



**TEMEL MOTOR İŞLETME PARAMETRELERİNİN TİTREŞİM VE
GÜRÜLTÜYE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Çağatay ZAMAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Çağatay ZAMAN

07/01/2022

TEMEL MOTOR İŞLETME PARAMETRELERİNİN TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜYE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Çağatay ZAMAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2022

ÖZET

İçten yanmalı motorlar çalışırken gürültü ve titreşim gibi insan sağlığını olumsuz etkileyebilecek durumlara neden olabilirler. Yapılan çalışmalarla istenilmeyen bu durumun etkinliğinin belirlenmesi ve azaltılması hedeflenmektedir. Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, dört zamanlı buji ile ateşlemeli motorlarda temel çalışma parametreleri olan motor devri ve yükünün titreşim ve gürültüye etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışma, motor ve taşıt deneyleri olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada dört zamanlı buji ile ateşlemeli ve tek nokta enjeksiyon sistemine sahip motor dinamometreye bağlanarak 890 rpm (rölanti), 1750 rpm ve 2500 rpm motor devirlerinde yüksüz şartlarda test edilmiştir. Ayrıca 1750 rpm motor devrinde motor yüküne bağlı olarak titreşim ve gürültü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise buji ile ateşlemeli motora sahip bir binek otomobili şasi dinamometresine bağlanarak 4. ve 5. vites kademelerinde 40 km/h – 110 km/h taşıt hız aralığında titreşim ve gürültü ölçümleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada sonuç olarak titreşim ve gürültü motor devri ve motor yüküne bağlı olarak artış göstermiştir. 2500 rpm motor devrinde toplam ortalama titreşimin rölanti devrine göre yaklaşık 4,5 katı olduğu görülmüştür. Gürültü ise yaklaşık olarak 5,8 dB(A) artmıştır. Titreşim ve gürültüde motor devrinin yanı sıra motor yüküne bağlı olarak artış görülmüştür. Taşıt deneylerinde vites kademesinin değişimi motor yükünden daha çok motor devrini etkilemiştir. Bu durum aynı taşıt hızına karşılık yüksek vites kademesindeki titreşimin azalmasına neden olmuştur. Ancak gürültüde dikkate değer bir fark görülmemiştir.

Bilim Kodu : 93004
Anahtar Kelimeler : Buji ile ateşlemeli motor, Motor titreşimleri, Gürültü
Sayfa Adedi : 47
Danışman : Doç. Dr. Tolga TOPGÜL

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE BASIC ENGINE
OPERATING PARAMETERS ON THE VIBRATION AND THE NOISE

(M. Sc. Thesis)

Çağatay ZAMAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2022

ABSTRACT

While internal combustion engines are operating, they may cause conditions that may adversely affect human health, such as noise and vibration. It is aimed to determine and reduce the effectiveness of this undesirable situation with the studies carried out. In this experimental study, the effects of engine speed and load, which are the basic operating parameters of four-stroke spark-ignition engines, on vibration and noise were investigated. Experimental study was carried out in two stages as engine and vehicle tests. In this first stage, a four-stroke spark-ignition engine with a single point injection system was connected to the dynamometer, and experiments were performed at 890 rpm (idle), 1750 rpm and 2500 rpm under no-load conditions. Moreover, the measurement of vibration and noise were performed depending on engine load at engine speed of 1750 rpm. In the second stage, a passenger car with a spark-ignition engine was placed the chassis dynamometer, and vibration and noise measurements were made at the 4th and 5th gear at the vehicle speed range of 40 km/h – 110 km/h. As a result of the experimental study, vibration and noise increased depending on engine speed and engine load. It has been observed that the average vibration at 2500 rpm engine speed is approximately 4.5 times compared to the idle speed. Noise increased by approximately 5.8 dB(A). It was seen that the vibration and noise increased depending on engine load as well as engine speed. In vehicle experiments, the change of gear stage affected the engine speed more than the engine load. This situation caused a decrease in vibration at high gear corresponding to the same vehicle speed. However, there was no significant difference in noise.

Science Code : 93004
Key Words : Spark ignition engine, Engine vibrations, Noise
Page Number : 47
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Tolga TOPGÜL

TEŞEKKÜR

Bu çalışma boyunca bilgi ve yardımlarıyla beni yönlendiren danışmanım değerli hocam Doç. Dr. Tolga TOPGÜL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmamın deney aşamalarındaki yardım ve katkıları için sayın hocam Prof. Dr. Suat SARIDEMİR'e ve emeği geçen tüm hocalarıma teşekkür ederim. Bu süreçte maddi ve manevi olarak yanımda olan aileme de desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ix
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ	3
2.1 Titreşim	3
2.2 Gürültü	8
2.3 Literatür Özetleri	9
3. MATERYAL METOT	15
3.1 Materyal	15
3.2 Metot	22
4. DENEYSEL BULGULAR	25
4.1 Motor Deneyleri	25
4.2 Taşıt Deneyleri	32
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	43

