



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEKANİK GÜRÜLTÜYÜ AZALTMAK İÇİN ARAÇ GÜÇ İLETİM
SİSTEMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Kadir SAĞOL

DANIŞMAN
Prof. Dr. M. Cüneyt Fetvacı

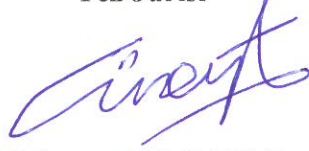
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma, 23.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı,
Makine Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Prof. Dr. M.Cüneyt FETVACI(Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. C.Erdem İMRAK
İTÜ
Makine Fakültesi



Doç. Dr. Banu KÖRBAHTI
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Unvan Bir öge seçin.
Bir öge seçin.
Bir öge seçin.

Unvan Bir öge seçin.
Bir öge seçin.
Bir öge seçin.



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Tez aşaması boyunca gerek bilgi birikimi gerekse tecrübesini benden esirgemeyen ve her zaman yardımcı olan tez danışmanım Prof. Dr. M. Cüneyt Fetvacı'ya teşekkürlerimi sunarım.

İlk nefes alışımından bu yana maddi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen babam ve annem Şefik ve Gülsüm Sağol'a, her zaman yanımda olan ve hep yanında olacağım kardeşim Ecem Sağol'a, tez için beni cesaretlendiren ve bu geliştirmeyi yaparken yanımda olan bütün arkadaşlarıma teşekkür ediyorum.

Bu yüksek lisans tezi Ford Otomotiv Sanayi Araştırma ve Geliştirme birimi altında yapılan binek araçlardaki maliyet azaltma çalışması ile desteklenmiştir. Yapılan testler ve çalışmalar, kalite ve sağlamlıktan ödün vermeden müşteriye daha ucuz ürün sunmak için kullanılmıştır. Tez konusunda çalışmalarımı destekleyen gerek Ford Otosan gerekse Ford Motor Company çalışanı arkadaşlarıma destekleri ve iş birlikleri için teşekkür ederim. Ayrıca işe başladığım günden bu yana hem ekip liderim olarak hem de arkadaşım olarak yanımda olan Murat Orçun Kaplan'a ve üç yıldır birlikte çalıştığımız ve hem mühendislik gelişimimi hem hayata bakışımı etkileyen Thomas Schmidt'e özel olarak teşekkürlerimi sunarım.

Sağlığımıza.

Mayıs 2019

Kadir SAĞOL

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	ivv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xx
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1 GÜÇ AKTARMA ORGANLARI	7
2.1.1 İçten Yanmalı Motorlar	8
2.1.2 Motor Soğutma Sistemleri	9
2.1.3 Egzoz Sistemleri	10
2.1.4 Şanzıman Sistemleri	11
2.1.5 Şaft Sistemleri	12
2.1.5.1 Önden Çekişli Araçlar ve Yarım Şaft Sistemleri	12
2.1.5.2 Arkadan İtişli Araçlar	16
2.1.5.3 Dört Çeker Araçlar	17
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	18
3.1 DİŞLİLERDE YANAK BOŞLUKLARININ HESAPLANMASI	18
3.1.1 Normal Yanak Boşluğu.....	18
3.1.2 Dönme Yönü Yanak Boşluğu.....	18
3.1.3 Radyal Yanak Boşluğu.....	19
3.2 METAL VURUNTU SESİ.....	19
3.2.1 Sergi Salonu Metal Vuruntu Sesi.....	21
3.2.2 Kavramanın Devreden Çıktığı Andaki Metal Vuruntu Sesi.....	22
3.2.3 Kavrama Anındaki Metal Vuruntu Sesi.....	22
3.2.4 Vites Değiştirme Metal Vuruntu Sesi.....	22
3.2.5 Tip In/Out Clonk.....	22
3.3 YARIM ŞAFT SİSTEMLERİNDEKİ BOŞLUĞUN HESAPLANMASI.....	23

3.4 GÜÇ AKTARMA SİSTEMLERİNDEKİ BOŞLUĞUN HESAPLANMASI.....	24
3.5 ALTI SİGMA.....	27
3.6 ARAÇ TESTİ EKİPMANLARI.....	28
3.6.1 Mikrofonlar.....	28
3.6.2 İvmeölçerler.....	29
3.6.3 Burulma ve Hız Sensörleri.....	30
3.6.4 Telemetriler.....	32
3.6.5 Kontrol Ağı Teknolojisi Parametreleri.....	32
3.6.6 Veri Toplama Sistemleri.....	33
3.6.7 Veri Değerlendirme Sistemleri.....	33
4. BULGULAR.....	36
4.1 METAL VURUNTU SESİNİN KAYNAKLARI.....	36
4.1.1 Motor Kalibrasyonu.....	36
4.1.2 Debriyaj ve Kontrolü.....	37
4.1.3 Şanzıman ve Kontrolü.....	37
4.1.4 Araç Gövdesi ve Şasi.....	38
4.1.5 Yarım Şaft Sistemi.....	38
4.2 TASARIM DENEMELERİ.....	38
4.2.1 Minitab.....	39
4.3 DÜZ DİŞLİ İLE HELİS AÇILI DÜZ DİŞLİ.....	43
4.4 TEST İÇİN ÖLÇÜM EKİPMANLARININ ARACA YERLEŞTİRİLMESİ.....	45
4.4.1 Mikrofonlar.....	45
4.4.2 İvmeölçerler.....	46
4.4.3 Kontrol Ağı Teknolojisinden Veri Toplama.....	48
4.5 METAL VURUNTU SESİ MANEVRALARI.....	48
4.6 ARAÇ TESTİ SONUÇLARI.....	49
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	54
KAYNAKLAR.....	56
EKLER	58
EK-1.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	59

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1: İlk motorlu karayolu taşıtı.	1
Şekil 2.1: Aktarma organlarının neden olduğu ses problemleri.	3
Şekil 2.2: Akustik analiz adımları.	6
Şekil 2.3: Güç aktarma organları ve çevre sistemleri.	7
Şekil 2.4: Benzinli motor.	8
Şekil 2.5: Motor soğutma sistemleri.	9
Şekil 2.6: Egzoz sistemleri.	10
Şekil 2.7: Şanzıman ve vites sistemleri.	12
Şekil 2.8: Asimetrik yarım şaft sistemi.	13
Şekil 2.9: Sol yarım şaft sisteminin şanzımana bağlantıyı sağlayan mafsalı.	14
Şekil 2.10: Asimetrik yarım şaft sisteminin tekere bağlantısını sağlayan mafsalı [Khulsey, 2019].	15
Şekil 2.11: Arkadan itişli araçların güç dağıtım sistemlerinin gösterilmesi; a) yekpare arka aks sistemi b) yarım şaft kullanılan sistemler.	16
Şekil 2.12: Dört çeker araçların güç dağıtım sistemlerinin gösterilmesi; a) transfer ünitesinin aracın ortasına yerleştirildiği dizilim b) transfer ünitesinin ön tarafa yerleştirildiği dizilim.	17
Şekil 3.1: (a) Dönme ve normal yanak boşluğu (b) Radyal yanak boşluğu [Güven Kutay Dişli Çarklar, 2010].	19
Şekil 3.2: Güç aktarma sistemleri ve şasi üzerinden araca taşınan metal vuruntu sesi.	20
Şekil 3.3: Güç aktarma sistemlerindeki rotasyonel boşluğun kaynakları.	21

Şekil 3.4: Vites geçişlerinde yaşanan vurutunun gösterilmesi.	22
Şekil 3.5: Yarım şaft sisteminin dönme yönü yanak boşluğu ölçümü.	23
Şekil 3.6: Yarım şaft sisteminin dönme yönü yanak boşluğu ölçümü sırasında tork-açı diyagramının gösterilmesi.	24
Şekil 3.7: Dişli boşluğu ölçüm aparatı	25
Şekil 3.8: Dişli boşluğu ölçüm aparatının poyraya takılması.	25
Şekil 3.9: (a) Dişli boşluğunun alınması (b) toplam dişli boşluğunun ölçülmesi.	26
Şekil 3.10: Güç aktarma sistemlerindeki boşluğun ölçülmesi.	27
Şekil 3.11: Test için mikrofonların yerleştirilmesi.	29
Şekil 3.12: Sektörde kullanılan ivmeölçerler [PCB,2019].	30
Şekil 3.13: Hız sensörlerinin yerleştirilmesi.	31
Şekil 3.14: LMS SCADA [LMS,2018].	33
Şekil 3.15: Artemis programının veriyi incelemek için ilk adımları.	34
Şekil 3.16: Verinin Artemis programı ile analiz edilebilir hale gelmiş hali.	34
Şekil 3.17: Kısa zaman aralığında metal vuruğu sesinin incelenmesi.	35
Şekil 4.1: Metal vuruğu sesinine sebep olan girdilerin balık kılıcı şeklinde şema haline getirilmesi.	36
Şekil 4.2: Değişkenlerin değerlendirmeye etkisi.	40
Şekil 4.3: Tasarım denemelerinin değerlendirmeye etkisinin program çıktısı.	41
Şekil 4.4: Standardize edildikten sonra değişkenlerin değerlendirmeye etkisi.	42
Şekil 4.5: Tasarım denemelerinin standardizasyondan sonra etkisinin program çıktısı.	42
Şekil 4.6: Tasarım denemelerinin değerlendirmelere etkisi.	43

Şekil 4.7: Helis açılı ve düz bağlantı mili.	44
Şekil 4.8: Ön yolcu koltuğuna mikrofonların yerleştirilmesi.	46
Şekil 4.9: Sol ve sağ aksona yerleştirilen ivmeölçerler.	46
Şekil 4.10: Sürücü koltuğunun altına yerleştirilen ivmeölçer.	47
Şekil 4.11: Aracın enstrümantasyon noktalarının şema halinde gösterilmesi.	47
Şekil 4.12: Gaz ve debriyaj pedal pozisyonlarının motor deviri ile aynı zamanda gösterilmesi.	49
Şekil 4.13: 0.65 derecelik şaftların testi esnasında sürücünün duyduğu seslerin verisi.	50
Şekil 4.14: 0.65 derecelik şaftların testi esnasında aksondaki ivmeölçerden gelen veri.	51
Şekil 4.15: 0.65 derecelik şaftların test verilerinin birlikte incelenmesi.	51
Şekil 4.16: 0.8 derecelik şaftların testi esnasında sürücünün duyduğu seslerin verisi.	52
Şekil 4.17: 0.8 derecelik helis açılı şaftların testi esnasında aksondaki ivmeölçerden gelen veri.	53
Şekil 4.18: 0.65 derecelik şaftların test verilerinin birlikte incelenmesi.	53

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1: Kontrol ağı teknolojisi parametreleri tablosu.	32
Tablo 4.1: Tasarım denemeleri tablosu.	39
Tablo 4.2: Tasarım denemeleri tablosu.	45



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
j_n	: Normal yanak boşluğu
j_t	: Dönme yönü yanak boşluğu
j_r	: Radyal yanak boşluğu
$^{\circ}\text{C}$: Sıcaklık, Celcius

Kısaltmalar	Açıklama
NVH	: Noise Vibration Harshness
FEM	: Sonlu Elemanlar Metodu
BEM	: Sınır Elemanlar Metodu
1D	: Tek boyutlu modelleme
VATF	: Vibro akustik transfer fonksiyonu
FWD	: Front Wheel Drive
RWD	: Rear Wheel Drive
AWD	: All Wheel Drive
4WD	: Four Wheel Drive
SUV	: Sport Utility Vehicle
CUV	: Crossover Utility Vehicle
KAT	: Kontrol Ağı Teknolojisi
dB	: Desibel
Hz	: Hertz

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEKANİK GÜRÜLTÜYÜ AZALTMAK İÇİN GÜÇ İLETİM SİSTEMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Kadir SAĞOL

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. M. Cüneyt FETVACI

Otomotiv sektöründe müşterilerin sürüş esnasında yaşadığı gürültü ve titreşimler müşteri memnuniyetini düşürmektedir. Vitesler arası geçişlerde ve özellikle ani güç yüklemelerinde, güç aktarma sistemindeki metal vuruntu sesi müşteriyi rahatsız etmektedir. Bunu çözebilmek için mühendisler farklı yöntemler denemektedir. Gücü bir parçadan diğerine aktarırken oluşan dönme yönü dişli yanak boşluklarından kaynaklanan sesi çözmek için her geçen gün yeni denemeler yapılmaktadır. Bu tezde ise yeni bir yaklaşımla otomotiv dünyasında yarım shaft olarak adlandırılan güç aktarma organının diferansiyele bağlandığı düz dişliye helis açısı eklenerek etkileri araştırılacaktır. Gürültü ve titreşim sorununu minimum düzeye indirerek sürücünün sürüş esnasındaki konforunu arttırabilmek için çözümleri test ederek, fiyat ve performansı optimize ettiğimiz çözümü uygulayabilmek hedeflenmiştir. Farklı tasarımlar olarak; mafsallarda yeni gres kullanımı, mafsalların içerisindeki dönme yönü dişli yanak boşluğunun düşürülmesi, bağlantı milindeki düz dişlinin yeni helis açılarıyla imalatı gibi tasarımlar karşılaştırılacaktır. Teorik olarak mekanik vurununun sebep olabileceği bölgeler netleştirildikten sonra bu bölümler üzerinde farklı tasarımları test ederek tasarımsal deneyler yapılmıştır. Sonuçta test edilen düşük helis açılı düz dişli devreye alınacaktır.

Mayıs 2019, 72 sayfa.

Anahtar kelimeler: Dişli, diferansiyel, yarım shaft mili

SUMMARY

M.Sc. THESIS

IMPROVEMENT of CAR POWER TRANSMISSION SYSTEM to REDUCE CLONK NOISE

Kadir SAĞOL

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. M. Cuneyt FETVACI

The noise, vibration and harshness experienced by the customers in the automotive sector reduce customer satisfaction. In the case of shifting and especially in sudden power loads, the metal clonk sound in the powertrain disturbs the customer. In order to solve this problem, engineers try different methods. New experiments are being carried out every day to dissolve the sound from the threaded backlash in the direction of rotation that occurs when transferring power from one part to another. In this thesis, the effects of adding a helical angle to the spur gear, which is connected to the differential in the automotive world by a new approach, will be investigated.

As different designs; the use of new greases in the joints, the reduce rotational backlash in the joints, low helical angles at the spur splines will be compared. Theoretically investigated the regions where the mechanical impact can be caused of clonk noise. The design of experiments were performed by testing different designs on these thessis. As a result, the low helical angle spur gear will be release.

May 2019, 72 pages.

Keywords: NVH, clonk, powertrain, half shaft, transmission

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle birlikte günümüzde müşterilerin satın almak istediği hizmetlerin de kalitesi her geçen gün artmaktadır. Artık araba kullanıcıları sadece bir yerden bir yere gitmek için değil aynı zamanda konforlu, tasarruflu ve keyifli bir yolculuk da geçirmek için yeni arabalar istemektedir. Müşteri memnuniyetini sağlamak için üreticilerin farklı yaklaşımları vardır. Bazı üreticiler uygun maliyetli araçlar üretmeye çalışırken bazı otomotiv firmaları ise müşteriye daha seçkin olduğunu hissettirecek özellikler eklemektedir.

Otomobilin icat edildiği ilk günlerde gerek üreticilerin gerekse ilk araba sahiplerinin hayal dahi edemeyeceği bir teknolojiye ulaşan otomotiv sektörü, her geçen gün kendini geliştirmeye ve bilgi birikimini büyümeye devam etmektedir. Değişen ve gelişen teknoloji ile birlikte müşterilerin de beklentileri değişmektedir. Daha sessiz çalışacak motorlar, yakıt tüketiminin tasarruflu olması, kullanılan malzemelerin kaliteli ve dayanıklı olması, servis maliyetlerinin düşük olması, güvenliğinin üst düzey olması gibi daha binlerce sayabileceğimiz talep bulunmaktadır. Şekil 1.1'de 1769 yılında Joseph Cugnot tarafından ilk motorlu karayolu taşıtı gösterilmektedir.



Şekil 1.1: İlk motorlu karayolu taşıtı

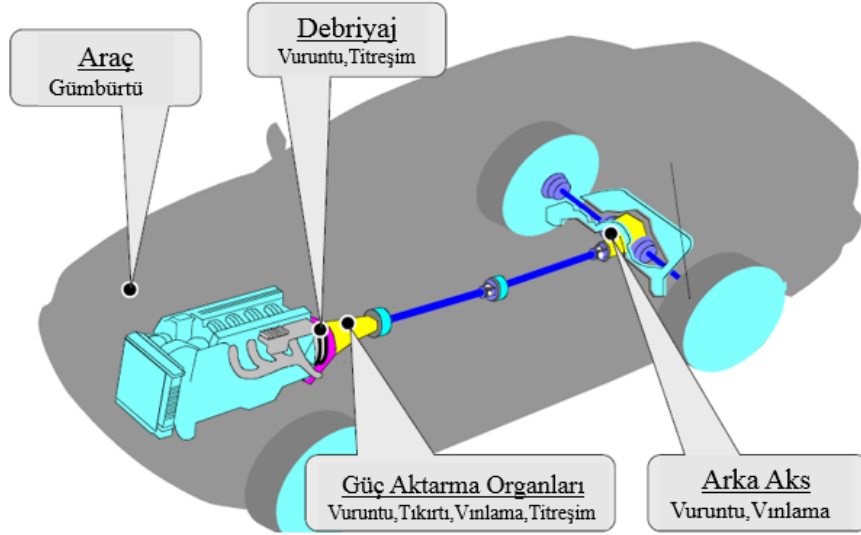
Bu tezin konusu olarak, araçlarda vites geçişlerinden sonra ani tork yüklemesiyle güç aktarma sistemindeki dönme yönü dişli yanak boşluğundan kaynaklanan ve literatürde “clonk” olarak bilinen metal vuruntu sesine geleneksel yaklaşımlardan uzak ve yenilikçi bir yaklaşımla tasarlanan özel dişli tasarımını incelenecektir. Sürücüye daha iyi bir sürüş hissiyatı yaşatmayı hedeflerken bunu dayanım ve kaliteden ödün vermeden daha düşük maliyete üretebilmek için yapılan bu tasarımın geliştirme sürecini bu tez kapsamında incelenecektir.

Tez kapsamında gürültü, titreşim ve sertlik kavramının açıklanması yapılarak otomotiv sektöründeki önemi hakkında bilgiler ve modelleme, tasarım analizi yöntemleri hakkında çalışma bilgileri paylaşılacaktır. Daha sonra arabaların güç aktarma sistemlerinin dizilimine göre sınıflandırılmasını incelendikten sonra araçlardaki güç aktarma sistemleri tanıtılacaktır. Tez konusu olarak iyileştirdiğimiz metal vuruntu sesinin çeşitlerinin açıklanması ve güç aktarma sistemlerindeki dönme yönü yanak boşluklarının nedenleriyle birlikte ölçüm metodları ayrıntılı olarak incelenecek ve yapılan çalışmalar aktarılacaktır. Yapılan incelemeler ile dişlilerdeki dönme yönü dişli yanak boşluklarının teorik olarak hesaplanması ve araç üzerinde yapılan ölçümler anlatılacaktır. Bu tez kapsamında ele alınan sekiz farklı parçanın tasarım denemeleri açısından incelenmesi ve altı sigma perspektifinden incelediğimiz istatistik programı olan Minitab üzerinde yapılan çalışmalar gösterilecektir. Son olarak yapılan araç seviyesi testlerin sonuçlarını inceleyerek dişliye uygulanan yeni yaklaşımın nasıl sonuçlar aldığını belirterek çalışmayı sonuçlandırılacaktır.

2. GENEL KISIMLAR

Tez kapsamında incelediğimiz metal vuruğu sesinin de bir alt dalı olduğu otomotiv sektöründe büyük bir önem taşıyan gürültü, titreşim ve sertlik konusunu ayrıntılı araştırılacaktır. Gürültü ve titreşim olarak da bilinen gürültü, titreşim ve sertlik (NVH, Noise Vibration Harshness), taşıtların gürültü ve titreşim özelliklerinin incelenmesi ve optimize edilmesine verilen genel isimdir. Gürültü ve titreşim kolayca ölçülebilirken, sertlik başlığı altında incelenen kısım öznel bir nitelik ve subjektif izlenimlerini yansıtan sonuçlar sağlayabilen analitik değerlerle ölçülür.

Arabalarda sıkça rastlanan ses, gürültü ve titreşim problemlerinin hangi güç aktarma organlarından kaynaklanacağını Şekil 2.1’de görülmektedir. Bazı problemlerin birden çok kaynaktan gelmesi mümkündür. Böyle durumlarda yapılan analizler ve test sonuçlarına göre hangi parçanın etkisinin fazla olduğu belirlenerek ilk olarak bu parça üzerinde iyileştirme yapmak sistemin karakteristiğini etkileyecektir.



