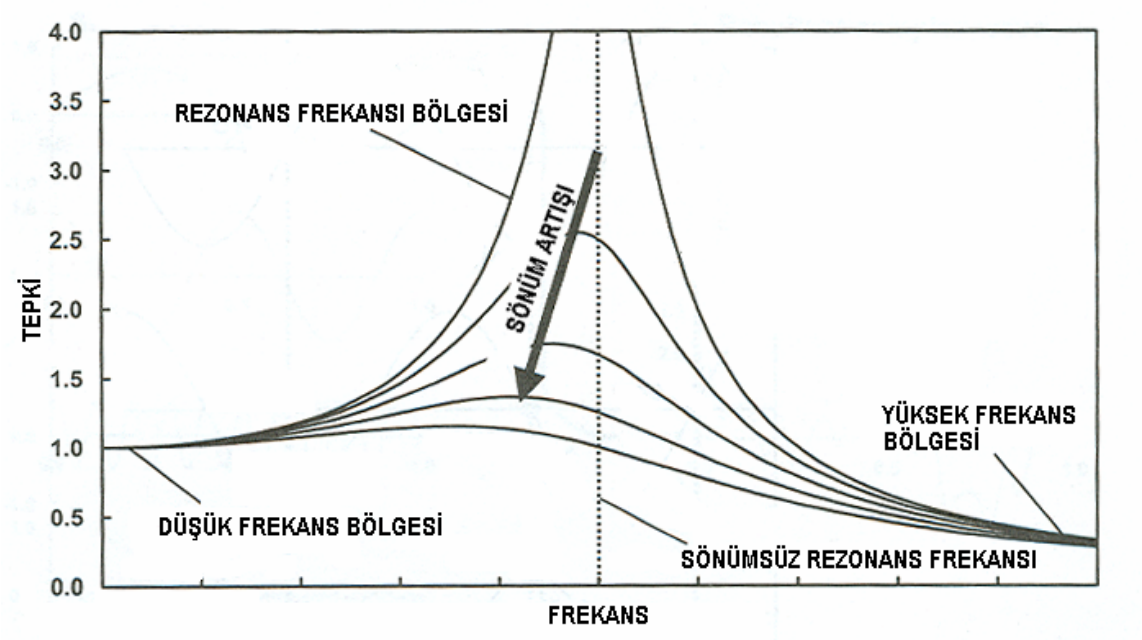
Titreşimin frekansına bağlı olarak, yer değiştirme, hız ve ivme bir objenin titreşim sisteminin anlaşılmasında rol oynar. Düşük frekanslarda, yer değiştirme önemli unsurdur. Örneğin çok rüzgârlı bir günde çok yüksek bir gökdelenin tepesinden bakan bir kişi binanın yere göre hareket ettiğini görebilir ancak bir hız veya ivme hissetmez. Orta ve yüksek frekanslarda ise hız ve ivme en önemli unsurlardır. Örneğin, elektrikli bir aletin sabit fanından kaynaklanan titreşimin yer değiştirmesi gözle görünmese de aletin çerçevesine dokunulduğunda titreşimden kaynaklanan ivme hissedir.

2.1.2 Rezonans

Periyodik bir titreşimle uyarılan bir sistem, salınımlar sergiler. Salınım sergileyen sisteme uygulanan uyarı frekansı sistemin doğal frekansına eşit ise, bu salınımların genliği sınırsız artma eğilimine girer [17]. Bu duruma rezonans denir.

Bir mekanik yapı yavaşça salınırsa tek bir kütle gibi hareket eder. Ancak yüksek frekanslarda titreşim ivme noktasına odaklanabilir ve yapı titreşimden izole edilmiş olur. İşte bu prensip taşıt süspansiyonları, motor bağlantıları, CD çalarlar gibi pek çok yerde kullanılmıştır. Yüksek ve alçak frekans bölgeleri arasında sistemin uyarılma genliklerinin maksimum olduğu yere rezonans frekansı bölgesi denir. Tüm sistemlerde bir rezonans frekansı ve hatta kompleks yapılarda birden fazla rezonans frekansı bulunur. Büyük felaketlerin bazıları rezonans göçmelerinden kaynaklanmıştır [2]. Örneğin, 1947'de yeni inşa edilmiş olan Tacoma Narrows Asma Köprüsü yüksek hızdaki rüzgarın yaratmış olduğu titreşimin yapının rezonans frekansına denk gelmesi neticesinde yıkılmıştır. Şekil 2.4'te rezonans tarif edilmektedir [2].

Rezonans frekanslarında titreşimlere maruz kalıp göçmemesi için mühendislik yapılarında titreşim azaltan sönümleyiciler (amortisörler) kullanılmaktadır. Bununla beraber bir sistemde ne kadar çok sönümleyici varsa yüksek frekans titreşimlerini önlemede o kadar az başarılı olunmaktadır. Her ne kadar rezonans açıkça gözlense bile insan vücudu tabii olarak titreşimi yüksek oranda emmektedir. Bir şahıs titreşime maruz kalırsa ortaya koyacağı tepki, titreşim kaynağının frekansının yanı sıra titreşimin büyüklüğü ile de alakalıdır.



Şekil 2.4: Rezonansın grafik gösterimi.

2.2 İnsan Vücudunun Mekanik Titreşimlere Cevabı

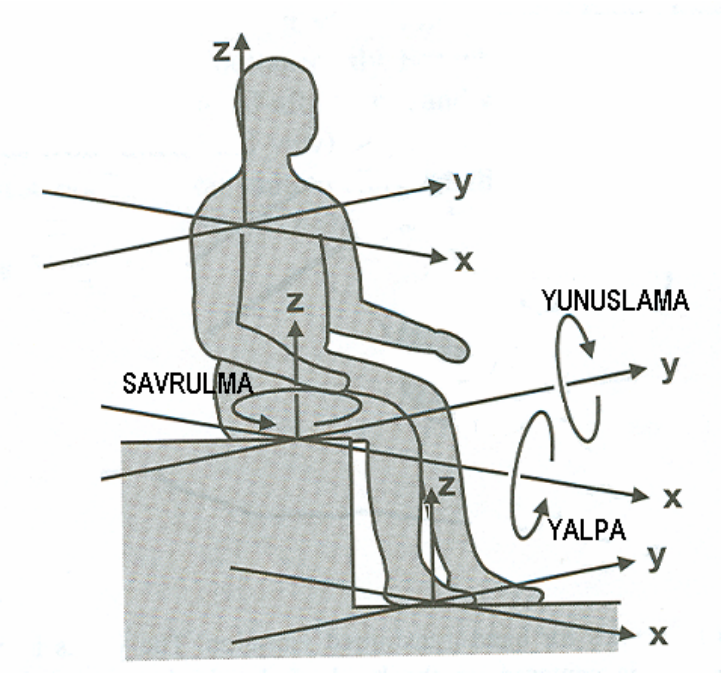
2.2.1 Giriş

İnsan vücudunun titreşim etkisinde kalması artık insanların yaşamları boyunca hemen hemen her gün rastladıkları olağan bir durum sayılmaktadır. Bir memur işe giderken otobüs, tren veya arabaya binebileceği gibi bisiklet veya motosiklet de kullanabilir. Bir işçi iş makinesi, bir çiftçi traktör kullanabileceği gibi askeri personel de görev yerine zor arazi koşullarında tekerlekli veya paletli araç ile sevk edilebilir, hatta uçak ve gemi ile ulaştırılabilir. Diğer mesleklerden; mesela astronotların, jokeylerin, yarış arabası sürücülerinin veya pilotların tüm vücutları daha fazla titreşim etkisinde kalmaktadır. Bu meslek gruplarından titreşimin insan vücudu üzerindeki etkilerinin araştırılması ile ilgili denek olarak da faydalanabilinmektedir. Yukarıda sözü geçen örneklerde olduğu gibi insanlar çoğu zaman oturmuş durumda, süre, dalga boyu ve büyüklük olarak çok çeşitli titreşimlerin etkisinde kalmaktadırlar.

Vücut titreşimi, insanlar titreşen bir yüzey üzerinde konuşlandıklarında ortaya çıkar ve titreşimin etkisi daha çok titreşim kaynağından uzak diğer vücut elemanları üzerinde görülür [2]. Mesela engebeli bir arazide hareket eden bir iş makinesinde titreşim, operatörün oturduğu koltuk ve bastığı pedal aracılığı ile operatöre iletilmiş olur. Vücut üzerinden başa iletilen titreşimler nedeni ile operatörün başı hareket edecektir. Bu iletişim güzergâhında (yolu üzerinde) operatörün oturduğu koltuk olduğu gibi, operatörün araç ile temas eden hücreleri ile sinir sistemi, üzerinde hasar oluşturma ihtimali olan omurga da dâhil olmak üzere tüm iskelet sistemi ve son olarak iletilen titreşime kendi dinamiğine göre tepki verecek olan kafatası bulunmaktadır.

İnsanların titreşime karşı tepkileri biyolojik, psikolojik, biyomekanik ve mühendislik konu başlıklarını içeren çok yönlü bir reaksiyondur. Bu konu başlıklarının her birini ayrı ayrı dikkate almaktansa bunlar arasındaki ilişkiyi anlayabilmek, konuya daha iyi bir açıklık getirmede anahtar rol oynayacaktır. Titreşim, sabit bir referans noktasına göre oluşan mekanik bir salınımdır. Her ne kadar bunlar çoklu sinüs dalgalarının toplamı gibi ifade edilen bileşenlerce ifade edilseler de, pratikte insanlar karmaşık dalga biçimlerinin etkisinde kalırlar. İnsan titreşimleri çoğu kez ya elle iletilen titreşimler, vücut titreşimleri veya deniz/vasıta tutması olarak sınıflandırılırlar ve genelde birbirlerinden bağımsız olarak dikkate alınırlar. Deniz/vasıta tutması sadece

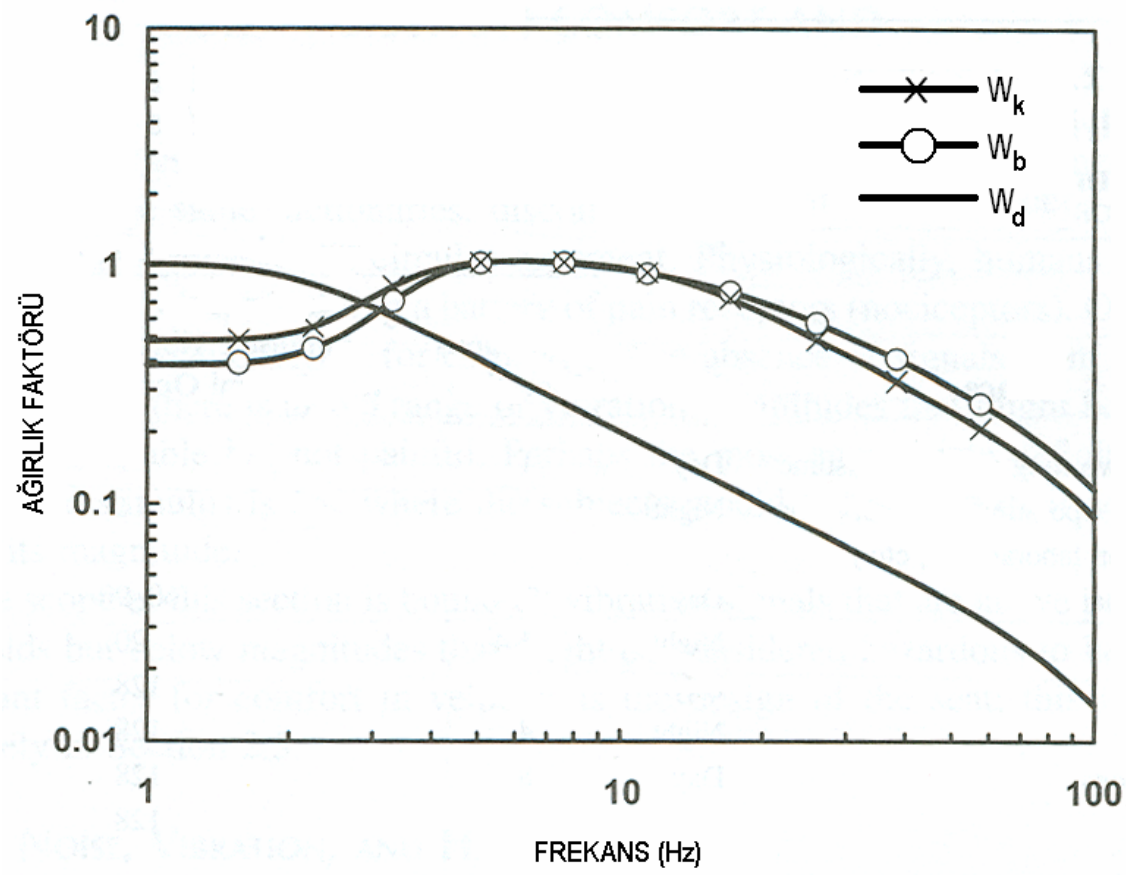
1 Hz'in altındaki frekanslar için geçerli ise de [2], tüm vücut titreşimleri yaklaşık 1 - 100 Hz aralığındaki frekanslarda ve elle iletilen titreşim de yaklaşık 8 - 1000 Hz aralığındaki frekanslar için geçerlidir[2]. Titreşim aynı anda altı eksende meydana gelir. Şekil 2.5'te gösterildiği gibi bunlar; X, Y, Z eksenleri (sırasıyla ön-arka, yanal ve düşey) ve her bir eksen etrafındaki rotasyonlardır (savrulma, yunuslama ve yalpa) [2]. Genellikle titreşim analizlerinde rotasyon titreşimleri ihmal edilir. Elle iletilen titreşimlerde X ekseni avuç içinde başparmak istikametinde olup, Y ekseni avucun ortasından geçer ve Z ekseni de elin tersine paralel olarak parmaklara doğru uzanır.



Şekil 2.5: Mekanik Titreşim Eksen Takımı [2].

2.2.2 Ağırlıklandırılmış Frekanslar

Mekanik titreşime maruz kalan insan vücudunun farklı yerleri, titreşimlerden farklı şekilde etkilenir. İnsan vücudunun her bir bölümü, farklı titreşim frekanslarında hassasiyet göstermektedirler. Dolayısıyla bir insanın mekanik titreşimlerden etkilenmesi, yani titreşim konfor değerleri hesaplanırken maruz kaldığı titreşimde bazı frekanslara daha fazla ağırlık verilmesi gerekir. ISO 2631-1 standartlarında belirtilen "ağırlıklandırılmış frekans grafiği" bu hesabın yapılması içindir. Şekil 2.6'da ağırlıklandırılmış frekanslar grafiği bulunmaktadır.



Şekil 2.6: ISO 2631-1 (1997) Ağırlıklandırılmış frekans grafiği.

W_k ve W_b : Kuvvet faktörü (düşey), W_d : Kuvvet faktörü (yatay).

Şekil 2.6'da gösterilen W_k düşey kuvvet faktörü, ISO 2631-1 (1997)'de tanımlanmış olan ağırlıklandırılmış faktördür ve güncel olarak geçerlidir. W_b ise 1987'de kabul edilen BS 6841 standartlarına göredir ve şu anda geçerliliği yoktur. W_d yatay eksen için geçerli olan ağırlıklandırılmış faktördür ve bu çalışmada yatay eksen titreşimi etkisi çok düşük olduğu için ihmal edilmiştir.

Ölçüm veya hesaplar sonucunda elde edilen insana etkiyen mekanik titreşim sinyali, ağırlıklandırılmış frekans grafiğiyle çarpılır. Bu çarpım sonucunda elde edilen grafiğin altında kalan alan taşıtın konfor değerini vermektedir. Koltuk optimizasyonu yapılırken kullanılan başlıca değer bu konfor değeri olacaktır.

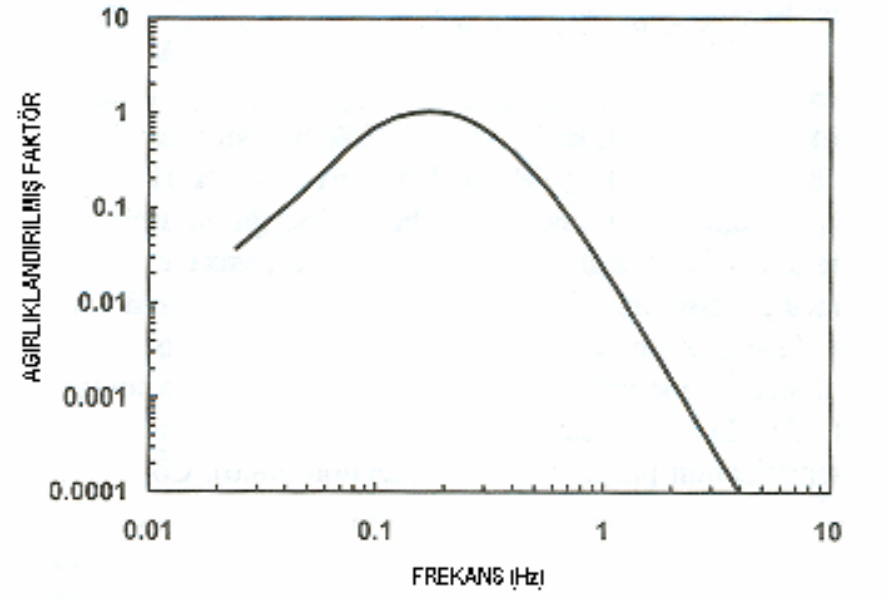
2.2.3 Deniz Tutması

Herhangi bir taşıtının konfor değerleri hesaplanırken bakılması gereken durumların biri taşıt tutmasıdır (motion sickness). Bu tez çalışmasında konu bir deniz taşıtı olduğu için konfor hesabı yapılırken deniz tutması durumu da incelenecektir.

Aynı anda beynin iç kulaktaki denge merkezinin sarsıntı uyarısı vermesine rağmen, gözlerin sarsıntı durumunu hissetmemesi olayı yaşandığında vücutta mide bulanması, baş dönmesi, soğuk terleme gibi olaylar meydana gelir. Buna deniz tutması denir.

Deniz taşıtları, denizde dalga etkisi ile düşük frekanslardaki hareketlere maruz kalabilirler. Bu, insanlar üzerinde dengesizliklere ve deniz tutmasına neden olur [4].

Deniz tutması, 0,5 Hz çevresinde titreşimler olduğu zaman en fazla şekilde etkisini gösterir. Şekil 2.7'de deniz tutmasının ağırlıklandırılmış frekans grafiği görülmektedir.



Şekil 2.7: Deniz tutması için ağırlıklandırılmış frekans grafiği.

3. YÜKSEK HIZLI, SAVUNMA SANAYİİ AMAÇLI DENİZ TAŞITLARI

Bu bölümde tez çalışmasında konfor sorunu çözülecek olan yüksek hızlı deniz taşıtları hakkında bilgiler verilecektir. Deniz taşıtlarının azami seyir hızı mertebeleri Tablo 3.1' de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere bu tezde konfor hesapları yapılacak olan MRTP 16 botları deniz üzerinde oldukça yüksek hızla seyreden deniz taşıtlarıdır.

Tablo 3.1: Deniz taşıtları azami seyir hızları

DENİZ TAŞITI	AZAMİ SEYİR HIZI
Tanker	20 knot (35 km/h)
Yolcu gemisi	25 knot (45 km/h)
Deniz otobüsü	35 knot (65 km/h)
12 metrelik sürat teknesi	45 knot (85 km/h)
Jetski	55 knot (100 km/h)
MRTP16	**70 knot (130 km/h)**
Offshore power boat	120 knot (220 km/h)

3.1 Yonca Onuk Tersanesi, MRTP Platformu

Yonca Onuk Tersanesi, 1995 yılından beri MRTP kodlu savunma sanayii amaçlı botları tasarlamakta ve üretmektedirler. Yonca Onuk Tersanesi'nin ürünü olan MRTP'nin açılımı "Multi Role Tactical Platform", yani "Çok Maksatlı Taktik Platform"dur. MRTP botları, sahil güvenlik ve deniz kuvvetleri gibi savunma sanayii amaçlı veya sağlık (ambulans botu), hudut ve gümrükler muhafaza gibi kamu görevi amaçlı kullanılabilmektedir [16]. MRTP botları dört farklı boyutta üretilmektedirler. Bunlar, Şekil 3.1'de gösterilen MRTP15 (15 metre boy), MRTP16 (16 metre boy), MRTP20 (20 metre boy) ve MRTP33 (33 metre boy) 'tür.



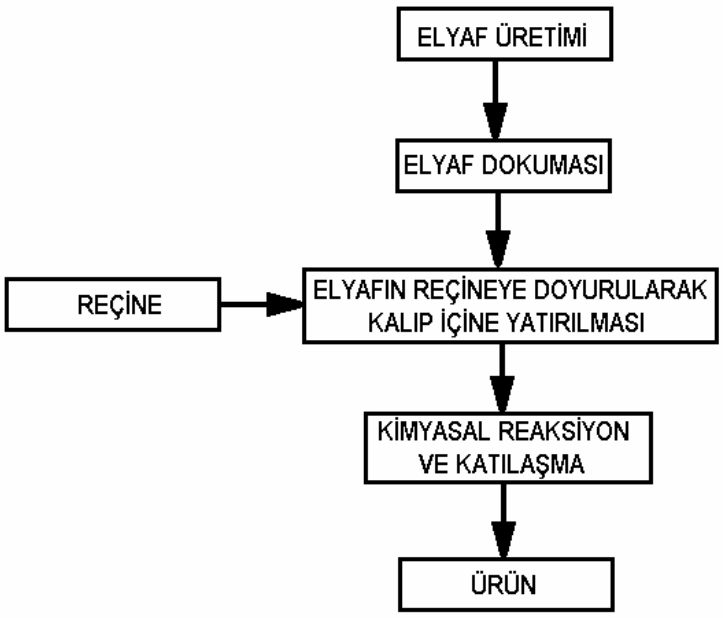
Şekil 3.1: Yonca Onuk Tersanesi MRTP botları [16].

MRTP botlarının ortak özellikleri:

1. Elyaf takviyeli ileri kompozit yapıdadırlar. Bunun sonucunda yapısal ağırlıkları çok düşüktür.
2. Düşük ağırlık sayesinde 70 knotlara varan yüksek hızlarda seyir yapabilmektedirler.
3. Açık denizde üstün denizcilik performansına sahiptirler.
4. Hudut ve sahillerde uzun menzilli aralıksız devriye yapabilirler.
5. Gerektiğinde uzak hedeflere ani müdahale edebilirler.

MRTP botlarının gövde yapıları ağırlıkla Kevlar ve Karbon elyafları takviyeli kompozitlerden oluşmaktadır ve bu sayede botların yapısal ağırlıkları oldukça düşüktür. Öte yandan bu botlar, düşük ağırlıklarına rağmen teknik/taktik özelliklerine göre son derece mukavemetlidirler [18].