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Deney motorunun teknik özellikleri	15
Çizelge 3.2. Taşıt testlerinde kullanılan aracın özellikleri.	19

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yay-kütle sisteminin basit harmonik hareketi	3
Şekil 2.2. Sinüs dalgası	4
Şekil 2.3. Konum vektörü	5
Şekil 2.4. Dairesel hareket eden bir noktanın konum, hız ve ivmesi	6
Şekil 2.5. Üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde motor titreşiminin etkileri	7
Şekil 4.1. İvme ölçerin motor üzerindeki konumuna göre x, y ve z eksenleri	25
Şekil 4.2. Yüksüz motor şartlarında rölanti devri, 1750 ve 2500 rpm motor devirlerinde her üç eksen den alınan titreşim değerleri	27
Şekil 4.3. 1750 ve 2500 rpm motor devirlerinde ve yüksüz motor şartlarında ivme-frekans ve ivme-zaman grafikleri	28
Şekil 4.4. Yüksüz motor şartlarında rölanti devri, 1750 ve 2500 rpm motor devirlerindeki ortalama titreşim değerleri	30
Şekil 4.5. Yüksüz motor şartlarında rölanti devri, 1750 ve 2500 rpm motor devirlerinde ölçülen gürültü değerleri	30
Şekil 4.6. 1750 rpm motor devrinde çeşitli motor yüklerindeki ortalama titreşim ve gürültü değerleri	31
Şekil 4.7. 5. viteste yapılan taşıt deneylerinde elde edilen ortalama titreşim değerleri	33
Şekil 4.8. 5. viteste yapılan taşıt deneylerinde elde edilen gürültü değerleri.	33
Şekil 4.9. Taşıt deneylerinde 5. viteste taşıt hızlarında karşılık motor devri ve yükünün değişimi	34
Şekil 4.10. 5. viteste taşıt hızlarına karşılık tekerlek güçlerinin değişimi	34
Şekil 4.11. 5. viteste yapılan taşıt deneylerinde elde edilen araç içi gürültü değerleri...	35
Şekil 4.12. 50 ve 90 km/h taşıt hızlarında 4. vites ve 5. viteste elde edilen ortalama titreşim değerlerin karşılaştırılması	36
Şekil 4.13. 4. vites ve 5. viteste 50 ve 90 km/h taşıt hızlarına karşılık motor devri değerleri	37
Şekil 4.14. 4. vites ve 5. viteste 50 ve 90 km/h taşıt hızlarına karşılık motor yükü değerleri	37

Şekil**Sayfa**

Şekil 4.15. 50 ve 90 km/h taşıt hızlarında 4. vites ve 5. viteste elde edilen gürültü değerlerin karşılaştırılması	38
--	----

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Deney motoru	16
Resim 3.2. Test standı	17
Resim 3.3. Test odası	17
Resim 3.4. Brüel & Kjaer 4527 model piezoelektrik ivmeölçer	18
Resim 3.5. Vibrotest 80 model veri toplama cihazı	18
Resim 3.6. Gürültü ölçüm cihazı	19
Resim 3.7. Deney taşıtı ve şasi dinamometresi	20
Resim 3.8. Şasi dinamometresinin yükleme tamburları	21
Resim 3.9. Bosch KTS 540 diagnostik test cihazı	22

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
R_a	Aerodinamik direnç (N)
ρ_{hava}	Havanın yoğunluğu (kg/m ³)
A	Taşıtın ön izdüşüm alanı (m ²)
C_d	Aerodinamik direnç katsayısı
V	Taşıt hızı (m/s)
R_{ro}	Yuvarlanma direnci (N)
$W_{taşıt}$	Taşıtın ağırlığı (N)
μ_{ro}	Tutunma katsayısı

Kısaltmalar	Açıklamalar
ÜÖN	Üst Ölü Nokta
AÖN	Alt Ölü Nokta
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü
RMS	Ortalama Karekök
GKA	Gaz Kelebeği Açıklığı

1. GİRİŞ

İnsanoğlu yaşadığı çevrede daha etkin olmak, hız ve konfor sağlamak için sürekli olarak bilim ve teknolojiyi geliştirme çabası içindedir. Bu çabaların katkı sağladığı önemli sektörlerden birisi de ulaşımdır. İnsan ve yük taşımacılığında halen karayolu taşımacılığı toplam taşımacılıkta önemli bir payı oluşturmaktadır. Bu nedenle karayolu taşıtlarının daha ekonomik, daha çevreci ve daha konforlu olmasını sağlamak hedefiyle üreticiler ve araştırmacılar çalışmalarını sürdürmektedirler. Bu çalışmalar kütlenin azaltılması, taşıt gövdesinin daha iyi bir aerodinamik yapıya sahip olması, taşıtın enerji kaynağı ile güç aktarma sisteminin daha verimli olmasının sağlanması, taşıt sürüş güvenliğinin artırılması ve daha konforlu seyahatlerin sağlanması gibi başlıklarla ifade edilebilir.