Şekil 2.1: Aktarma organlarının neden olduğu ses problemleri

Bir aracın gürültü ve titreşim karakteri, ne kadar kaliteli olduğu ile ilgili bir algı haline gelmiştir. Otomotiv marketinde artan sessiz ve konforlu araç talebinin üzerine otomotiv firmaları yoğun bir şekilde gürültü ve titreşimi azaltarak müşteri memnuniyetini sağlayabilmek için

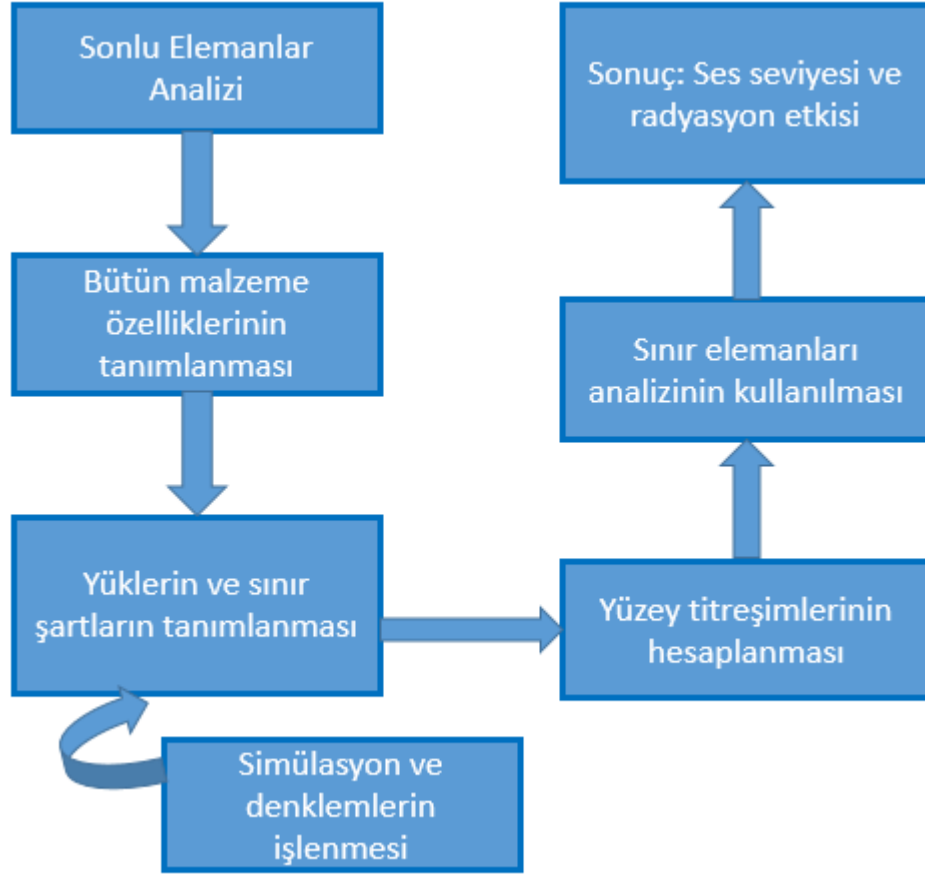
araştırmalarını sürekli olarak geliştirerek devam etmektedir. Yolda giderken aracın direksiyonunun titreşmesinden kapıda ve koltukta hissedilen titreşime, motor bloğundan gelen sesteki aks mafsalıdan gelen sese kadar çok farklı koşullarda ve farklı bölgelerden hissedilen gürültü ve titreşimlerden oluşabilir. İçten yanmalı motorların çalışma prensibi, araç gövdesi ve güç aktarma organlarındaki dizayn parametrelerini göz önünde bulundurarak bütün alt sistemlerde optimizasyon yapılması sayesinde mükemmel hissiyata sahip olabilmek neredeyse bir hayal olmuştur.

Akademik alanda ve sanayi şirketlerinin yoğun çalışmalarına rağmen neden hala gürültü, titreşim ve sertlik sorunları artmaktadır? Artan motor gücü isteği, azaltılmış araç ağırlığı ve daha düşük maliyetler için daha hafif, daha ince bileşenleri kullanma eğilimi ile birlikte araçlardaki gürültü ve ses artmaya başladı. Motor / aerodinamik / lastik gürültülerinin azaltılmasındaki önemli ilerlemeler önceden maskelenmiş olan diğer güç aktarma sistemi gürültü kaynaklarını gün yüzüne çıkarmıştır.

Günümüzde otomotiv endüstrisi; müşterileri daha az gürültü üretecek, daha az yakıt tüketecek, aynı zamanda da en az aynı derecede performanslı ürünlerle çekmek için her seğeneği arar. Bu benzersiz gereksinim, Matematik modelinde temsil edilecek dinamik bir sistemin her yönünü kurgulama motivasyonunu arttırmaktadır. rün daha dayanıklı, daha az gürültülü, güçlü ve zarif olmalıdır. Bu gereksinimler arasında en zorlayıcı faktör sistem gürültüsü ve titreşimdir, çünkü daha iyi konfor, müşterilerin algıladığı gibi daha az gürültülü anlamına gelir. Hemen hemen tüm büyük otomotiv endüstrisi, düşük ve orta frekans sorunları (3000Hz'e kadar) için model oluştırmada FEM (Sonlu Elemanlar Metodu) ve BEM (Sınır Elemanlar Metodu) temelli yaklaşım ile geçiş yapıyordu. Güç aktarma organlarında gürültü, titreşim ve sertlik konusunu ele almak için kullanılan analiz teknikleri ve doğrulama yöntemleri hakkında literatürün gözden geçirilmesini sağlamak ve ayrıca mevcut ve gelecekteki eğilimlerle ilgili analiz prosedürlerini incelenmektedir.

Güç aktarma organlarındaki gürültü ve titreşim kaynakları çok geniş bir alana yayılmıştır. İçten yanmalı motordan başlayarak debriyaj, şanzıman, aks, şaft, egzoz gibi birbirine etkisi bulunan ve ses kaynağı olabilecek çok fazla parça vardır. Otomotiv firmaları bu sistem girdilerini 1D (Tek boyutlu modelleme) , BEM veya FEM temellerinde modeller. Böylece araç üretim ve prototip test aşamalarından önce sistemin ses ve gürültü temelinde nasıl bir davranışı olduğunu anlamaya çalışır.

Bu aşamada, sonlu elemanlar metodu ile alt parçaların burulma frekansları tahmin edilir ve sınır elemanları metodunda kullanılan frekans tepki fonksiyonlarının içerisine işlenir. Sınır elemanları programları ile ses gücü seviyeleri veya doğal frekansları bulunarak sistem içindeki rezonans frekansları hesaplanabilir. Bu prosedürlerin bir hayli sınırlaması vardır, çünkü bunlar, gürültü analizinin üç aşamasının, yani uyarma kaynağı, güç iletimi ve gürültü üretiminin tek bir platformda olduğu entegre bir model değildir. Bu prosedürler çoklu yazılım platformları kullandığından, yukarıdaki adımlar arasındaki etkileşimlerin etkisini araştırmayı zorlaştırır. Bu, belirli bir aracın en iyi kapasitesinden yararlanarak yalnızca bir aktarımın veya motorun alt sistemleri için karmaşık bir dinamik analiz modelinin oluşturulmasını kısıtlamıştır. Genel olarak farklı yazılımlar kullanılarak düşük, orta ve yüksek frekanslı gürültü sorunlarının araştırılması için farklı modeller üretilmektedir ama yüksek frekans gürültüsünü araştırmak farklı bir yaklaşıma ihtiyaç duyar. Simüle edilmiş kuvvetin aracın vibro-akustik transfer fonksiyonuyla (VATF) çarpılmasıyla iç gürültü tahmin edilebilir. VATF, bir aracın kompartmanında, esnek araç gövdesindeki güç aktarma organının montaj noktasında giriş kuvvetine verilen akustik tepkidir. Bazen kaynak ve alıcı konumu arasındaki herhangi bir noktada akustik modları ve ses basıncı değerlerini elde etmek için ayrıntılı bir analiz tercih edilir. Bu gereksinim, bir sonlu elemanlar modelinden gelen titreşim girdilerini alan bir akustik boşluk analizi yapılmasını gerektirmektedir. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan akustik boşluk modeli, geliştirme döngüsünün erken aşamalarında da kullanılabilir, akustik analiz için kullanılan adımlar Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



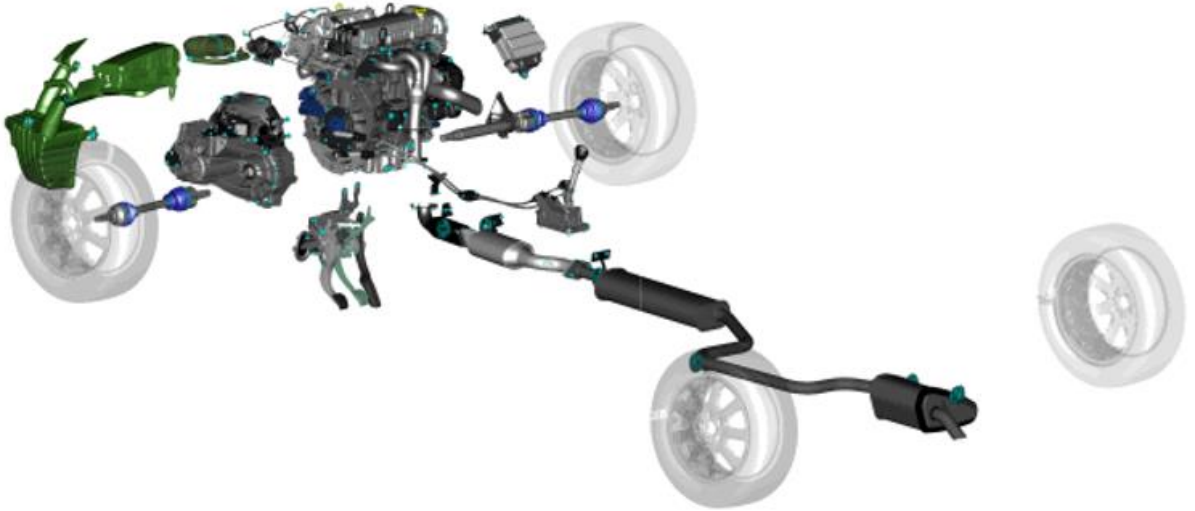
Şekil 2.2: Akustik analiz adımları

Ancak akustik modal testlerden farklı olarak sonlu elemanlar analizi normal mod çözümü modların göreceli genliklerini ölçekleyemez. Kaçınılması gereken akustik modal frekansların sayısının çokluğu, erken tasarım aşamasında ciddi şekilde yanıltıcı olabilir. Kritik iç boşluk bölgelerine çok yönlü bir akustik kaynak belirlenmiş ve akustik modal testine benzer akustik frekans yanıtları oluşturulur. Akustik kavite modlarının göreceli önemini başarıyla ölçeklendirmek ve gerçek testlerden elde edilen modlarla makul bir korelasyona sahip olmak için firmalar yüzlerce çalışma yapmıştır. Güç aktarma sistemi gibi karmaşık bir sistem için düşükten orta frekansa kadar gürültü tahmini için tam bir dinamik model oluşturulmasında hala akademik olarak çok az çalışma bilinmektedir ve otomotiv firmalarının araştırma ve geliştirme merkezleri bu konu üzerinde her gün yeni araştırmalar ve denemeler yapmaktadır. Geleneksel sonlu eleman analiz prosedürleri tek başına bir güç aktarma sisteminin ne kadar gürültü üreteceğini veya hangi yapısal yolun gürültü azaltma için kritik olduğunu tahmin edemez.

Sonlu eleman analizi kullanılarak, gürültü, titreşim ve sertliğin analizi için transfer analizi prosedürü kullanılabilir, bu prosedür hangi yapısal parçanın ne kadar gürültüye katkıda bulunduğuna dair net bilgi verir. Güç aktarma organlarının ses ve titreşim analizlerini yaparken üç boyutlu sonlu elemanlar analizi yardımıyla malzeme bilgileri ve davranışları anlaşılmalı çalışıldıktan sonra sistem düzeyinde bir anlayış elde etmek için tasarım denemeleri çalışması yapmak çok faydalıdır. Bir aracın performansında aracın erken tasarım aşamasında öngörülen gürültü, titreşim ve sertliğin değerlendirilmesi ve geliştirilmesi için iç gürültünün simülasyonu yapılır. Bu simülasyonların da yardımıyla tasarım denemeleri analizinde güç aktarma organlarının performansı, farklı sistem parametreleri değerleri için değerlendirilebilir. Tez kapsamında Minitab kullanarak tasarım denemeleri yapılarak helis açısının etkisini araştıran çalışmayı da ileriki bölümlerde verilecektir.

2.1 GÜÇ AKTARMA ORGANLARI

Güç aktarma organları uygulama mühendisliği kapsamında firmalar motorlu taşıtların ürettiği gücü tekere aktarmak ve bu gücün sürekliliğini sağlamak için çalışırlar. Bu alt sistemlerin bazılarında bahsederek ses ve gürültüye katkılarından bahsedecek olursak ilk olarak motor bloğu ile başlayabiliriz. Şekil 2.3’de güç aktarma organlarını ve birlikte kullanıldığı sistemleri aracın kalanından ayrılmış görsel çalışmasını gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Güç aktarma organları ve çevre sistemleri

2.1.1 İçten Yanmalı Motorlar

Günümüzden yaklaşık olarak 150 yıl önceye dayanan içten yanmalı motor kullanımı, teknolojinin ve mühendislik bilgilerinin gelişmesiyle tahmin edilemeyecek ölçüde ilerlemiştir. Temel prensibi çok değişmese de dört zamanlı motorların günümüzde ulaştığı nokta yüz yıl öncesi ile kıyaslanamayacak kadar gelişmiştir. Araçların karakteristiğine ve kullanım şekline göre çok farklı varyantlarda motorlar mevcuttur. Ağır ticari araçlar için motor hacimleri yükselirken, yolcu araçlarında verimlilik ve yakıt performansı sağlayabilmek için firmalar yeni nesil küçük hacimli motorlarını geliştirmektedir.

Yakıt tipi olarak benzinli, dizel, sıvı petrol gazlı (LPG) ve sıvılaştırılmış doğal gaz (CNG) ile çalışan içten yanmalı motorlar mevcuttur. Şekil 2.4'de 2.2L benzinli bir içten yanmalı motor gösterilmiştir.



Şekil 2.4: 2.2L Benzinli motor

2.1.2 Motor Soğutma Sistemleri

İçten yanmalı motor silindirlerinde sıcaklık 1400 ile 2000 dereceye kadar yükselebilir. Yüksek sıcaklıklar;

- Silindir bloğu ve motor kapağının erimesine,
- Pistonlar arasındaki yağın etkisini kaybetmesine ve mekanik aşınmaların yaşanmasına,
- Ani ve yüksek sıcaklık farkları nedeniyle termal streslerin yaratağı zararlara,
- Motorun veriminin düşmesine sebep olur.

Bu sorunları çözmek ve motoru soğutmak için kullanılan sistemler iki temel şekildedir. Bunlardan birincisi hava yardımıyla soğutma sistemleri, ikincisi su yardımıyla soğutma sistemleridir. Otomotiv sektöründe daha ucuz olan hava yardımıyla soğutma sistemi kullanılmaktadır. Bu tip soğutma sisteminde, motorun dış kısımlarına iletilen ısı, atmosferden elde edilen hava akımı tarafından yayılır ve iletir.

Emilen havanın soğutma sisteminden araca dağılması ve sistemin soğutulması esnasında akışkan havanın sistemde dolaşımı esnasında ürettiği ses,gürültü ve titreşim de dizayn aşamasında tasarımın önemli girdilerindedir. Yapılan bilgisayar destekli akışkanlar analizleri ile sistemi en verimli ve sessiz biçimde soğutmak mühendislerin öncelikli sorumluluğudur. Şekil 2.5’de benzinli bir içten yanmalı motorun motor soğutma sistemleri gösterilmiştir.



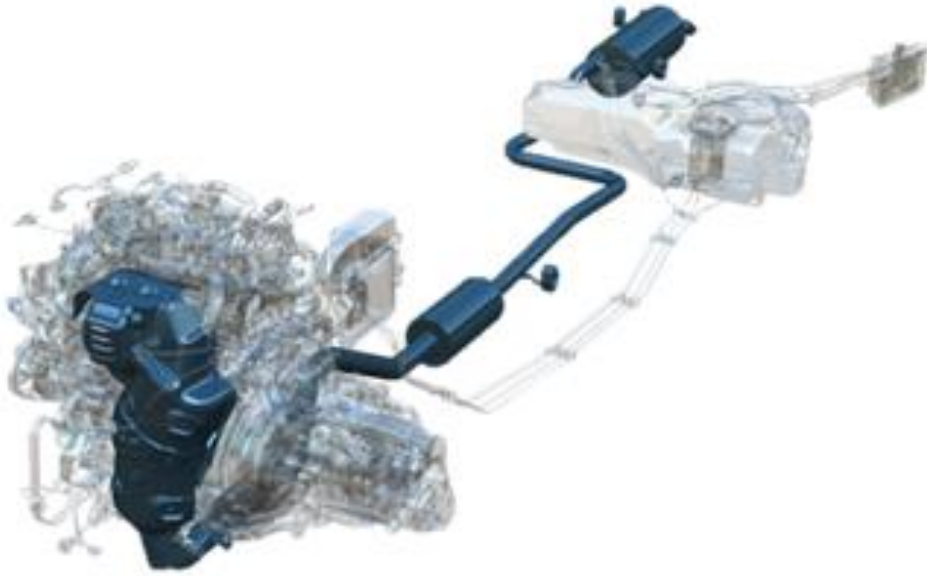
Şekil 2.5: Motor soğutma sistemlerini

2.1.3 Egzoz Sistemleri

İyi tasarlanmış egzoz sistemleri, egzoz gazlarını motor silindirlerinden toplar ve bunları olabildiğince çabuk ve sessiz bir şekilde boşaltır. Birincil sistem tasarımı hususları şunları içerir:

- Gaz akışına direncin en aza indirilmesi (geri basınç) ve belirli motor modeli için belirlenen sınırlar dahilinde maksimum verim sağlamak için çıkan gazların araçtan uzaklaşması,
- Yerel emisyon düzenlemeleri ve uygulama gereksinimlerini karşılamak için araç emisyonunun azaltılması,
- Egzoz sistemi bileşenleri ile motor parçaları, güç aktarma sistemleri ve şasi yapıları arasında, yüksek egzoz sıcaklığının bu tür ürünler üzerindeki etkisini azaltmak için yeterli açıklık sağlanması,
- Akışkan havanın yarattığı ses,gürültü ve titreşimin minimuma indirilerek müşteri memnuniyetinin ve sistem veriminin artırılmasıdır.

Şekil 2.6’da motor bloğundaki havayı filtreleyerek dışarı atan bir egzoz sistemi gösterilmiştir.



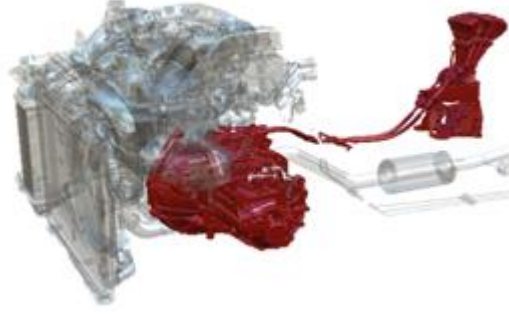
Şekil 2.6: Motor soğutma sistemlerini

2.1.4 Şanzıman Sistemleri

Motorda üretilen gücü farklı kullanım koşullarına göre kullanmamız için gruplandırabilen aktarma organlarıdır. Vites göre değişen dişli oranları ile gerektiğinde yüksek torku kullanmamıza gerektiğinde ise düşük tork ile yüksek hızlara çıkmamızı sağlayan dişli kutularıdır. Aracın gücü ne olursa olsun sürüş hissiyatında şanzımanların büyük önemi vardır. İçinde bulunan dişli sistemlerinin oranlarından dişli kalitesine, kullanılan kavramaların yarattığı sürüş hissiyatına kadar bütün parçalarının üzerinde özellikle makina mühendislerinin yoğun çabaları vardır. İçerisinde bulundurduğu dişli türlerine ve boyutsal analizlere bağlı olarak güç aktarma sistemindeki dönme yönü dişli yanak boşluğunun ana kaynağıdır. Dişlilerin tasarımında yapılan eksiklikler ve üretim stratejisi tüketiciye dayanıklılık, verim, ses, gürültü ve titreşim sorunları olarak dönebilir.

Ayrıca farklı kullanım ihtiyaçlarını karşılamak için vitesler (dişli setleri) ve vites değişimi için önemli tasarım parametreleri şunlardır:

- Vites değiştirme hızı ve yumuşak geçiş hissiyatı
- Ani yük altında kuvveti aktarırken dişliler arasındaki boşluklar,
- Dişli üretiminde seçilen üretim teknolojisi ve sertleştirme işlemleri,
- Mekanik gürültüyü azaltmak için boyutsal tasarımın optimizasyonu,
- Ani yük altında malzemenin dayanımı,
- Uzun süreli kullanım için verilen limitleri karşılayacak doğru malzemenin ve dizaynın kullanılmasıdır.