Kevlar, karbon, cam elyafı gibi malzemeler son derece yüksek mukavimli malzemelerdir ve ağırlık/mukavemet oranları düşüktür. Ayrıca bu elyaflar yapıya uygulanan kuvvet yönünde yerleştirilirse azami seviyede mukavim davranırlar [12]. Şekil 3.2 Elyaf takviyeli kompozit yapılı ürünlerin imalat prosedürünü göstermektedir.



Şekil 3.2: Elyaf takviyeli kompozit yapılı ürünlerin imalat prosedürü.

3.2 MRTP Botlarının Rutin Seyir Programlarının İnsan Sağlığına etkileri

İnsanın mekanik titreşimlerden ne mertebede etkilendiğini belirleyen parametrelerden biri de mekanik titreşimin insana hangi sıklıkta ve ne kadar sürede etkidiğidir. Yüksek hızlı deniz taşıtları olan MRTP'lerin birbirlerine göre farklı rutin seyir programları vardır. Bunlar Tablo 3.2'de gösterilmektedir.

Tablo 3.2: MRTP botları rutin seyir programları.

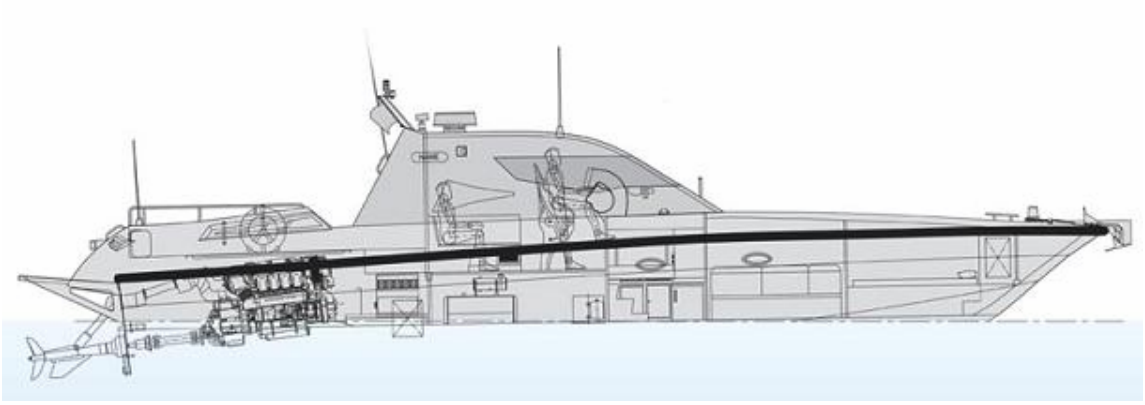
DENİZ TAŞITI	RUTİN SEYİR PROGRAMI	ORTALAMA SEYİR HIZI	AZAMİ SEYİR HIZI
MRTP15	2 saat / gün	25 knot (45 km/h)	50 knot (90 km/h)
MRTP16	4 saat / gün	30 knot (55 km/h)	70 knot (130 km/h)
MRTP20	2 saat / gün	20 knot (35 km/h)	50 knot (90 km/h)
MRTP33	4 saat / gün	16 knot (30 km/h)	45 knot (85 km/h)

Tablodan görüldüğü üzere en yüksek hızlara çıkan ve en uzun süreli seyir programına sahip olan bot MRTP16'dır.

MRTP botları tekne boyutu, güç/ağırlık oranı, teknik/taktik özellikleri ve seyir süresi uzunluğu bakımından karşılaştırıldığında, insan sağlığını en fazla mertebede etkileyen mekanik titreşimler yayan bot MRTP16'dır. Dolayısıyla bu tez çalışmasında bir MRTP16 botu olan "Gümrükler Muhafaza 413" botunun konfor değerleri uygun seviyeye çekilecektir.

3.3 MRTP16

Bu tezde konfor değerleri uygun seviyelere çekilecek olan bot MRT16 sınıfındaki "Gümrükler 413" botudur. Botun genel yerleşim resmi Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3: MRTP16 – Gümrükler 413 botu genel yerleşim resmi.

Gümrükler 413 botu teknik özellikleri [16] :

Tam Boy	: 17,75 m
Azami Genişlik	: 4,19 m
Su Kesimi (deniz yüzeyi altındaki mesafe)	: 0,9 m (seyir halinde)
Azami Hız (tam yüklüyken)	: 70 knot (deniz durumuna bağlı)
Tahrik	: 2 adet 1480 hp MTU diesel motor
Menzil	: 300+ deniz mili
Mürettebat	: 4 kişi. (10 kişiye kadar taşıma kapasitesi)
Yapı	: Elyaf takviyeli ileri kompozit (kevlar, karbon elyafı, cam elyaf, reçine)

4. TAŞIT KOLTUKLARI

4.1 Tanım

Taşıtların neredeyse hemen hepsinde insan ile taşıt arasındaki fiziksel bağ, taşıt koltuğu ile kurulur. Taşıt koltukları, insan ile taşıt arasındaki bir etkileşim ara yüzü olarak görev görürler. Bir taşıt koltuğunun sahip olması gereken en önemli özellikleri,

1. Ergonometrik oluş. Koltuğun insan fizyolojisine uygun olması gerekir. Koltuğun yüksekliği dış görüşün rahat olacağı mertebede olmalıdır. Ayrıca koltuk taşıt enstrüman panelinin rahat şekilde kontrol edilebileceği şekilde konumlandırılmalıdır.
2. Konforlu oluş. Taşıt koltuğu ISO 2631-1'de belirtilen insan titreşim konforu değerlerine uygun olmalıdır.

Taşıt konforunu arttırmanın yollarından biri, süspansiyonlu koltuk kullanımıdır. Taşıt için özel olarak geliştirilen bu koltuklar, sürüş dinamiğinden ziyade insan konforuna ihtiyaç duyulan kara, hava ve deniz taşıtlarında sıklıkla kullanılır.

Nakliye sektöründe, özellikle de kamyon ve çekici imalatında son yirmi senedir sürüş konforu ve sürücülerin yorgunluk problemi araştırılmaktadır. Sürücülerin sağlığı, güvenliği ve özellikle de araçlarından memnuniyetleri verimlerini arttırdığından, imalatçılar bu konunun önemini anlamış bulunmaktadırlar. Sürücü konforu, memnuniyeti/memnuniyetsizliği veya yorgunluğunun pek çok nedeni olmakla birlikte en önemli unsur sürücü koltuğudur [8]. Bu durum özellikle uzun süreli seyir yapan askeri bot personelini ve uzun yola çıkan ticari kamyon ve çekici sürücülerini etkilemektedir. Sürücüde yorgunluk ve rahatsızlıklar yapan araç titreşimlerinin önemli bir bölümünün sürücü koltuğu aracılığı ile sürücüye aktarıldığı yadsınamaz.

Son yıllarda refah seviyesindeki artışa paralel olarak daha çok kişi taşıt sahibi olabilmekte ve taşıtlarından olan beklentileri de giderek artmaktadır. Şahsa ait taşıtlarla beraber savunma sanayii amaçlı taşıtların da sayısında ciddi bir artış vardır. Bu artış, savunma sanayii amaçlı taşıtlardaki personelin konforla ilgili yeni rahatsızlıklarını dile getirmesine de sebep olmuştur. Dolayısıyla üreticiler daha konforlu taşıt koltukları üretmek zorunda kalmışlardır. Günümüzde konforlu taşıt koltuğu üretme süresini kısaltmak için bilgisayar modelleri ve simülasyonlar kullanılmaktadır [7].

Sürücü koltukları son yıllarda iyileşme göstermektedir. "Havalı" diye tabir edilen koltuk amortisör ve yay sistemleri sayesinde mekanik titreşimler sönümlenerek yolun sarsıntısının sürücüye intikali azaltılmıştır. Bunun yanında konvansiyonel tipte yay ve hidrolik amortisör kullanımıyla da koltuk konfor değerleri arttırılmaktadır. Koltuk süngerlerinin geliştirilmesi, koltuğun altına süspansiyon sistemi kurulması, koltuğun oturak kısmına ergonomik şekil verilmesi, koltuklara ek konfor ve daha gelişmiş oturma pozisyonları sağlamıştır.

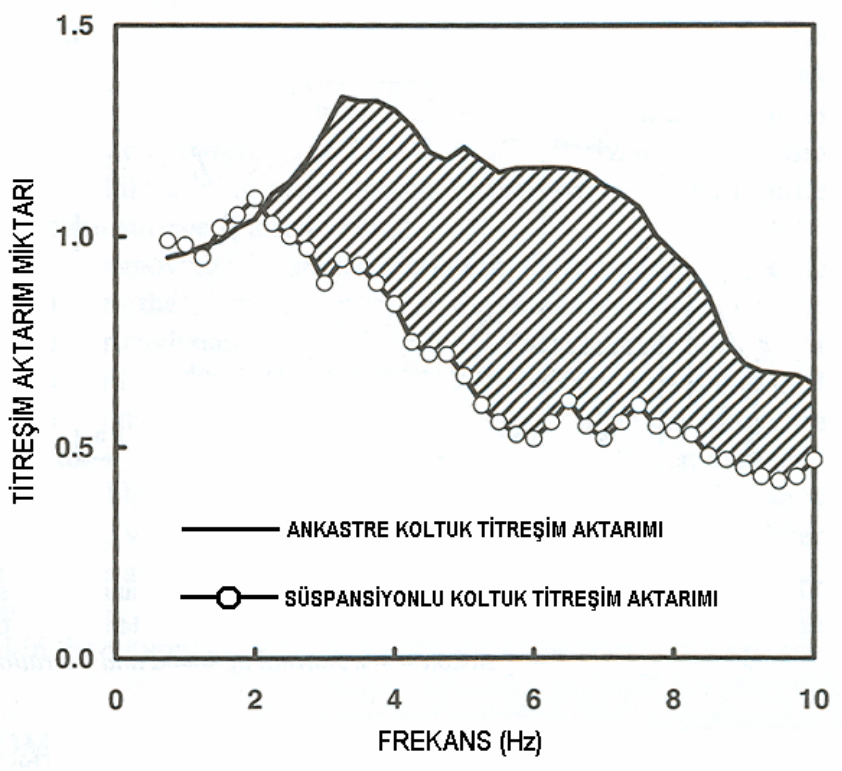
Bu tez çalışmasında ergonometrisi yüksek hızlı deniz taşıtı MRTP16'ye göre ayarlanmış koltuğun konfor değerleri helisel yay ve hidrolik amortisörlerden oluşan bir süspansiyon sistemi kurularak uygun hale getirilecektir.

4.2 Süspansiyonlu Koltuklar

Geleneksel köpük minder veya süngerine ilave olarak bağımsız bir süspansiyon mekanizması bulunan koltuklara süspansiyonlu koltuklar denir. Bu süspansiyon mekanizması, bir yay ve bir sönümleyiciden oluşur ve koltuk minderinin altına veya bazen de sırtlığın arkasına yerleştirilir. Koltuğu oluşturan parçaların seçimi koltuğun ne cins bir araç için tasarlandığına bağlı olarak (örneğin: basınçlı hava ile çalışan yaylar hava hattı gerektirdiğinden daha çok çekicilerde kullanılmaktadır) seçilir. Süspansiyon mekanizması koltuğun boyutunu ve ağırlığını arttırdığı kadar maliyetini de arttırdığından sadece kendi boyut ve ağırlığını kaldırabilecek yerlerde kullanılabilmektedir. Örneğin, süspansiyonlu koltukların kullanımı normal arabalar için pek uygun ve pratik olmasa da, aracın cüssesi yanında koltuğun ufak kaldığı geniş arazi araçlarında ve deniz taşıtlarında sıklıkla kullanılmaktadır.

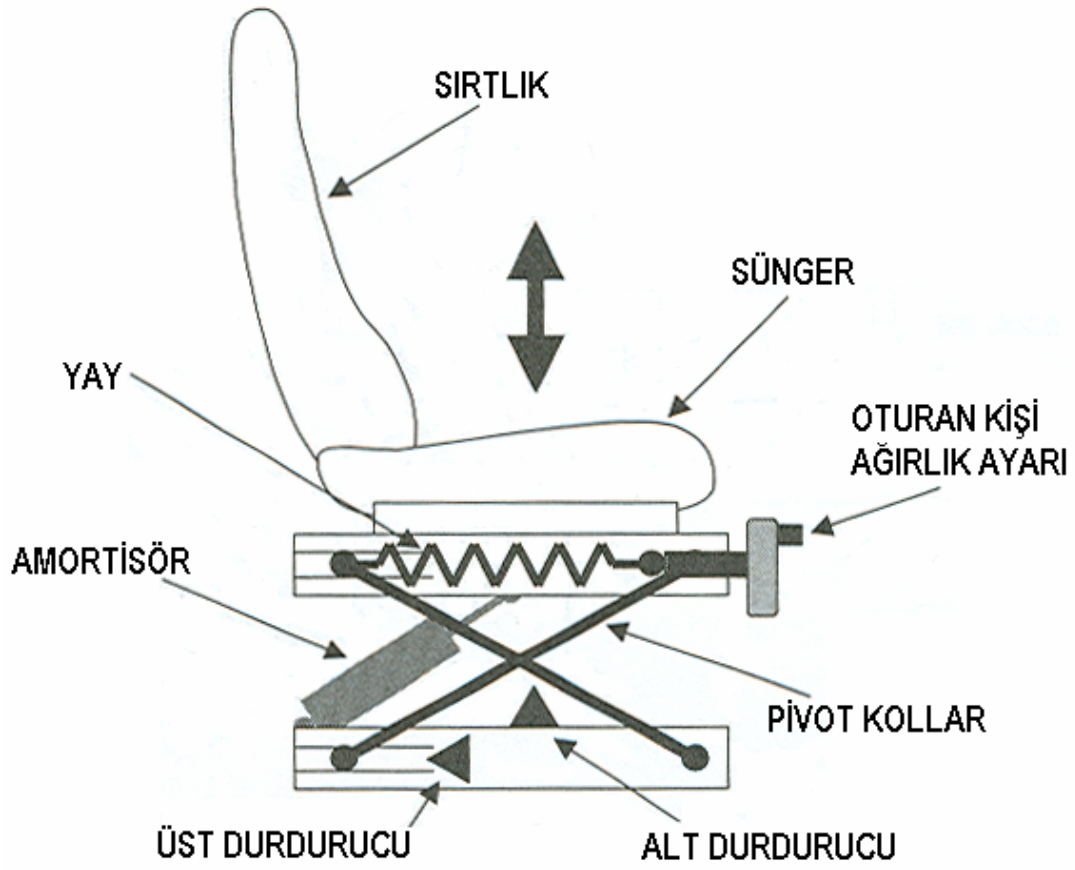
Süspansiyonlu koltuklar koltuk titreşim aktarım miktarını değiştirmek sureti ile oturanı titreşimden ve darbeden yalıtmak üzere tasarlanmışlardır (bkz. Şekil 4.1). Titreşim aktarım miktarı, koltuğun oturulan kısmı ile uyarı sinyalinin geldiği zemin arasındaki transfer fonksiyondur.

Süspansiyon mekanizması genellikle rezonans frekansı yaklaşık 2 Hz olacak şekilde ayarlanır ve böylece yaklaşık 3 Hz üzerindeki titreşimler için yalıtım sağlanmış olur. Şekil 4.1'de süspansiyonu olan ve süspansiyonu olmayan iki koltuğun karşılaştırmalı titreşim aktarım miktarları görülmektedir. Süspansiyon mekanizması olmayan koltuk, standart sünger ile imal edilmiş olduğu gibi, geleneksel koltuk şeklinde davranır. Deneyde koltuklar 2 Hz altında benzer performanslar göstermişlerdir. Ancak süspansiyon mekanizması olan koltuğun daha yüksek frekanslarda daha iyi randıman verdiği saptanmıştır [2]. Çok fazla mekanik titreşime maruz kalan bir vasıtada 3 ila 10 Hz aralığındaki kritik frekanslarda süspansiyonlu koltuk üzerine oturan kişi titreşimlerden daha az etkilenecektir.

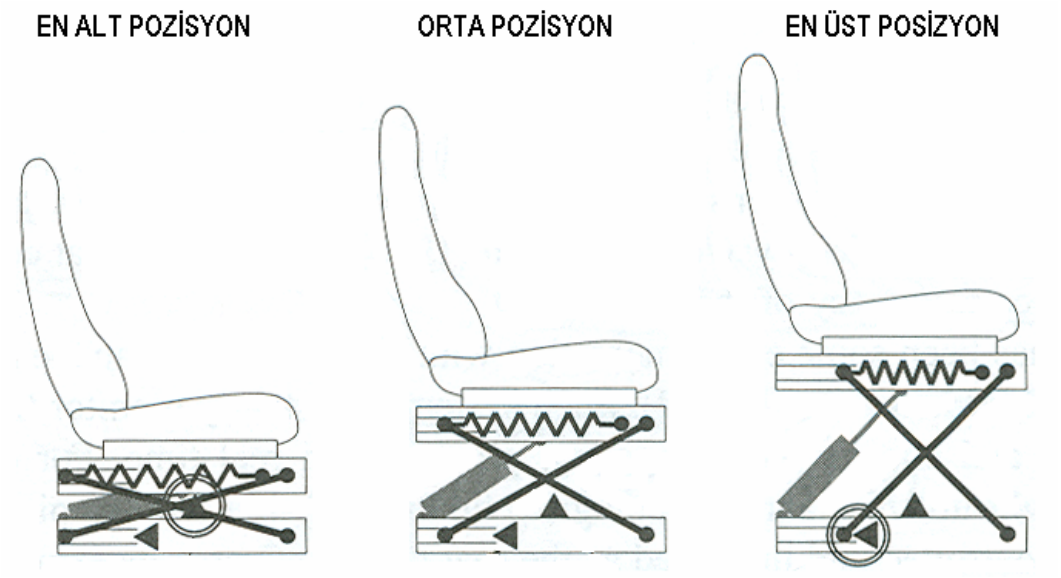


Şekil 4.1: Süspansiyonu mekanizması olan ve süspansiyon mekanizması olmayan iki koltuğun mekanik titreşim aktarımlarının karşılaştırılması [2].

Öte yandan süspansiyonlu koltuklarda mekanizmanın limitlerine gelindiğinde problem yaşanmaktadır. Bir araç büyük bir tümseğin üzerinden geçtiğinde amortisör normal limitlerini geçerek dibe vurabilir. Bu darbeler normalden çok daha şiddetli bir titreşim meydana getireceğinden, normalde amortisörün sönümlediği titreşimlere oranla daha riskli bir durum oluştururlar. Darbe anındaki ivmeyi azaltmak için amortisör strokunun limitine kauçuk çarpma önleyici yerleştirilir (bkz. Şekil 4.8). Zira çarpma önleyicilerin yerleştirilmesi koltuğun hareketini nispeten sınırlandırmış olur ve bu nedenle dibe vurma darbelerinin, her ne kadar daha düşük bir şiddette olsa da, daha sık yaşanmasına sebebiyet verir. Şekil 4.2'de süspansiyonlu bir koltuğun şematik gösterimi vardır. Bir sonraki sayfada yer alan Şekil 4.3'te ise tipik bir süspansiyonlu koltuğun çalışırkenki pozisyonları görülmektedir.



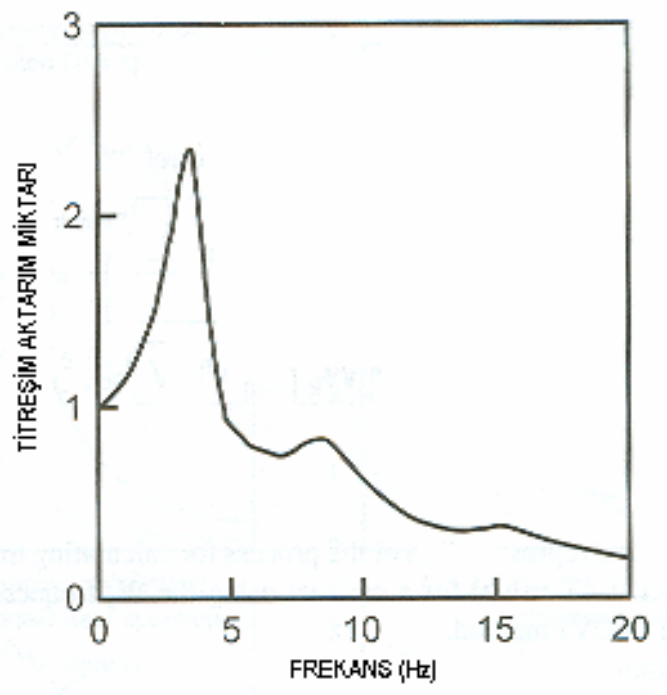
Şekil 4.2: Süspansiyonlu koltuk şematik gösterimi.



Şekil 4.3: Süspansiyonlu koltuğun çalışma şekli.

Süspansiyonlu koltuklarda, bazı aktif süspansiyon elemanlarının kullanıldığı deneysel araştırmalar da yapılmıştır. Bu sistemlerde koltuk hareketleri kullanılan eleman özelliklerinin değişimine bağlı olarak gerçek zamanlı gözlenip kayıt altına alınır. Amortisör içinde manyetik özellik gösteren sıvılar kullanılmak ve oluşturulacak manyetik alan yardımı ile koltuğun aşırı hareketlerinin elektronik olarak kontrol etmek bu çalışmalara örnek gösterilebilir. Bu tip aktif süspansiyonlu koltuklarda elektronik kontrolcünün görevi, koltuğa etkiyen her tip uyarı için amortisörü maksimum konfor değerinde tutmaktır.

Aktif veya konvansiyonel olsun, süspansiyonlu koltukların konfor ve insan sağlığına büyük faydası vardır. Şekil 1'de test edilmiş ve konforu arttırdığı onaylanmış olan tipik bir süspansiyonlu koltuğun deney sonucunda ulaşılan titreşim aktarım (transfer fonksiyon) grafiği gösterilmektedir [2].



Şekil 4.4: Tipik bir süspansiyonlu koltuğun titreşim aktarım (transfer fonksiyon) grafiği.