İnsanoğlunun çabası bilim ve teknolojiye arzu edilen gelişmeleri sağlarken bazen de olumsuzlukları da beraberinde getirebilmektedir. Bu olumsuzluklar çevre kirliliği, gürültü kirliliği ve elektromanyetik kirlilik gibi etkiler olarak ifade edilebilir. Bu ve benzeri etkilerin yaşadığımız çevreye bir başka deyişle ekolojik sisteme zarar verebileceği dikkate alınarak bu etkilerin ortadan kaldırılması ve azaltılması için insanoğlu sürekli çaba sarf etmektedir.

İnsanoğlunun ve ekolojik çevrenin maruz kaldığı olumsuz etkiler arasında titreşim ve gürültü gelmektedir. Titreşim ve gürültü doğal bir olayın (rüzgâr, yer kabuğunun hareketleri vb.) etkisiyle ortaya çıkabildiği gibi gelişen teknolojinin de istenmeyen bir sonucu olarak da karşımıza çıkabilmektedir.

Günümüzde özellikle yakın mesafelerdeki ulaşım esas olarak karayolu aracılığıyla gerçekleşmektedir. Karayolu taşıtlarının önemli bir kısmının güç ihtiyacını halen içten yanmalı motorlar karşılamaktadır. Bu yüzden seyahat konforunun sağlanması veya iyileştirilmesi bu taşıtlarda kullanılan güç kaynağının ve aktarma sisteminin neden olduğu olumsuzlukların giderilmesi veya azaltılmasıyla mümkün olabilir.

Taşıt bir bütün olarak ele alındığında doğrusal ve dairesel hareket yapan çeşitli parçaların bir araya gelmesi ile oluştuğu anlaşılabilir. Taşıtın hareketini sağlayan bu parçaların düzenli veya düzensiz salınımları ve yanma odasında gerçekleşen reaksiyonlar titreşimlere neden olur. Sürüş konforunun sağlanması için titreşime neden olan etkenlerin etkinlik derecelerinin

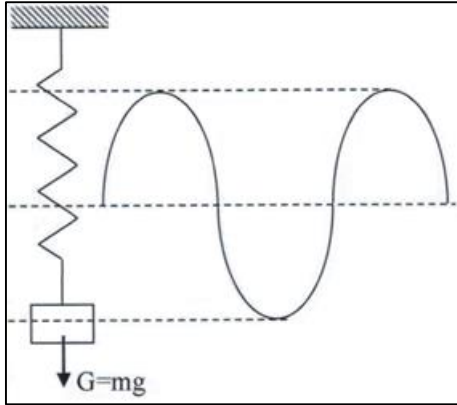
belirlenmesi ve azaltılması gerekir. Bunu sağlamanın tam olarak mümkün olmaması durumunda titreşimin etkisini azaltmak için absorbe etmek de bir başka çözüm yolu olabilir. Örneğın içten yanmalı motorun taşıt şasisine bağlantısında yer alan motor takozları bu amaçla kullanılır.

Yapılan bu tez çalışmasında ulaşım sektöründe yaygın bir şekilde enerji kaynağı olarak kullanılan içten yanmalı motorların titreşim ve gürültüye etkisi incelenmiştir. Bir taşıtın sürücüsünün içten yanmalı motorun ürettiğı enerjiyi kontrol ettiğı iki temel parametre motor devri ve motor yüküdür. Bu amaçla deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada temel motor işletme parametrelerinden olan motor devri ve yükünün etkisi buji ile ateşlemeli bir motorda ele alınmıştır. Çalışma hem motor hem de taşıt ekseninde gerçekleştirilmiştir.

2. TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ

2.1. Titreşim

Bir cismin belirli bir referans noktasına veya bir başka deyişle bir denge konumuna göre tekrarlanan hareketi (salınımı) titreşim olarak tanımlanır. Titreşim, kinetik enerji ve potansiyel enerjinin birbirlerine dönüşümünü içerir. Şekil 2.1’de yer alan ve düşey olarak yerleştirilmiş yay kütle sistemi bu dönüşüme örnek olarak verilebilir. Şekilde görülen yayın serbest ucuna m kütlesi asıldığında yay uzayarak belirli bir denge konumuna gelir. Kütle denge konumundan ayrıldıktan sonra belirli bir hızda veya hızsız olarak kendi haline bırakılırsa bu yay kütle sistemi denge konumu etrafında yukarı aşağı hareket edecektir. Bu harekete karşı koyan herhangi bir dış etki olmadığı takdirde ortaya serbest bir titreşim çıkacaktır [1,2].