Şekil 2.7: Şanzıman ve vites sistemleri

2.1.5 Şaft Sistemleri

Araçların güç dağıtım karakteristiğine bağlı olarak güç aktarma üç ana katagoride incelenebilir. Bunlar:

- Önden çekişli araçlar
- Arkadan itişli araçlar ve
- Dört çeker araçlardır.

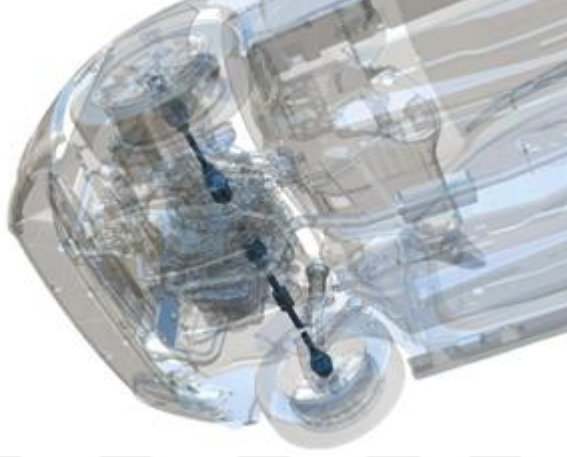
Sırasıyla üç temel güç dağıtım sistemini de kısaca inceleyelim.

2.1.5.1 Önden Çekişli Araçlar ve Yarım Şaft Sistemleri

İngilizce literatürde “FWD, Front Wheel Drive” olarak kısaltılan ön tekerden çekiş sistemine sahip bir araçta, motor, şanzıman ve aktarma organları ön tarafta bulunur ve bu sayede kabinde daha fazla yolcu alanı yaratılır. Motorun şanzımana ilettiği gücü şanzımandan alarak tekere aktaran yarım şaftlardır. Motor ve şanzıman yataklanmasından kaynaklı bir tarafı diğerine göre tekere daha uzaktır. Temel olarak simetrik ve asimetric olmak üzere iki şekilde araçlarda kullanılmaktadır. Sağ taraftaki yarım şaftları motor bloğuna braket yardımı ile yataklanırsa birbirine yakın uzunlukta bağlantı mili kullanıldığı için literatürde bu uygulamaya simetrik yarım şaft dizaynı denmektedir. Sağ şaftı motor bloğuna yataklamadan uzun bir mil yardımıyla direk tekere bağlanan tasarımlaraysa asimetric yarım şaft dizaynı denir.

Ağırlık, maliyet, montaj süresi ve parça sayısının az olmasından kaynaklı firmalar maliyet azaltmak için asimetrik şaft sistemini devreye almaktadır. Ancak araç geometrisi ve paketlenabilirlikten kaynaklı kullanımı zordur.

Şekil 2.8’de araca alttan bakılırken asimetrik şaft sistemi gösterilmiştir.



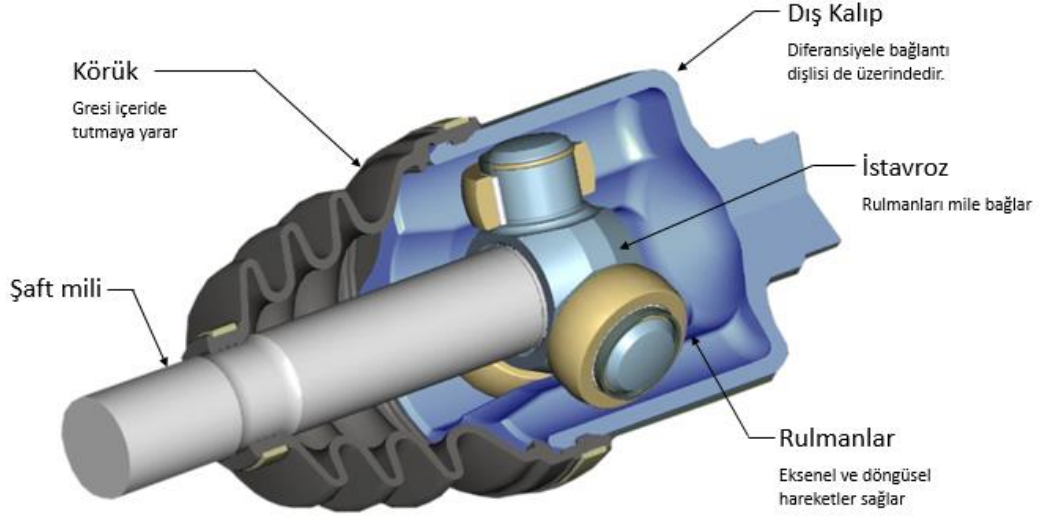
Şekil 2.8: Asimetrik yarım şaft sistemi

Şanzımandan gücü alan iç taraftaki bağlantı elemanı hareket eden süspansiyon ve teker hareketlerini şanzıman ve motora iletmemek için aksel hareketlere izin vermektedir. Kullanım koşulları ve diğer tasarım girdileri dikkate alınarak sektörde çok farklı dizaynlar kullanılmaktadır. İç şaft bağlantısının farklı türlerine göre farklı kapasitelere sahip olduğu başlıca özellikleri şunlardır:

- Bağlantı milinin aksel hareketine izin verme kabiliyeti,
- Açı altında çalışabilme yeteneği,
- Sessiz çalışması,
- Montajlanabilme kabiliyeti,
- Yük ve Tork kapasitesi,
- Servis edilebilirliği,
- Dayanım ömrü,

- Rotasyonel iç boşluğu kapasitesi ve
- Yüksek devirlerde dayanıklı olması başlıca tasarım kriterleridir.

İç tarafta bulunan yarım şaft mafsalinın çok fazla türü vardır ama piyasada en çok kullanılan üç tane iğneli rulman içeren tasarımını Şekil 2.9’da gösterilmiştir.

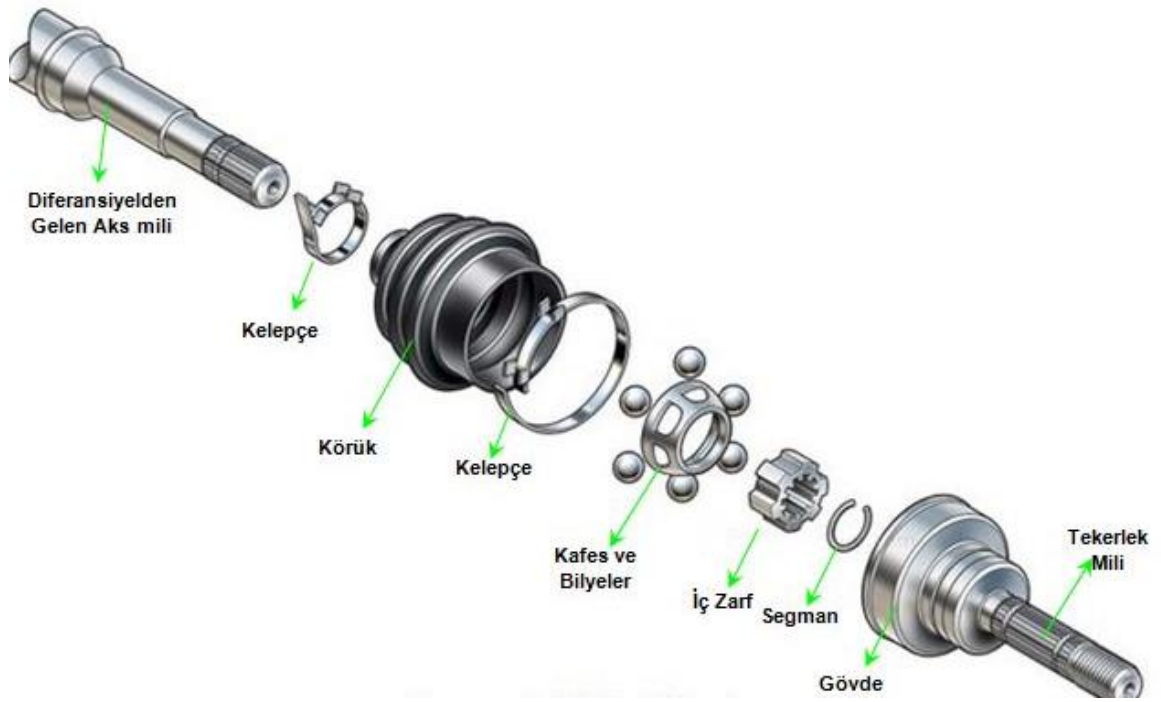


Şekil 2.9: Asimetrik yarım şaft sisteminin şanzımana bağlantıyı sağlayan mafsalı

Teker tarafında kullanılan, dış şaft bağlantısı, genellikle sabit hızlı kardan mafsalıdır. Sektörde en çok kullanılan mafsal türü ise Rzeppa mafsallardır. Ford Motor şirketi için mühendis olarak çalışırken, Alfred Hans Rzeppa 1926 yılında sabit hız eklemeni buldu ve bir sonraki yıl patentini aldı. Rzeppa mafsalı, belirli bir sabit hız eklemidir. Bilyeler, birçok farklı açıdan sabit hız torkunu iletmek için iç ve dış hareketlerle gezinebilmesini sağlayan oyuklu bir iç zarfta hareket ederek şaft milinden gelen gücü tekere aktarır. Sabit hızlı bağlantı mafsallarının tasarım kriterleri başlıca şunlardır:

- Yüksek açı altında çalışabilme,
- Ani değişimlerde aksel harekete izin vermemesi,

- Rotasyonel iç boşluğunun limtleri,
- Sessiz çalışması,
- Montajlanabilme kabiliyeti,
- Yük ve tork kapasitesi,
- Dayanım ömrü,
- Yüksek devirlere dayanabilmesi,
- Sıcaklık kapasitesi,
- Gresin sürtünmeyi azaltacak şekilde yağ filmi oluşturmasına izin vermesi ve
- Tekerin ve süspansiyonun ani hareketlerinde gücü aktarmaya devam etme kabiliyetidir.

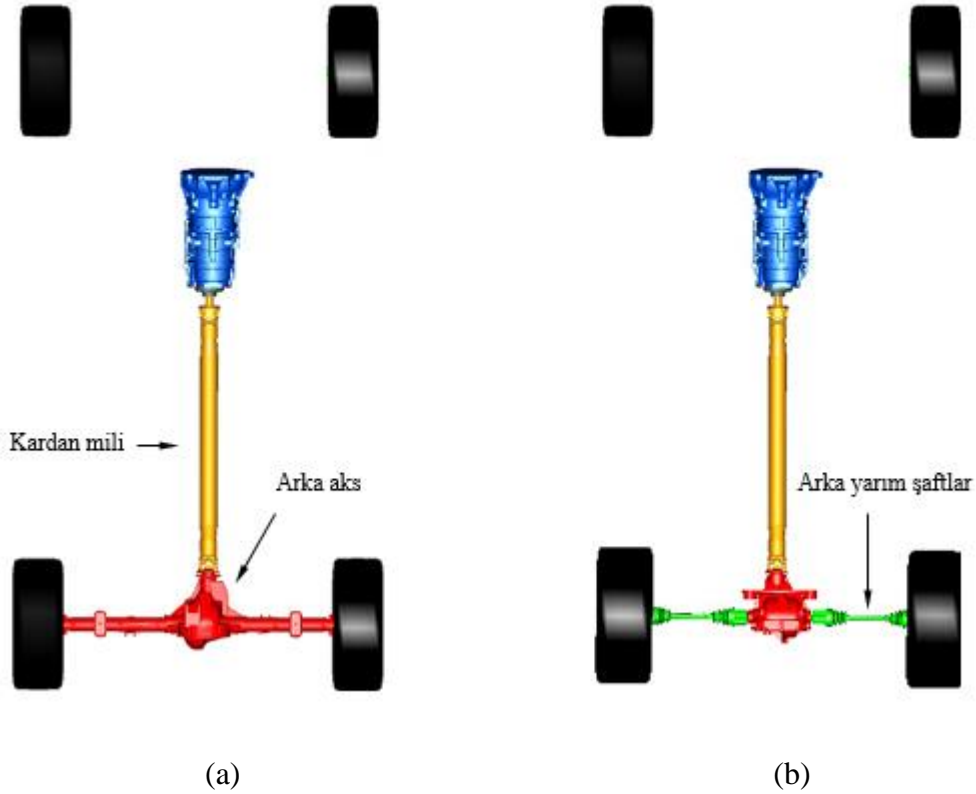


Şekil 2.10: Asimetrik yarım şaft sisteminin tekere bağlantısını sağlayan mafsalı [Khulsey, 2019]

2.1.5.2 Arkadan İtişli Araçlar

İngilizce literatürde “RWD, Rear Wheel Drive” olarak kısaltılan arkadan itişli, en eski araç düzeni tipidir ve motorun gücünü, aracın arka tekerlerine ilettiği sistemlerdir. Ön tarafta bulunan motordan arka tarafa doğru güç aktarma organları kullanıldığı için yolcu kabının hacmini etkilemektedir. Motorun konumlanmasına, güç aktarma stratejisine ve süspansiyon hareketlerine göre gücü ilemesi için iki ana tipte kullanılmaktadır. Önden çekişli araçlardaki bağlantı mili uzunluğunun farklı olması durumu arkadan itişlilerde yoktur. Güç aktarma sistemlerinin araç içerisinde merkeze yerleştirilmesi sayesinde parçalar simetrik yapıdadırlar.

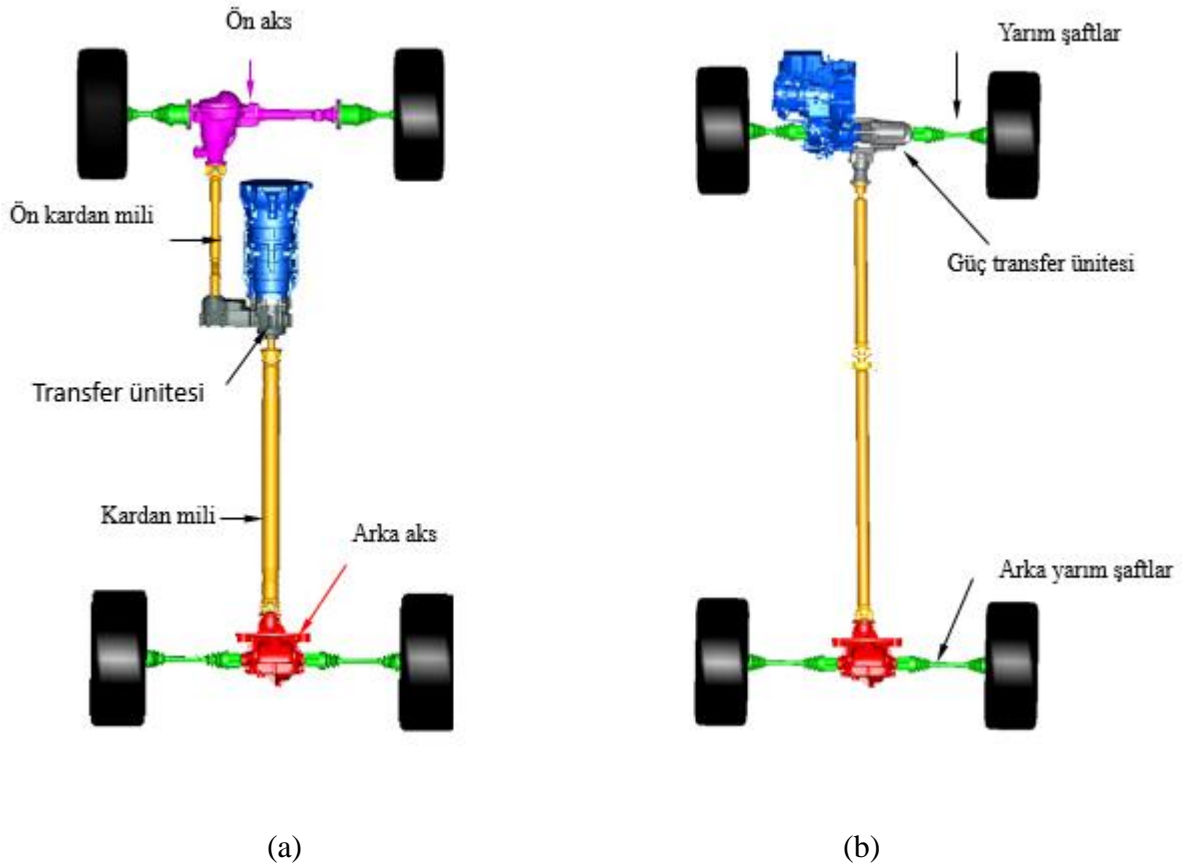
Yüksek performans ve sportif arazi araçlarında kullanılan mafsal tarzları Şekil 2.11 (a) da görülen yekpare aks sistemleri daha rijit ve ucuz oldukları için ağır ticari araçlarda ve arazi araçlarında kullanılabilir. Bunun yanı sıra Şekil 2.11 (b) de önden çekişlilerde kullandığımız gibi yarım şaft sistemi de kullanılabilir.



Şekil 2.11: Arkadan itişli araçların güç dağıtım sistemlerinin gösterilmesi; a) yekpare arka aks sistemi b) yarım şaft kullanılan sistemler

2.1.5.3 Dört Çeker Araçlar

İngilizce literatürde "AWD, All Wheel Drive" veya "4WD, Four Wheel Drive" olarak kısaltılan ve motordan gelen gücün dört tekerere de iletildiği sistemlerdir. Güç dağıtım birimlerinden sonra aracın özelliğine göre arka tarafta sabit aks veya şaftlarla güç aktarımı yapılır. Şekil 2.12 (a)'da görülen dizayn daha çok ağır pick up ve SUV (Sport Utility Vehicle) araçlarda kullanılır ve dört çeker olarak adlandırılır. Şekil 2.12 (b)'de görülen dizayn daha çok CUV (Crossover Utility Vehicle) araçlarda kullanılır ve kullanım talebine göre önden çekişliye veya arkadan itişliye dönüştürülebilir.



Şekil 2.12: Dört çeker araçların güç dağıtım sistemlerinin gösterilmesi; a) transfer ünitesinin aracın ortasına yerleştirildiği dizilim b) transfer ünitesinin ön tarafa yerleştirildiği dizilim

3. MALZEME VE YÖNTEM

Tez kapsamında metal vuruntu seslerinin türleri incelenirken buna sebep olabilecek parçalar ve kök nedenler ayrıntılı olarak incelenecektir. Sorunun köküne inip en optimum sonucu almak için yarım şaftlar üzerinde yapılan iyileştirmenin ayrıntılı çalışmasını incelenecektir. Yapılan tasarım denemelerinin sonuçlarını istatistik temelinde inceleyip araç seviyesinde yapılan test sonuçları sonucunda yapılan iyileştirmenin ne kadar olumlu bir çözüm olduğunu incelenecektir.

3.1 DİŞLİLERDE YANAK BOŞLUKLARININ HESAPLANMASI

Makine elemanlarının tasarımlarında geometrik boyutlandırma ve tolerans bilgileri büyük bir öneme sahiptir. Dişlerin arasında oluşan boşlukları toleranslarla limitlemek mümkündür. Ancak daha az boşluk daha zor montaj demektir ve farklı hata modlarının oluşmasına sebep verir. Örnekleme gerekirse düşük dişli boşluğuna sahip dişlilerin arasına gres giremez ve yağlama yeterli miktarda olmayacağı için ısınma sorunu oluşacaktır. Dişlilerde yanak boşluğu, tahrik eden dişin ön tarafı ile tahrik edilen dişin arka yüzeyi arasında oluşmaktadır. Kutay (2010) dişlilerdeki yanal boşlukları aşağıdaki üç ana başlık altında tariflemiştir.