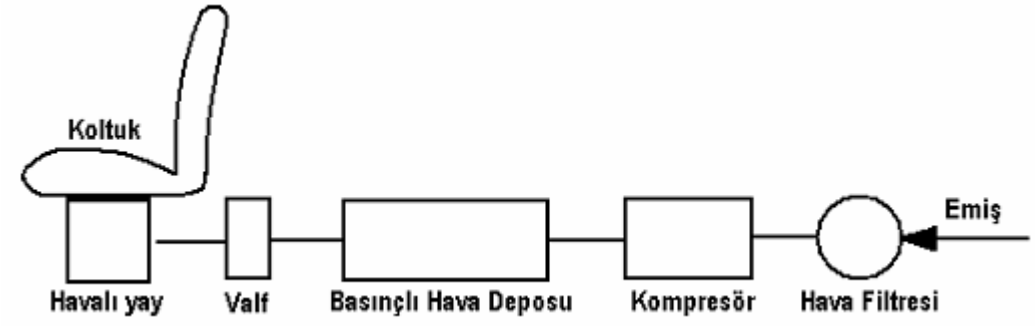
Tüm vücut titreşimleri araçlarda seyahat ile ilgili olup insan sağlığı, konforu ve verimliliğini etkiler. İnsanlar daha çok düşeyde, düşey frekans ağırlığının en yükseğine tekabül eden 5 Hz mertebesindeki tüm vücut titreşimlerine duyarlıdırlar. Yatayda ise gövde daha çok, yatay frekans ağırlığının en yükseğine tekabül eden 2 Hz altındaki frekanslara karşı duyarlıdır. Yüksek genlikli titreşimlere maruz kalmak bel, boyun ağrıları gibi fizyolojik problemlerin yanında yorgunluk, sinirsel bozukluklar gibi sağlık sorunları da yaşatır. Sakatlık riskini azaltmak için tüm sektörlerde maruz olunan titreşim etkilenmeleri azaltılmalıdır. Bu etkilenmeleri azaltmanın bir metodu koltukların kullanıcılarını titreşimden yalıtmaktır. Araba koltukları gibi geleneksel koltuklar vücudun titreşimlere uyumlu olduğu frekanslara denk gelen 4-5 Hz aralığında rezonansa girebilirler. Süspansiyonlu koltukların ise rezonans frekansları 2 Hz mertebesindedir ve titreşimlerin sağlık riski yarattığı pek çok araç için kullanılması şarttır.

4.2.1 Süspansiyonlu Koltuk Tipleri

Taşıtlarda kullanılan süspansiyonlu koltuklar genel olarak ikiye ayrılır. Bunlar,

1. Havalı süspansiyonlu koltuklar
2. Konvansiyonel tip yay ve amortisörlü süspansiyonlu koltuklar.

Havalı süspansiyonlu koltuklar genellikle bir kapalı devre basınçlı hava tesisatı bulunan taşıtlarda bulunur. Otobüs, tır gibi ağır taşıtların süspansiyon sistemleri ve fren sistemleri havalı oldukları için havalı koltuklar bu taşıtlardaki mevcut tesisata bağlanarak çalıştırılırlar. Şekil 4.5'te havalı koltukların tesisat şeması gösterilmektedir.



Şekil 4.5: Havalı koltukların tesisat şeması.

Birçok kara, deniz ve hava taşıtlarında kapalı devre basınçlı hava tesisatı bulunmaz. Bu tip taşıtlarda konvansiyonel tip yay ve amortisörü olan süspansiyonlu koltuklar kullanılır. Şekil 4.6'da bu tip süspansiyonlu koltukların örnekleri bulunmaktadır.



Şekil 4.6: Konvansiyonel tip yay ve amortisöre sahip süspansiyonlu koltuklar.

4.2.2 Süspansiyonlu Koltukların Ana Elemanları

Bu tez çalışmasında konvansiyonel yay ve amortisöre sahip süspansiyonlu bir koltuk tasarlanacaktır. Konvansiyonel tip süspansiyonlu koltukların titreşim sönümleme dinamiklerini koltuğun üç ana bölümü belirler. Bunlar :

1. Koltuk (oturak) süngeri
2. Süspansiyon yayı
3. Süspansiyon amortisörü

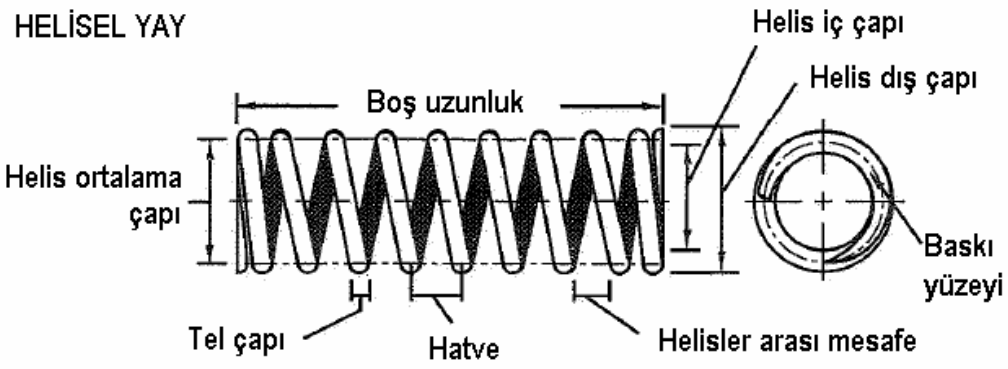
4.2.2.1 Koltuk (Oturak) Süngeri

Bütün taşıt koltuklarında olduğu gibi süspansiyonlu koltukların da oturulan bölümlerinde belirli kalınlık ve özelliklerde minderler ve döşeme vardır. Bu bölümlere kısaca koltuk süngeri denebilir.

Koltuk süngerleri de aynen süspansiyon yayı ve amortisörü gibi bir yay sertliği ve sönüm katsayısı vardır. Dolayısıyla süngerin de bir doğal frekansı vardır ve bu frekansın değeri kontrol altına alınmalıdır. Taşıtlarda genellikle koltuk süngerlerinin doğal frekansları 2 – 3 Hz arasında tutulmaya çalışılır [1].

4.2.2.2 Süspansiyon Yayı

Süspansiyon sisteminin taşıyıcı bloğu yaydır. Koltuk süspansiyon sistemlerinde genellikle helisel yay kullanılır. Helisel yaylar burulmakta olan bir telin elastik özelliklerini gösteren ve sabit yay sertlik katsayısı davranışına sahip olan yaylardır [11]. Şekil 4.7'de helisel bir yay gösterilmektedir.

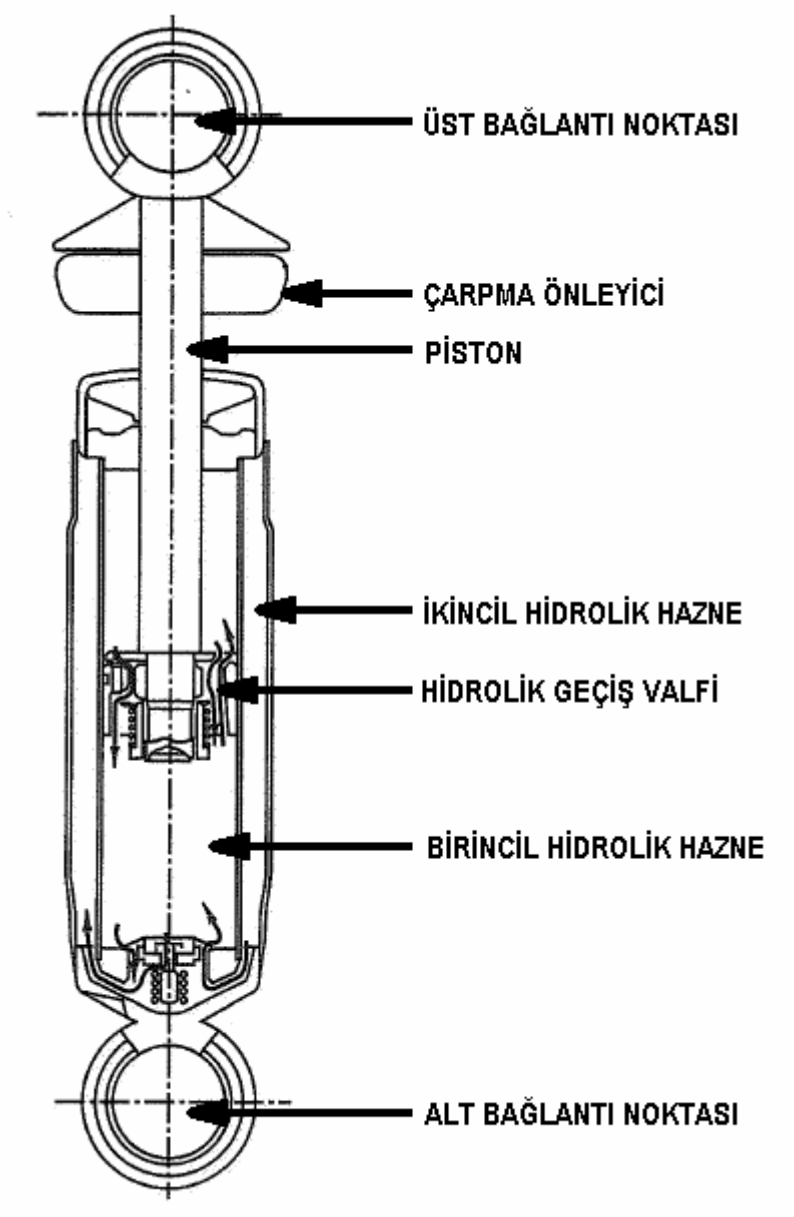


Şekil 4.7: Helisel yay.

4.2.2.2 Süspansiyon Amortisörü

Amortisör, süspansiyon sisteminin titreşim sönümleme elemanıdır. Hidrolik ve hem hidrolik hem pnömatik amorsörler süspansiyon sistemlerinde kullanılır. Amortisörler, dengelenmemiş ağırlıklar ile dengelenmiş ağırlıklar arasındaki ivme salınımlarını kontrol etmeye yararlar [11].

Bu tezde çift tüplü hidrolik amortisörler kullanılmıştır. Şekil 4.8'de çift tüplü hidrolik bir amortisör gösterilmektedir [11].



Şekil 4.8: Çift tüplü hidrolik amortisör.

4.3 MRTP16 İçin Tasarlanan Süspansiyonlu Koltuk

Süspansiyonlu koltuklarla ilgili geniş literatür araştırması yapıldıktan sonra MRTP16 için tasarlanacak koltuğun tipinin seçimi yapılmıştır. Standart süspansiyon parçalarının tedarik kolaylığı, parça imalatı basitliği, montaj hız ve kolaylığı değerlendirildiğinde MRTP16'lar için tasarlanacak en uygun koltuğun konvansiyonel helisel yay ve hidrolik amortisörlere sahip olan tip olduğu kararına varılmıştır. Koltuğun çalışma prensibi seçimi yapıldıktan sonra tasarımı ve CAD modellemesi CATIA V5 R17 programıyla yapılmıştır.

Tasarlanan koltuk genel hatlarıyla dört ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar :

1. Zemine bağlanan "Alt baza",
2. Alt baza ile dengelenmiş ağırlık arasındaki "Orta baza" ve süspansiyon pivot kolları,
3. Süngeri de kapsayan, koltuğun oturulan kısmını meydana getiren "Üst baza",
4. Ana süspansiyon elemanları olan yay ve amortisör grubu.

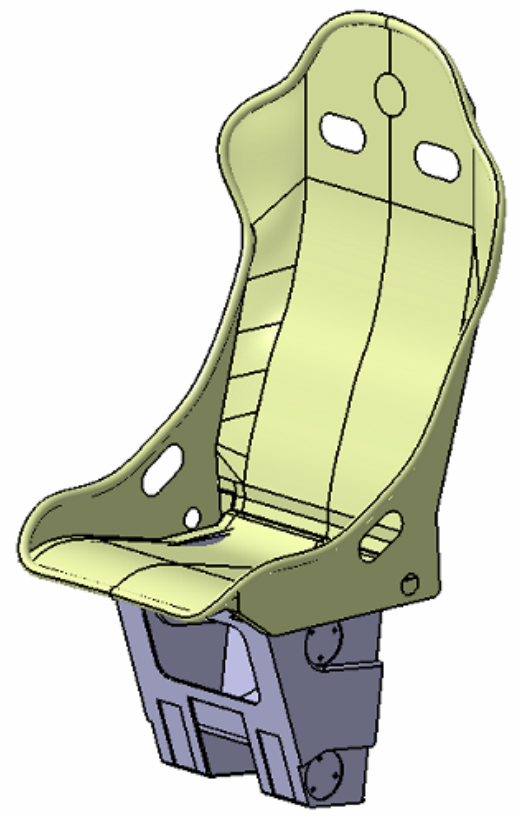
4.3.1 Koltuğun CAD modelinin elde edilmesi

Koltuğun tasarımı, zemine bağlanan alt baza parçasıyla başlamıştır. Alt baza parçası üzerinde süspansiyon pivot kollarının bağlanacağı kulaklar olacaktır. Şekil 4.11'de alt bazanın izometrik görünüşü vardır.

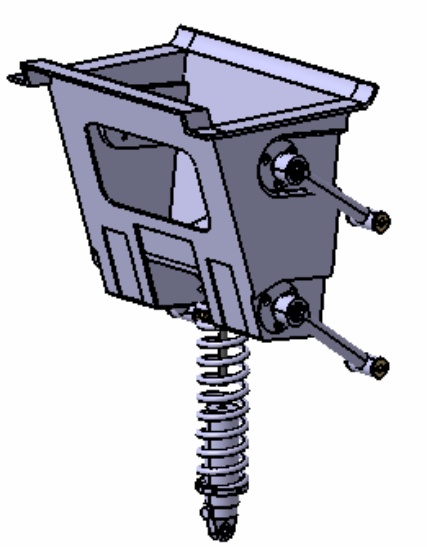
Alt baza tasarımı bittikten sonra bu parçaya takılacak olan süspansiyon pivot kolları ve orta baza parçaları tasarlanmıştır. Şekil 4.10'de orta baza, pivot kollar ve yay-amortisör grubunun montaj resmi gösterilmektedir.

Koltuğun taşıyıcı sisteminin tasarımı bittikten sonra oturma kısmının tasarımı yapılmıştır. Şekil 4.9'da oturma kısmı olan üst baza ve ona bağlı olan orta bazanın montaj resmi gösterilmektedir.

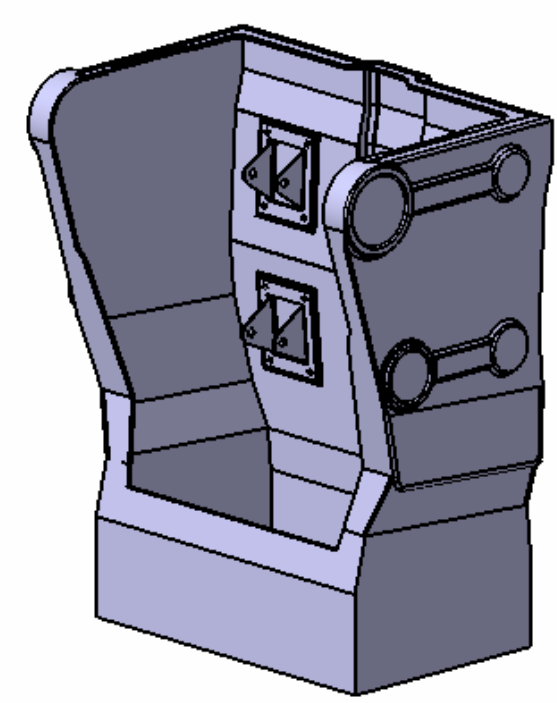
En son olarak bütün parçalar birbirine monte edilmiştir. Şekil 4.12'de bütün süspansiyonlu koltuk sisteminin montaj resmi gösterilmektedir. Şekil 4.13'te süspansiyonlu koltuğun en üst ve en alt pozisyonları kesit görünüş olarak verilmiştir.



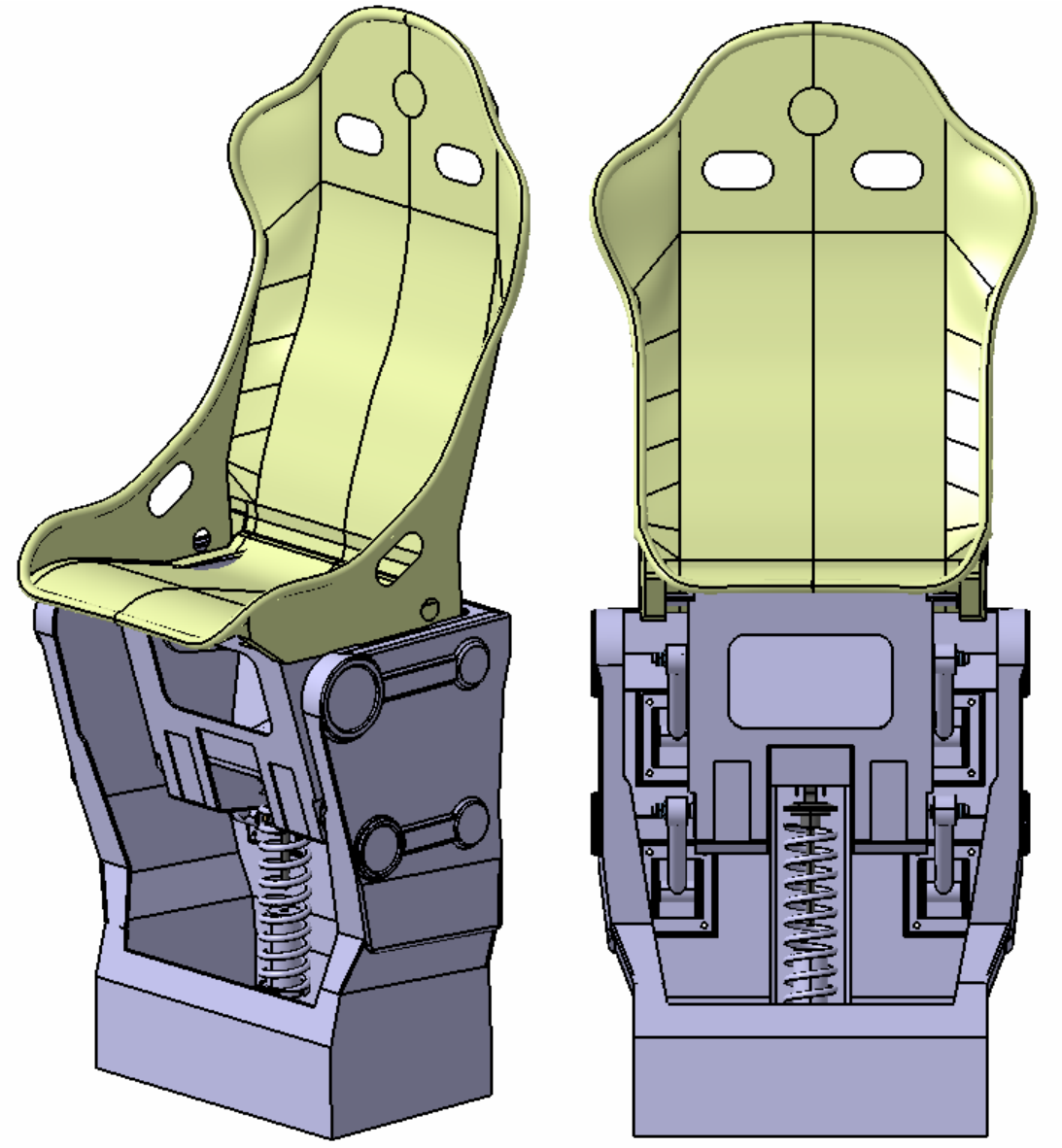
Şekil 4.9: Üst ve Orta Baza.



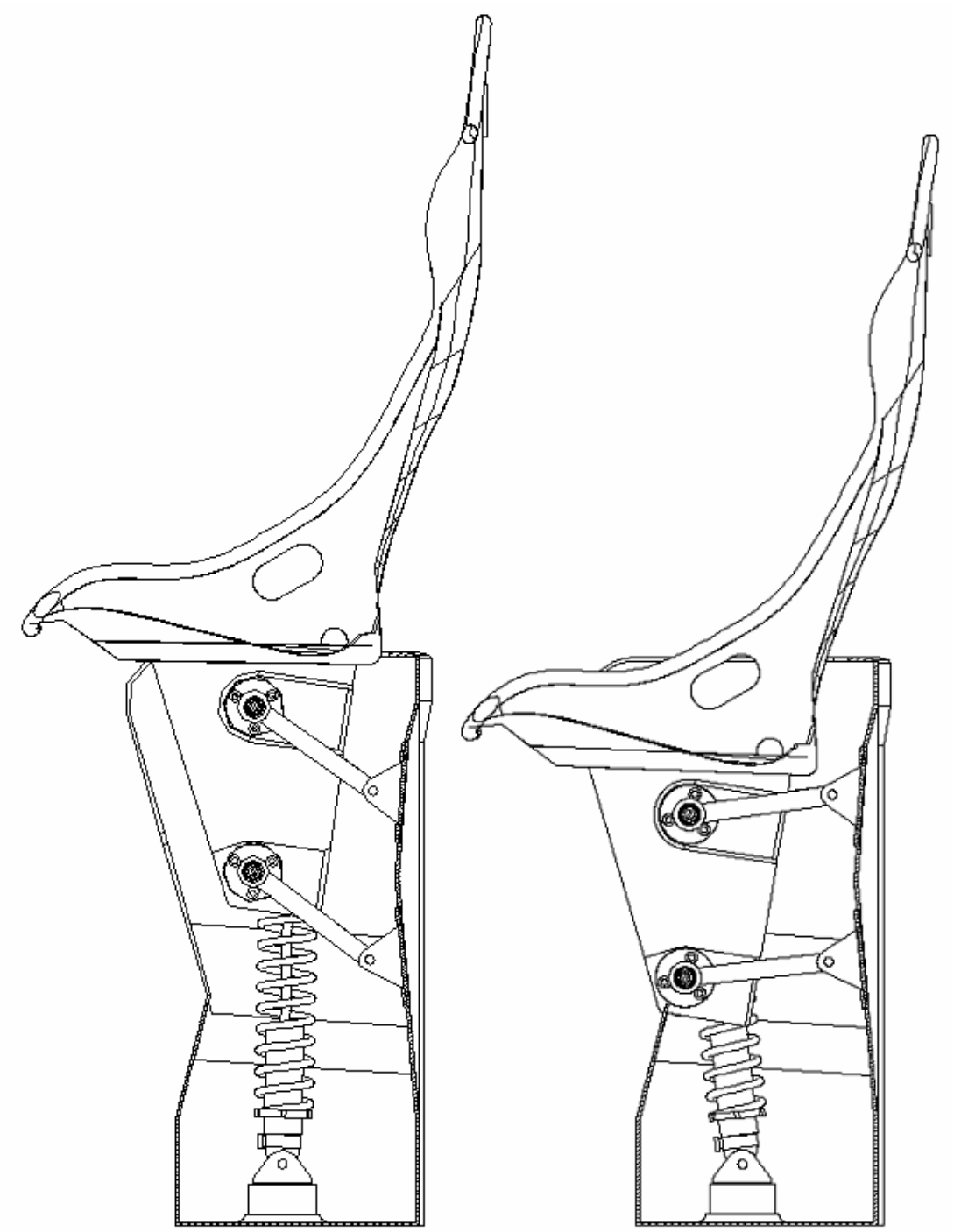
Şekil 4.10: Orta Baza ve amortisör grubu.