Şekil 2.1. Yay-kütle sisteminin basit harmonik hareketi [3]

Periyot, bir çevrimin gerçekleşmesi için geçen süredir. Şekil 2.2’de bir sinüs dalgası gösterilmektedir. Şekil 2.2’de görülen yer değiştirme ile tanımlanan yol (s);

$$s = v \times t \quad (2.1)$$

eşitliği ile ifade edilebilir. Eşitlikte yer alan v hızı, t ise zamanı göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi bir çevrimin tamamlanması için toplam alınması gereken yol 2π olarak tanımlandığında;

$$2\pi = \omega \times T \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilen eşitlikte ω açısal hızı ve T ise periyodu tanımlamaktadır. Periyot tanımı ve Eş. 2.2 kullanılarak

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.3)$$

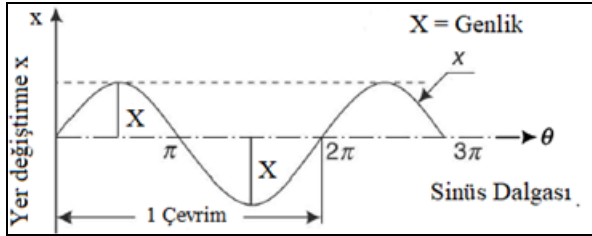
elde edilir. Periyodun birimi saniyedir [4,5].

Birim zamanda meydana gelen çevrim sayısına frekans adı verilir. Periyodun tersi olarak tanımlanan frekans;

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.4)$$

şeklinde tanımlanır ve birimi Hertz (Hz) dir [4,5].

Titreşim hareketi yapan cismin referans konumundan uzaklaşma miktarı genlik olarak ifade edilir [2,4,5]. Şekil 2.2’de bu kavram görsel olarak verilmiştir.



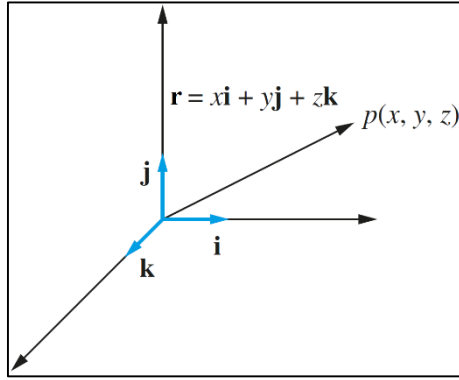
Şekil 2.2. Sinüs dalgası [4]

Titreşimin matematiksel modellenmesinde hareket denklemlerinden yararlanılır. Hareket denklemlerinin elde edilmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. En sık kullanılanları; Newton’un 2. yasası, D’Alembert prensibi, enerjinin korunumunu esas alan enerji yöntemi ve Lagrange prensibidir [1].

Titreşimin matematiksel modeli elde edilirken sistemin serbestlik derecesi ve titreşim çeşidi dikkate alınır. Titreşim başlangıçta mevcut bir enerjiyle başlamışsa ve bir başka harici kaynak olmadan devam ediyorsa serbest titreşim olarak ifade edilir. Titreşim bir kuvvetin

veya hareketin etkisiyle ortaya çıkıyorsa zorlanmış titreşim olarak adlandırılır. Titreşimi meydana getiren dış etken periyodik olarak sistemi uyarıyor ise harmonik harekete neden olur. Ayrıca titreşim zaman içerisinde genliği azalarak bitiyor ise sönümlü titreşim, eğer bir titreşimde sistemde bir enerji sönüm kaynağı mevcut değilse sönümsüz titreşim olarak tanımlanır [1,2].

Şekil 2.3'te üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde bir parçacığın konum vektörü görülmektedir. Basit anlamda bu parçacığın hareketine ilişkin hız ve ivme eşitlikleri koordinat sisteminde her bir eksenindeki yer değiştirmelerinden yararlanılarak belirlenebilir [1].



Şekil 2.3. Konum vektörü [1]

Şekil 2.3'te yer alan p noktasının konum vektörü;

$$r = x(t)i + y(t)j + z(t)k \quad (2.5)$$

ile ifade edilebilir. Bu parçacığın hareketine ilişkin olarak hız;

$$v = \frac{dr}{dt} = \dot{x}(t)i + \dot{y}(t)j + \dot{z}(t)k \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilebilir. İvme ise;

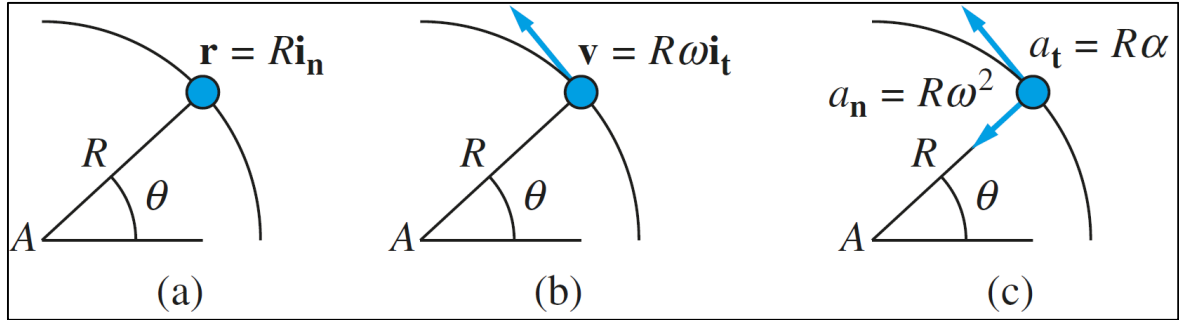
$$a = \frac{dv}{dt} = \ddot{x}(t)i + \ddot{y}(t)j + \ddot{z}(t)k \quad (2.7)$$

ile gösterilebilir [1].