3.1.1 Normal Yanak Boşluğu

Birbirini tahrik eden dişlilerin doğru merkezlendiğinden emin olduktan sonra tahrik eden ve tahrik edilen diş arasındaki en kısa mesafedir ve “ j_n ” ile gösterilir. Hesaplanması Denklem 1’de verilmiştir.

$$j_n = j_t \cdot \cos \alpha_n \cdot \cos \beta \quad (1)$$

3.1.2 Dönme Yönü Yanak Boşluğu

Birbirini tahrik eden dişlilerin tahrik eden ve tahrik edilen dişin taksimat dairelerindeki yayın uzunluğudur ve “ j_t ” ile gösterilir . Hesaplanması Denklem 2’de verilmiştir.

$$j_t = j_n / (\cos \alpha_t \cdot \cos \beta_b) \quad (2)$$

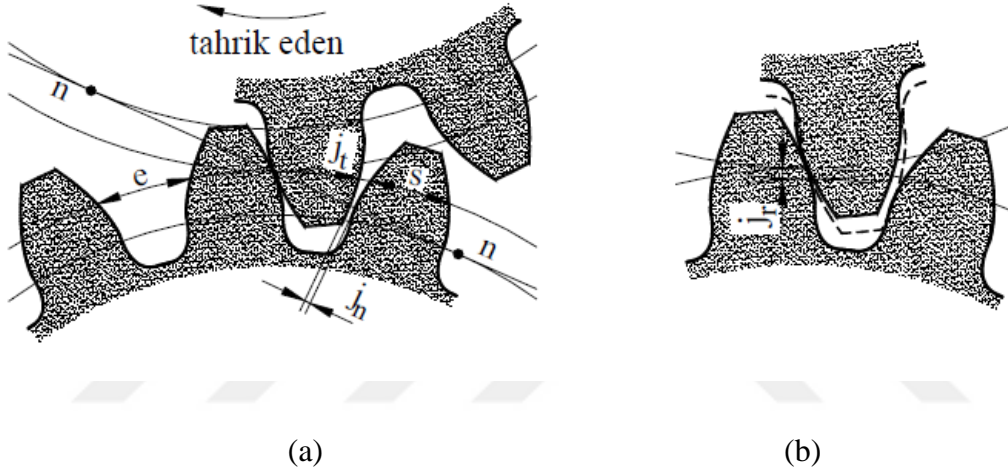
3.1.3 Radyal Yanak Boşluğu

Birbirini tahrik eden dişlilerin radyal olarak birbirine olan boşluğudur ve " j_r " ile gösterilir . Hesaplanması iki şekilde yapılabilmektedir ve Denklem 3 ve 4'te verilmiştir.

$$j_r = j_n / (2 \cdot \sin \alpha_{wt} \cdot \cos \beta_b) \quad (3)$$

$$j_r = j_t / (2 \cdot \tan \alpha_{wt}) \quad (4)$$

Şekil 3.1'de dişli yanak boşlukları gösterilmiştir.



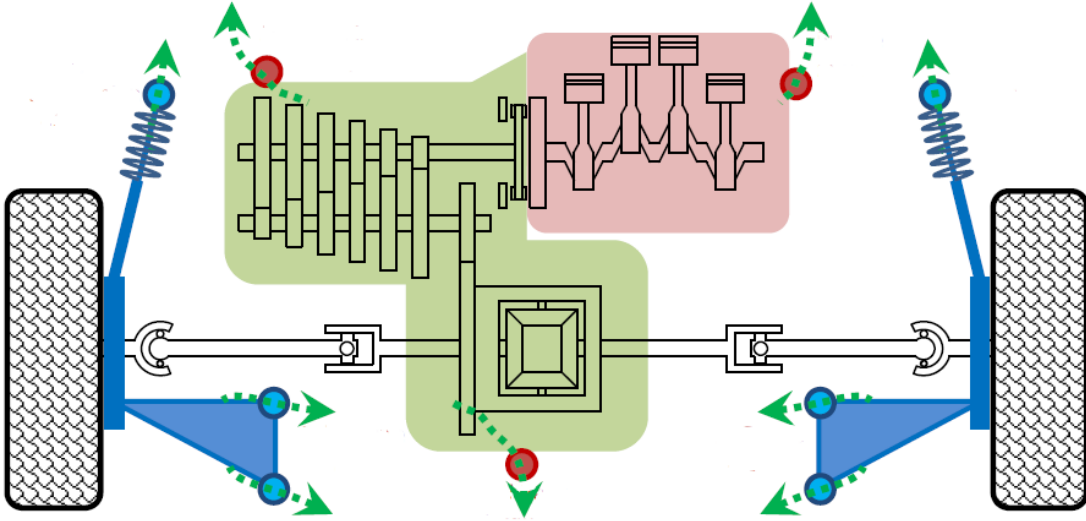
Şekil 3.1: (a) Dönme ve normal yanak boşluğu (b) Radyal yanak boşluğu

3.2 METAL VURUNTU SESİ

Güç aktarma organlarının gücü aktarırken, sistem üzerindeki biriken rotasyonel dişli boşluklarından kaynaklı darbe etkisi ile metal sesi çıkarttığı ses, gürültü ve titreşim fenomenine metal vuruntu sesi denir. Tek bir sistemden değil de bütün bir sistemin kümülatif sonucu olan fenomeni, müşteri memnuniyeti ve hissiyatı etkilememesi için araştırma ve geliştirme çalışmaları her geçen gün ilerlemektedir.

Kullanıcı profili ve araç karakteristikleri ile değişen problem seviyeleri için subjektif değerlendirilmelerin yanında aracın belirli noktalarından toplanan bilgilerle sistemin raporu çıkarılmaktadır. Aktarma parçalarındaki dişliler ve mafsallarda biriken enerji ve darbe, akustik gürültüye dönüşür ve hava kaynaklı gürültü olarak algılanır. Ayrıca bir kaç farklı transfer yolu ile araç kabinine yayılan titreşime dönüşür. Şekil 3.2'de önden çekişli araçlarda oluşan metal

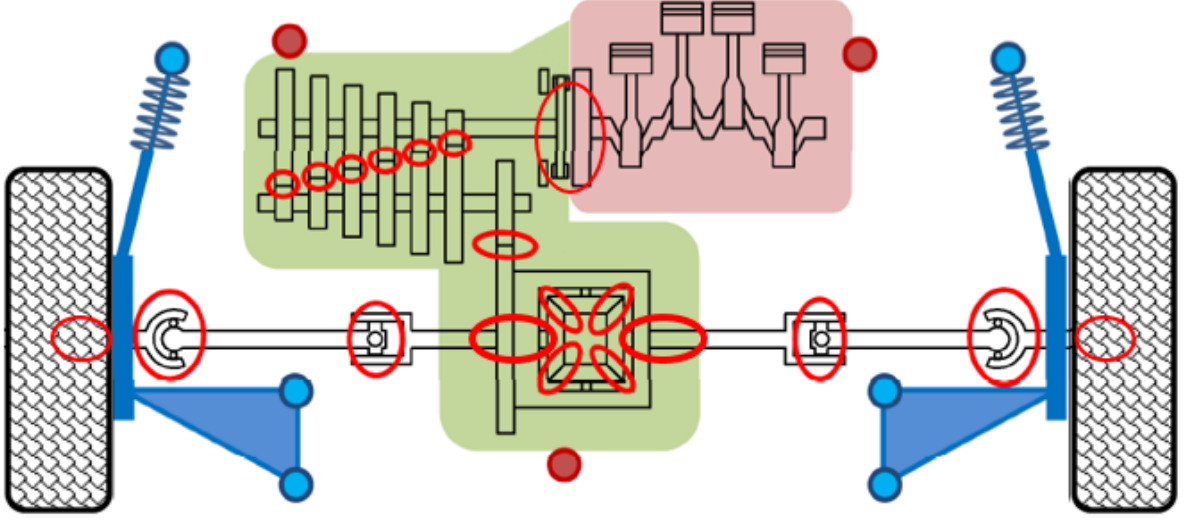
vuruntu sesi fenomeninin araca aktarılması figür haline getirilmiştir. Motor bloğu, debriyaj ve şanzıman sistemini aracın gövdesine sabitlemeye yarayan kırmızı yuvarlak ile işaretlenmiş kulaklardan aracın içine aktarılır. Motor bloğunun yataklanmasında kullanılan bu parçaların rijitliğinin ve dayanımının yüksek olmasının yanında yapılan özel tasarımlarla birlikte motor bloğunun hareketine kısıtlı bir şekilde izin vermesiyle birlikte taşınacak olan gürültü, titreşim ve vurutuyu sönmölemek gibi görevleri de vardır. Süspansiyon sistemlerinin araç gövdesine bağlandığını gösteren mavi noktalar ise sürücü kabine ses, gürültü ve titreşim taşımaktadır. Yol koşullarının yanında motor bloğu ve güç aktarma sistemlerindeki ses ve gürültünün kabine taşınmasında bu bağlantı noktalarının da etkisi vardır.



Şekil 3.2: Güç aktarma sistemleri ve şasi üzerinden araca taşınan metal vuruntu sesi

Bileşenler arasındaki boşluk varlığından metal vuruntu sesi oluştuğundan, tüm sistemin potansiyel geri tepme noktalarının her biri göz önünde bulundurulmalı ve herhangi bir derin araştırmadan önce mümkün olan en küçük bileşen seviyesinde ölçülmelidir. Motordan gelen gücü şanzımana aktaran debriyajın kavramasındaki boşluklardan başlayarak şanzıman içindeki her vites dişlisinin ayrı ayrı rotasyonel dişli boşluğu vardır. Şanzımandan sonra gelen diferansiyele gücü aktarırken sistemde kullanılan dişlilerden kaynaklı yeni bir rotasyonel dişli boşluğu oluşur. Daha sonrasında ön yarım şaft sisteminin diferansiyelden gücü aldığı bölgede kullanılan dişli ve erkek dişli setinin de rotasyonel dişli boşluğu vardır. Bu tez kapsamında iyileştirme yapılacak kısım burasıdır. Diferansiyelden torku aldıktan sonra yarım şaft sisteminde kullanılan iç ve dış mafsalda da rotasyonel boşluklar vardır. Son olarak gücü tekere

aktarıırken yarım şaftın dış mafsalı ile poyra arasında bağlantı türünden kaynaklı çok limitli de olsa bir rotasyonel boşluk vardır. Şekil 3.3'te önden çekişli araçlarda rotasyonel dişli boşluğuna sebep olan parçalar gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Güç aktarma sistemlerindeki rotasyonel boşluğun kaynakları

Farklı manevralar ve farklı boşluklardan kaynaklanan seslere bağlı olarak clonk beş ana başlıkta incelenebilir.

3.2.1 Sergi Salonu Metal Vuruntu Sesi

Bayinin içinde müşterilerin bakması için bulunan manüel vitesli araçların motoru kapalı ve debriyajı basılıyken vitesleri değiştirildiği anda çıkan sese verilen addır. Dış çevreden ve motorun çalışmasından ses gelmediği için şanzımanın iç bileşenlerinin etkileşimi bazen kolaylıkla algılanabilir. Şekil 3.4'de farklı viteslere geçerken oluşan vuruntu gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Vites geçişlerinde yaşanan vuruntunun gösterilmesi

3.2.2 Kavramanın Devreden Çıktığı Andaki Metal Vuruntu Sesi

Debriyajın volandan ayrılma anında yani debriyajın angajman pozisyonundan serbest bırakılması halinde meydana gelen ani tork yüklemesi ile sistemden gelen sestir.

3.2.3 Kavrama Anındaki Metal Vuruntu Sesi

Vitesi değiştirmek için debriyaja basılıp kavramanın sağlandığı anda debriyajda biriken enerji ve ani torku yarattığı ses ve gürültüdür.

3.2.4 Vites Değiştirme Metal Vuruntu Sesi

Motor çalıştırılırken aracın vitesleri arasında yapılan geçişlere şanzımanın alt parçalarındaki ani tork yüklemeleri sonucu meydana gelen ses ve titreşimlerdir. Bayilerde durağan araçlarda hissedilen gürültüden farklı olarak torku aktaran sistemlerin de soruna kaynak olmasından dolayı bu iki tür literatürde birbirinden ayrılmıştır.

3.2.5 Tip In/Out Clonk

Gaz pedalına basılarak araçta ivmelenme sağlanmak istediğinde güç aktarma organlarının hareketinden daha hızlı bir şekilde dönmeye başladığı anda meydana gelen metal vuruntudur. Dönen mafsalların çevresel hızlarının ani artması neticesinde dişlilerdeki veya başka alt parçalardaki ani tork binmesi ile meydana gelir. Gaz pedalına ani ve çok basıldığında "Tip In", tam gaz basılıyken aniden çekilmesine "Tip Out" denilir. Araç seviyesinde yapılan testlerin sonucunda motor kalibrasyonu ile kolayca çözülebilmesine rağmen müşterinin istediği performansı elde edebilmesinde karşımıza çıkan zorluklardan biridir.

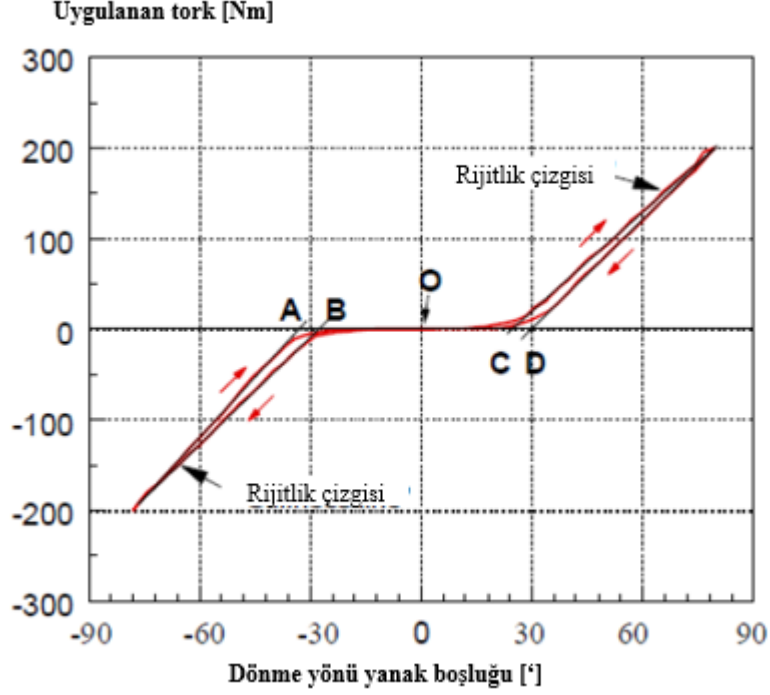
3.3 YARIM ŞAFT SİSTEMLERİNDEKİ BOŞLUĞUN HESAPLANMASI

Yarım şaft sistemlerinin dönme yönü yanak boşluğunu hesaplamak için öncelikle bir test teçhizatına ihtiyaç vardır. Bu test düzeneğinde teker tarafında kullanılan mafsallar sıkı geçme olarak yataklanır. Daha sonra şanzımana giren dişlilerin olduğu yere torku ve boşluğu ölçecek ekipmanlar yerleştirilir. Ölçümü yaparken yarım şaft sisteminin düz bir çizgi gibi olması yani mafsal eksenlerinin aynı doğrultuda olması önemlidir. Ayrıca iç mafsalın aksel hareketine izin vermesinden dolayı içindeki rulmanların mafsalın tam orta noktasında konumlanmış olması gerekmektedir. Şekil 3.5'te ölçüm yapılan bir test düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.5: Yarım şaft sisteminin dönme yönü yanak boşluğu ölçümü

Ölçümü yaparken öncelikle eksi yönde 200 Nm tork uygulanır. Torkun maksimum 60° /dakika veya $60'$ /saniye hızında uygulanması gerekmektedir. Daha sonra artı yönde tork uygulanarak Şekil 3.6'daki grafiğe benzer bir grafik elde edilir. Sistemin rijitliğinden kaynaklı zaman zaman tork değişimlerinde iki farklı çizgi oluşabilir. Bu yüzden çizilen grafik üzerinde gösterilen A noktası ile C noktası arasındaki mesafe veya B noktası ile D noktası arasındaki mesafelerden daha uzun olanı dikkate alınarak yarım şaft sisteminin dönme yönü yanak boşluğu ölçülür.



Şekil 3.6: Yarım şaft sisteminin dönme yönü yanak boşluğu ölçümü sırasında tork-açı diyagramının gösterilmesi

3.4 GÜÇ AKTARMA SİSTEMLERİNDEKİ BOŞLUĞUN HESAPLANMASI

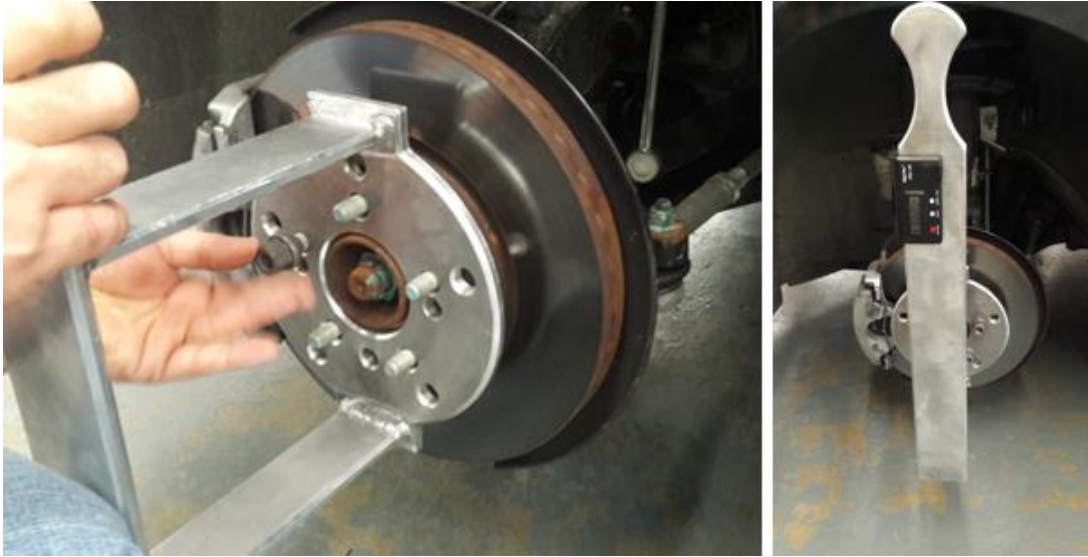
Arabaların güç aktarma sistemlerinde oluşan döngüsel dişli boşluklarını sınırlamak aracın ses ve gürültü karakteristiğini kontrol altına alabilmek için kullanılır. Bu boşluğu ölçmek için kullanılan ölçüm metodu aşağıda açıklanmıştır. Manuel araçlarda her bir vites için ayrı ayrı ölçümler alınırken otomatik araçlarda park pozisyonunda ölçümün alınması yeterlidir.

Ölçüm yaparken ortam sıcaklığının 20 derece olması gerekmektedir. Araç ölçülmek istenen vitese alınır ve debriyajın kavrama pozisyonunda olması sağlanır ve şasiden havaya kaldırılır. Daha sonra ön tekerlerinden biri poyra üzerinden sabitlenir ve diğer tekerin poyrasına takılan aparat ile sistemin boşluğu ölçülür. Şekil 3.7'de tekere takılan braket ile ona birleşik olan eğim ölçer gösterilmiştir. Digi-Pass markasının DWL-130 eğim ve açı ölçme modülü kullanılmıştır. Bu modül 360 ° ölçüm yapabilmesi ve hassasiyetinin 0.05°(±1.0 mm/M) olması sayesinde yapılan testlerde hassas ölçümlerin toparlanabilmesinde sıkça kullanılmaktadır.



Şekil 3.7: Dişli boşluğu ölçüm aparatı

Şekil 3.8'de kullanılan aparatın poyraya montajı görülmektedir.



Şekil 3.8: Dişli boşluğu ölçüm aparatının poyraya takılması

Takılan aparat ile ileri gidiş yönünde 50 Newton kuvvet uygulanır ve boşluğun bittiği yer eğim ölçer ile işaretlenir. Daha sonra tam tersi yönde boşluğun sonuna kadar poyra döndürülür. Şekil 3.9'da boşluk alma ve toplam boşluğu ölçme işlemleri gösterilmektedir.