Şekil 4.11: Alt Baza.



Şekil 4.12: Süspansiyonlu koltuğun montaj resimleri.



Şekil 4.13: Koltuğun en alt ve en üst pozisyondaki halinin kesit görünüşü.

4.3.2 İlk Prototip Koltuğun İmalatı

CAD modeli tamamlanan koltuğun kompozit malzemeli parçalarının ahşap modelleri Yonca Onuk Tersanesi Onuk Ar-Ge atölyesinde üretilmiştir. Şekil 4.14'te koltuğun ahşap modeli gösterilmektedir. Modelleme işleri bittikten sonra modeller üzerinden elyaf malzemeli kalıplar üretilmiştir. Şekil 4.15'de alt baza parçasının kalıplama işi gösterilmektedir.

Tasarlanan süpansiyonlu koltuğun alt baza, orta baza ve üst bazası Kevlar malzemeden üretilmiştir. Süspansiyon pivot kolları ve braketler deniz şartlarına uygun olması için paslanmaz çelik malzemeden üretilmişlerdir. Üretim ve montajı tamamlanmış prototip koltuğun resimleri Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.14: Koltuğun ahşap modeli.



Şekil 4.15: Alt bazanın kalıplanması.

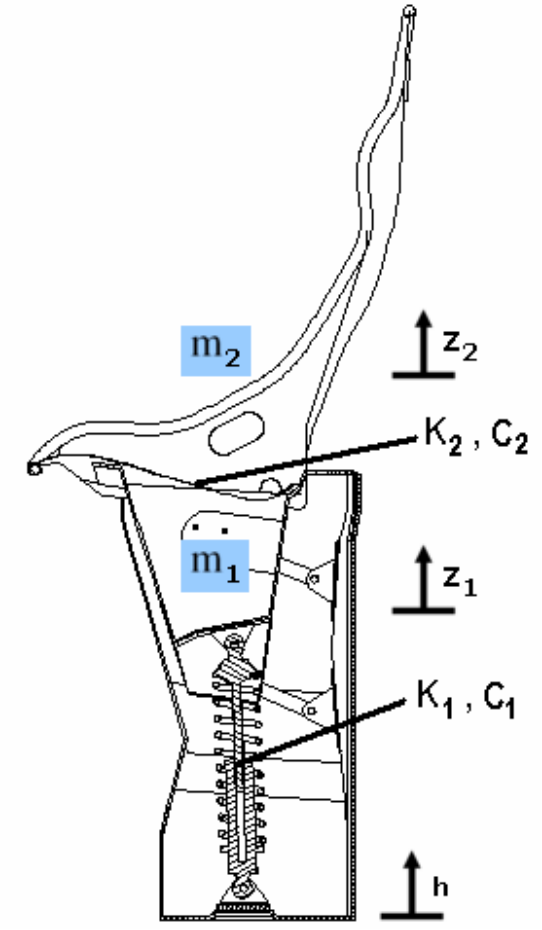


Şekil 4.16: Montajı tamamlanmış prototip koltuk.

5. DİNAMİK SİSTEMİN BİLGİSAYAR MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Bu bölümde tasarlanan süspansiyonlu koltuğun hareket denklemlerinden yararlanılarak matematik modeli oluşturulacaktır. Oluşturulan matematik model MATLAB 6.5 programına aktarılacaktır.

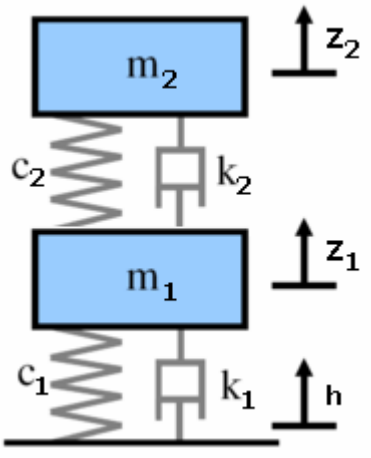
Tasarlanan süspansiyonlu koltuk, iki serbestlik dereceli bir dinamik sistem olarak düşünülebilir. Koltuğun yay ve amortisör grubunun hemen üstündeki orta baza ve koltuk oturak kısmının birinci kütle, oturak kısmının üzerindeki süngerin üzerine oturan insanın ise ikinci kütle olarak alınması doğru bir yaklaşımdır. Şekil 5.1'de süspansiyonlu koltuğun dinamik sistem yaklaşımı şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.1: Süspansiyonlu koltuğun dinamik model yaklaşımı.

5.1 İki Serbestlik Dereceli Titreşim Modeli

Süspansiyonlu koltuğu simgeleyen iki serbestlik dereceli sistemin gösterimi Şekil 5.2'de yapılmıştır.



Şekil 5.2: İki serbestlik dereceli sistemin gösterimi.

Önceki sayfadaki Şekil 5.1'den de görüldüğü üzere matematik model kabulleri söyledir :

m_1	: Orta baza ve oturağın kütlesi	m_2	: Oturan kişinin ağırlığı
C_1	: Helisel yay sertlik katsayısı	C_2	: Süngerin yay sertlik katsayısı
K_1	: Amortisör sönüm katsayısı	K_2	: Süngerin sönüm katsayısı

5.2 Koltuğun Hareket Denklemleri ve Matematik Modeli

$$m_2 \ddot{z}_2 + k_2(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + c_2(z_2 - z_1) = 0 \qquad \textbf{(5.1)}$$

$$m_1 \ddot{z}_1 - k_2(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) - c_2(z_2 - z_1) + k_1(\dot{z}_1 - \dot{h}) + c_1(z_1 - h) = 0 \qquad \textbf{(5.2)}$$

(5.2) numaralı diferansiyel denklemin genel ifadesi :

$$m\ddot{z} + k\dot{z} + cz = ch + k\dot{h} \qquad \textbf{(5.3)}$$

(5.1) ve (5.2) denklemleri düzenlenirse :

$$m_2\,\ddot{z}_2 + k_2\,\dot{z}_2 + k_2\,\dot{z}_1 + c_2 z_2 - c_2 z_1 = 0 \qquad \textbf{(5.4)}$$

$$m_1\,\ddot{z}_1 + (k_1 + k_2)\,\dot{z}_1 + k_2\,\dot{z}_2 + (c_1 + c_2) z_1 - c_2 z_2 = c_1 h + k_1\,\dot{h} \qquad \textbf{(5.5)}$$

denklemleri elde edilir.

(5.3) ve (5.4) denklemleri matris halinde yazılırsa :

$$\begin{vmatrix} m_2 & 0 \\ 0 & m_1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \ddot{z}_2 \\ \ddot{z}_1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_1 + k_2 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \dot{z}_2 \\ \dot{z}_1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_1 + c_2 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} z_2 \\ z_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ c_1 \end{vmatrix} \cdot h + \begin{vmatrix} 0 \\ k_1 \end{vmatrix} \cdot \dot{h} \qquad \textbf{(5.6)}$$

M K C R

Asılı ve asılı olmayan kütlelerin düşey yer değiştirmesini ifade eden fonksiyonun uyarı frekansına göre birinci ve ikinci türevi aşağıdaki gibidir.

$$\dot{z} = -A\omega \sin \omega t + B\omega \cos \omega t \qquad \textbf{(5.7)}$$

$$\ddot{z} = -A\omega^2 \sin \omega t + B\omega^2 \cos \omega t \qquad \textbf{(5.8)}$$

Denklem (5.7) ve (5.8)'de görülen birinci ve ikinci türeve ait fonksiyonlar denklem (5.3)'de yerine konulduğunda, iki diferansiyel denklem elde edilir. Bu denklemler matris şeklinde yazılırsa,

$$\begin{vmatrix} C - \omega^2 m & -\omega k \\ \omega k & C - \omega^2 m \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} z_g \\ z_r \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} R_g \\ R_s \end{vmatrix} \cdot (h + \dot{h}) \qquad \textbf{(5.9)}$$

A B

matrisi elde edilir.

Çok serbestlik dereceli sistemlerde (5.9)'da görülen matrisin elemanları olan m, c ve k katsayıları matris formuna sahiptir. Böylece iki serbestlik dereceli bir sistem için denklem 10'da görülen kütle **[M]**, yay sertliği **[C]** ve sönüm **[K]** matrisleri 2x2 boyutundadır ve elde edilen sonuç matris, denklem (5.10)'da görülmektedir.

$$\begin{vmatrix} C-\omega^2 M & -\omega K \\ \omega K & C-\omega^2 M \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} z_g \\ z_r \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} R_g \\ R_s \end{vmatrix} \cdot (h+\dot{h}) \qquad \textbf{(5.10)}$$

A matrisi yukarıdaki şekilde oluşturulduktan sonra inversi alınarak gerçel ve sanal z genlikleri bulunur.

$$\hat{z} = A^{-1} \cdot B \cdot (\hat{h}+\dot{h}) \qquad \textbf{(5.11)}$$

$$\ddot{z}_2 = \sqrt{\omega^4 (z_{2,R}^2 + z_{2,S}^2)} \qquad \textbf{(5.12)}$$

Kütlelerin sönümsüz doğal frekansları:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{c_1}{m_1+m_2}} \qquad \textbf{(5.13)}$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{c_2}{m_2}} \qquad \textbf{(5.14)}$$

Sistemin sönüm oranları:

$$D_2 = \frac{k_2}{2\sqrt{c_2 m_2}} \qquad \textbf{(5.15)}$$

$$D_1 = \frac{k_1}{2\sqrt{c_1 (m_1+m_2)}} \qquad \textbf{(5.16)}$$

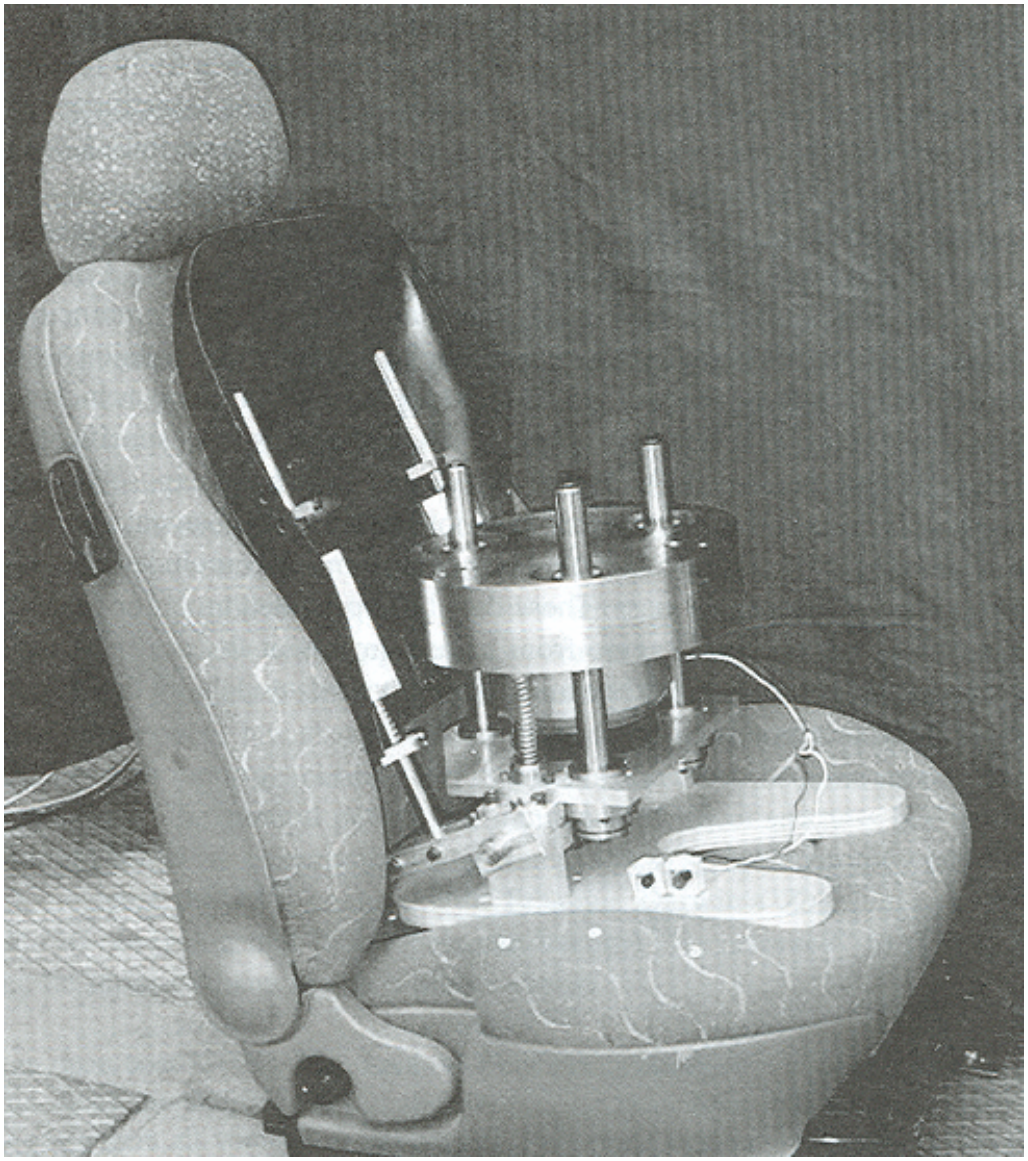
6. TESTLER

Koltuk süspansiyon sistemleri, sisteme etkiyen uyarı sinyaline göre optimize edilir ve uygun konfor değerlerine getirilir. Uyarı sinyali, taşıtın yol aldığı zeminin taşıta uyguladığı zorlanmış titreşim fonksiyonudur. Kara taşıtları için yolun uyarı sinyali, önceden belirlenmiş zemin yük spektrumuna göre yapay olarak da elde edilebilir. Çalışmalar sonucunda görülmüştür ki kara taşıtları için kullanılan yapay uyarı sinyali, gerçek yol sinyaline oldukça yakındır. Giriş bölümünde de bahsedildiği üzere yüksek hızlı deniz taşıtları için yapay bir yol sinyali üretimi mümkün değildir. Bunun sebebi yüksek hızlı deniz taşıtlarının seyir hızlarının artmasıyla beraber suya temas eden yüzeylerin azalması, seyir yapabildikleri deniz şiddeti koşullarının çok değişken özelliklerde olabilmesi, hafif gövde yapıları sayesinde kimi zaman dalgaların üzerinden zıplayarak geçmeleridir. Dolayısıyla seyir esnasında deniz taşıtında ölçüm yapılarak, yapılan ölçümler işlenerek bir uyarı sinyali elde edilmelidir. Deniz taşıtı ölçümleri ne kadar kötü bir havada yapılırsa o kadar yüksek genlikli mekanik titreşimler elde edilmiş olur. Bu sayede deniz taşıtı süspansiyonlu koltuğu en kötü deniz durumunda dahi uygun sonuçlar verecektir.

6.1 Süspansiyonlu Koltukların Test Prosedürü

İdeal koltuğun işlevselliği koltuğun statik özellikleri yanı sıra, dinamik özelliklerine, kontrol altına alınacak titreşimlere ve kullanıcının algılama karakteristiklerine bağlıdır. Maalesef koltuğun dinamik tepkisi üzerine oturan kişinin dinamik özelliklerinden etkilenmekte ve sabit bir yük ile belirlenememektedir. Öte yandan koltukların dinamik tepkileri titreşimin özelliklerinin bir fonksiyonudur. Bu nedenle koltuğun titreşimleri aktarması kullanıcıdan kullanıcıya değişmektedir [2]. Aynı şekilde düz bir yolda sürüş halindeki test iletim değerleri ile engebeli bir arazide elde edilen test değerleri farklılıklar (Fairley, 1983) göstermektedir.

Kullanıcıya bağlı değişkenlikleri önlemenin bir yolu testlerde insan dinamik tepkilerini modelize eden mankenlerin kullanılmasıdır. Bu maksatla çok çeşitli antropodinamik mankenler geliştirilmiştir. Şekil 6.1'de koltukta oturan insanı simule eden mankenlerden biri görülmektedir. Bu mankenlerin pek çoğu gerçek kişilerin farklı tepkilerini yansıtmaktan uzak olmaları yanında karmaşık tepkileri de yansıtamazlar [2]. Yine de insanlı deneyler için sağlıklı titreşim simülatörlerinin ve insanlar için tasarlanmış titreşim kaynaklarının bulunmadığı laboratuar ortamlarında koltuk için sürekli ve temsili bir yük olarak faydalıdırlar. Hala geliştirme süreci devam etmekle birlikte henüz yatayda insan tepkilerini temsil eden bir manken bulunmamaktadır.



Şekil 6.1: Süspansiyonlu koltuk testlerinde kullanılan, insanı simule eden aparatlar.

6.2 Deniz Testleri

Önceki konularda bahsedilmiş olduğu gibi deniz testleri MRTP16 sınıfında olan "Gümrükler Muhafaza 413" botunda yapılmıştır. Deniz taşıtına etkiyen uyarı sinyalini en doğru şekilde ölçmek amacıyla deniz taşıtının rutin seyir programına uygun bir seyir yapılmış, bu sırada titreşim kayıtları alınmıştır. Olabilecek en kötü durumları simule etmek amacıyla ölçümler "2 deniz şiddeti" olan bir günde yapılmıştır. 2 deniz şiddetinin özellikleri Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1: "2 deniz şiddeti"nin özellikleri.

Deniz Durumu	Dalga Yüksekliği [m]	Ortalama Dalga Uzunluğu [m]
2	0,5	6

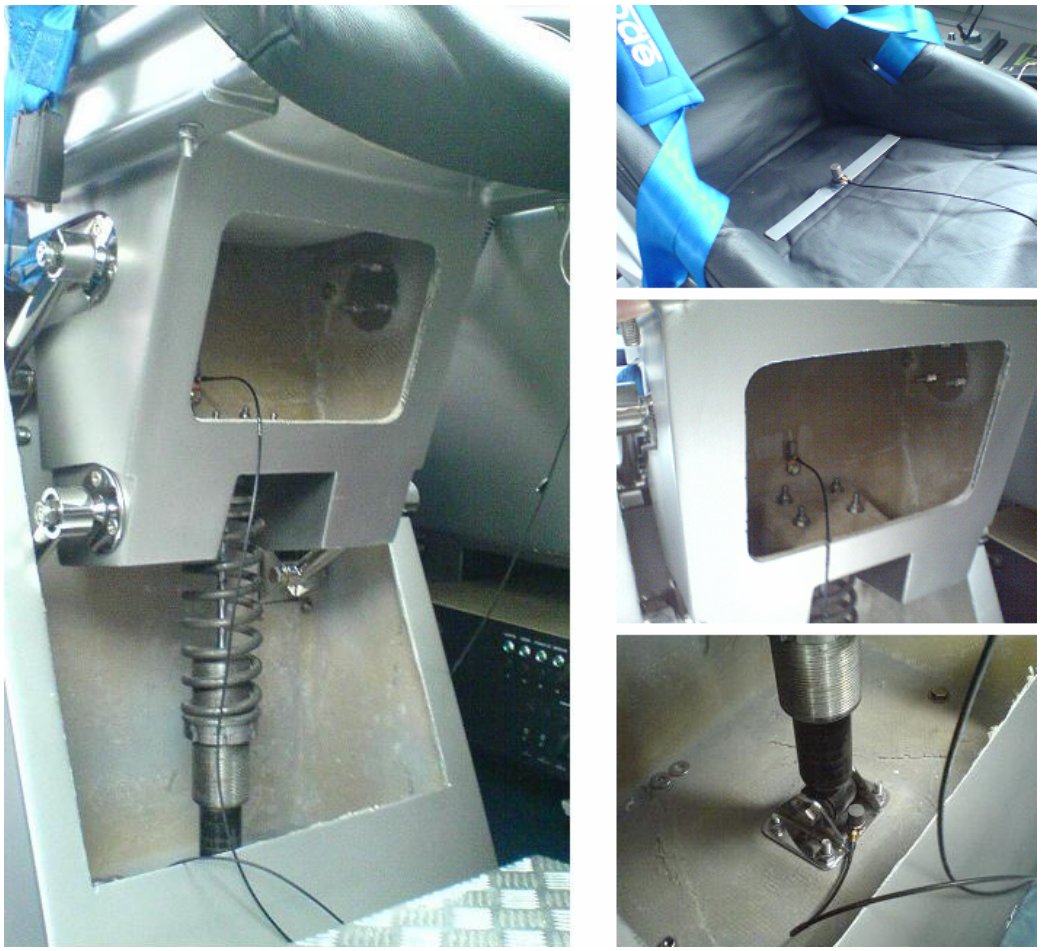
Deniz testlerine başlamadan önce deniz taşıtına Brüel & Kjaer titreşim ölçüm seti yerleştirilmiştir. Ölçüm yapılacak olan deniz taşıtına, parametreleri öngörü dahilinde seçilmiş yay ve amortisör mekanizmasına sahip olan prototip süspansiyonlu koltuk yerleştirilmiştir. Seyir sırasında 75 kg ağırlığında bir personel sürekli olarak koltukta oturmuştur (bkz. Şekil 6.2). Böylece deniz testinde taşıta etkiyen uyarı sinyaliyle beraber prototip koltuğun bu uyarılar karşısındaki davranışı da test edilmiştir.

Öncelikle ivme sensörleri yerleştirilmiştir. İvme sensörleri süspansiyonlu koltuğun zeminine, orta bazasına ve üst bazasına Şekil 6.3'teki gibi yerleştirilmiştir. İvme sensörleri kablolar vasıtasıyla front end sinyal işleme merkezine bağlanmıştır. Front end'de toplanan bilgiler bir dizüstü bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayarda çalışmakta olan Pulse programında sinyaller kaydedilmiştir.

Deniz testlerinde deniz taşıtının rutin seyir programına yakın bir seyir izlenmiştir. 2 deniz şiddetinde (bkz. Tablo 6.1) gerçekleştirilen testlerde zaman zaman yüksek dalgalardan yüksek seyir hızlarıyla geçilmiştir. Böylece deniz taşıtına etkiyebilecek azami büyüklüklerdeki uyarı sinyalleri de kayıt altına alınmıştır.



Şekil 6.2: Deniz testleri sırasında çekilmiş bir fotoğraf.



Şekil 6.3: Koltuk üzerine yerleştirilen ivme sensörleri.