Şekil 2.3'te konum vektörü ifade edilen nokta Şekil 2.4'te görüldüğü gibi A merkezli ve R yarıçaplı bir yörüngede dairesel olarak hareket ediyorsa yer değiştirmesi;

$$r = R \times i_n \quad (2.8)$$

konum vektörü kullanılarak elde edilebilir. Burada i_n anlık dik birim vektör olarak tanımlanmaktadır [1].



Şekil 2.4. Dairesel hareket eden bir noktanın konum, hız ve ivmesi [1]

Bu noktanın dairesel yörüngedeki hareketine ilişkin olarak hız;

$$v = \frac{dr}{dt} = R \frac{di_n}{dt} = R\omega i_t \quad (2.9)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu eşitlikte ω dönme hızını i_t ise yörüngeye anlık teğet birim vektörü ifade etmektedir. İvme ise;

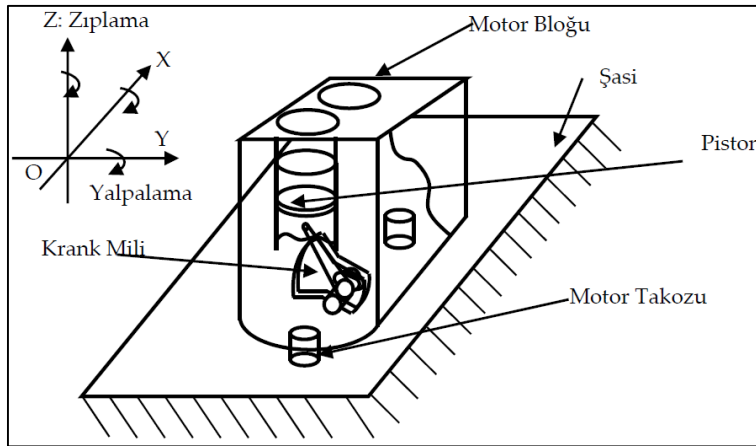
$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d(R\omega i_t)}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} i_t + R\omega \frac{di_t}{dt} \quad (2.10)$$

ile gösterilebilir [1].

Bir pistonlu içten yanmalı motor, doğrusal ve dairesel olarak hareket eden çeşitli parçaların bir araya gelmesinden oluşur. Piston-biyel-krank mekanizmasının hareketiyle ortaya çıkan atalet kuvvetleri ve silindirlere periyodik olarak meydana gelen yanma olayının neden olduğu gaz basınç kuvvetleri temel olarak motor titreşimlerinin kaynaklarıdır. Bu iki temel etkenin dışında sürtünme kuvvetleri, yardımcı donanımların ve motordaki sıvı veya gaz

akışkanların hareketiyle ortaya çıkan atalet kuvvetleri de motor titreşimine sebep olan diğer etkenler arasında yer alırlar. Ortaya çıkan titreşimin azaltılması için kütlelerin azaltılması, dinamik balansın yapılması ve motorun şasiye bağlantısında titreşimin geçmesinin önleyecek sönümlleme elemanlarının kullanılması gerekir [6-10].

Şekil 2.5'te motordan kaynaklanan titreşimin üç boyutlu koordinat sisteminde etkileri ifade edilmiştir. Motor titreşiminin araç gövdesine geçmesini önlemek için motor takozu kullanılır. Pasif motor takozları sadece yüksek frekans aralığında etkilidir. Bununla birlikte motor tarafından oluşturulan titreşimler büyük ölçüde düşük frekans aralığındadır. Bu titreşimler silindir içerisinde yakıtın yanması ve çeşitli motor parçalarının dönmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Düşük frekanslı motor titreşimlerinin azaltılması için aktif titreşim elemanları gereklidir [11].



Şekil 2.5. Üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde motor titreşiminin etkileri [11]

Solmaz tarafından yapılan çalışmada [7], motor blok titreşimlerinin matematiksel modeli oluşturulurken bloğun uzay kartezyen koordinat sistemindeki her bir ekseninde öteleme ve dairesel hareket yaptığı dikkate alınmıştır. Çalışmada ele alınan model yedi serbestlik derecesine sahiptir. Ayrıca titreşim için zorlayıcı kuvvet olarak silindir içi gaz basınç kuvvetleri, sürtünme ve atalet kuvvetleri ve bu kuvvetlerin neden olduğu momentler ele alınmıştır.