(a)



(b)

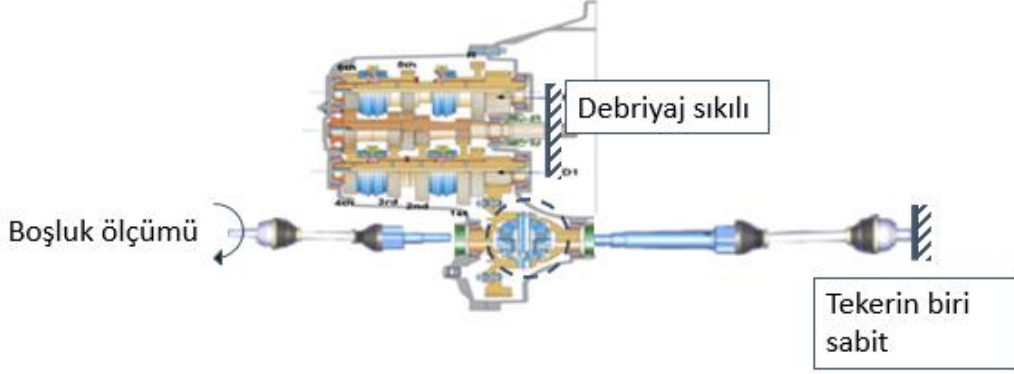
Şekil 3.9: (a) Dişli boşluğunun alınması (b) toplam dişli boşluğunun ölçülmesi

Tekere göre aparatın dik durması yani 90° açıyla durması sağlandıktan sonra aşağıdaki iki denklem uygulanarak güç aktarma sisteminin toplam dişli boşluğu ölçülür. Denklem 4'te hesaplanan boşluğu Denklem 5'teki gibi ölçüm yapılan vitesin dişli oranı ile çarpıp diferansiyelin dişli oranına böldüğümüzde sistemin toplam dönme yönü yanak boşluğu bulunur.

$$\text{Dönme yönü yanak boşluğu [Açı]} = (90 - \text{ileri}) + (90 - \text{geri}) \quad (5)$$

$$\text{Boşluk[Açı]} = \frac{\text{Vites dişli oranı} * \text{Dönme yönü yanak boşluğu [Açı]}}{\text{Diferansiyel dişli oranı}} \quad (6)$$

Tekerin tam bir tur dönüşü 360 derece kabul edilerek hesaplamalar yapılmaktadır. Aynı işlem hem sağ hem de sol teker üzerinde yapıldıktan sonra ikisinin ortalaması alınarak denklemde yerini almaktadır. Şekil 3.10'da güç aktarma sistemlerinin boşluğunun ölçülmesi şema şeklinde özetlenerek gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Güç aktarma sistemlerindeki boşluğun ölçülmesi

Böylece güç dağıtım birimlerinden meydana gelen toplam sistem rotasyonel boşluğu ölçülür. Bu ölçümde:

- Yarım şaftlardan kaynaklanan rotasyonel boşluklar
- Şaft dişlisi ile diferansiyel arasındaki rotasyonel boşluk
- Diferansiyeldeki rotasyonel boşluklar
- Seçilen vites dişlisinden kaynaklanan rotasyonel boşluk
- Debriyaj sistemindeki rotasyonel boşluklar

Sistemin toplam rotasyonel dişli boşluğunu vermektedir. Araba firmalarının farklı tecrübe ve isteklerine bağlı olarak her firmanın farklı bir kabul kriteri vardır. Dişliler arasında daha sıkı geçme ve daha az rotasyonel boşluğa sahip olması demek üretimi zorlaştırıp maliyeti arttıracığı için her firma bu konuya aynı önemi vermemektedir.

3.5 ALTI SİGMA

Birçok kuruluşta altı sigma, yalnızca mükemmellik için çabalayan kalite ölçüsü anlamına gelir. “altı sigma” olarak adlandırılabilir veya “operasyonel mükemmellik”, “sıfır hatalı” veya “müşteri mükemmelliği” gibi kuruluş için genel veya özelleştirilmiş bir adı olabilir. Altı sigma, imalattan işletmeye ve üründen servise herhangi bir işlemde kusurları ortadan kaldırmak için (ortalama ile en yakın spesifikasyon sınırı arasında altı standart sapmaya doğru sürüş) disiplinli,

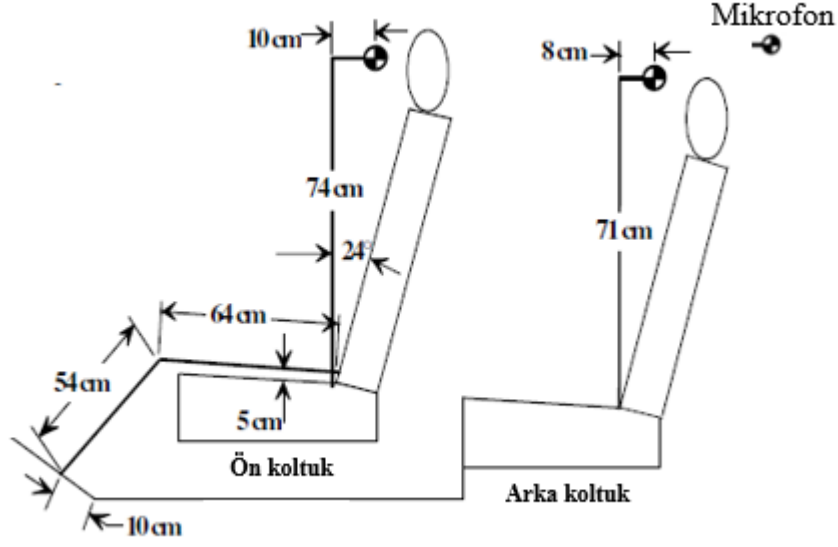
veri odaklı bir yaklaşım ve metodolojidir. Altı Sigma'nın istatistiksel temsili, bir sürecin nasıl performans gösterdiğini nicel olarak tanımlar. Altı sigmanın ana iki alt dalı vardır. Yapılacak projede mevcut bir sistemde çıkan sorunu düzeltmek istiyorsak TÖAGK (tanımla, ölç, analiz et, geliştir, kontrol et) prensiplerinde incelenir. Yeni bir tasarım denenirken ise TKOD (tanımla, karakterize et, optimizasyon, doğrulama) prensiplerine uyularak altı sigma temelinde çalışmalar yapılır. Tez kapsamında yaptığımız iyileştirmeyi devreye almadan önce altı sigma temelinde de çalışmalar yapılmıştır. Özellikle farklı tasarımları test ederek karar vermemizde yardımcı olması için tasarım denemeleri yapılmıştır. Yapılan bu tasarım denemelerini istatistiksel olarak incelenmesi bulgular kısmında verilecektir.

3.6 ARAÇ TESTİ EKİPMANLARI

Değerlendirme ve doğrulama testi için hazırlanmış bir prosedür vardır. Test, gerekli ekipman ve olanaklara sahip herhangi bir yerde yapılabilir. Metal vuruntu sesi veri ölçümü, akustik, titreşim, hız nabızı ve dijital KAT (Kontrol Ağı Teknolojisi) verilerini seçmek, bulmak ve ayarlamak için bir enstrümantasyon standardı gerektirir. Toplanan bilgileri anlamlandırabilmek için ekipmanları ve kullanım şekilleri aşağıda ele alınmaktadır. Kullanılan ekipmanların test esnasındaki görselleri de bulgular kısmında yapılan testler anlatılırken gösterilecektir. Kullanılan ekipmanların marka ve modellerine bağlı olarak toplanacak verinin kalitesi değişebilmektedir. Ayrıca yapılan her işlemde sonra ekipmanların kontrolü önemlidir.

3.6.1 Mikrofonlar

Mikrofonlar sürücü ve yolcu kulaklarını temsil edecek ve gelen verilerle sürücünün tepkisini göstermek için işlenecektir. Sürüş esnasında müşterinin duyduğu sesi doğrulayıp anlamlandırabilmek için camların kapalı, test pistinin gürültüden uzak ve araç içinde ses çıkarabilecek sorunlara karşı önlem alınmış olması gerekmektedir. Mikrofonların yerleştirilmesi Şekil 3.11'de görülmektedir. Ölçümlerde 160 dB'e kadar 4 ile 40k Hz arası sesi duyabilen mikrofonlar kullanılmıştır.



Şekil 3.11: Test için mikrofonların yerleştirilmesi

3.6.2 İvmeölçerler

Vibrasyonu, şok dalgalarını, ivmelenmeyi ve hareketleri kaydeden test ekipmanları olan ivmeölçerler test esnasında bütün veriyi toplayarak bilginin anlamlandırılmasını sağlar. İvmeölçerler kritik deneyimler elde etmek için saha testinde, fabrika üretiminde ve araştırma ve geliştirme organizasyonlarında kullanılır. Araştırma ve geliştirme konusundaki hassas minyatür ünitelere ek olarak, endüstriyel makine sağlığının izlenmesi için sağlam ivmeölçerler ve titreşim sensörleri mevcuttur. Tek eksenli ve üç eksenli ivmeölçer konfigürasyon parametreleri; hassasiyet, sıcaklık, frekans tepkisi, genlik tepkisi, form faktörü ve kurşun tel topraklamayı içerir. İvmeölçerler, ekipman ve yapıların uygun performansını değerlendirmek için kritik öneme sahiptir. Bu tür uygulamalar genellikle tüm ölçüm sisteminin sensörden son çıkışa kadar kalibrasyon kanıtını gerektirir.

Her bir toplama kanalında, bilinen frekans ve ivme seviyesindeki ivmeölçer kalibratörü yerleştirilir. Uygulanan referans sinyaline karşılık gelen hassasiyeti hesaplamak için toplama sistemini ayarlanır ve referans kontrolü yapılır. Sonuç, en son referans kalibrasyon değerinin $\pm 10\%$ olmalıdır. Bu kriter karşılanmazsa, düzeltici önlemler alınana kadar devam edilmelidir. Üç eksenli ivmeölçer titreşimi ölçmek için aralığınız 5 ile 500 Hz arası olabilir.

İvmeölçerlerin yerleştirilmesi:

- Sürücü ve yolcu koltukları altına
- Motor takozlarına
- Şanzıman takozlarına
- Sağ ve sol teker poyrası
- Önden çekişli aracın sağ şaft bağlantı miline

şeklinde yapılabilir. Şekil 3.12’de piyasada kullanılan ivmeölçerler görülmektedir. Kullanım koşullarına ve istenen verilere göre çeşitlilik gösteren ivmeölçerler vardır. Genellikle araştırma ve geliştirme çalışmalarında kullanılan ivmeölçerlerin gereksinimlere göre farklı özellikleri vardır.

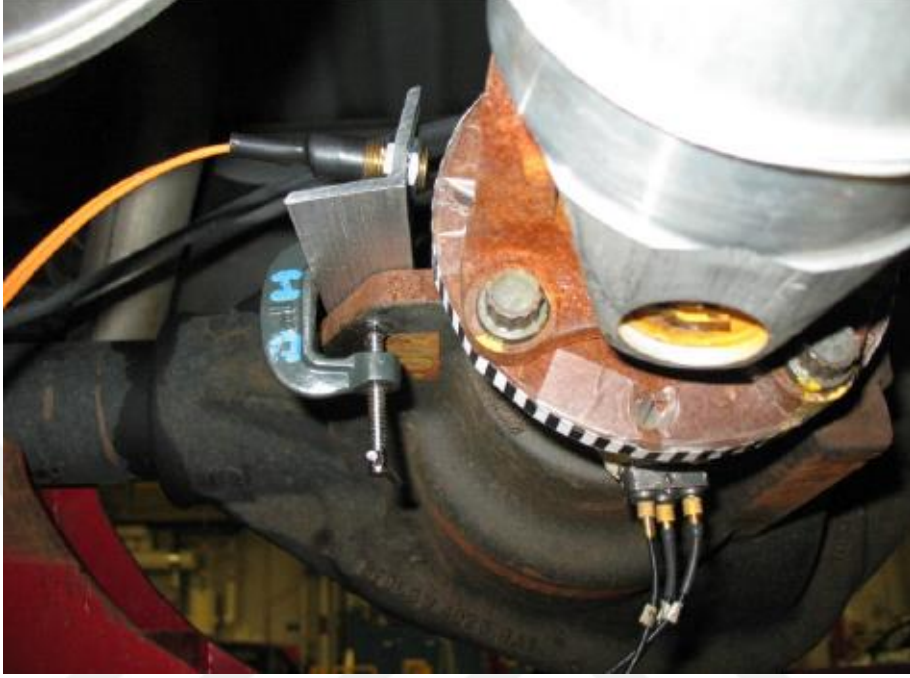


Şekil 3.12: Sektörde kullanılan ivmeölçerler[PCB,2019]

3.6.3 Burulma ve Hız Sensörleri

Dönel hız ölçümü ile ilgili olarak; en popüler yöntem, lazer takometre ve siyah beyaz kağıt şeritler kullanmaktır. Temel olarak manyetik toplayıcıya benzer, lazer takometre şeritlerin geçişini tespit eder ve ortaya çıkan darbe sinyali açısal hız ve ivmeyi türetmek için çözülebilir. Şeritler arasındaki mesafenin 1,75 milimetre olması ve mümkün olduğunca eşit aralıklarla yerleştirilmesi önerilir. İz testleri için, ıslak veya kirli bir yol sinyal kalitesini etkileyebilir.

Lazeri tutan fikstürün oldukça sağlam olması ve çeviri sırasında kağıt şeritlerle birlikte hareket etmesi gerekir. Şekil 3.13'te burulma ve hız sensörlerinin yerleştirilme örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.13: Hız sensörlerinin yerleştirilmesi

Hız sensörlerinin yerleştirilmeleri aşağıdaki gibi olabilir.

- Volan / motor esnek plakası: manyetik toplayıcıyı, transmisyon zili muhafazasında uygun bir delinmiş / açılan deliğe, sensörün ucu halka dişli dişlerinin kenarından yaklaşık 1 mm uzağa yerleştirilmiş olarak yerleştirilebilir.
- Şanzıman türbin shaftı veya şanzıman giriş shaftı; şanzımanın kalifiye ve deneyimli şanzıman teknisyenleri tarafından yapılmasını gerektirir. Bununla birlikte, bazı eski şanzıman tasarımları, sinyal sağlamak için erişilebilen şanzımana dışarıdan monte edilmiş yerleşik sensörlere sahiptir.
- Arka dingil diferansiyelin arka kapağındaki uygun bir delinmiş / kılavuz deliğine, sensörün ucu aks tonu halkasının kenarından yaklaşık 1 mm uzağa yerleştirildiğinde takılabilir. Bir ton halkası mevcut değilse, akstaki halka dişlisi hız algılama için bir hedef olarak kullanılmalıdır. Bununla birlikte, çoğu zaman, bu dişli üzerinde, şanzıman dişli oranı birliğin altında olmadıkça, ateşleme sırasını çözmek için yeterli örnekleme sağlayacak kadar yeterli diş yoktur (yani aşırı hızda çalışan araç).

- Lazer takometre ve kağıt şeritler için: çalışma alanı yeterli olduğu ve kâğıt şeritlerin içindeki veya etrafındaki ısı endişe etmediği sürece uygulanabilir.

3.6.4 Telemetriler

Telemetri, uzak kaynaklardan gelen verilerin otomatik olarak ölçülmesi ve kablosuz iletimi için kullanılır. Genel olarak, telemetri şu şekilde çalışır: kaynaktaki sensörler, elektriksel verileri (voltaj veya akım gibi) veya fiziksel verileri (sıcaklık veya basınç gibi) ölçer. Bu ölçümler belirli elektrik voltajlarına dönüştürülür. Bir çoklayıcı, zamanlama verileriyle birlikte gerilimleri, uzak bir alıcıya iletilmek üzere tek bir veri akışında birleştirir. Alındıktan sonra, veri akışı orijinal bileşenlerine ayrılır ve veriler kullanıcı özelliklerine göre görüntülenir ve işlenir. 3000 rpm'ye kadar olan tork nabızlarını ölçmek için yeterli frekans tepkisine sahip, kablosuz telemetri ünitesi şaft milinin üzerine yerleştirilir. Daha önceden yapılan burulma-voltaj kalibrasyonu ile şaftın üzerindeki rpm - tork haritası çıkartılarak toplanan veriler anlamlandırılabilir.

3.6.5 Kontrol Ağı Teknolojisi Parametreleri

Kontrol ağı teknolojisi olarak bilinen araçtaki elektronik devrelerin bütün bilgileri topladığı sistemdir. Metal vuruş sesi, kaynak üretimi olarak vuruş gürültüdür. Bu nedenle ölçülen veriler zaman alanında analiz edilmelidir. Böylece motordan ve / veya şanzımandan canlı parametrelerin alınması ve ölçülen analog / dijital verilerin hız, tork, gaz pedalı konumu vb. parametrelerle kaplanması için kritik öneme sahiptir.

Kanal Tanımı	Birim	KAT Parametresi
Motor Hızı	rpm	EngAout_N_Actl
Gaz Pedalı Pozisyonu	%	ApedPos_Pc_ActlDiag
Gaz Pedalı Hızı	%/ms	ApedPos_PcRate_ActlArb
Debriyaj Pedalı Pozisyonu	%	CluPdlPos_Pc_Meas
Debriyaj Pedalı Hızı	%/ms	CluPdl_PcRate_Actl
Araç Hızı	km/s	Veh_V_ActlEng
Aracın İvmelenmesi	m/s ²	VehLong_A_Actl
Sol teker dönüş hızı	rpm	WhlFl_W_Meas
Sağ teker dönüş hızı	rpm	WhlFr_W_Meas

Tablo 3.1: Kontrol ağı teknolojisi parametreleri tablosu

3.6.6 VERİ TOPLAMA SİSTEMLERİ

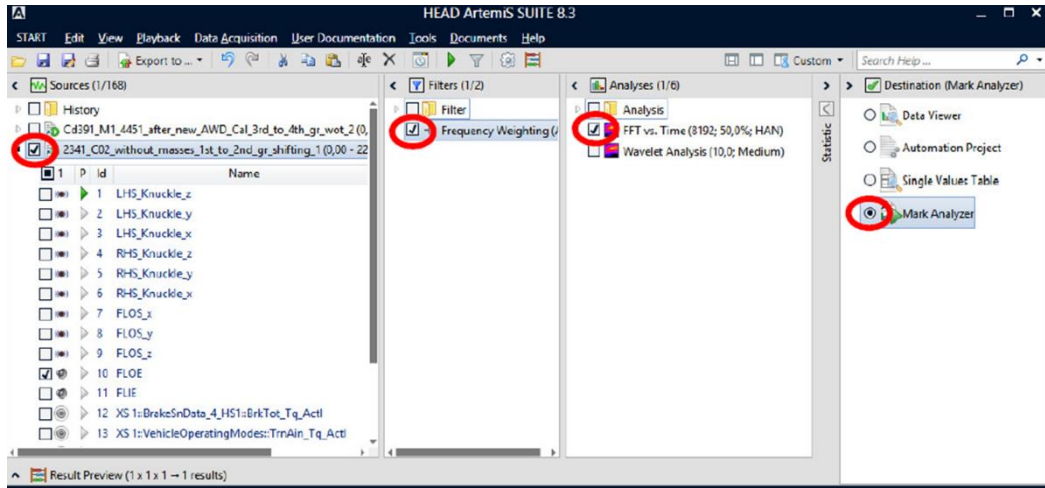
Siemens'in veri toplama sistemi olan LMS SCADAS ile aracın çeşitli yerlerine yerleştirilen ivmeölçerlerden gelen veriyi ses, gürültü ve titreşim anlamlandırılabilir. LMS'in yanı sıra daha az very kanalına sahip ama daha portative olan Head akustik firmasına ait Squadriga cihazı da kullanılabilir. Tez kapsamında yapılan ölçümlerde LMS cihazı kullanılmıştır. Şekil 3.14'te LMS cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.14: LMS SCADAS [LMS,2018]

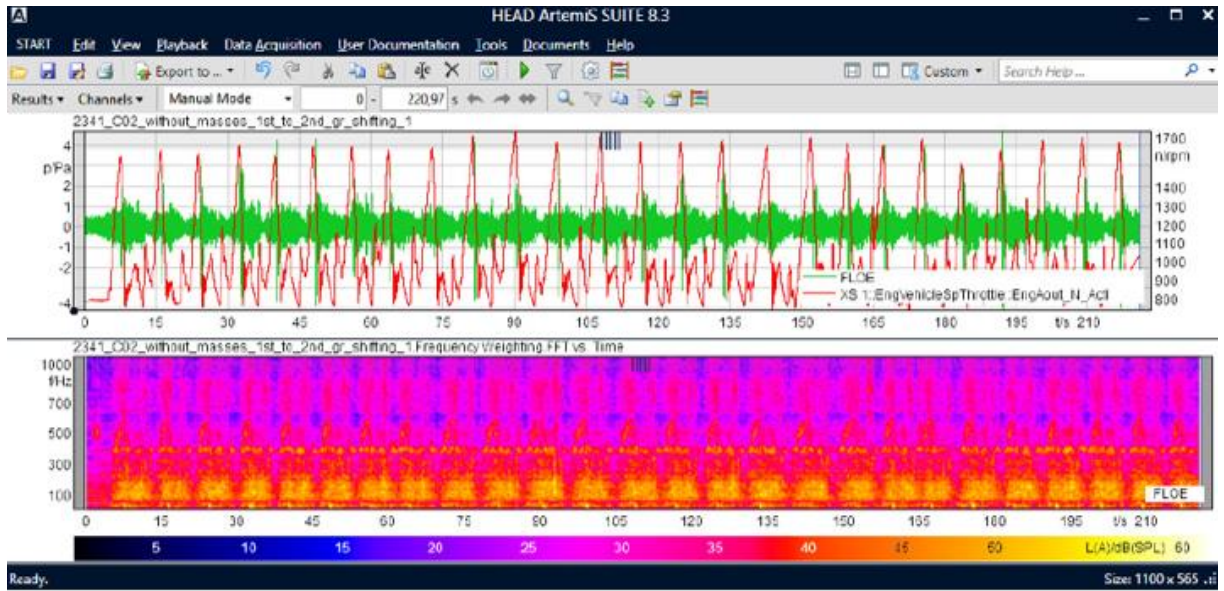
3.6.7 VERİ DEĞERLENDİRME SİSTEMLERİ

Temel analiz programlarında olduğu gibi toplanan verileri anlamlı hale getirebilmek için proje kapsamında Artemis programı kullanılmıştır. Özellikle otomotiv sektöründe yapılan ses, gürültü ve titreşim çalışmalarında verileri incelemek için bu program kullanılmaktadır. Kullanıcı dostu olması ve istenilen veriye kolayca ulaşılması bu programın en önemli özelliklerinden biridir. Kullanıcıların topladığı veriyi istediği şekilde analiz etmesi için hızlı Fourier dönüşümü ile zaman temelli eşleştiren bu program yardımıyla toplanan birden fazla verinin anlamlandırılması sağlanmaktadır. Tez kapsamında araç üzerinden toplanan veriler bu program yardımıyla incelenmiştir. Şekil 3.15'te toplanan verilerin Artemis programında ilk işlemini gösterilmiştir.