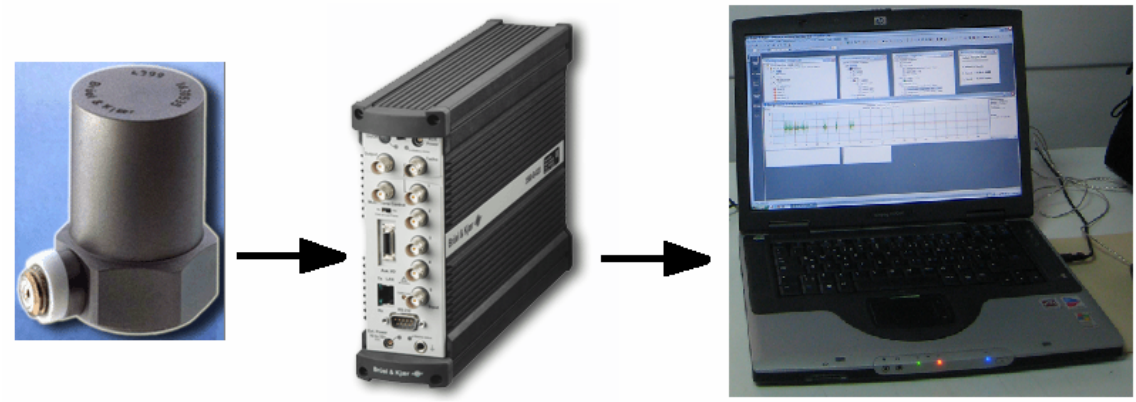
6.2.1 Ölçüm Ekipmanları

Süspansiyon koltuk deniz ve laboratuvar testlerinde titreşim ölçüm sistemi olarak Brüel&Kjaer'in ürünleri kullanılmıştır. Titreşim ölçüm ekipmanları üç ana başlık altında toplanmaktadır. Bunlar,

1. İvme sensörleri
2. Front end (bilgi işleme ünitesi)
3. Bilgisayar programı (Pulse)

Sistemin genel çalışma şekli şöyledir:

Mekanik titreşim oluşan yerin üzerine sabitlenen ivme sensörü topladığı dataları kablo aracılığıyla front end ünitesine iletir. Front end bilgileri bilgisayar programının anlayacağı dile çevirerek bilgisayara aktarır. Pulse bilgisayar programı gelen sinyalleri kaydeder ve analiz eder [15]. Titreşim ölçüm akış şeması Şekil 6.4'te gösterilmiştir.



Şekil 6.4: Titreşim ölçüm sistemi ana elemanları.

6.2.1.1 İvme Sensörleri

İvme sensörleri, bağlı oldukları zemindeki titreşimleri ölçmeye yarar. Süspansiyonlu koltuk titreşim ölçümlerinde sadece düşey yönlü titreşimlerle ilgilenildiği için testlerde tek yönlü ivme sensörleri kullanılmıştır (bkz. Şekil 6.5).



Şekil 6.5: Testlerde kullanılan ivme sensörü.

6.2.1.2 Front End (Bilgi İşleme Ünitesi)

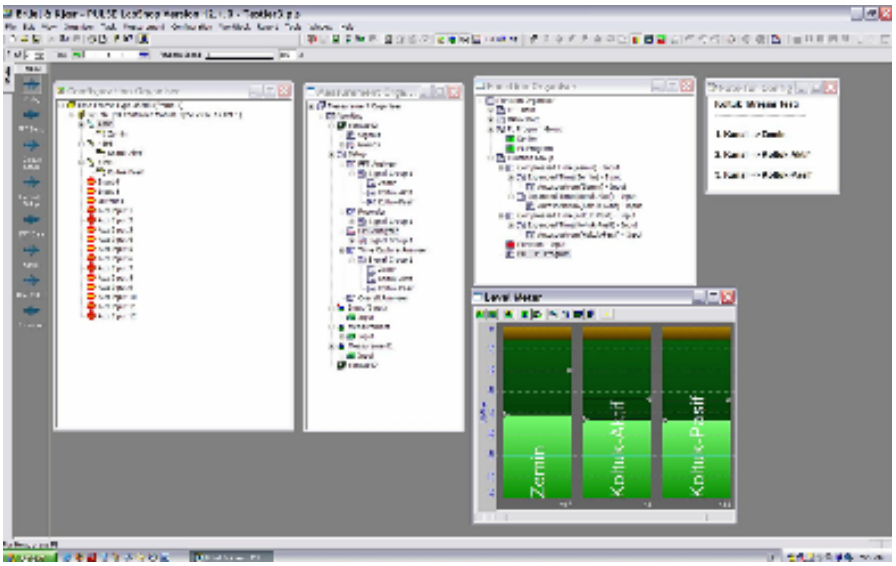
Front end, ivme sensörüyle bilgisayar programı arasında köprü görevini yapan ünitedir (bkz. Şekil 6.6). İvme sensöründen gelen sinyal, front end'de analiz edilir ve titreşim sinyaline çevrildikten sonra bilgisayara aktarılır.



Şekil 6.6: Front end (bilgi işleme ünitesi).

6.2.1.3 Bilgisayar Programı (Pulse)

Yapılan ölçümlerin kaydı Pulse adı verilen bir bilgisayar programında yapılmıştır. Pulse aynı zamanda FFT, oktav bant gibi birçok analizörü içinde bulundurmaktadır. Şekil 6.7' de Pulse'ın arayüzü görünmektedir.



Şekil 6.7: Pulse programı arayüzü.

6.3 Laboratuvar Testleri

Deniz testlerinde kaydedilen uyarı sinyalleri laboratuvar ortamında, üzerinde 75 kg ağırlığında yük olan süspansiyonlu koltuğa etkitilmiştir. Laboratuvar testlerinin amacı, koltuğun bilgisayarda kurulan matematik modeli ile gerçek koltuğun karşılaştırılması ve seçilen koltuk süngerinin yaylanma, sönümleme katsayıları gibi parametreleri hakkında bilgi sahibi olmaktır.

6.3.1 Hidropuls Laboratuvarı

Laboratuvar testleri, İ.T.Ü. Otomotiv Anabilimdalı binasında bulunan Hidropuls laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Hidropuls, merkezi kontrol ünitesine yüklenen titreşim, darbe, salınım vb. sinyalleri hidrolik silindirler vasıtasıyla birebir yaratan bir test düzeneğidir. Taşıt ömür testleri, süspansiyon konfor testleri Hidropuls'ta sıklıkla yapılan çalışmalardır. Şekil 6.8'de Hidropuls'un bir resmi gösterilmektedir.



Şekil 6.8: Hidropuls laboratuvarından bir resim.

6.3.2 Deney Düzeneği

Koltuk prototipi deniz testlerinde alınan kayıtlar kontrol edilerek deniz taşıtına etkiyen 60 saniyelik bir uyarı sinyali örneği elde edilmiştir. Bu sinyal, Hidropuls Laboratuvarı'ndaki üzerinde ortalama bir insanı temsil eden 75 kg ağırlığındaki kum torbaları bulunan süspansiyonlu koltuğa etkitilmiştir (bkz. Şekil 6.9). İlk deneylerden sonra koltuk üzerinde insan yerine kum torbaları kullanıldığında beklenen sonuçların alınmadığı anlaşılmış, laboratuvar testlerinde 75 kg ağırlığında bir kişi koltuğa oturtulmuştur. Uyarı sinyali etkisi altında koltuğun davranışını incelemek için yine deniz testlerinde olduğu gibi sistemin m_1 kütlesini simgeleyen orta bazaya ve m_2 kütlesini simgeleyen üst bazaya ivme sensörleri yerleştirilmiştir. Deniz sinyali ile laboratuvarda çalınan sinyalin aynı olduğunu kontrol etmek için koltuğun zemine bağlı olan alt baza parçasına da ivme sensörü yerleştirilmiştir. Şekil 6.10'da ivme sensörlerinin sisteme bağlı haldeki resimleri verilmiştir. Yine Şekil 6.11'de Hidropuls laboratuvarında test sırasında çekilmiş fotoğraflar gösterilmektedir.



Şekil 6.9: 75 kg ağırlığında insanı simule eden kum torbaları.



Şekil 6.10: İvme sensörlerinin yerleşimi.



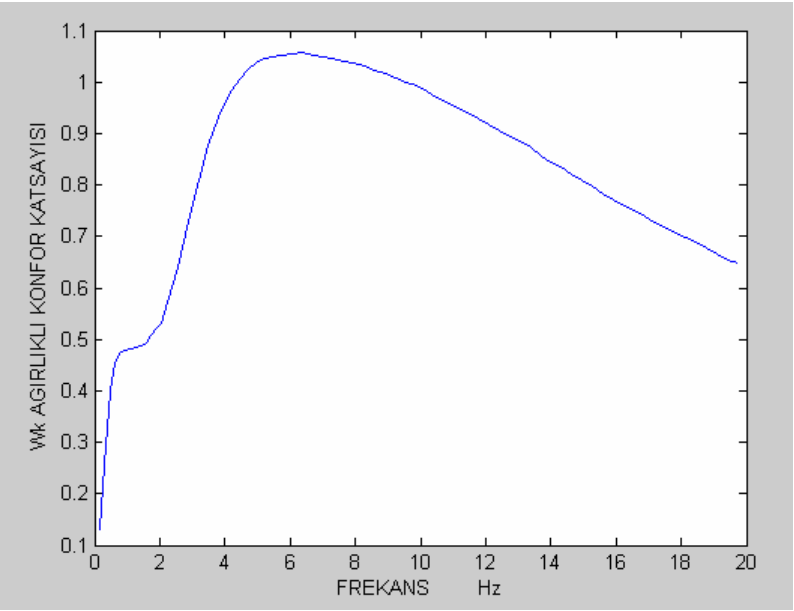
Şekil 6.11: Hidropuls laboratuvarı test fotoğrafları.

7. HESAPLAR, KARŞILAŞTIRMALAR VE SİSTEM OPTİMİZASYONU

Bu bölümde öncelikle süspansiyonlu koltuğun Matlab modeline, deniz testlerinde ölçülmüş olan uyarı sinyali eklenmiştir. Sonrasında farklı yay ve sönüm parametreleri için koltuğun Matlab modelinin titreşim çıktılarıyla laboratuvarda test edilen gerçek koltuğun titreşim çıktıları karşılatırılmıştır. En son olarak optimizasyon yapılmış, sistem için en uygun konfor değerlerini veren yay ve amortisör parametreleri hesaplanmıştır.

7.1 Ağırlıklı Konfor Katsayısının Belirlenmesi

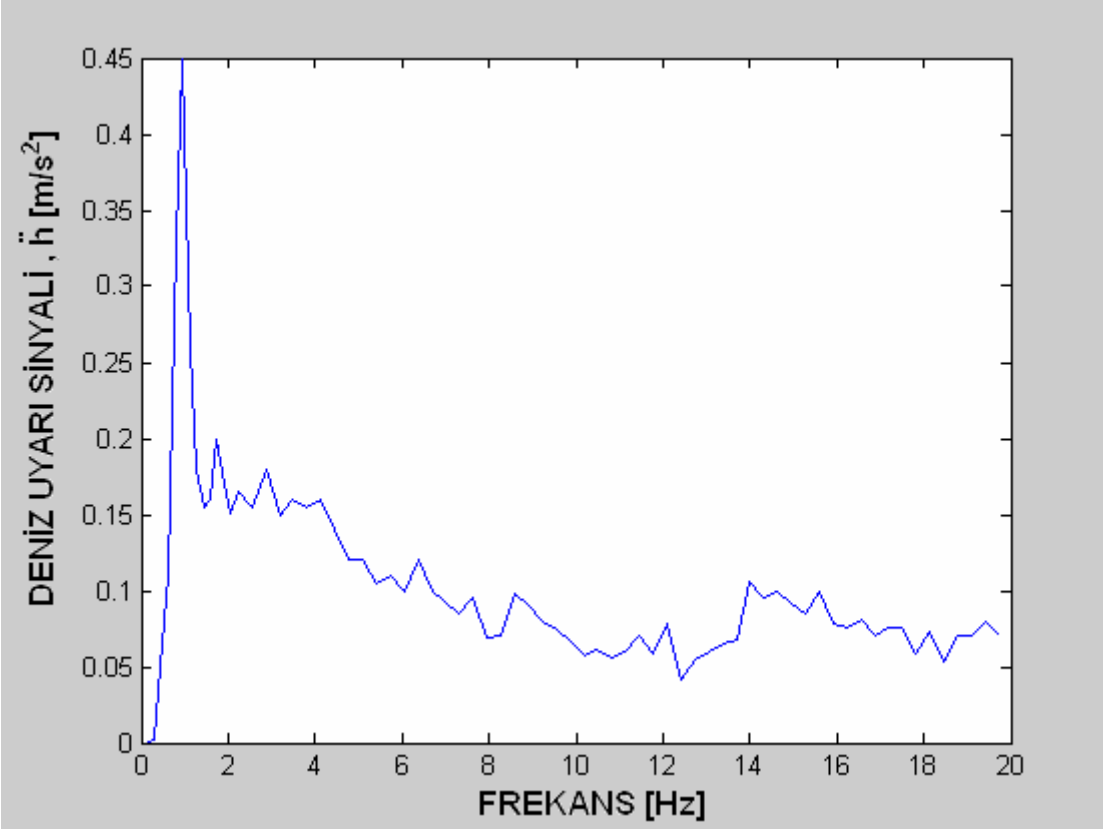
Önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere insan vücudu farklı frekanslarda farklı duyarlılıklar gösterir. Konfor bozukluğu, hatta sağlık sorununa sebep olan "motion sickness" denen deniz tutması olayı 0,5 Hz civarında olmaktadır. Bunun yanında insan vücudu 4 ile 8 Hz arasındaki titreşimlere çok fazla duyarlılık göstermektedir. Bütün bu şartlar göz önüne alındığında konfor hesabı yapılabilmesi için seyir esnasında koltukta oturan kişiye uygulanan mekanik titreşimlerin, ağırlıklandırılmış frekanslar katsayıları grafiğiyle çarpılması gerekir. Bu çarpım sonucunda ortaya çıkan grafiğin altında kalan alan konfor mertebesini gösterecektir. Şekil 7.1, ISO 2631-1 (1997)'de tanımlanmış olan ağırlıklandırılmış frekanslar katsayıları grafiğini göstermektedir.



Şekil 7.1 : W_k Ağırlıklandırılmış frekanslar katsayıları grafiği.

7.2 Laboratuvar Testleri ile Matlab Modeli Testlerinin Karşılaştırılması

Matlab modelindeki son bilinmeyen olan uyarı sinyali, deniz testleri sonucunda elde edilmiştir. Şekil 7.2'de ölçüm sonucu elde edilen uyarı sinyali, ivme - frekans grafiği olarak verilmiştir.



Şekil 7.2 : Ölçülen uyarı sinyalinin ivme – frekans şeklinde gösterimi.

Laboratuvar testlerinde kullanmak üzere yay katsayıları belirlenmiş beş farklı tip yay kullanıldı. Bunun yanında süspansiyonlu koltukta sönüm katsayısı üzerinden ayarlanabilir tipte bir amortisör kullanıldı. Matlab modeliyle kıyaslamak amacıyla kullanılan yayların sertlikleri ve amortisörlerin sönüm oranları Tablo 7.1'de gösterilmektedir.

Tablo 7.1: Test için seçilen yay ve amortisör katsayıları.

YAY NO	C SERTLİK KATSAYISI [N/m]	AMORTİSÖR AYAR NO	K SÖNÜM KATSAYISI [Ns/m]
1	20000	1	2200
2	25000	2	1000

Laboratuvar testlerindeki kullanılmış olan Tablo 7.1'de gösterilen yay ve sönüm değerleri Matlab programına aynen girilerek test edilmiştir. Testlerin sonucunda denklem (7.1)'de gösterildiği gibi koltuğun oturulan kısmındaki titreşim ivmeleri zemindeki titreşim ivmelerine bölünerek transfer fonksiyonlar bulunmuştur. Başka bir deyişle süspansiyonlu koltuğun titreşim aktarım grafikleri elde edilmiş ve kıyaslanmıştır. Ek olarak bulunan transfer fonksiyonlar denklem (7.2)'de gösterildiği gibi önce uyarı sinyaliyle çarpılmış, sonrasında denklem (7.3)'de gösterildiği gibi ağırlıklandırılmış konfor frekansı grafiğiyle çarpılarak sistemin konfor değerleri hesaplanmıştır.

"Oturma yüzeyi titreşim ivmeleri / Zemin titreşim ivmeleri" sistemin transfer fonksiyonunu, dolayısıyla titreşim aktarım miktarını verir.

$$\frac{\ddot{z}_2}{\ddot{h}} \qquad \textbf{(7.1)}$$

Transfer fonksiyonu ile zemin uyarı sinyali çarpılırsa, denklem (7.2)'deki koltuk tepesinde hissedilen sinyal elde edilir. Bu sinyalin ağırlıklandırılmış konfor frekansı grafiği ile çarpımı denklem (7.3)'te gösterilen konfor değerini verir. Elde edilen grafikten hesaplanan konfor değerleri ne kadar küçükse sistem o kadar konforludur.

$$\frac{\ddot{z}_2}{\ddot{h}} \cdot \ddot{h} = \ddot{z}_2 \qquad \textbf{(7.2)}$$

$\ddot{z}_2 \cdot W_k \Rightarrow$ Konfor değerlerini veren fonksiyon grafiği. **(7.3)**

I. Test :

Değişkenler :

K_1 : Amortisör sönümü = 2200 Ns/m

C_1 : Yay sertliği = 20000 N/m

K_2 : Koltuk süngeri sönümü = 8000 Ns/m

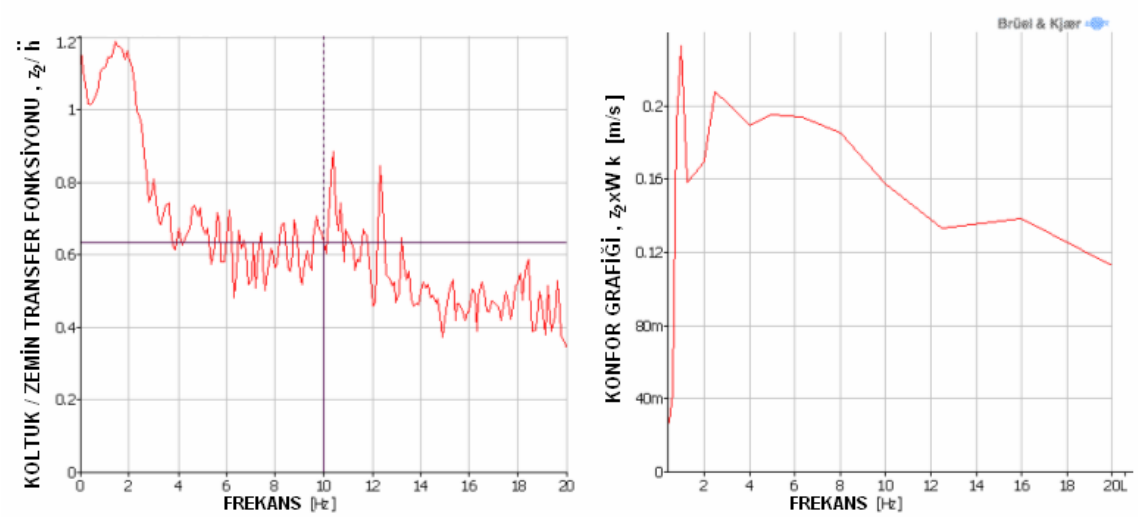
C_2 : Koltuk süngeri yay sertliği = 10000 N/m

Sabitler:

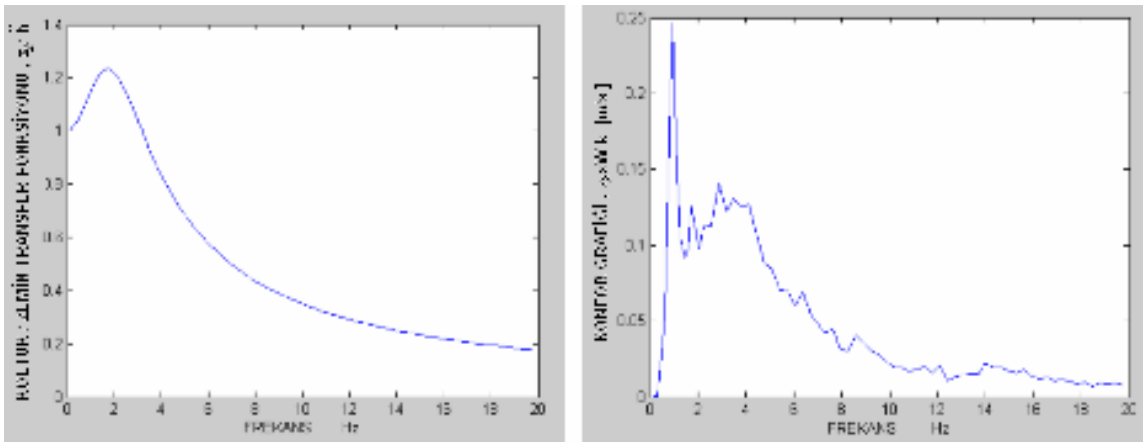
m_1 : 15 kg

m_2 : 75 kg

Şekil 7.3'te laboratuvar sonuçları görünmektedir. Şekil 7.4'te ise Matlab sonuçları görünmektedir.



Şekil 7.3: I. Test için laboratuvar testi çıktıları.



Şekil 7.4: I. Test için Matlab testi çıktıları.