Öztürk tarafından yapılan çalışmada [6], motor bloğu yatay ve dikey doğrultularda öteleme, krank eksenini etrafında ise dönme hareketi yapan üç serbestlik derecesine sahip bir eleman olarak tanımlanmıştır. Piston-biyel-krank mekanizması için tek serbestlik derecesi

tanımlanarak toplamda serbestlik derecesi dört olan bir sistem modellemesi yapılmıştır. Krank mili ve bloğun hareket denklemlerinin birbirine bağımlı olarak türetildiği çalışmada piston-biyel-krank mekanizmasının atalet kuvvet ve momentleri, silindir içi gaz basınç kuvvet ve momentleri ile sürtünme kuvvet ve momentleri titreşim için zorlama kuvvet ve momenti olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada hareket denklemleri Newton yasasından elde edilmiştir.

Boysal ve Rahnejat tarafında içten yanmalı motorun titreşim analizi üzerine yapılan çalışmada [8], altı serbestlik derecesine sahip model tanımlanarak hareket denklemlerinde Lagrange prensibi kullanılmıştır.

2.2. Gürültü

Gürültü temel olarak insanı rahatsız eden arzu edilmeyen gelişigüzel sesler bütünü olarak ifade edilebilir. Bir ses kaynağı titreştiğinde etrafındaki hava moleküllerine hareket kazandırır. Havadaki bu titreşimler, havanın sıkıştırılabilirlik ve kütle etkilerine maruz kalmasıyla ses olarak duyulur [12].

Sesin şiddeti desibel ile ifade edilir. Desibel, ölçülen ses basınç düzeyinin (I), standart referans ses basınç (0.0002 newton/m²) düzeyine(I_{ref}) oranının 10 tabanına göre logaritmasına eşit ses şiddetine Bel; bunun 1/10'una da desibel denir. Fiziksel bir büyüklük olmadığı için desibel, oransal ve logaritmik olarak hesaplamalarda kolaylık sağlayan bir değerdir (Eş. 2.11). Gürültünün ifade edilmesinde bir başka deyişle fiziksel ses şiddeti olarak tanımlamada eşdeğer ses basıncı simgesi olan dB(A) kullanılır [12,13].

$$Ses\ düzeyi = \log_{10} \frac{I}{I_{ref}} bel \quad (2.11)$$

Gürültü arzu edilmeyen bir ses olduğundan insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri vardır. Bu nedenle teknolojinin pek çok alanda olduğu gibi bu etkilerin azaltılması amacıyla otomotiv endüstrisinde de çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Giderek katılaştan emisyon standartları ve artan rekabet ortamı üreticilerin ve araştırmacıların taşıtlardan kaynaklanan bu tür olumsuzlukları azaltma çabası içerisine girmelerini sağlamaktadır. Motordan

kaynaklanan gürültünün azaltılması için bir yandan izolasyon arttırılırken diğer yandan yanmanın ve çalışan motor parçalarının titreşimleri ile gürültü azaltılmaya çalışılmaktadır.

2.3. Literatür Özetleri

Otomotiv alanında gürültü ve titreşime yönelik çalışmalar genel olarak motor, güç aktarma organları, taşıt gövdesi ve sürüş konforuna yöneliktir. Literatürde içten yanmalı motorlar üzerinde yapılan çalışmalarda ise; motor işletme parametrelerinin ve alternatif yakıt kullanımının gürültü ve titreşime etkisi incelenmiştir.

Gültekin ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [14], benzinli ve dizel motorlarında motor devrinin titreşime olan etkisi deneysel olarak incelenmiş ve ayrıca bu iki motor birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Her iki motor yüksüz olarak 1000-3500 rpm motor devir aralığında 500 rpm aralıklarla çalıştırılarak titreşimler üç boyutlu ivmeölçer cihazı ile ölçülmüştür. Yapılan deneylerin ardından dizel motorunda titreşimin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ortalama ivme dikkate alındığında 1000 rpm motor devrinde dizeldeki titreşimin benzinli motordan 42,2 kat daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Sarıdemir, Alçelik ve Uygur [15], biyodizel-dizel yakıt karışımlarının motor titreşimlerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Yakıt olarak TS EN 14214 standartlarına uygun olarak üretilmiş olan ve atık bitkisel yağlardan elde edilmiş biyodizel ve dizel yakıtı karışımları ve yalnızca dizel yakıtı kullanılmıştır. Deneysel çalışma direk enjeksiyonlu dört zamanlı tek silindirli hava soğutmalı motorda gerçekleştirilmiştir. Motor titreşimleri üç eksenli piezoelektrik ivmeölçere sahip dört kanallı cihaz ile ölçülmüştür. Tüm yakıtlar için en büyük titreşim eksenel yönde elde edilirken, en küçük titreşim değerinin yanal ekseninde olduğu görülmüştür. Ayrıca titreşim motor devrine bağlı olarak tüm yakıtlarda artış göstermiştir. Araştırmacılar % 50 biyodizel - % 50 dizel yakıtı (Ab50) karışımının motor titreşimlerine azaltmada daha etkin olduğu sonucuna varmışlardır.