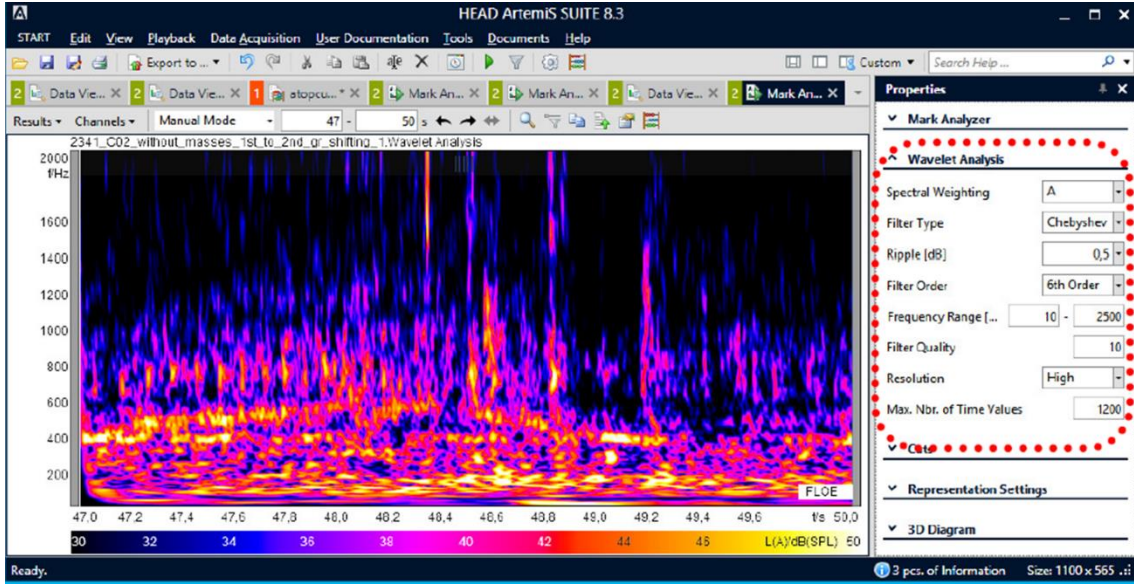
Şekil 3.15: Artemis programının veriyi incelemek için ilk adımları

Toplanan veriyi hızlı Fourier dönüşümü ilkesi ile zaman temelli analiz etmesi sağlanır. Bu ana kadar ayrı ayrı toplanan verilerin üst üste eşlenmesi ile ortaya daha anlaşılır test sonuçları çıkmaktadır. İvmeölçerlerden gelen veriyi desibel şiddetine göre renklendiren tablolar yardımıyla vuruntunun olduğu anı yakalamak daha kolay bir hâl almaktadır. Şekil 3.16'da verinin analiz edilebilir hale dönüştürülmüş Artemis programı çıktısı görülmektedir.



Şekil 3.16: Verinin Artemis programı ile analiz edilebilir hale gelmiş hali

Geniş zamanda toplanan verinin daha iyi anlamlandırılabilmesi için manevrada olduğu gibi zaman aralığını kısaltırsak ani metal vuruntu sesinin etkisini daha iyi görebiliriz. Şekil 3.17’de zamanı daraltılmış analiz gösterilmektedir.



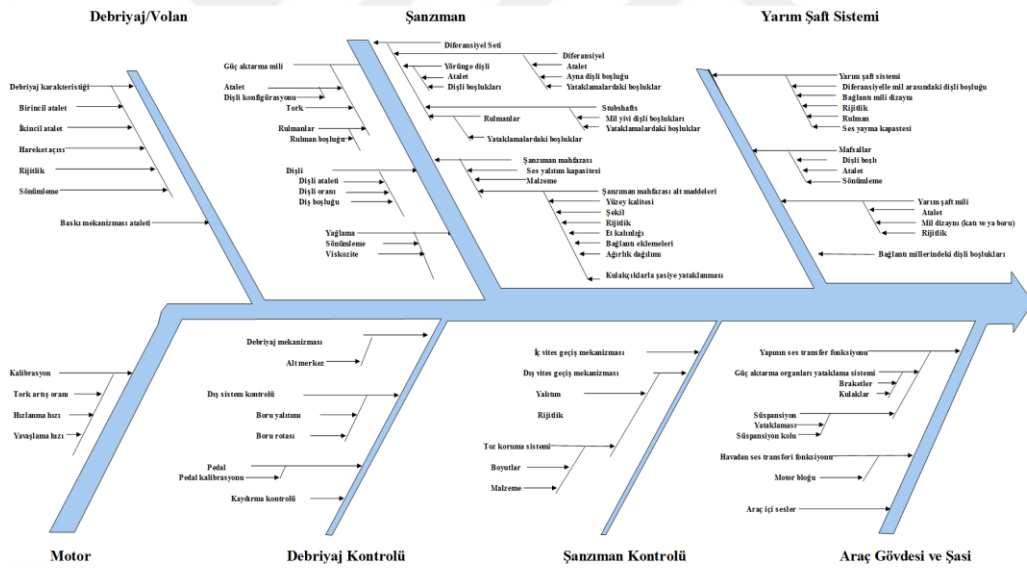
Şekil 3.17: Kısa zaman aralığında metal vuruntu sesinin incelenmesi

4. BULGULAR

Öncelikle metal vuruntu sesine sebep olabilecek etkenler incelenecektir. Yapılan balık kılıçığı çalışması ile bütün maddeler gösterilecektir. Ayrıca araç üzerinde sürekli test yapmanın maliyetleri göz önünde bulundurularak maliyetleri en aza indirebilmek için mühendislik yaklaşımlarıyla oluşturulan yarım shaft üzerinde üç ana değişkenin etkisini anlamak için tasarım denemeleri yapılarak sonuçlar incelenmektedir.

4.1 METAL VURUNTU SESİNİN KAYNAKLARI

Güç aktarma sistemlerinden kaynaklanan metal vuruntu sesinin birden fazla etkeni vardır. Bu maddeleri kısaca açıklaması aşağıda görülmektedir. Şekil 4.1’de metal vuruntu sesine katkısı olan sistemleri balık kılıçığı şeklinde gösterilmiştir. Ayrıca balık kılıçığının daha iyi anlaşılabilmesi için Ek-1 olarak ekler kısmında gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Metal vuruntu sesine sebep olan girdilerin balık kılıçığı şeklinde şema haline getirilmesi

4.1.1 Motor Kalibrasyonu

İçten yanmalı motorların karakteristikleri kalibrasyon yardımıyla müşterinin ihtiyacı ve aracın gereksinimlerine göre ayarlanabilmektedir. Kontrol ağı teknolojisi ve kalibrasyonun yardımıyla her viteste ve kullanım koşulunda motorun verdiği güç kontrol altına alınabilmektedir. Bu duruma örnek verilecek olursa, araba firmaları aynı içten yanmalı motoru kalibrasyon

yardımıyla karakterize ederek maksimum tork ve tork artış oranını değiştirerek müşterilere farklı alternatifler sunmaktadır. Metal vuruñtu sesine motorun kalibrasyonu ile ayarlanan tork artış oranı, hızlanma hızı ve yavaşlama hızı gibi özelliklerin de etkisi bulunmaktadır.

4.1.2 Debriyaj ve Kontrolü

Debriyaj sistemleri motordan gelen gücü şanzımana aktaran sistemlerdir. Sistemin alt parçaları da dikkate alındığında özellikle sistemin ve alt parçalarının ataleti, kavramanın hareket açısı, sistemin rijitliği ve enerji sönümlenme kapasitesi metal vuruñtu sesinin etkenlerinden bazılarıdır.

Ayrıca kavrama sisteminin karakteristiğini etkileyen kontrol ve kalibrasyon konuları da metal vuruñtu sesinin etkenlerindedir. Bunları sıralarsak; debriyaj mekanizmasının alt merkezinin dizaynı ve kalibrasyonu, kullanılan kabloların karakteristiği ve yalıtımı, pedalın karakteristiği ve kontrolü, kavrama disklerinin kaydırma kontrolleridir.

4.1.3 şanzıman ve Kontrolü

Güç aktarma sistemlerinden en çok dönme yönü yanak boşluğuna sebep olan parça şanzımandır. Bu nedenle metal vuruñtu sesinin aktarılmasında en büyük etkenlerden birisidir. Daha ayrıntılı incelemek gerekirse ana başlıklar ve alt başlıkları aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır.

- Güç aktarma mili: milin ataleti, konfigürasyonu, tork kapasitesi ve rulmanlar yardımıyla yataklanmasıdır.
- Diferansiyel seti: diferansiyelin içinde bulunan dişliler ve dişlilerin boşlukları, yataklama stratejisi ve kullanılan rulmanlar, aktarma millerindeki yivlerin dizaynı ve boşluklarıdır.
- Dişli setleri: vites olarak adlandırılan dişli setlerinin tasarımları, dişli oranları ve dişli boşluklarıdır.
- şanzıman sistemini kapalı bir sistem haline getiren mahfazanın: malzemesi, ses yalıtım kapasitesi, şekli, rijitliği, et kalınlıkları, ağırlık dağılımları, bağlantı eklemeleri ve şasiye yataklanma stratejisidir.
- Yağlama: şanzıman sisteminde kullanılan yağın viskozitesi, ısı kapasitesi ve sönümlenme kapasitesidir.

- Şanzıman kontrolü: vites geçiş mekanizmaları ve kullanılan kalibrasyonlar, vites geçiş kablolarının yalıtımı ve malzemesi, kabloların araç üzerinde yataklanmasıdır.

4.1.4 Araç Gövdesi ve Şasi

Araç gövdesi ve şasinin etkenleri: yapının ses transfer fonksiyonu, motor bloğunun sisteme yataklanmasında kullanılan braketler ve kulaklar, süspansiyon sisteminin karakteristiği ve gövdeye yataklanmasıyla araç içi seslerdir.

4.1.5 Yarım Şaft Sistemi

Tez kapsamında değişiklik yaparak denemeler yaptığımız yarım şaft sisteminin metal vuruntu sesine etkileri: sağ taraftaki bağlantı milinin motor bloğuna yatakladığı braket ve rulmanlar, bağlantı milleri ve mafsalların rijitliği, sistemin ataleti, bağlantı millerinde ve mafsallardaki dişli boşlukları, mafsallarda kullanılan gresin sönümlemesi ve viskozitesi ile sistemin ses yayma kapasitesidir.

4.2 TASARIM DENEMELERİ

Tasarım denemeleri optimizasyon teorisi içerisinde, çıktı yanıtındaki değişikliklerin nedenlerini belirlemek için giriş değişkenlerinin verilen bir kurala göre değiştirildiği bir testler dizisidir. Metal vuruntu sesine sebep olan faktörler incelenerek, bu faktörlerin etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışmada altı sigma projelerinde kullanılan Minitab istatistiksel programı kullanılmış ve yarım şaft sistemi üzerinde önemli etkisi bulunan üç farklı faktör kullanılmıştır.

Bunlardan birincisi yarım şaft sisteminin dönme yönü dişli yanak boşluğudur. Sistemsel olarak normal üretim koşullarında maksimum 0.8 derece dönme yönü dişli yanak boşluğuna sahip şaft sistemlerinde kullanılan alt parçalarının boyutlarının incelenerek sınıflanırılması ve sınıflanmış parçaların eşleştirilmesi ile dönme yönü dişli yanak boşluğunun üst limiti 0.65 dereceye kadar indirilebilir. Ancak üretime gelen ek işlemler ve üretim süresinin uzamasından kaynaklı yarım şaft başına on türk lirasını geçen maliyetler eklenmektedir. Araçta iki adet yarım şaft olduğunu ve yıllık üretimin milyonları bulduğunu düşünürsek, göze az gibi gelen on türk lirasının firmalara maliyeti azımsanmayacak kadar çoktur.

İkinci faktörümüz ise mafsalların içerisinde yağlama etkisi için kullanılan greslerdir. Piyasa da yapılan araştırmalar sonucu iç mafsal için en optimum sonucu veren Caplex gresi ile viskozitesi

daha yüksek ve termal etkilere daha dayanıklı olan K-38 gresi test edilmiştir. K-38 gresine geçmenin maliyeti araç başına 12 türk lirasını bulmaktadır.

Üçüncü faktörümüz ise yarım şaftın diferansiyele bağlandığı kısımdaki düz dişlilere helis açısı vermektir. Helisel dişliler kadar olmasa da erkek düz dişli formuna eklenen helis açısı ile güç aktarımı sırasında erkek ve dişi dişli arasında yüzeylerin ani çarpışmasını önleyerek aktarımın daha kademeli olması hedeflenmiştir.

Tasarım denemeleri mantığına göre belirlediğimiz üç faktörü ve etkilerini anlamak için sekiz farklı test yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda uzman kişiler tarafından denemelerin subjektif değerlendirilmeleri yapılmıştır ve her tasarıma bir ile on arasında puan verilmiştir. Verilen puanlama skalasında bir en kötü ve on ise en iyi olacak şekilde değerlendirme yapılmıştır. Yapılan denemeler Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

		1	2	3	4	5	6	7	8
Şaft sisteminin boşluğu	0.65°	✓	✓	✓	✓				
	0.8°					✓	✓	✓	✓
Gres	Caplex	✓	✓			✓	✓		
	K-38			✓	✓			✓	✓
Helis Açısı	Yok	✓		✓		✓		✓	
	Var		✓		✓		✓		✓
Değerlendirme		6.8	7	6.7	6.9	4.5	5.7	4.7	5.8

Tablo 4.1: Tasarım denemeleri tablosu

Yapılan testlerden elde edilen değerlendirmeleri istatistik programı olan Minitab üzerinde analiz edilmiştir.

4.2.1 Minitab

Minitab, altı sigma perspektifinde istatistiksel çalışmalarını yapmamıza yarayan Microsoft temelli programdır.

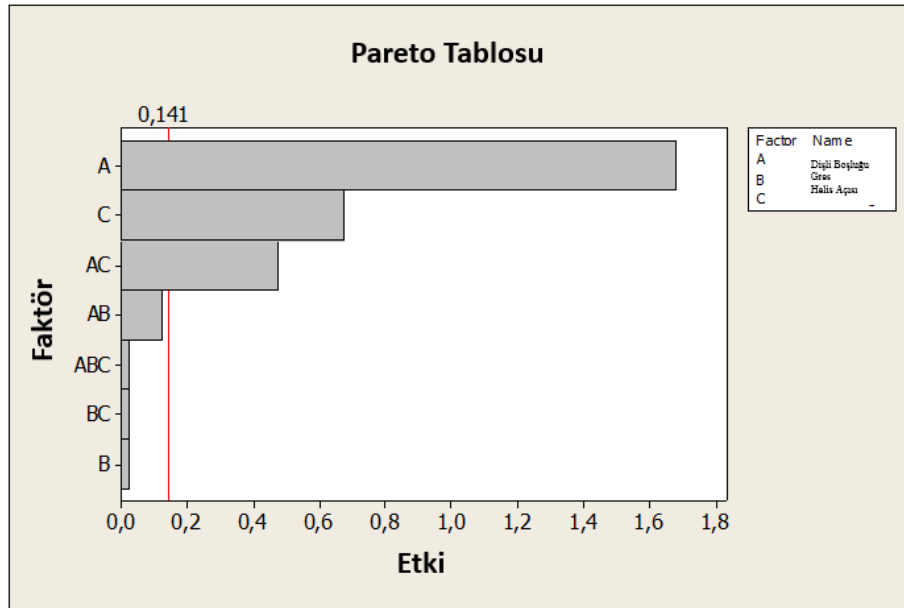
Yapılan denemelerde üç farklı faktörün etkisini anlamak için regresyon analizi yapılmıştır. R-kare, verilerin uygun regresyona ne kadar yakın olduğuna dair istatistiksel bir ölçüdür. Aynı zamanda tayin katsayısı veya çoklu regresyon için çoklu tayin katsayısı olarak da bilinir. R-karesinin tanımı oldukça açıktır; doğrusal bir model tarafından açıklanan yanıt değişkeni varyasyonunun yüzdesidir. R-kare değeri %0 ile %100 arasında değişmektedir.

- %0 : Modelin yanıt verilerinin, ortalamanın etrafındaki değişkenliğinden hiç birini açıklamadığını gösterir.
- %100 : Modelin yanıt verilerinin, ortalamanın etrafındaki değişkenliği açıkladığını gösterir.

Pareto tablosu, istatistiksel çalışmaya verilerin etkisini gösterdiğimiz tablolardır. Minitab yardımıyla her bir tasarımın mekanik vuruntu sesinde nasıl etkili olduğunu anlamlandıracamız. Yapılan denemelerde birinci faktörümüz yarım şaft sisteminin dönme yönü dişli yanak boşluğu ve 0.65° , 0.8° olmak üzere iki alt kategorisi var. İkinci faktörümüz ise mafsalların içerisindeki gresler ve Caplex, K-38 olmak üzere iki alt kategorisi var. Üçüncü faktörümüz ise diferansiyele bağlanan düz dişli üzerinde $15'$ lik helis açısının olup, olmamasıdır.

- Faktör A: Dişli boşluğu $\rightarrow 0.65^\circ$ veya 0.8°
- Faktör B: Gres \rightarrow Caplex veya K-38
- Faktör C: Helis Açısı \rightarrow Var veya yok

Verilen değerlendirmeleri baz alarak regresyon çalışması yaptığımızda en çok etkisi olan maddenin dişli boşluğu olduğu Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2: Değişkenlerin değerlendirmeye etkisi

İstatistiksel olarak yapılan çalışmanın Minitab çıktısı da Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

Factorial Fit: Evaluations versus Lash; Grease; Helix Angle

Estimated Effects and Coefficients for evaluations (coded units)

Term	Effect	Coef
Constant		6,0125
Lash	-1,6750	-0,8375
Grease	0,0250	0,0125
Helix Angle	0,6750	0,3375
Lash*Grease	0,1250	0,0625
Lash*Helix Angle	0,4750	0,2375
Grease*Helix Angle	-0,0250	-0,0125
Lash*Grease*Helix Angle	-0,0250	-0,0125

Analysis of Variance for Evaluations (coded units)

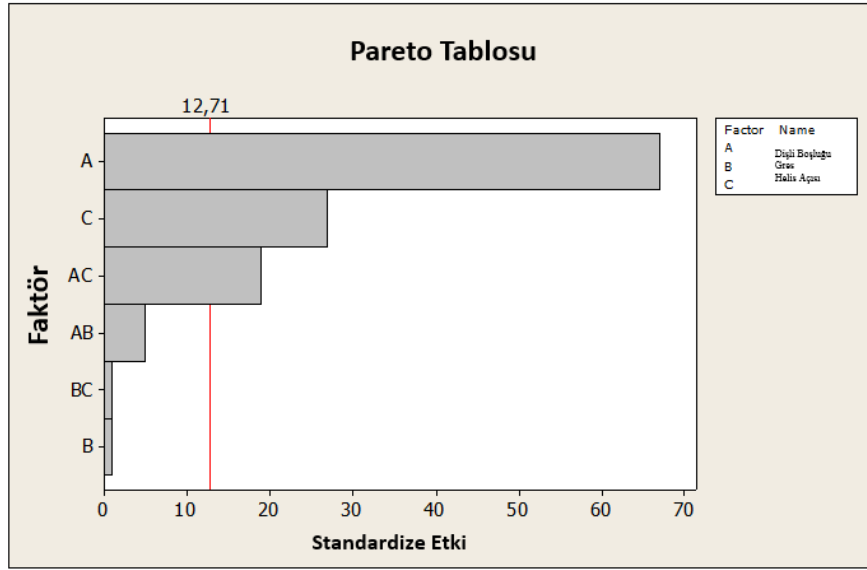
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	6,52375	6,52375	2,17458	*	*
2-Way Interactions	3	0,48375	0,48375	0,16125	*	*
3-Way Interactions	1	0,00125	0,00125	0,00125	*	*
Residual Error	0	*	*	*		
Total	7	7,00875				

Estimated Coefficients for Evaluations using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	11,2050
Lash	-6,70000
Grease	-0,375000
Helix Angle	-1,13500
Lash*Grease	0,500000
Lash*Helix Angle	1,90000
Grease*Helix Angle	0,0650000
Lash*Grease*Helix Angle	-0,100000

Şekil 4.3: Tasarım denemelerinin değerlendirmeye etkisinin program çıktısı

Minitab yardımıyla regresyon denklemleri kullanılarak R-kare yaklaşımıyla düşük etkisi olan denemeler çıkarılmıştır. Standardizasyon yapıldıktan sonra kalan denemelerin etkisi Şekil 4.4'de gösterilen Pareto tablosu elde edilmiştir. R-kare; değerlerin karelerinin toplamının ortalamaya uzaklıklarının karelerinin toplamına bölümünün, birden çıkartılmasıyla hesaplanmaktadır.