II. Test :

Değişkenler :

K_1 : Amortisör sönümü = 1000 Ns/m

C_1 : Yay sertliği = 25000 N/m

K_2 : Koltuk süngeri sönümü = 8000 Ns/m

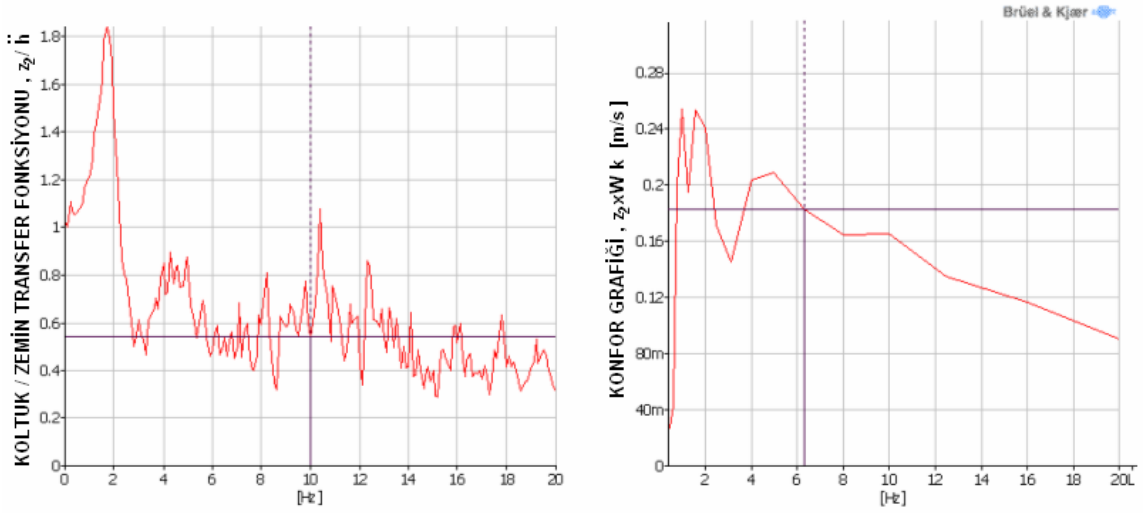
C_2 : Koltuk süngeri yay sertliği = 10000 N/m

Sabitler:

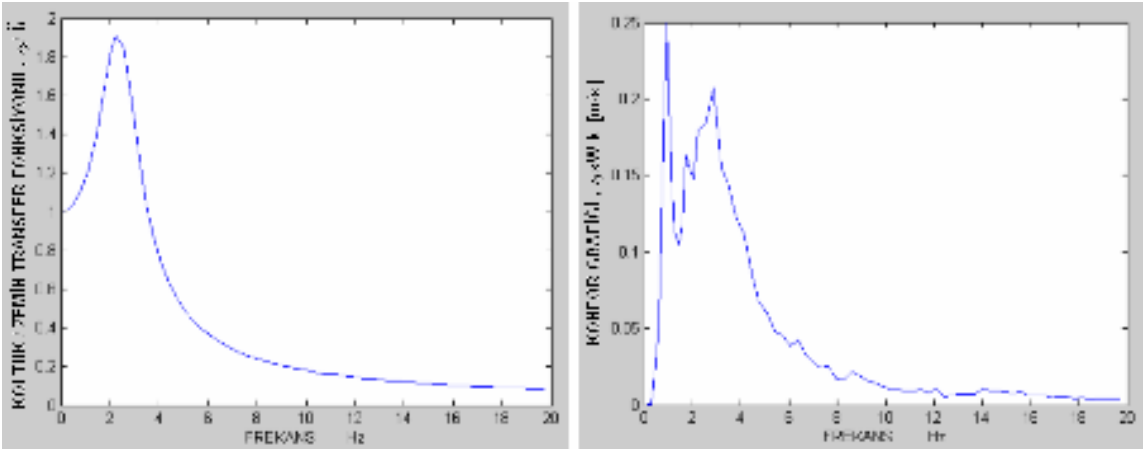
m_1 : 15 kg

m_2 : 75 kg

Şekil 7.5'te laboratuvar sonuçları görünmektedir. Şekil 7.6'da ise Matlab sonuçları görünmektedir.



Şekil 7.5: II. Test için laboratuvar çıktıları.



Şekil 7.6: II. Test için Matlab çıktıları.

Aynı parametreler kullanılarak yapılan Matlab modeli çözüm sonuçları ile laboratuvar testleri sonuçları birbirlerine oldukça yakın çıkmışlardır. Dolayısıyla bu etaptan sonra işlemler Matlab modeli üzerinden götürülmüş, sistemin konfor optimizasyonu yapılmıştır.

7.3 Sistemin Optimizasyonu

Optimizasyon kısmında ilk olarak, farklı yay, amortisör ve sünger parametrelerine göre sistemin,

1. Transfer fonksiyonu grafiği,
2. Konfor değerlerini veren grafiği çizdirilmiştir (bkz. Ekler).

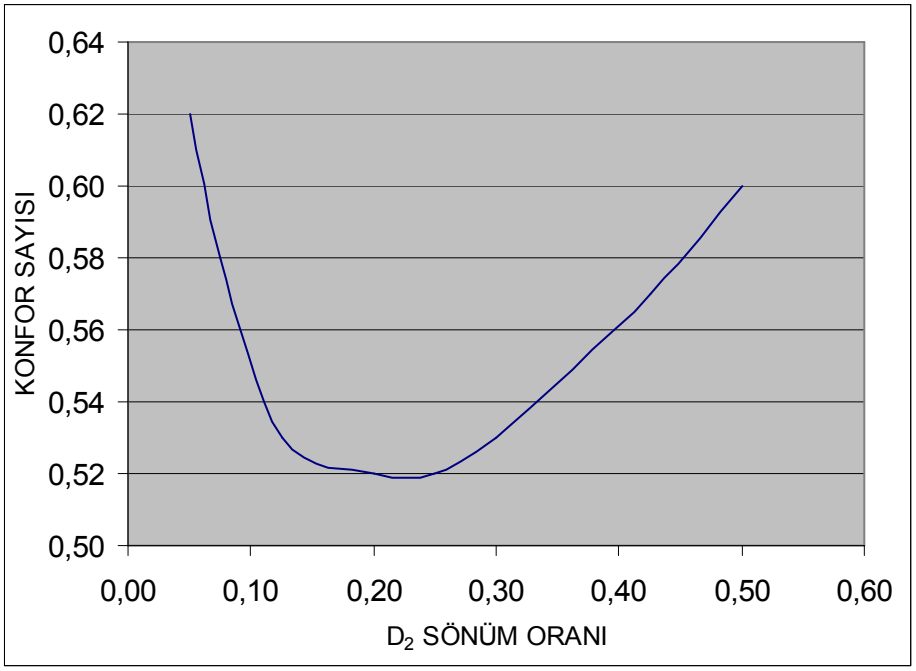
Denenmiş olan tüm düzeneklerin konfor değerleri, konfor değerlerini veren grafiklerin altındaki alan hesaplanarak bulunmuştur. Koltuk sünger değeri sabit tutularak farklı yay katsayıları ve sönüm oranları (denklem 5.15 ve 5.16) için konfor değerleri optimizasyon grafikleri çizdirilmiştir. Şekil 7.7 - 7.11'de denenmiş olan yayların farklı sönüm oranları için hesaplanmış olan konfor değerleri görülmektedir. Şekil 7.12'de ise farklı yayların sağladığı konfor sayıları tek bir grafikte toplanmıştır. Bu hesaplar sonucunda elde edilen en iyi konforu veren yay-sönüm katsayıları sabit tutularak sünger parametreleri değiştirilmiştir. Şekil 7.13 - 7.17'de hem süngerin hem de yay-amortisör grubunun içinde olduğu tüm sistem optimizasyonu görülmektedir. Yine Şekil 7.18'de denenmiş olan tüm sistemlerin sağladığı konfor sayıları tek bir grafikte toplanmıştır.

7.2 bölümünde bahsedilmiş olduğu gibi hesaplanan konfor sayıları ne kadar küçükse sistem o kadar konforludur. Fakat en konforlu yay-sönüm parametreleri seçilirken mutlaka sistemin transfer fonksiyonunun ve koltuğun titreşim altındaki yer değiştirme miktarının kontrol edilmesi gerekir. Aşırı yumuşak seçilen yay-amortisörlü sistemlerinde koltuğun yer değiştirme miktarı çok fazla olacağından sürüş güvenliğini etkilemektedir.

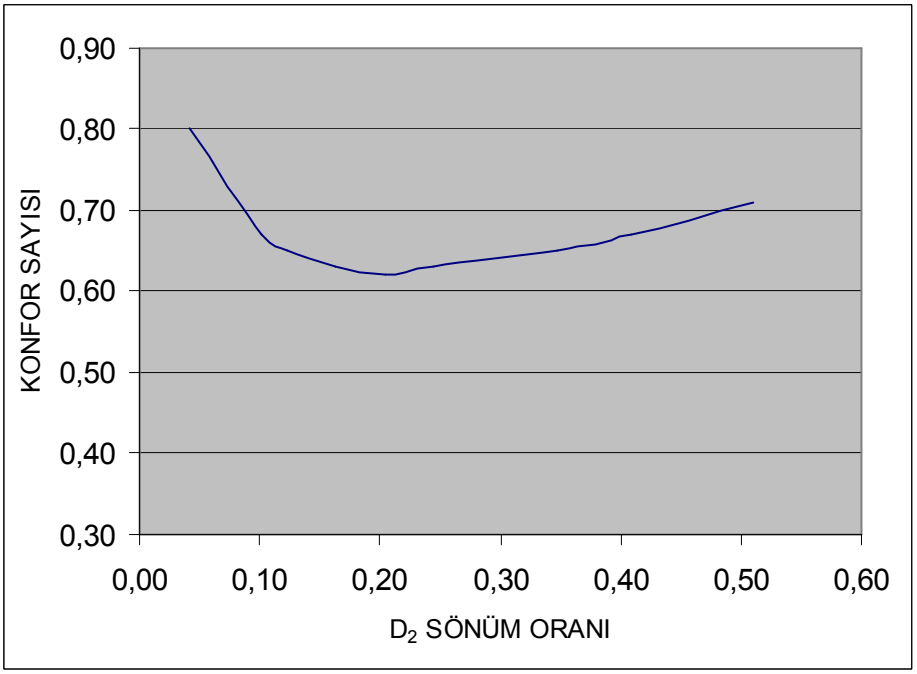
Optimum süspansiyon düzeni seçilirken,

1.Sistemin konfor sayısının mümkün olduğunca düşük,

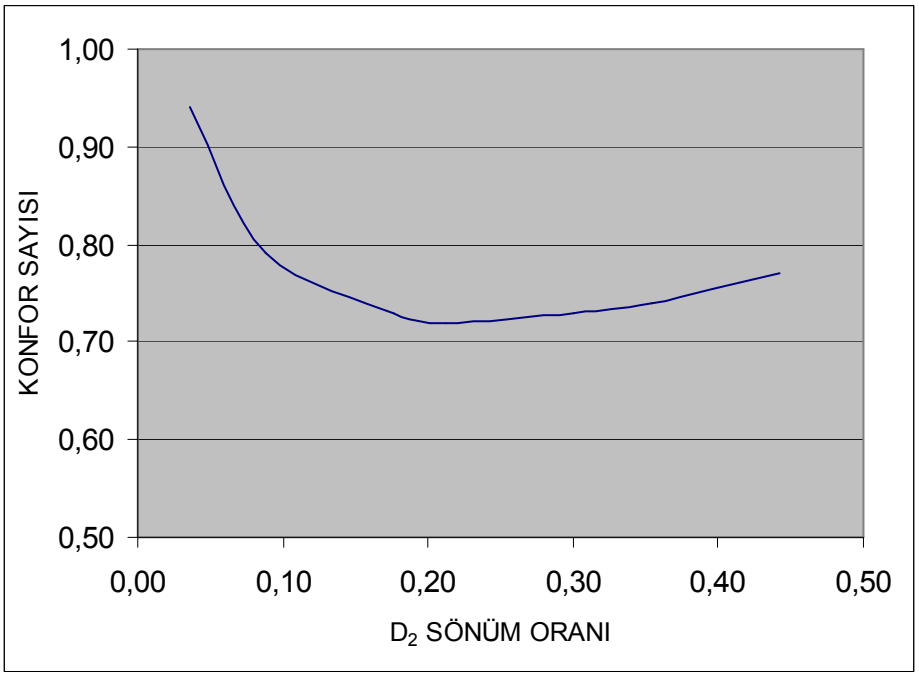
2.Sistemin transfer fonksiyonunda görülen düşük frekanslardaki yer değiştirme miktarı arttırma oranının mümkün oldukça düşük olmasına dikkat edilir.



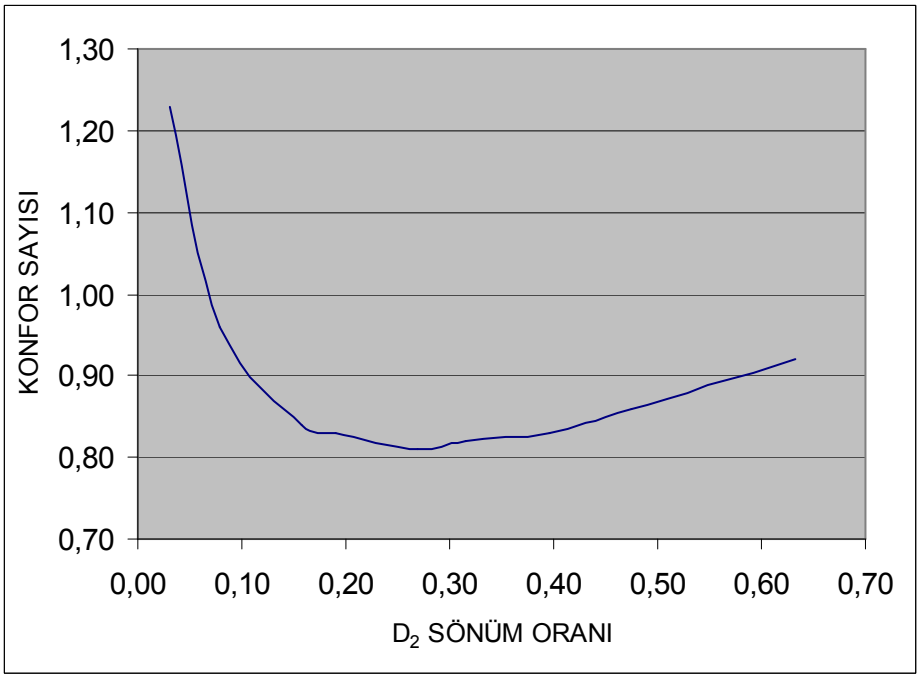
Şekil 7.7: C_2 = 10000 N/m yay için konfor optimizasyon eğrisi.



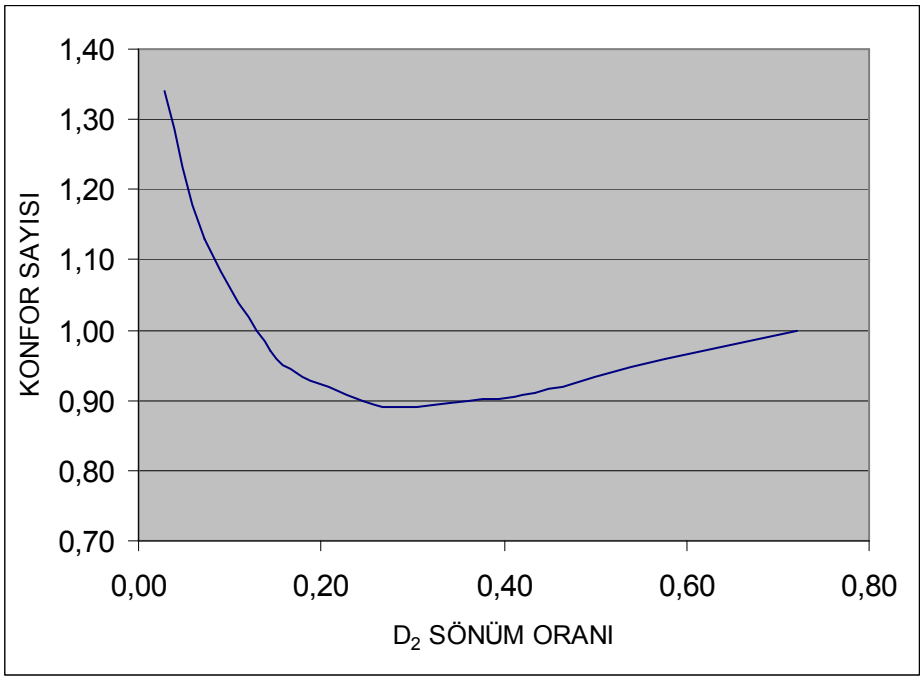
Şekil 7.8: C_2 = 15000 N/m yay için konfor optimizasyon eğrisi.



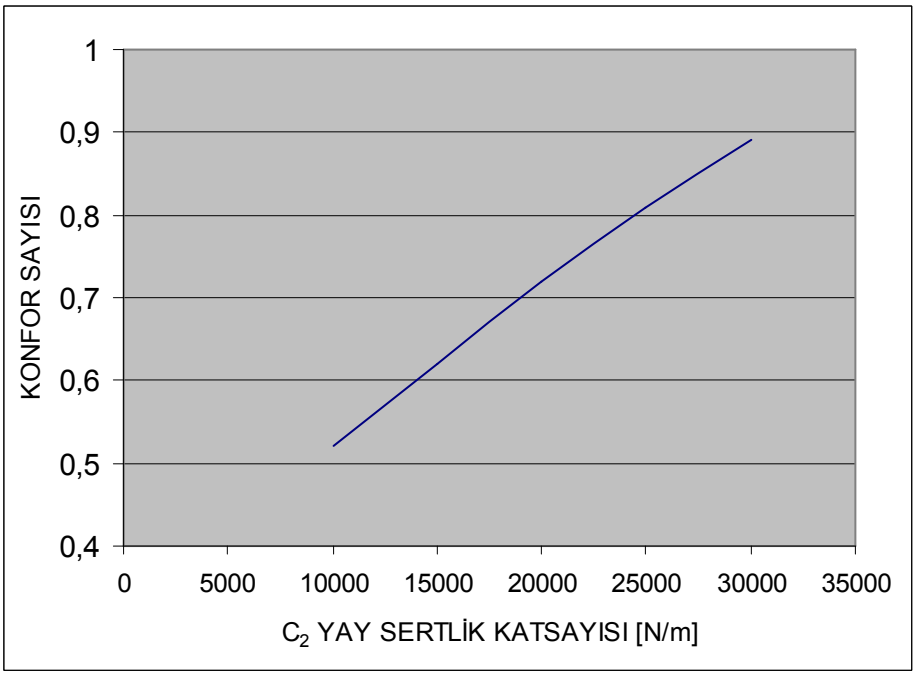
Şekil 7.9: C_2 = 20000 N/m yay için konfor optimizasyon eğrisi.



Şekil 7.10: C_2 = 25000 N/m yay için konfor optimizasyon eğrisi.



Şekil 7.11: C_2 = 30000 N/m yay için konfor optimizasyon eğrisi.



Şekil 7.12: C_2 = 15000 - 30000 N/m yayları için konfor optimizasyon eğrisi.

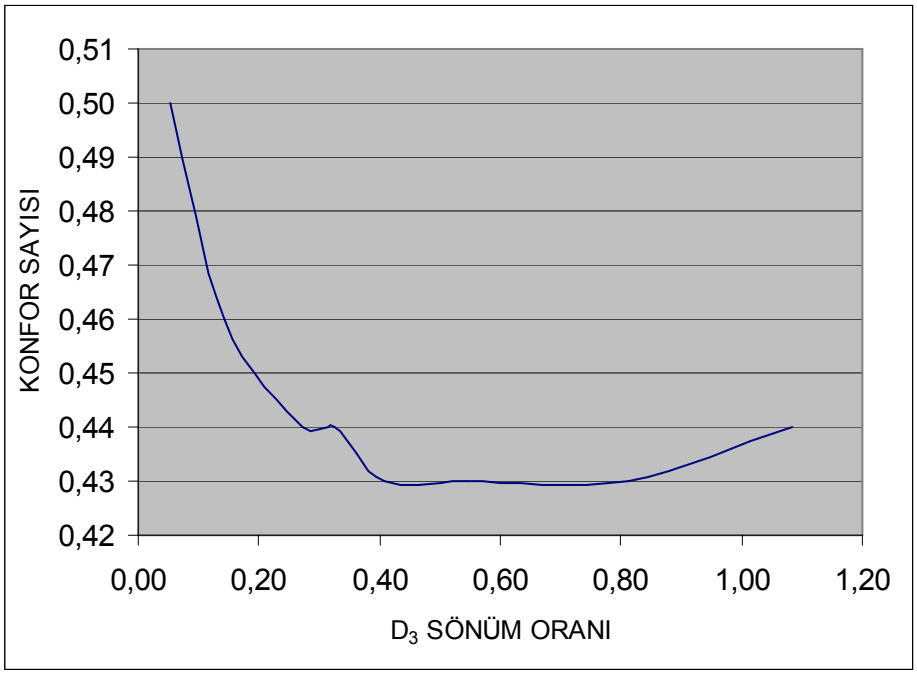
Şekil 7.7 - 7.11'de görüldüğü üzere tüm yaylar için D2 sönüm oranı 0,2 – 0,25 civarında konfor en iyi seviyededir. Tablo 7.2'de bütün yayların en iyi konfor sayıları verilmiştir.

Tablo 7.2: Yayların en iyi konfor sayıları.

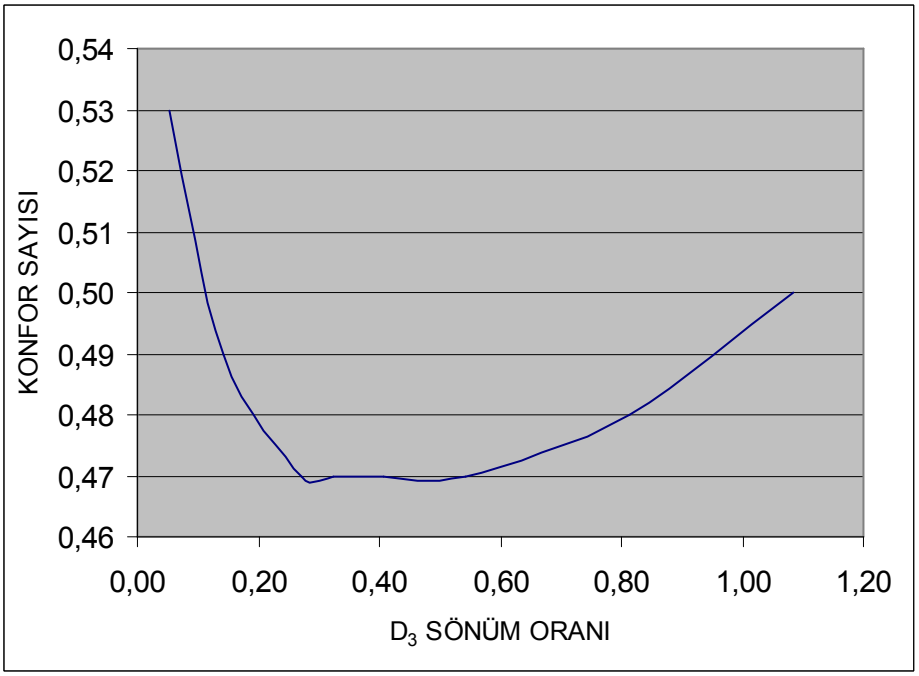
C_2 YAY SERTLİK KATSAYISI [N/m]	EN İYİ KONFORU VEREN AMORTİSÖR SÖNÜM KATSAYISI [Ns/m]	EN İYİ KONFORU VEREN AMORTİSÖR SÖNÜM ORANI [D_2]	EN İYİ KONFOR DEĞERİ
10000	400	0,20	0,52
15000	500	0,20	0,62
20000	600	0,21	0,72
25000	850	0,27	0,81
30000	1000	0,29	0,89

Tablo 7.2'ye ilk bakışta en iyi konforu veren yayın ilk sıradaki 10000 N/m sertlikteki olduğu söylenebilir. Fakat daha önce de bahsedildiği gibi kontuğun yer değiştirme miktarını kontrol altında tutmak için denenmiş olan yay-amortisör düzenlerinin transfer fonksiyonlarının da kontrol edilmesi gerekir.