Flekiewicz ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [16], benzin ve LPG'li çalışmada motor bloğunun titreşimleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada dört silindirli, 1.6 litre, LPG dönüşümü yapılmış buji ile ateşlemeli motor kullanılmıştır. Sıvı yakıtlara kıyasla gaz yakıtların hava ile daha iyi karışım oluşturması ve vurutuya daha dirençli olmaları alternatif yakıt olarak içten yanmalı motorlarda değerlendirilmelerini sağlamaktadır. Deneysel olarak

gerçekleştirilen bu çalışma da yanmadan kaynaklanan titreşimler LPG'li çalışmada daha az elde edilmiştir. Artan motor yükü ve hızı maksimum indike basınç değerlerinde her iki yakıtta artışa neden olmuştur. Benzinli çalışmada 1,9 - 4,93 MPa aralığında değişirken LPG kullanımında 2,28 – 5,14 MPa en yüksek indike basınç değerleri elde edilmiştir. Yük ve motor devri artışının motor bloğundaki titreşime etkileri karşılaştırıldığında benzinde ivmenin 22,1'den 100,5 m/s²'ye, LPG'de ise 4,1'den 95,5 m/s²'ye artış gösterdiği görülmüştür.

Dizel (D100), biyodizel (B100) ve biyodizel karışımlarının (B20, B40, B60 ve B80) motor titreşimlerine etkisinin incelendiği çalışmada [17], iki farklı dizel motoru kullanılmıştır. Dört zamanlı ve direkt enjeksiyonlu olan her iki motorun maksimum devirleri 2300 rpm ve 2400 rpm'dir. Dizel yakıtının setan sayısı 58,2 ve biyodizelin setan sayısı 62,5'dir. Motor titreşim sinyalleri 0-15 kHz frekans aralığında çalışan üç eksenli ivmeölçer ile ölçülmüştür. Deneyler motorun yüklü ve yüksüz olarak çalıştırıldığı iki farklı koşulda gerçekleştirilmiştir. Yüksüz deneyler 1000-2200 rpm devir aralığında yüklü deneyler ise; 1400-2000 rpm devir aralığında tam yükte yapılmıştır. En yüksek titreşim B20 ve B40 yakıtlarında en düşük titreşim ise D100 ve B80 yakıtlarında elde edilmiştir. Sonuçlar enjektör spreyinin yanma, titreşim ve motor gücü üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Örneğin en yüksek titreşimin ölçüldüğü B40 yakıtında en düşük motor gücü elde edilmiştir. Ayrıca sadece enjektörlerin doğru çalışmasının motor performansında çok önemli bir faktör olduğu tespit edilmiştir. Deney motorunun enjektörlerinin yenileri ile değiştirilmesi motor performansının artmasına ve motorun hemen hemen %9 daha yumuşak çalışmasına (dizel yakıtlı çalışmada) neden olduğu görülmüştür.

Taghizadeh-Alisaraei ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [18], dizel yakıtı ve biyodizel karışımlarının motor titreşimine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada saf dizel ve saf biyodizel yakıtlarının yanı sıra biyodizel-dizel karışımları (B5, B10, B15, B20, B30, B40, B50) yakıt olarak kullanılmıştır. Direkt enjeksiyonlu, altı silindirli, 16:1 sıkıştırma oranına sahip motor deneylerde 1000-2200 rpm devir aralığında çalıştırılmıştır. Maksimum titreşim değerleri her zaman güç ve torkun ($P \times T$) maksimum olduğu motor devrinde (2000 rpm) gerçekleşmiştir. B40 ve B20 karışımlarında daha düşük titreşim elde edilirken B15 ve B30 yakıtlarında en yüksek titreşimler görülmüştür. Çalışmada ayrıca motor bakımı öncesi ve sonrasındaki titreşimler de karşılaştırılmıştır. Motor bakımında tüm

filtreler (hava, yakıt ve yağ filtreleri) ve motor yağı değiştirilmiştir. Yapılan bakımın ardından toplam titreşim yaklaşık %12 azalmıştır.

Biyodizelin motor gürültüsü, titreşimi ve motor karakteristiklerine etkisinin deneysel olarak incelendiği çalışmada [19] soya ve kolza yağları kullanılmıştır. Çalışma tek silindirli, dört zamanlı, sabit devirli, su soğutmalı ve direkt enjeksiyonlu dizel motoru üzerinde yapılmıştır. En düşük silindir içi maksimum basınç ve ısı salınım oranı biyodizel yakıtlarıyla elde edilmiştir. Dizel yakıtı ile kıyaslandığında yanma sürecinin biyodizel yakıtlarında nispeten daha uzun olduğu görülmüştür. Biyodizel yakıtlarında daha düşük yanma gürültüsü elde edilmiştir. Bu durum araştırmacılar tarafından düşük ısı salınım oranı ile düşük yanma gürültüsü arasındaki iyi korelasyondan kaynaklandığı belirtilmiştir. Benzer ilişki titreşim için de söz konusudur. Deneylerde düşey doğrultudaki titreşimler kullanılan test yakıtına bakılmaksızın diğer doğrultulardaki titreşimlerden daha yüksek elde edilmiştir. Biyodizel yakıtlarının daha düşük ısı salınım oranına sahip olması düşey doğrultudaki titreşimlerin azalmasını sağlamıştır. Yanal titreşimde de biyodizel yakıtlarının çoğunda benzer bir değişim görülmüştür. Yüksek motor yüklerinde biyodizel yakıtların çoğunda daha yüksek yatay titreşim elde edilmiştir.