Şekil 4.4: Standardize edildikten sonra değişkenlerin değerlendirmeye etkisi

İstatistiksel olarak standardizasyondan sonra kalan denemelerin Minitab çıktısı da Şekil 4.5'te görülmektedir.

Factorial Fit: Evaluations versus Lash; Grease; Helix Angle

Estimated Effects and Coefficients for VER (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		6,0125	0,01250	481,00	0,001
Lash	-1,6750	-0,8375	0,01250	-67,00	0,010
Grease	0,0250	0,0125	0,01250	1,00	0,500
Helix Angle	0,6750	0,3375	0,01250	27,00	0,024
Lash*Grease	0,1250	0,0625	0,01250	5,00	0,126
Lash*Helix Angle	0,4750	0,2375	0,01250	19,00	0,033
Grease*Helix Angle	-0,0250	-0,0125	0,01250	-1,00	0,500

S = 0,0353553 PRESS = 0,08
R-Sq = 99,98% R-Sq(pred) = 98,86% R-Sq(adj) = 99,88%

Analysis of Variance for Evaluations (coded units)

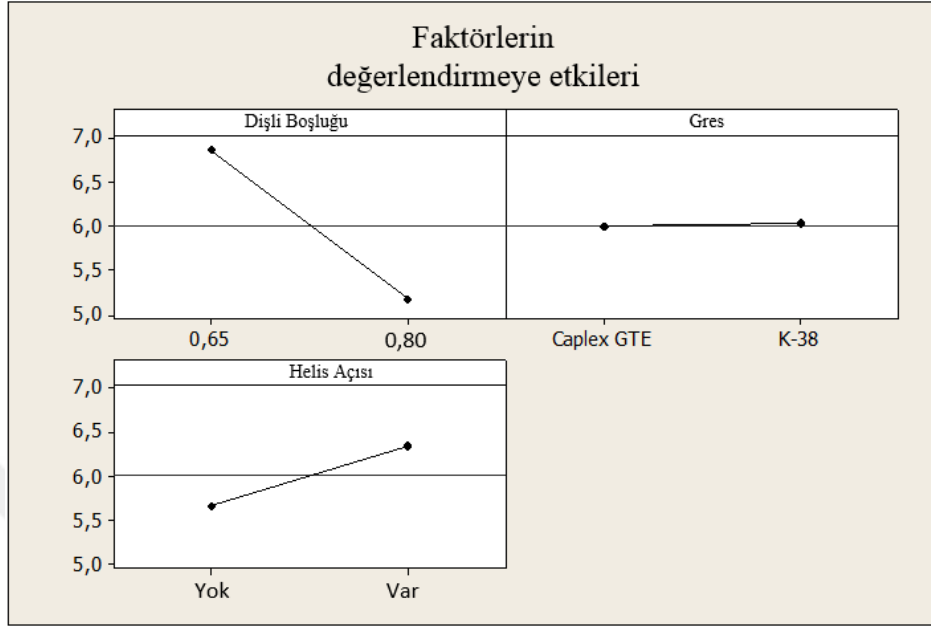
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	6,52375	6,52375	2,17458	1739,67	0,018
2-Way Interactions	3	0,48375	0,48375	0,16125	129,00	0,065
Residual Error	1	0,00125	0,00125	0,00125		
Total	7	7,00875				

Estimated Coefficients for Evaluations using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	11,2050
Lash	-6,70000
Grease	-0,375000
Helix Angle	-1,13500
Lash*Grease	0,500000
Lash*Helix Angle	1,90000
Grease*Helix Angle	-0,0125000

Şekil 4.5: Tasarım denemelerinin standardizasyondan sonra etkisinin program çıktısı

Yapılan çalışmada faktörlerin değerlendirmeye ana etkisini göstermek için Minitab yardımıyla Şekil 4.6’da grafikler görülmektedir.

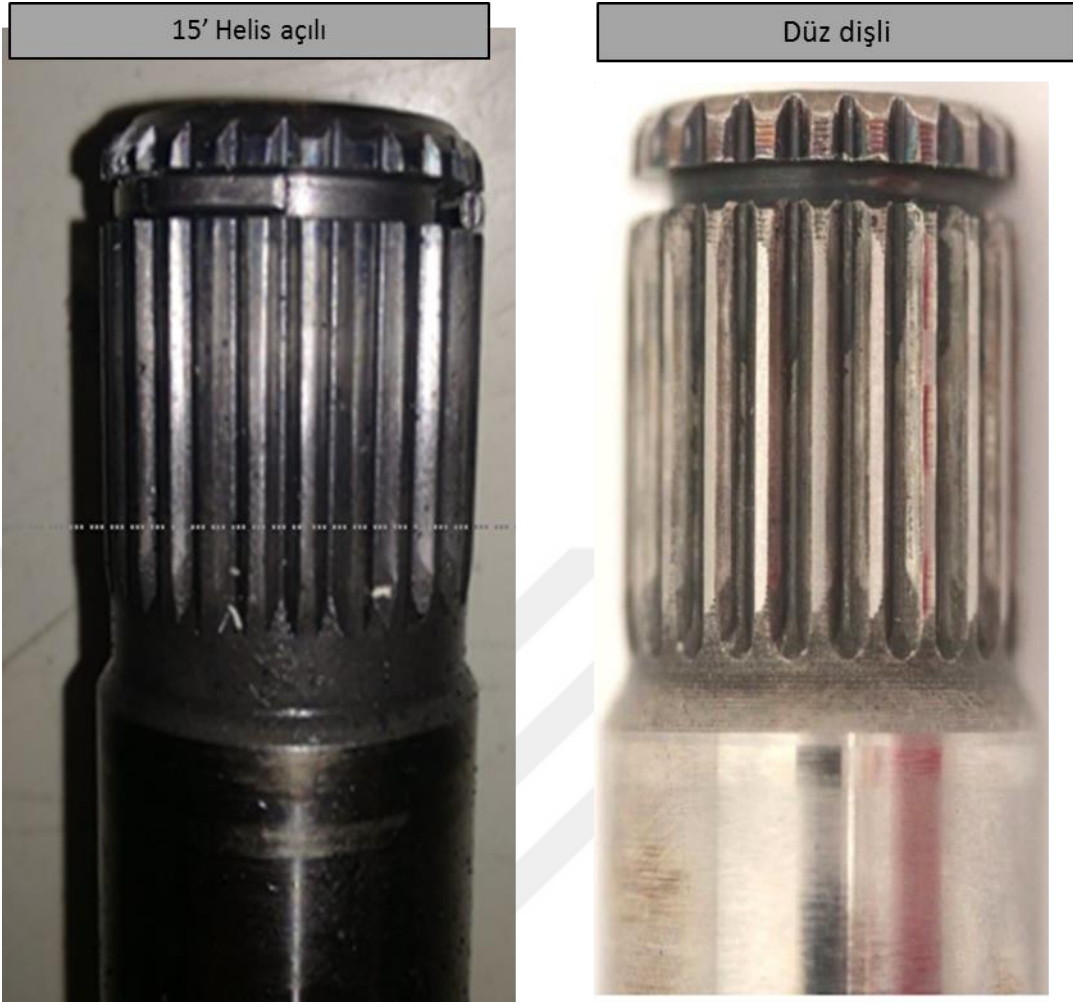


Şekil 4.6: Tasarım denemelerinin değerlendirmelere etkisi

Minitab üzerinde yapılan çalışmalarda da görüldüğü üzere farklı gres kullanmanın metal vuruntu sesine etkisi çok düşüktür. Genelde dişlilerin dönme yönü yanal boşluğu ile yarım şaftın iç mafsalının diferansiyele bağlantısını sağlayan düz dişliye verilen helis açısının etkisi yüksektir. Yarım şaft sisteminin dönme yönü yanal boşluğunu limitlemenin yüksek maliyeti göz önüne alınırsa daha düşük maliyetle aynı etkiyi bağlantı milinin düz dişlisine uygulanan helis açısıyla sağlayabilmek mümkündür.

4.3 DÜZ DİŞLİ İLE HELİS AÇILI DÜZ DİŞLİ

Yarım şaft sisteminin diferansiyele bağlandığı düz dişliye verilen 15' lik helis açısını gözle anlamak imkansızdır. Eklenen helis açısının dönme yönü yanal boşluğuna etkisini anlamak için on adet diferansiyele beş adet düz dişliye sahip bağlantı mili ve beş adet helis açılı bağlantı mili ile boşluk ölçümü yapılmıştır. Şekil 4.7’de kullanılan bağlantı millerinin görseli gösterilmektedir.



Şekil 4.7: Helis açılı ve düz bağlantı mili

Yapılan boşluk ölçümünün sonuçları Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Yapılan testlerin sonucunda diferansiyelin dişi dişlisinde değişiklik yapmadan sadece yarım şaftın bağlantı miline verilen helis açısı ile iki parça arasında dönme yönü yanal boşluğunun nasıl limitlendiği gösterilmiştir. Boşluk hesaplamalarında bir derecenin altmış dakika olduğu bilinmektedir. 0.8° den 0.65° ’ye düşmenin dakika olarak karşılığı olan dokuz dakikalık etkisini bağlantı miline helis açısı vererek ulaşabileceğimiz Tablo 4.2’de gösterilmektedir.

		Parça 1	Parça 2	Parça 3	Parça 4	Parça 5
Düz Dişli	Bağlantı milinin diş başı boyutu (27.611 Min)	27.611mm	27.627mm	27.627mm	27.627mm	27.627mm
	Diferansiyelin diş dibi boyutu	21.343mm (Max 21.35)				
	İki sistem arası dönme yönü yanal boşluğu	25'	30'	29'	30'	28'
		Parça 1	Parça 2	Parça 3	Parça 4	Parça 5
Helis açılı düz dişli	Helis açısı	15' 21"	15' 15"	15' 20"	15' 13"	15' 14"
	Bağlantı milinin diş başı boyutu (27.611 Min)	27.620mm	27.621mm	27.633mm	27.616mm	27.615mm
	Diferansiyelin diş dibi boyutu	21.343mm (Max 21.35)				
	İki sistem arası dönme yönü yanal boşluğu	19'	18'	13'	18'	18'

Tablo 4.2: Tasarım denemeleri tablosu

Yapılan parça seviyesi ölçümler bize diferansiyelle bağlanan milin düz dişlisine verilen küçük helis açısının etkisini göstermektedir. Düz dişlilere kıyasla helisel dişliler daha yüksek mukavemete sahip olmakla birlikte tahriğin iletimindeki koşullardan kaynaklı daha sessiz çalışırlar. Yarım şaft milinin diferansiyelle fabrika koşullarında montajının yapılabilmesi için düz dişliye sahip olması gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda verilen helis açısının montaj sırasında operatörü etkilemediği de gözlemlenmiştir.

4.4 TEST İÇİN ÖLÇÜM EKİPMANLARININ ARACA YERLEŞTİRİLMESİ

Yapılacak testlerin doğru sonuçlar verebilmesi için enstrümantasyonu çok önemlidir. Kullanılan ekipmanların kalibre edilmesi de toplanan verinin anlamlı olması için önemlidir. Malzeme ve yöntem kısmında anlatıldığı gibi tez kapsamında yapılan testlerde aracın enstrümente edilmesi bu başlık altında anlatılacaktır.

4.4.1 Mikrofonlar

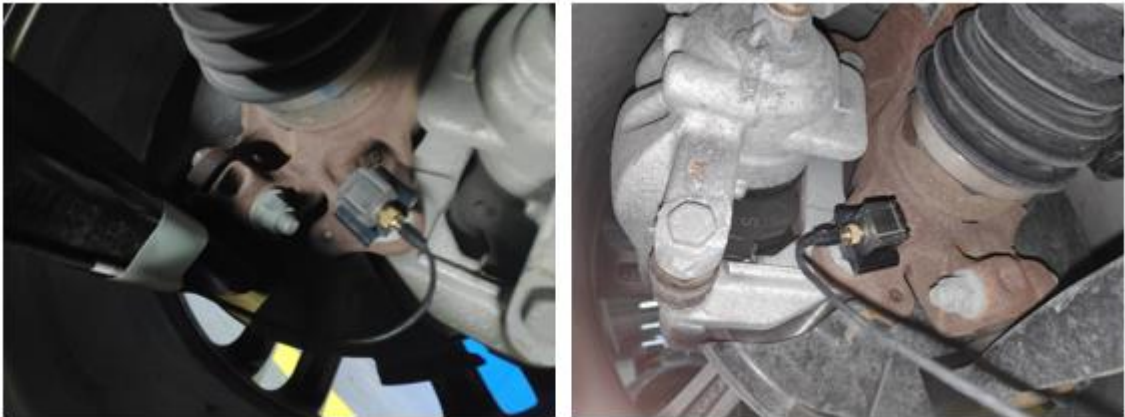
Kullanıcının hissettiği metal vuruntu sesinin veriye aktarılabilmesi için özellikle ön koltuklara mikrofonlar yerleştirilir. Şekil 4.8'de insan kafası şeklinde mikrofonların yerleştirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Ön yolcu koltuğuna mikrofonların yerleştirilmesi

4.4.2 İvmeölçerler

Tez kapsamında kullanılan ivmeölçerlerden bazıları aksan üzerine bazıları ise yolcu koltuklarının altına yerleştirilmiştir. Şekil 4.9'da sol ve sağ aksan üzerine yerleştirilen ivmeölçerler gösterilmiştir.



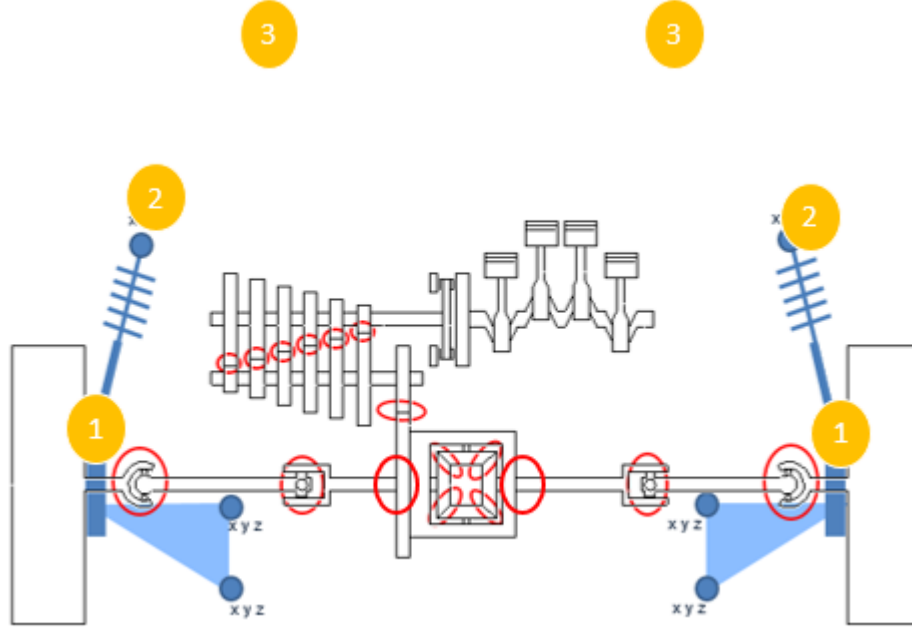
Şekil 4.9: Sol ve sağ aksona yerleştirilen ivmeölçerler

Şekil 4.10'da sürücü koltuğunun altına takılan ivmeölçer görülmektedir.



Şekil 4.10: Sürücü koltuğunun altına yerleştirilen ivmeölçer

Şekil 4.11'de araç üzerine yerleştirilen ekipmanlar ve yerleri şema halinde görülmektedir.



Şekil 4.11: Aracın enstrümantasyon noktalarının şema halinde gösterilmesi

4.4.3 Kontrol Ağı Teknolojisinden Veri Toplama

Aracın kontrol ağı teknolojisine bağlanarak veri alabilmek için araç üzerindeki motor kontrol ünitesine özel bir yazılım yüklenir. Bu yazılım sayesinde tezin malzemeler kısmında belirtilen parametreler toplanabilir. Metal vuruş sesini anlamlandırabilmek için en önemli parametreler şunlardır:

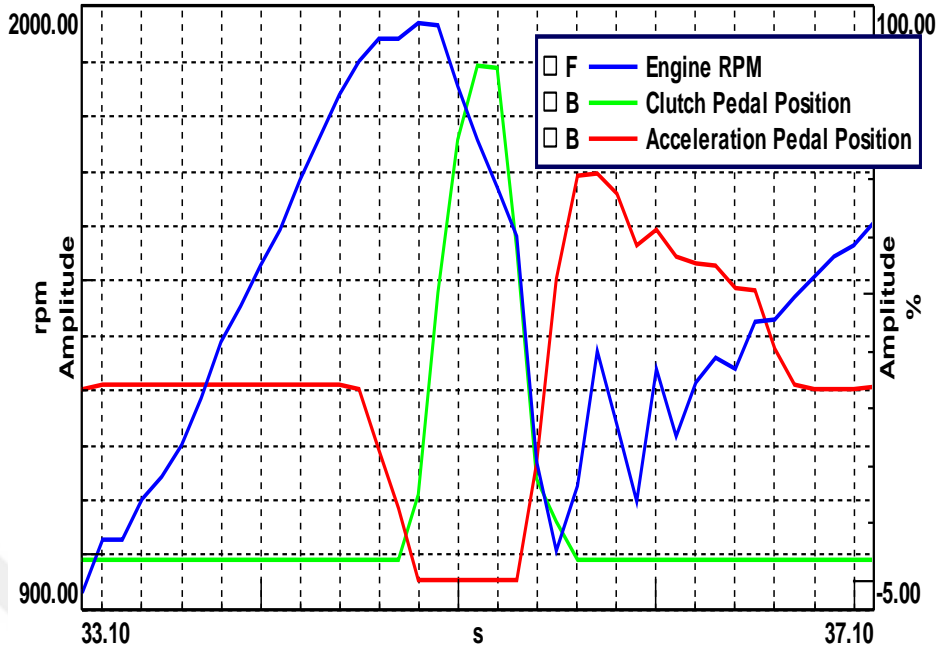
- Gaz pedalı pozisyonu
- Debriyaj pedalı pozisyonu
- Motor devir sayısıdır.

4.5 METAL VURUNTU SESİ MANEVRALARI

Metal vuruş sesinin en net şekilde anlaşılması için yapılan testlerde manevraları doğru tanımlamak önemlidir. Özellikle düşük viteslerde araçlar daha yüksek tork kapasitesine sahiptir ve genellikle şanzımandaki dişli setlerinde düşük viteslerde dişli boşluğu daha fazladır. Bu yüzden birinci vitesten ikinci vitese geçerken karşılaşılan metal vuruş sesi diğer viteslere göre daha fazla hissedilmektedir.

Malzeme ve yöntem kısmında metal vuruş sesinin türleri gösterilmiştir. Tez kapsamında özellikle iyileştirilme yapılan kısım vites değişikliklerinde oluşan metal vuruş sesidir. Teste başlamadan önce şanzıman içerisindeki yağın yeterli miktarda olduğu kontrol edilir. Ayrıca aracın ürettiği gücün tekerlerden yere net bir şekilde aktarılması için zeminin kuru ve kaliteli bir asfalt olması gerekmektedir. Bu yüzden hava durumunun yağmursuz ve zeminin kuru olması önemlidir. Testin yapıldığı pistin diğer ses kaynaklarından uzak olması toplanacak verinin kalitesi için önemlidir. Yoldan geçen başka bir aracın sesi toplanan veride gürültülü bir bilgi olmasına sebep olabilir.

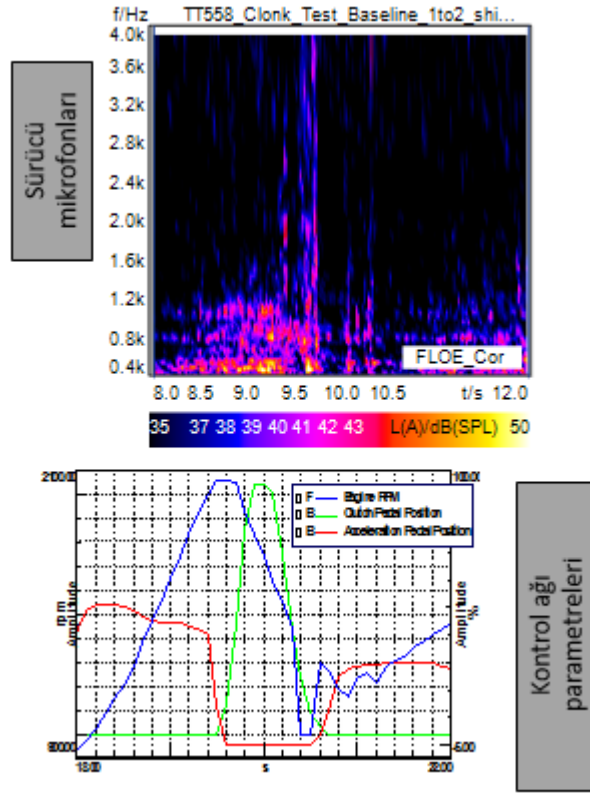
Araç birinci viteste ilerlerken motor devrinin iki bine geldiği anda debriyaja basılır ve hızlıca ikinci vitese geçilir. Kavramanın olduğu anda debriyaj kavraması devreden çıkartılarak gaz basılır. Ani torkun binmesi ile metal vuruş sesi yakalanır. Aynı işlem diğer vites geçişlerinde de yapılır ancak sesin en çok hissedildiği an birinci vitesten ikinci vitese geçildiği andır. Şekil 4.12’de kontrol ağı teknolojisi yardımıyla toplanan gaz pedalı pozisyonu, debriyaj pedalı pozisyonu ve motor devri görülmektedir.