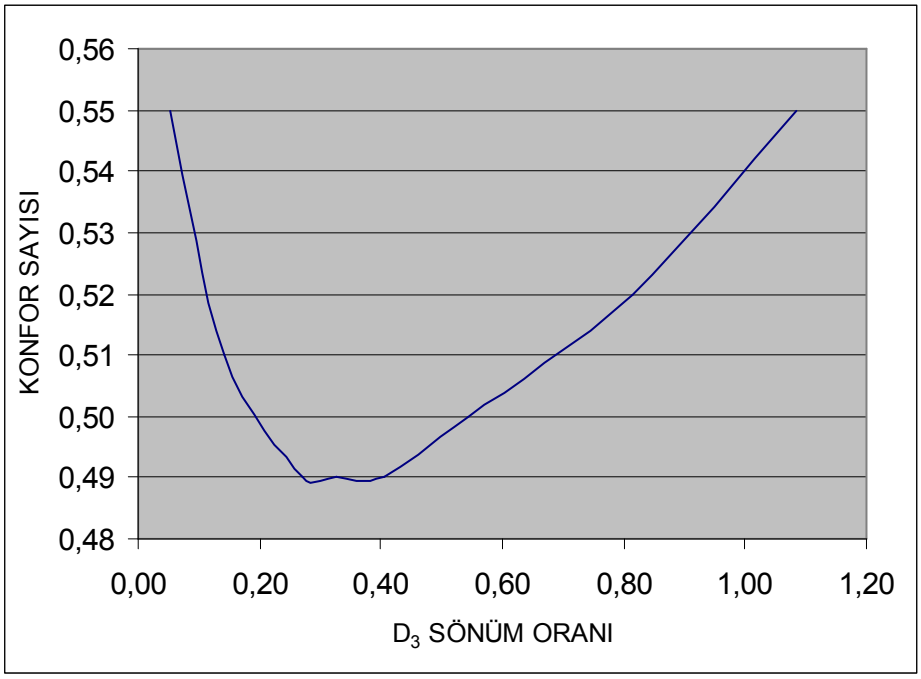
Bu adımdan sonra yay ve amortisörle beraber koltuk süngerinin de konfor optimizasyon eğrileri tüm yay-amortisör düzenlerine göre çıkartılacaktır. Koltuk süngerleri için çok fazla C_3 yay katsayısı seçeneği olmadığından dolayı genelde taşıt koltuklarında kullanılan C_3 = 10000 N/m sertliğindeki sünger için konfor optimizasyonları yapılmıştır.



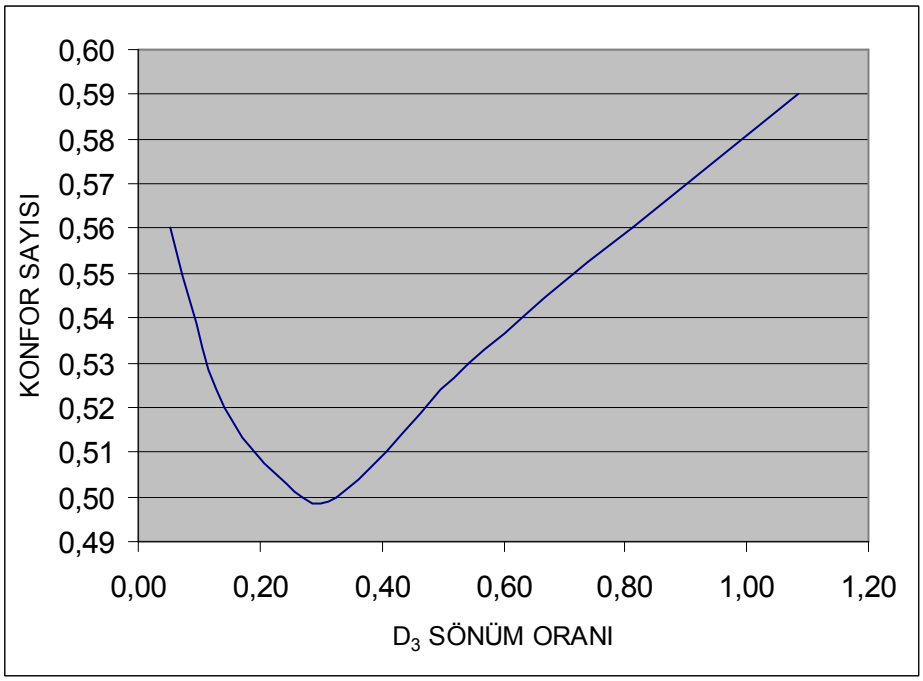
Şekil 7.13: C_2 = 10000 N/m yay + C_3 = 1000 N/m sünger için konfor optimizasyonu.



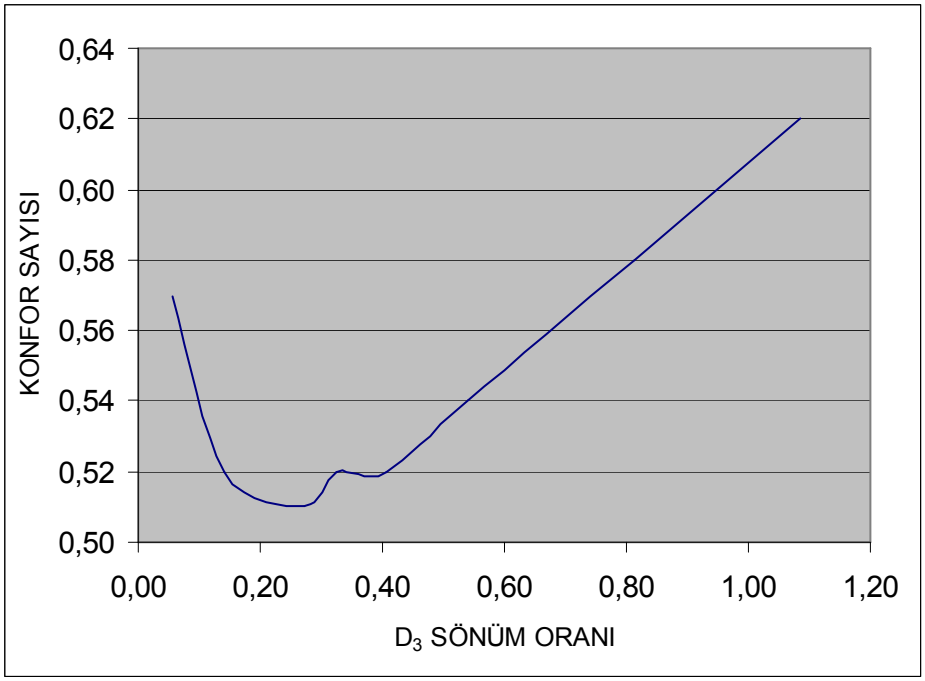
Şekil 7.14: C_2 = 15000 N/m yay + C_3 = 1000 N/m sünger için konfor optimizasyonu.



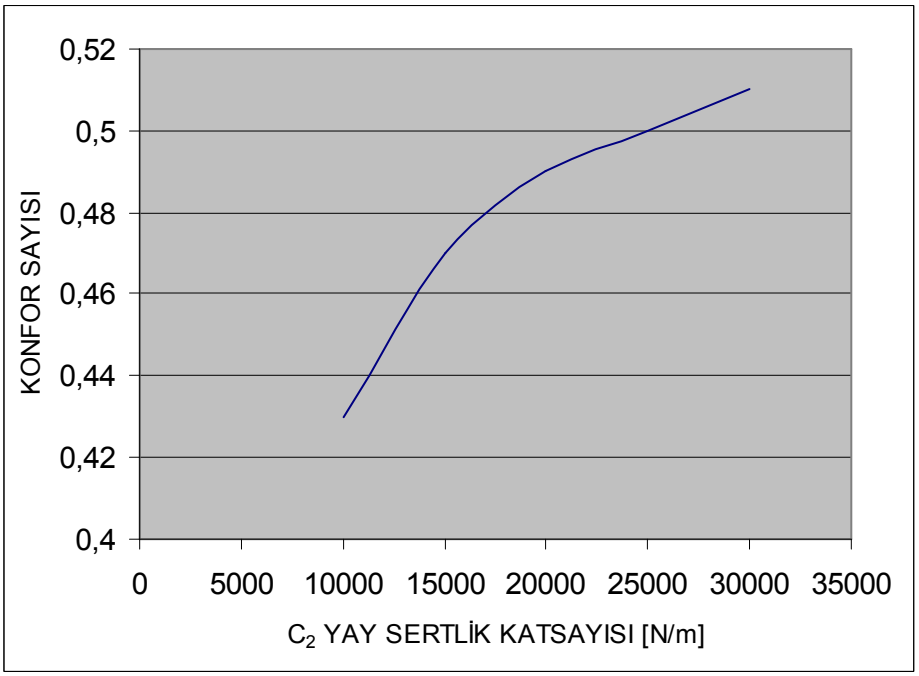
Şekil 7.15: C_2 = 20000 N/m yay + C_3 = 1000 N/m sünger için konfor optimizasyonu.



Şekil 7.16: C_2 = 25000 N/m yay + C_3 = 1000 N/m sünger için konfor optimizasyonu.



Şekil 7.17: C_2 = 30000 N/m yay + C_3 = 1000 N/m sünger için konfor optimizasyonu.



Şekil 7.18: C_2 = 15000 - 30000 N/m yayları + C_3 = 1000 N/m sünger için konfor optimizasyon eğrisi.

Tablo 7.3: Yay ve sünger, bütün sistemin en iyi konfor sayıları.

C_3 YAY SERTLİK KATSAYISI [N/m]	C_3 SÜNGER SERTLİK KATSAYISI [N/m]	EN İYİ KONFORU VEREN SÜNGER SÖNÜM KATSAYISI [Ns/m]	EN İYİ KONFORU VEREN SÜNGER SÖNÜM ORANI [D_3]	EN İYİ KONFOR DEĞERİ
10000	10000	750	0,40	0,43
15000	10000	600	0,30	0,47
20000	10000	600	0,30	0,49
25000	10000	500	0,27	0,50
30000	10000	500	0,27	0,51

Elde edilen sonuçlara göre elde edilen optimum süspansiyon sistemi düzeneği parametreleri:

C_2 Yay Sertlik Katsayısı : 20000 N/m
K_2 Amortisör Sönüm Katsayısı : 600 Ns/m
D_2 Amortisör Sönüm Oranı : 0,21
C_3 Sünger Sertlik Katsayısı : 1000 N/m
K_3 Sünger Sönüm Katsayısı : 600 Ns/m
D_3 Sünger Sönüm Oranı : 0,30

Tablo 7.3'te görülen C_2 = 10000 N/m ve C_2 = 15000 N/m yaylarının konfor sayıları daha düşük olmasına göre optimum olarak C_2 = 20000 N/m yay ve amortisör sistemi seçilmiştir. Bunun sebebi C_2 = 10000 N/m ve 15000 N/m sistemlerinin transfer fonksiyonlarının düşük frekanslarındaki titreşim aktarma oranlarının yüksek olmasıdır. Aynı zamanda bu iki yay kullanıldığında sistemin doğal frekansı 1 Hz'in altına inmektedir (bkz. Ekler). Bu durum, 0,5 – 1 Hz civarında etkisini fazlasıyla gösteren deniz tutmasına sebebiyet vermektedir. Dolayısıyla doğal frekansı 1 Hz'in üzerinde olması sayesinde deniz tutmasına sebebiyet vermeyen, transfer fonksiyonunda düşük frekanslarda nispeten düşük titreşim aktarım oranına sahip olan ve konfor sayısı 0,49 gibi uygun bir değerde olan sistem, yüksek hızlı deniz taşıtı için en uygun süspansiyon mekanizması olarak belirlenmiştir.

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında deneysel yöntemler (Hidropuls laboratuvarı deneyleri), bilgisayar destekli dinamik sistem modeli (Matlab) ve bilgisayar destekli üç boyutlu katı modelleme programı (Catia) kullanılarak yüksek hızlı bir deniz taşıtı için süspansiyonlu bir koltuk tasarımı ve üretimi yapılmıştır.

Bir deniz taşıtı için süspansiyonlu koltuk geliştirilirken pratikte karşılaşılan en önemli problem, taşıta seyir sırasında denizden etkiyecek olan uyarı sinyalinin fonksiyonunun ampirik yöntemlerle elde edilememesidir. Bir kara taşıtına etkiyecek olan yol sinyalinin oluşturulması için yol tipine karşılık gelen uyarı sinyali yük spektrumu literatürden bulunabilmektedir. Fakat deniz taşıtları için literatürde bu tarz bir bilgi mevcut değildir. Öte yandan bu tezde yer alan MRTP16 botları, 16 metre uzunlukları, elyaf takviyeli gövdeye sahip olmaları ve 70 knot gibi yüksek seyir hızlarına çıkabilme özellikleriyle dünyada bir benzeri daha olmayan savunma sanayii amaçlı deniz taşıtlarıdır. Bu sebeplerden dolayı koltuk süspansiyon parametrelerini doğru seçebilmek için öncelikle deniz taşıtında ölçümler kaydedilmiş ve taşıta etkiyen uyarı sinyali fonksiyonu elde edilmiştir.

Testlerle paralel olarak süspansiyonlu koltuk mekanik sisteminin tasarımı Catia V5 R17 programında yapılmıştır. Karmaşıklıktan mümkün olduğunca uzak, 4 kollu ve yere dik çalışan yay-amortisör grubundan oluşan bir koltuk süspansiyon mekanizması tasarlanmış, hafiflik ve üretim kolaylığı amacıyla koltuğun bazı parçaları elyaf takviyeli kompozit malzemelerden üretilmiştir.

Koltuk matematik modeli çıkartılmış, Matlab'de sistemin dinamik modeli kurulmuştur. Üretilen prototip koltuk Hidropuls laboratuvarında test edilmiş ve test sonuçlarının Matlab modeli test sonuçlarıyla paralel çıktığı gözlenmiştir. Bunun sonucunda Matlab modelinin doğruluğu kanıtlanmıştır.

Tezin son aşamasında MRTP16 botu için konfor optimizasyonu yapılmıştır. Önceden öngörülen birbirinden farklı yay, amortisör ve sünger parametrelerinin konfor optimizasyon eğrileri çizdirilmiştir. Fakat optimum değerlerin seçimi yapılırken sadece konfor değerlerine bakılmamıştır. Düşük frekanslarda titreşim aktarımının yüksek olması çalışma sırasında koltuğun fazla yer değiştirmesine sebep olacağından; bunun yanında sistemin doğal frekansının düşük olması deniz tutmasına sebebiyet vereceğinden bu çıktılar da değerlendirilmiştir. Bütün bu değerlendirmeler sonucunda en uygun yay, amortisör ve sünger süspansiyon parametreleri belirlenmiştir.

Belirlenmiş olan süspansiyon parametrelerine sahip süspansiyonlu koltuklar Yonca Onuk Tersanesi MRTP16 botlarında seri üretim halinde kullanılmaya başlamıştır ve bot personeli süspansiyonlu koltukların konforundan memnun olduklarını belirtmişlerdir. Şekil 8.1'de dümenevine süspansiyonlu koltuk yerleştirilmiş bir MRTP16 botu gösterilmektedir.

Bu çalışma, sürüş dinamiğinden ziyade insan konforuna ihtiyaç duyulan bir deniz, kara ve hava taşıtında kullanılmak üzere tasarlanacak süspansiyonlu koltuk sisteminin tasarım ve üretim aşamalarına ışık tutmaktadır. Elektronik kontrollü sistemlerin gelişmesi ve kullanıcı isteklerinin artması sonucunda gelecekte aktif süspansiyona sahip taşıt koltukları üretilebilir.



Şekil 8.1: MRTP16 botu dümenevine yerleştirilmiş süspansiyonlu koltuk.

KAYNAKLAR

[1] **Güney, İ. A.,** 1995. Taşıtlarda Titreşim ve Gürültü, İ.T.Ü. Makina Fakültesi Matbaası, İstanbul.

[2] **Mansfield, N.,** 2004. Human Response to Vibration, CRC Press, USA

[3] **ISO 2631-1,** 1997. Mechanical Vibration and Shock – Evaluation of Human Exposure to whole-body vibration, *International Organization for Standardization*

[4] **Griffin, M. J..,** 2004. Handbook of Human Vibration, Elsevier Academic Press, UK

[5] **Köylü H., Ertunç H. M.,** 2002. Aktif Süspansiyonlu Çeyrek Taşıt Modelinin İvme Geribeslemeli Kontrolü, Kocaeli Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü teknik raporu, Kocaeli.

[6] **Karaçay T., Eroğlu M., Aktürk N.,** 2003. Gerçek Yol Girdisine Maruz İki Serbestlik Dereceli Çeyrek Taşıt Modelinin Sürüş Karakteristiğinin İncelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Degisi,* **18**, 4-13.

[7] **Verver, M. M., Hoof J. v.,** 2002. Determination of Human-Seat-Interation in Vertical Vibrations in Madymo, *SAE International Truck % Bus Meeting & Exhibition, Kasım 18-20, Detroit, MI, USA*

[8] **Ahmadian, M., Seigler, T. M.,** 2002. Alternative Test Methods for Long Term Dynamic Effects of Vehicle Seats, *SAE International Truck % Bus Meeting & Exhibition, Kasım 18-20, Detroit, MI, USA*

[9] **Pasin F.,** 2000. Mekanik Titreşimler, Birsen Yayınevi, İstanbul

[10] **Aba, E.,** 1994. Bir Yolcu Vagonunun Dinamik Tasarımı ve Titreşim Konforunun Analizi Üzerine Bir Yaklaşım, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[11] **Milliken, W. F., Milliken D. L.,** 1995. Race Car Vehicle Dynamics, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, USA

[12] **Wright P.,** 2001. Formula 1 Technology, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, USA

[13] **Human Vibration,** 2004. *Brüel & Kjaer Company Lecture Notes*

[14] **Rasmussen, G.,** 2000. Human Body Vibration Exposure and it's Measurement, ESR Acoustics international report, Atina, Yunanistan.

[15] http://www.proplan.com.tr/

[16] http://www.yonca-onuk.com/

[17] http://en.wikipedia.org/

[18] **Çelik, H.,** 2008. Kişisel görüşme

EKLER

1. Süspansiyon Opsiyonu

C_2 Yay Sertlik Katsayısı : 10000 N/m

K_2 Amortisör Sönüm Katsayısı : 400 Ns/m

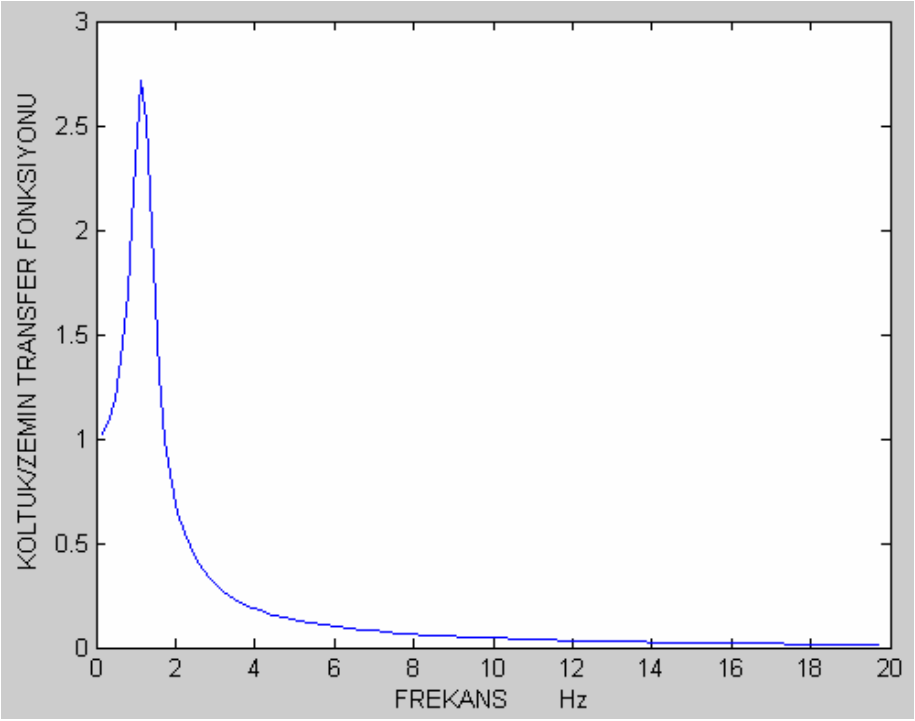
D_2 Amortisör Sönüm Oranı : 0,20

C_3 Sünger Sertlik Katsayısı : 1000 N/m

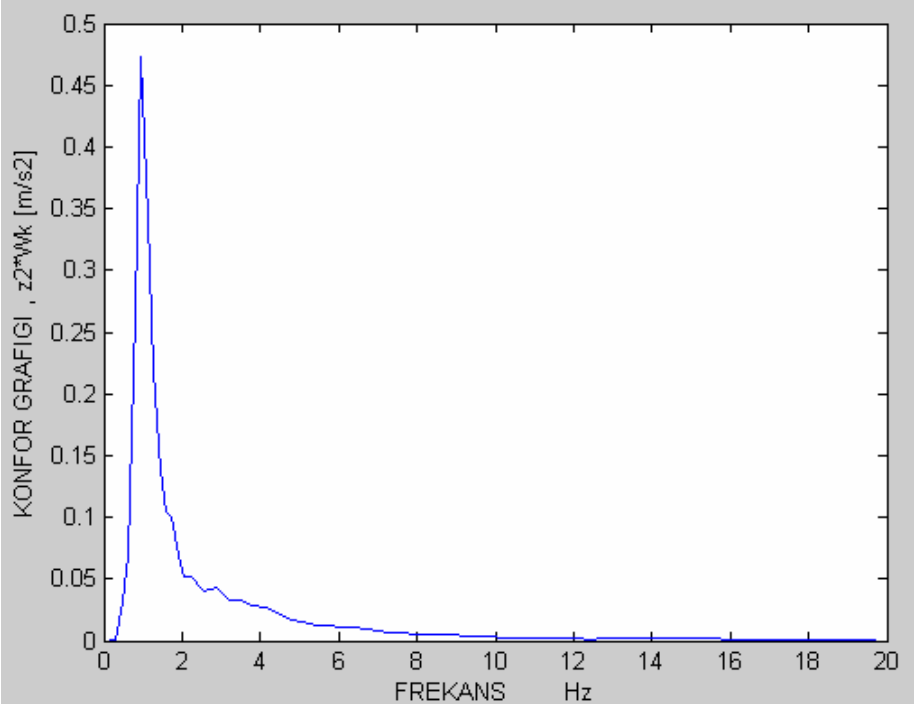
K_3 Sünger Sönüm Katsayısı : 750 Ns/m

D_3 Sünger Sönüm Oranı : 0,40

Yukarıda parametreleri verilmiş olan süspansiyon sisteminin koltuk/zemin transfer fonksiyonu grafiği (titreşim aktarım miktarı) ve koltuk konfor grafiği sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1: 1. Süspansiyon opsiyonunun transfer fonksiyonu grafiği.

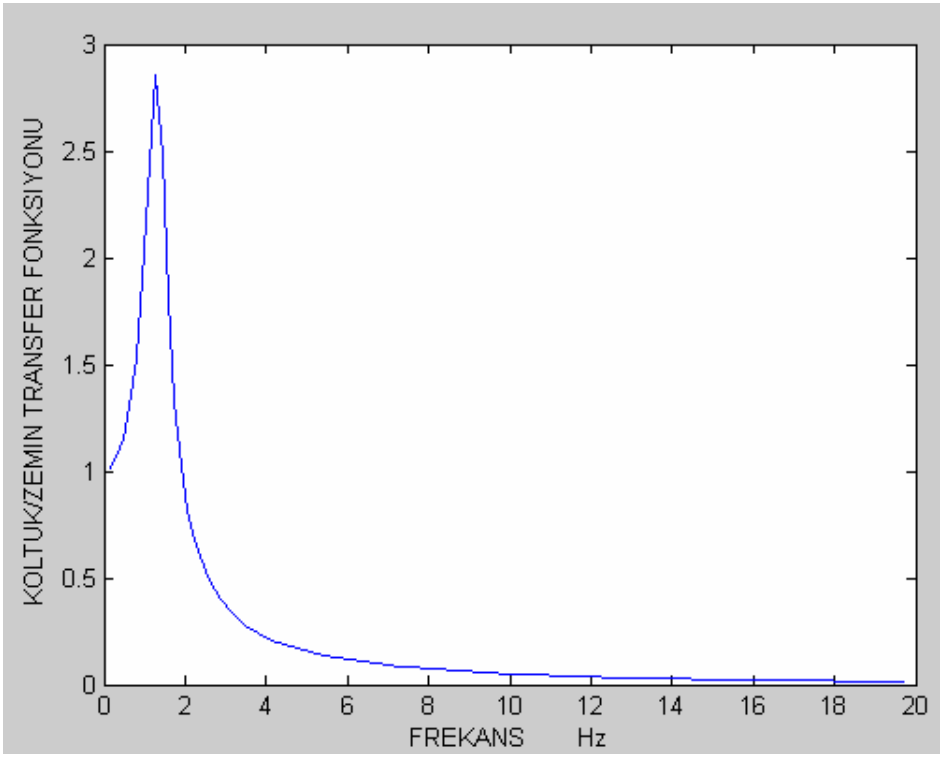


Şekil 2: 1. Süspansiyon opsiyonunun konfor grafiği.

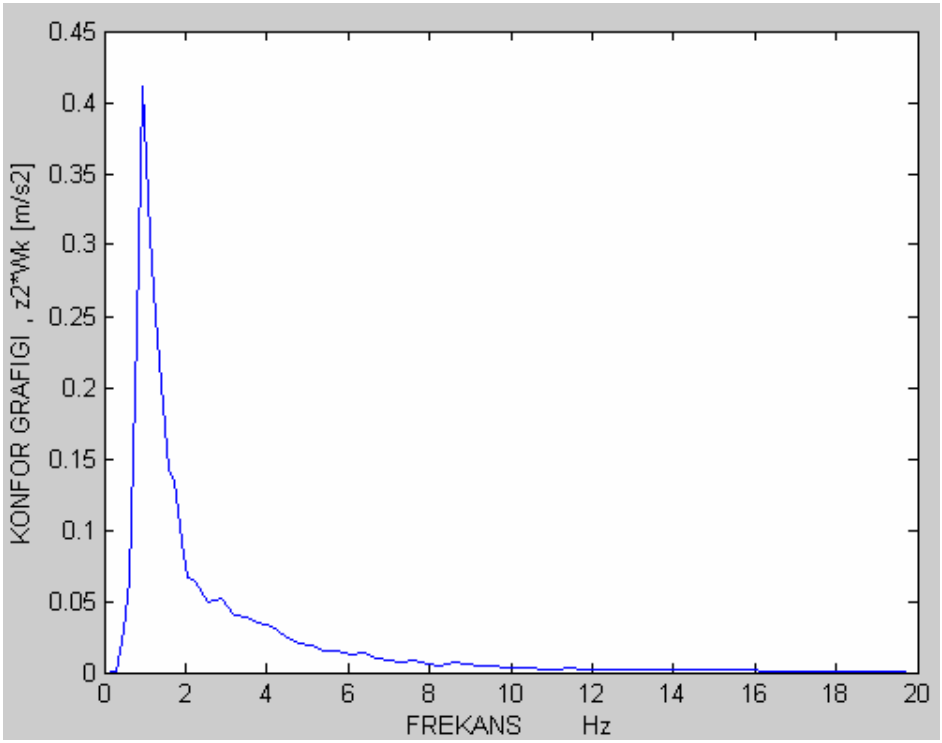
2. Süspansiyon Opsiyonu

C_2 Yay Sertlik Katsayısı	: 15000 N/m
K_2 Amortisör Sönüm Katsayısı	: 500 Ns/m
D_2 Amortisör Sönüm Oranı	: 0,20
C_3 Sünger Sertlik Katsayısı	: 1000 N/m
K_3 Sünger Sönüm Katsayısı	: 600 Ns/m
D_3 Sünger Sönüm Oranı	: 0,30

Yukarıda parametreleri verilmiş olan süspansiyon sisteminin koltuk/zemin transfer fonksiyonu grafiği (titreşim aktarım miktarı) ve koltuk konfor grafiği sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3: 2. Süspansiyon opsiyonunun transfer fonksiyonu grafiği.



Şekil 4: 2. Süspansiyon opsiyonunun konfor grafiği.

3. Süspansiyon Opsiyonu

C_2 Yay Sertlik Katsayısı : 20000 N/m

K_2 Amortisör Sönüm Katsayısı : 600 Ns/m

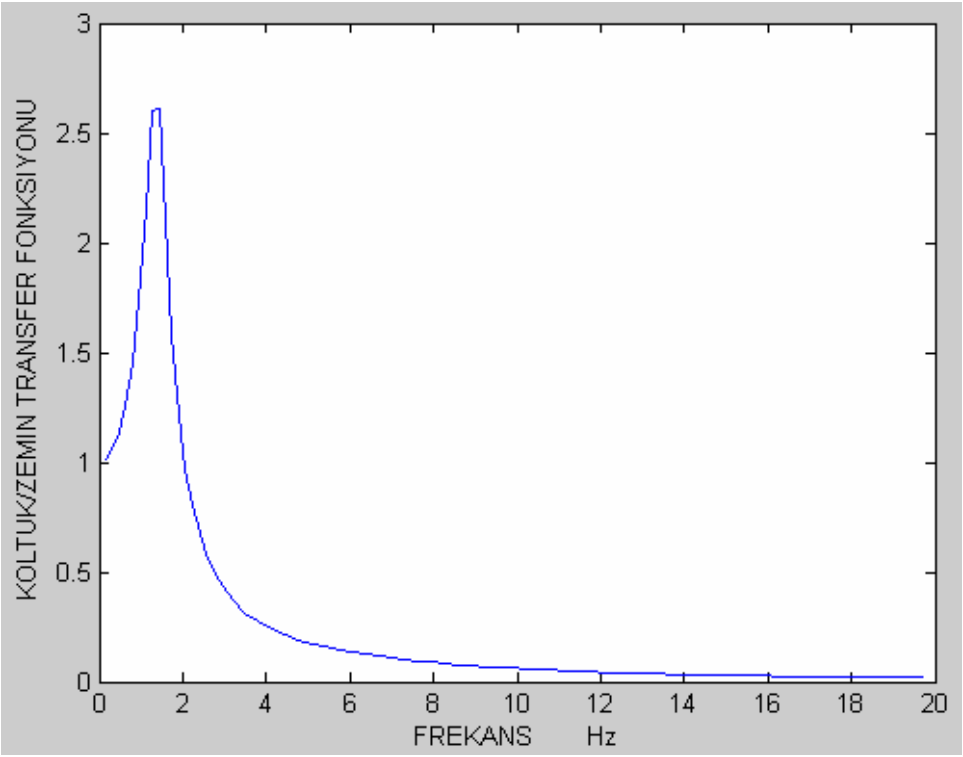
D_2 Amortisör Sönüm Oranı : 0,21

C_3 Sünger Sertlik Katsayısı : 1000 N/m

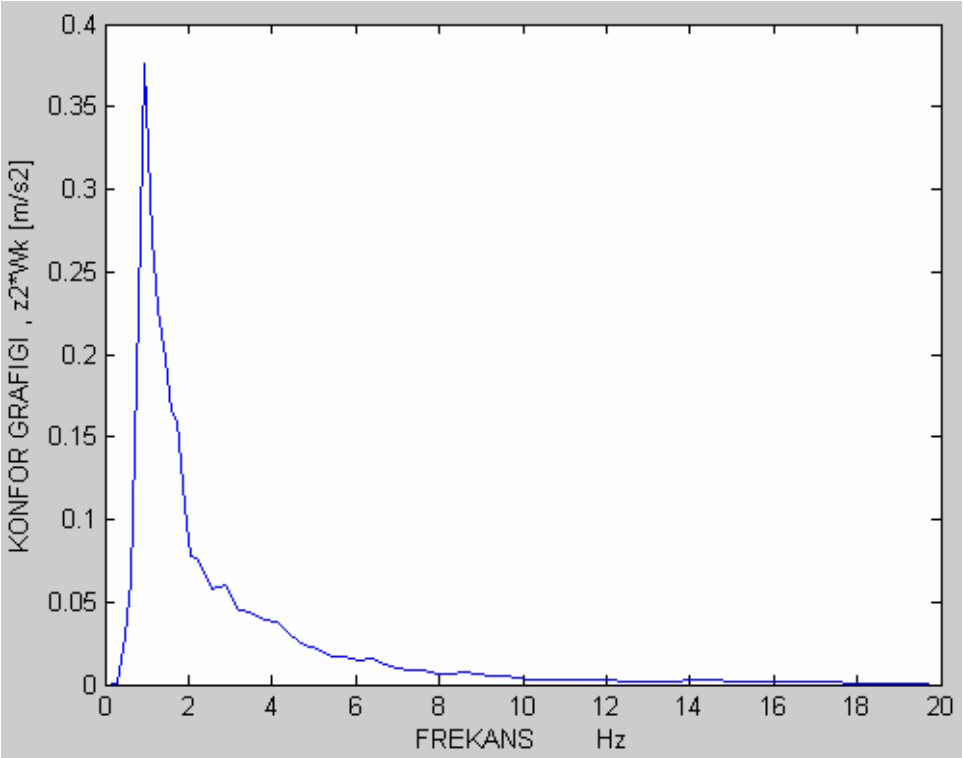
K_3 Sünger Sönüm Katsayısı : 600 Ns/m

D_3 Sünger Sönüm Oranı : 0,30

Yukarıda parametreleri verilmiş olan süspansiyon sisteminin koltuk/zemin transfer fonksiyonu grafiği (titreşim aktarım miktarı) ve koltuk konfor grafiği sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5: 3. Süspansiyon opsiyonunun transfer fonksiyonu grafiği.



Şekil 6: 3. Süspansiyon opsiyonunun konfor grafiği.

4. Süspansiyon Opsiyonu

C_2 Yay Sertlik Katsayısı : 25000 N/m

K_2 Amortisör Sönüm Katsayısı : 850 Ns/m

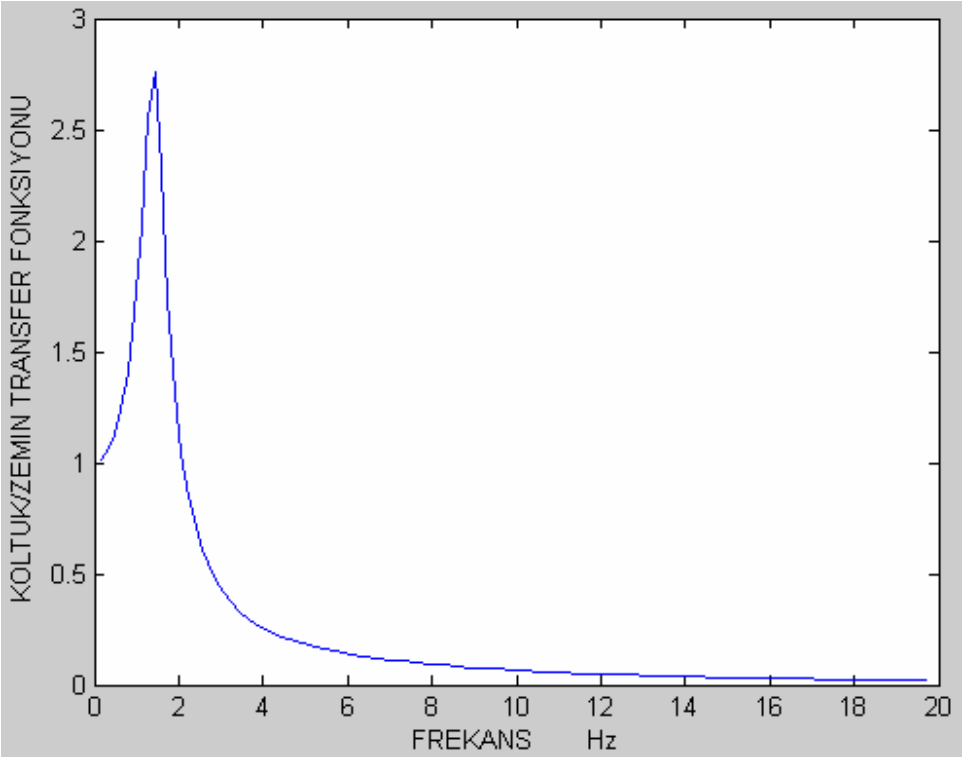
D_2 Amortisör Sönüm Oranı : 0,27

C_3 Sünger Sertlik Katsayısı : 1000 N/m

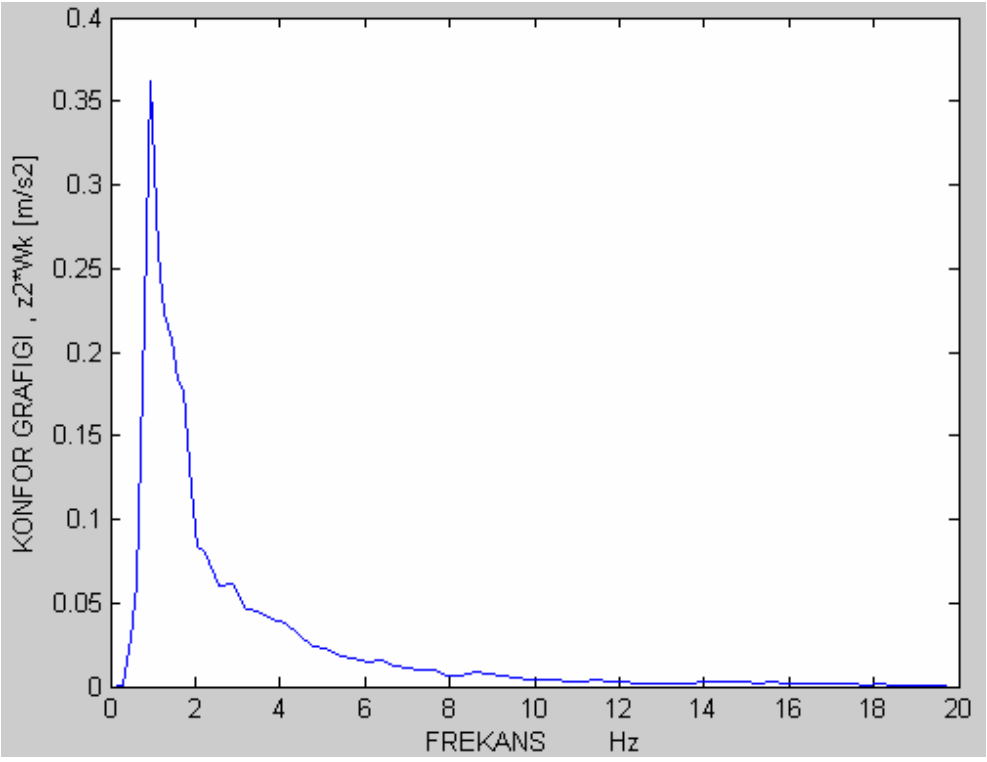
K_3 Sünger Sönüm Katsayısı : 500 Ns/m

D_3 Sünger Sönüm Oranı : 0,27

Yukarıda parametreleri verilmiş olan süspansiyon sisteminin koltuk/zemin transfer fonksiyonu grafiği (titreşim aktarım miktarı) ve koltuk konfor grafiği sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7: 4. Süspansiyon opsiyonunun transfer fonksiyonu grafiği.



Şekil 8: 4. Süspansiyon opsiyonunun konfor grafiği.

5. Süspansiyon Opsiyonu

C_2 Yay Sertlik Katsayısı : 30000 N/m

K_2 Amortisör Sönüm Katsayısı : 1000 Ns/m

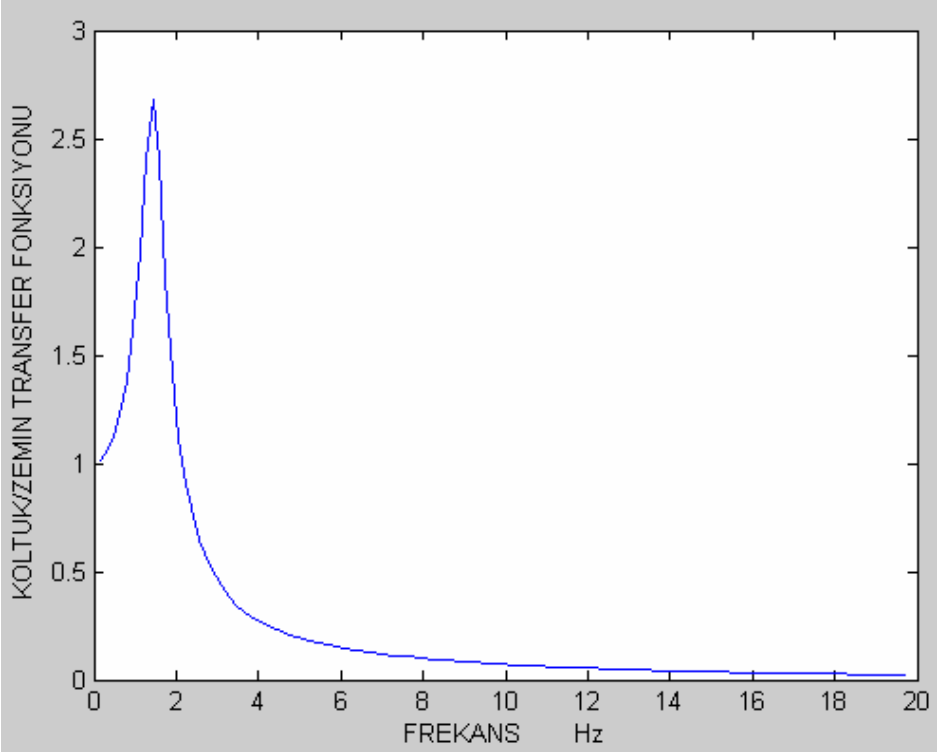
D_2 Amortisör Sönüm Oranı : 0,29

C_3 Sünger Sertlik Katsayısı : 1000 N/m

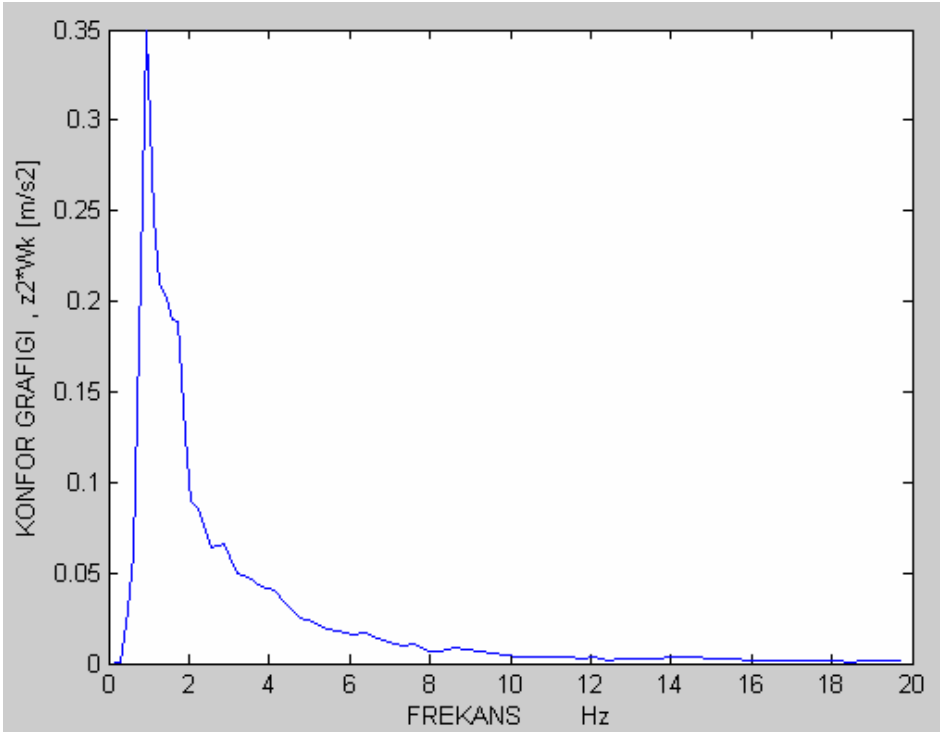
K_3 Sünger Sönüm Katsayısı : 500 Ns/m

D_3 Sünger Sönüm Oranı : 0,27

Yukarıda parametreleri verilmiş olan süspansiyon sisteminin koltuk/zemin transfer fonksiyonu grafiği (titreşim aktarım miktarı) ve koltuk konfor grafiği sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 9: 5. Süspansiyon opsiyonunun transfer fonksiyonu grafiği.



Şekil 10: 5. Süspansiyon opsiyonunun konfor grafiği.

ÖZGEÇMİŞ

Orhan Kösebay, 03.03.1983 tarihinde İstanbul'da doğdu. 2001 yılında Özel Boğaziçi Lisesi'ni birincilikle bitirdi. Liseden mezun olduğu 2001 yılında İ.T.Ü. Makina Mühendisliği'ni kazandı. Lisans eğitimi son senesinde İ.T.Ü. Güneş Arabası Projesi'ne katıldı ve 2005 Tübitak Formula G'de yarışan Arıba'nın mekanik ekip şefi ve pilotu oldu. 2006 yılında düzenlenen Formula G yarışlarında yine pilotu olduğu İ.T.Ü. Arıba ile hem İzmir'de hem de İstanbul'da şampiyonluk elde etti. 2006 Kasım'dan beri Yonca Onuk Tersanesi'nde ar-ge mühendisi olarak çalışmaktadır.