Şekil 4.12: Gaz ve debriyaj pedal pozisyonlarının motor deviri ile aynı zamanda gösterilmesi

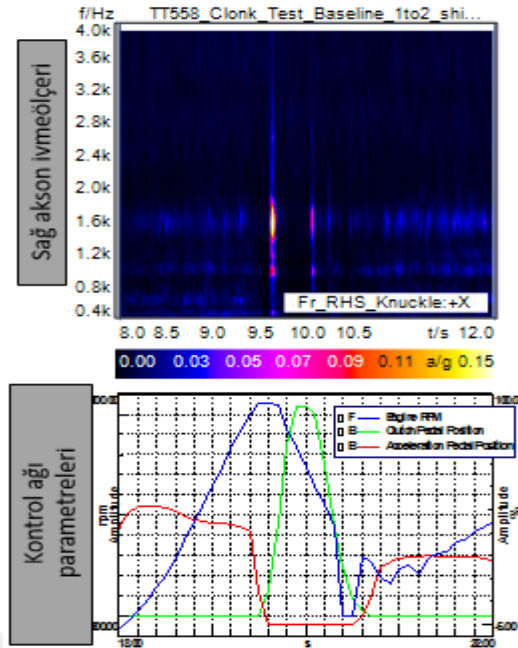
4.6 ARAÇ TESTİ SONUÇLARI

Yapılan testlerde aynı araç üzerinde 0.65 derece dönme yönü yanak boşluğuna sahip yarım şaftlar ile 0.8 derece dönme yönü yanak boşluğuna sahip ve bağlantı milinde 15 ± 4 derecelik helis açısı verilmiş yarım şaftlar kullanılmıştır. Test yapılan araçtaki bütün parçaların özelliklerinin hesaplanmasına gerek kalmadan aynı araç üzerinde sadece yarım şaft milleri değiştirilerek ölçümler yapılmıştır. Bütün testler Ford Otosan'ın Eskişehir İnönü test pistinde havanın yağmursuz ve yaklaşık 20°C olduğu koşulda gerçekleştirilmiştir. Şaft değişimleri sırasında sürekli olarak şanzıman yağı kontrolü yapılmıştır. İlk olarak aracın satışında kullanılan 0.65 derece dönme yönü yanak boşluğuna sahip yarım şaft parçalarıyla testler yapılmıştır. Şekil 4.13'te sürücü koltuğuna yerleştirilen mikrofonlardan gelen ses verisi ile kontrol açısından toplanan verilerin görseli gösterilmektedir.



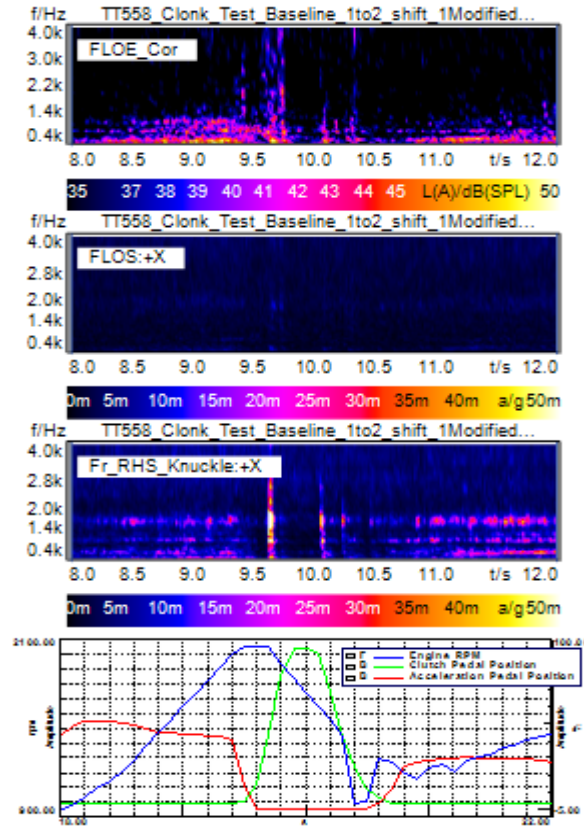
Şekil 4.13: 0.65 derecelik şaftların testi esnasında sürücünün duyduğu seslerin verisi

Sürücünün duyduğu sesi valide ettikten sonra aynı zamanda aracın alt kısmında aksona bağlanan ivmeölçerlerden toplanan veri de incelenmelidir. Toplanan bütün verilerin doğruluğu bu şekilde teyit edilebilir. Ayrıca kullanılan test ekipmanlarında kalibrasyon ve çözünürlük farklılıklarını anlayabilmek için toplanan bütün veri önce ayrı ayrı sonra birlikte değerlendirilmelidir. Sürücü koltuğuna yerleştirilen mikrofonlara kıyasla aksan üzerine yerleştirilen ivmeölçerlerde kullanılan kalibrasyon sayesinde ani metal vuruntu sesleri daha iyi anlaşılmaktadır. Sol taraftaki yarım şafta göre daha uzun olan sağ taraftaki yarım şaft milinin metal vuruntuyu daha belirgin bir biçimde yansıtmasından kaynaklı aşağıda sağ aksondan gelen veri görülmektedir. Şekil 4.14'te sağ aksona yerleştirilen ivmeölçerden gelen veri ile kontrol ağından toplanan verilerin görseli gösterilmektedir.



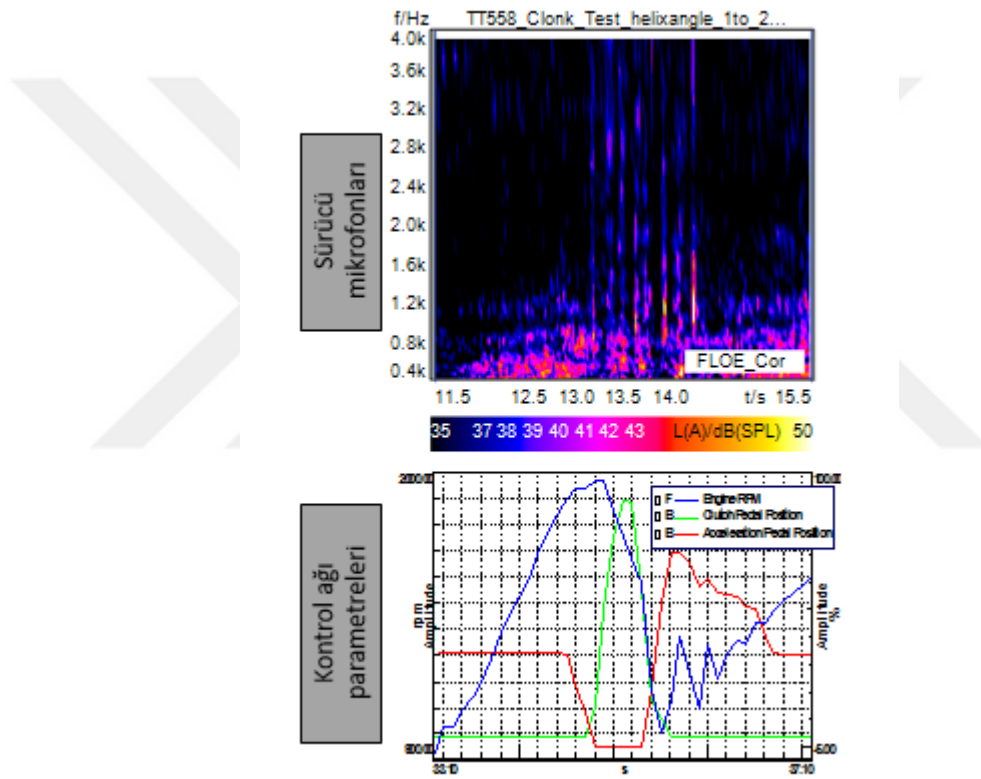
Şekil 4.14: 0.65 derecelik şaftların testi esnasında aksondaki ivmeölçerden gelen veri

Şekil 4.15'te bütün verilerin üstüste görseli gösterilmektedir.



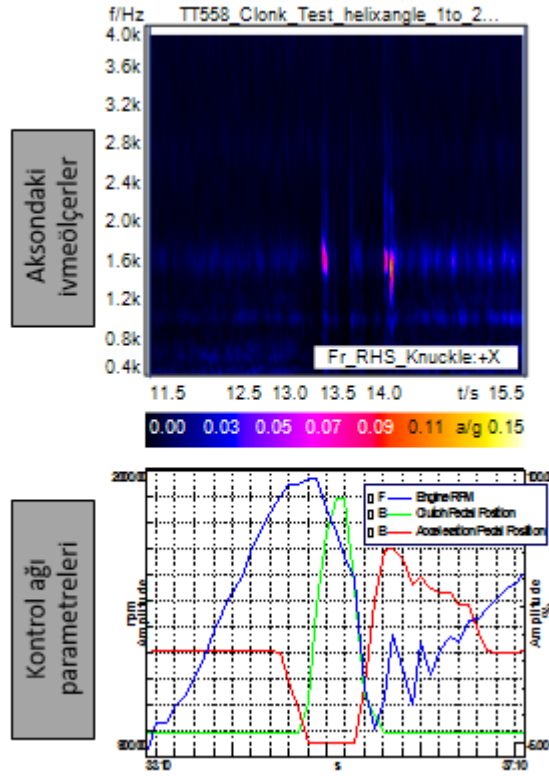
Şekil 4.15: 0.65 derecelik şaftların test verilerinin birlikte incelenmesi

Testler tamamlandıktan sonra aracın sol ve sağ yarım şaftları önceden ölçülmüş ve 0.8 derecelik dönme yönü yanak boşluğuna sahip helis açılı şaftlarla değiştirilir. Değişim esnasında şanzımandan dökülen yağ tekrar tekrar şanzımana doldurulur. Şaft değişimi sırasında aksondan sökülen ivmeölçerler tekrar yerleştirilir ve LMS sistemi üzerinde tekrardan kalibrasyonu yapılır. Yapılan her işlemde ekipmanların tekrar tekrar kontrol edilmesi önemlidir. Aksi takdirde toplanan verilerde yanıltıcı bilgi elde edilebilir. Bütün kontroller tekrar yapıldıktan sonra 0.8 derecelik dönme yönü yanak boşluğuna sahip helis açılı parçalar ile yapılan testin sürücü mikrofonundan gelen sonuçları Şekil 4.16’da görülmektedir.

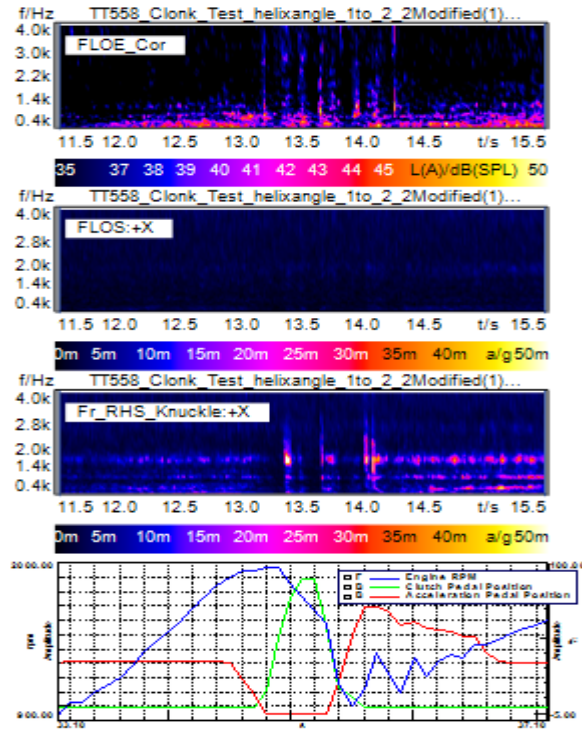


Şekil 4.16: 0.8 derecelik şaftların testi esnasında sürücünün duyduğu seslerin verisi

Metal vuruş sesinin manevraları çok ani olduğu için testi yapan kişinin uzmanlığı ve manevraları birbirine en yakın şekilde gerçekleştirmesi önemlidir. Bütün testler en az altı kere gerçekleştirildikten sonra veriler incelenirken birbirine en yakın manevralar dikkate alınmıştır. Şekil 4.17’de sağ aksona yerleştirilen ivmeölçerden gelen veri ile kontrol ağından toplanan verilerin görseli gösterilmektedir.



Şekil 4.17: 0.8 derecelik helis açılı şaftların testi esnasında aksondaki ivmeölçerlerden gelen veri Şekil 4.18'de bütün verilerin üstüste görseli gösterilmektedir.



Şekil 4.18: 0.65 derecelik şaftların test verilerinin birlikte incelenmesi

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte müşterilerin ve üreticilerin beklentileri de değişmektedir. Otomobil kullanıcılarının isteklerine en iyi çözümü sunmaya çalışırken bunları en optimize şekilde üretmek de mühendislerin görevidir. Sıfır kilometre bir aracın fiyatının yüz bin Türk Lirasına yaklaştığı şu günlerde yapılacak olan en ufak maliyet eklemenin bile otomotiv firmaları ve müşteriler için büyük önemi vardır. Tez kapsamında yapılan çalışma ile araç başına yaklaşık on beş Türk Lirası maliyet azaltma hedeflenmiştir. Yeni bir otomobilin fiyatının yanında yapılacak olan maliyet azaltma küçük bir miktar olsa da yılda milyonlarca araç üreten bir firma için toplamda çok önemli bir mühendislik çalışması haline gelmiştir.

Otomotiv sektöründe büyük bir öneme sahip olan ses, gürültü ve titreşim konusunun güç aktarma organlarından meydana gelen metal vuruntu sesi tez kapsamında en ince ayrıntısına kadar incelenmiştir. Bir arabanın üzerinde en küçük vidaları da dahil ettiğimizde ortalama olarak otuz binden fazla parça bulunmaktadır. Yapılan araştırmalarda sorunun kök nedenleri tespit edilmeye çalışılmış ve en küçük parçanın bile bütün bir sistemi nasıl etkileyebileceği gösterilmiştir.

Yapılan çalışmalarda metal vuruntu sesini iyileştirmek amaçlı güç aktarma sistemlerinden yarım şaft sistemi üzerinde uygulanan dönme yönü yanak boşluğunu limitlemenin yarattığı etkiyi şaft milindeki düz dişliye helis açısı vermekle sağlayabileceğimiz görülmektedir. Yarım şaft sisteminin alt parçalarının boyut toleranslarına göre gruplanarak montajlanması üreticiye fazladan prosesler eklemektedir. Üretime eklenen yeni proseslerin sonucunda parçanın üretim süresi ve maliyeti artmaktadır. Yapılacak olan bu değişim ile alt parçaların gruplanmasına gerek kalmadan yapılacak olan üretim ile dayanımdan ve kaliteden ödün vermeden müşteri memnuniyeti sağlanacaktır.

Tez kapsamında otomotiv firmalarının geçmişte devreye aldığı çözümlere karşılık yeni ve hiç denenmemiş bir yaklaşımla metal vuruntu sesi sorununda iyileştirme etkileri incelenmiştir. Makina mühendisliği ve tasarım süreçlerinde yağlama sistemlerinin önemi bilindiği için tasarım denemelerinde mafsalların içinde kullanılan gresler daha yüksek viskoziteye sahip gresler ile değiştirilmiş ve bu parçalar da test edilmiştir. Sistem üzerinde önemli bir etki göstermediği için bu çözümün yetersiz olacağı ispatlanmıştır. Ayrıca bütün bir sistemi göz

önüne alındığında en çok etkiye sahip olan şanzıman sistemi üzerinde yapılabilecek limitlemeler; şanzımanın üretim stratejisinden kaynaklı devreye alınamamaktadır.

Metal vuruntu sesinin değerlendirilmesi analitik verilerle birlikte uzman kişilerin öznel değerlendirmeleriyle yapılır. Tez kapsamında yarım şaft milinin mafsallarındaki gresin değiştirilmesi, dönme yönü yanak boşluğu limitlerinin değiştirilmesi ve diferansiyele bağlantıyı sağlayan düz dişliye helis açısı vermenin etkileri incelenmiştir. Yapılan tasarım denemeleri ve bu denemelerin istatistiksel çalışmaları ile metal vuruntu sesini iyileştirmek için en optimum çözüm incelenmiştir.

Yapılan araştırmaların ve testlerin sonucunda yarım şaft sisteminde dönme yönü yanak boşluğunu limitlemenin yerine şaftın diferansiyele bağlandığı mile $15' \pm 4'$ helis açısı vermenin en optimum sonuç olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abe, T. and Felice, M.J., 2010, *Driving the next generation of powertrain NVH refinement through virtual design*, Proceedings of ISMA2010 including USD2010, 4275-4292
- Akkurt, M., 2005, *Makina Elemanları Cilt: I-II*, Birsen Yayınevi
- Barrot, A., Paredes M., and Sartor, M., Determining both radial pressure distribution and torsional teeth stiffness of involute spline coupling, Part C: J. Mechanical Engineering Science, 2006, 1727–1738.
- Budynas, R.G. and Nisbett, J.K., 2015, *Mechanical engineering design*, McGraw-Hill company, New York, United States, ISBN 978-0-07-339820-4
- Cornell, R. W., 1981, Compliance and stress sensitivity of spur gear teeth, ASME J. Mech. Des., 103(2), 447–459
- Hariato, J., Houser, D.R., 2007, A methodology for obtaining optimum gear tooth microtopographies for noise and stress minimization over a broad operating torque range, *ASME 2007 International Design Engineering Technical Conference & Computers and information in Engineering Conference*, 4-7 September 2007, 1-14
- Hayama, Y., 2003, *Internal force analysis for constant velocity joints*, the Society of Automotive Engineers of Japan Journal, Vol. 34, No. 4, 157-162
- Hong, J., Talbot, D. and Kahraman, A., 2013, Load distribution analysis of clearance-fit spline joints using finite elements, *Mechanism and machine theory*, 43-57
- Houser, D.R., Harianto, J., 2001, Design robustness and its effect on transmission error and other design parameters, *The international conference on mechanical transmissions*, , 5-9 April 2001, Chongqing, China
- Kutay, G., 2010, *Yanak boşluğu toleransları*, Dişli Çarklar ve Redüktörleri, Bölüm 12, Birsen Yayınevi, 72-74
- Panda, K.C., 2015, *Dealing with noise and vibration in automotive industry*, *12th International conference on vibration problems*, 14-17 December 2015 , India, Elsevier, 1167-1174
- Pitchaikani, A., Venkataraman, S., Koppu, K.K., Batteh, J. and Emmeskay, M.T., 2009, *Powertrain torsional vibration system model development in Modelica for NVH studies*, Proceedings 7th Modelica Conference, 20-22 September 2009, Como, Italy
- Theodossiades, S., Gnanakumarr, M. and Rahnejat, H., 2005, Root cause identification and physics of impact-induced driveline noise in vehicular powertrain systems, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 219 (11), 1303-1319

- Vincenzo, N. ,Quaremba, G. and Avagliano, V., 2011, The gear whine noise: the influence of manufacturing process on vibro-acoustic emission of gear-box, *11th WSEAS International conference on robotics control and manufacturing*, 8-10 March 2011, Venice, Italy
- Vincenzo, N. and Quaremba, G., 2011, The gear whine noise, *GEMESSED'11 Proceedings of the 4th WSEAS international conference on energy and development*, 14-16 July 2011, Corfu Island, Greece, 445-450
- Volfson, B. P., 1982, *Stress sources and critical stress combinations for splined shaft*, J. Mech. Des., 104(3), 551–556.
- Zwicker, E. and Fastl, H., 2007, *Psychoacoustics : facts and models*, Springer



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Kadir SAĞOL
Doğum Yeri	Adana
Doğum Tarihi	24.04.1991
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	+90 535 223 73 01
E-Posta Adresi	kadirsagol@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Teknik Üniversitesi
Fakülte	Makine Fakültesi
Bölümü	Makine Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2015

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Makine Mühendisliği

Makale ve Bildiriler	