Nag, ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [20], tek silindirli dört zamanlı sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda çift yakıt (dizel-hidrojen) kullanımının yanma, titreşim ve gürültüye etkisini deneysel olarak incelemiştir. Sabit motor devrinde ve %25, %50 ve %75 motor yüklerinde çift yakıt içerisindeki hidrojenin toplam enerjideki payı %0, %5, %10 ve %20 olacak şekilde deneyler gerçekleştirilmiştir. Toplam enerjideki hidrojenin payı arttıkça düşük ve orta yüklerde silindir içi maksimum basınç %4,7'e kadar azalırken, yüksek yükte %2'ye kadar artış göstermiştir. Ayrıca vuruş eğilimi düşük yüklerde hidrojen ilavesi ile azalırken, yüksek yüklerde artmıştır. Titreşim ise özellikle yüksek yüklerde çift yakıt içerisindeki hidrojen artışı ile birlikte artma eğilimi göstermiştir. Araştırmacılar gürültü ve titreşim bakımından hidrojen ilavesinin düşük ve orta yüklerde faydalı olduğunu tespit etmişlerdir.

Tek silindirli, dört zamanlı, doğal emişli, ön yanma odalı, indirekt püskürtmeli bir dizel motorunda çift yakıt olarak LPG-dizel yakıtı kullanımının titreşime etkisinin incelendiği çalışmada [21] ana yakıt olarak LPG kullanılırken, dizel yakıtı ise gaz yakıtın tutuşması için pilot yakıt olarak tercih edilmiştir. Deneylerde kullanılan Ricardo E6 araştırma motoru ile

farklı motor çalışma şartları (yük, hız, enjeksiyon zamanı ve sıkıştırma oranı) dikkate alınarak titreşimler ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında çift yakıt kullanımının daha düşük titreşimlere neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca yapılan araştırmadan sadece dizel yakıtı ya da çift yakıt kullanımında motor devrinin titreşim üzerinde motor yüküne kıyasla çok daha belirgin bir etkisi olduğu anlaşılmaktadır.

Satsangi ve Tiwari [22], dizel/n-bütanol karışımlarının yanma, gürültü, titreşim performans ve emisyonlara etkisini tek silindirli, dört zamanlı, doğal emişli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışmada gürültü analizi, yanma gürültüsü, egzoz gürültüsü ve toplam gürültü dikkate alınarak yapılmıştır. Yanma gürültüsü yanma odası içerisindeki yakıtın kendiliğinden tutuşması ve silindir basıncında hızlı dalgalanmaları nedeniyle ortaya çıkarak ve motorun bünyesinden geçerek insan kulağına ulaşmaktadır. Yapılan çalışmada yüksüz konumdan %40 yüke kadar motor yüküne bağlı olarak yanma gürültüsünün hızla arttığı %40 yükün ötesinde ise yakıt-hava oranının artışıyla birlikte yanma gürültüsü eğrisinin düzleştiği görülmüştür. Ayrıca daha uzun tutuşma gecikmesine sahip olan yakıtlarda yanma gürültüsünün de arttığı ifade edilmiştir. Egzoz gürültüsü ise çevrim sonunda egzoz manifoldundan susturucu aracılığıyla gürültüsü azaltılmaya çalışılan egzoz gazlarının neden olduğu gürültüdür. Motor yükü arttıkça yanmaya katılan yakıt miktarının artışı egzoz gürültüsünde kademeli olarak artışa neden olmaktadır. n-bütanol karışımlarında egzoz gürültüsünün 72-82 dB(A) aralığında ve sadece dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Çalışmada toplam gürültü motordan yaklaşık 1 metre uzaklıkta ölçülerek elde edilmiştir. Egzoz gürültüsüne benzer olmak birlikte toplam gürültü egzoz gürültüsünden daha fazla elde edilmiştir.

Üstün ve çalışma arkadaşları [23] tarafından benzinli bir motorda alternatif yakıt olarak metil alkol ve etil alkol kullanımının motor titreşimine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada motor titreşimleri frekans analiz yöntemiyle incelenmiştir. Bu amaçla tasarımı yapılan yüksek hassasiyetli ivme analiz sistemi kullanılmıştır. Motor testi motorun normal çalışma sıcaklığında rölanti devrinde yüksüz olarak gerçekleştirilmiştir. Titreşim verileri motor bloğu üzerinden alınmıştır. Benzin, etil alkol ve metil alkol ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda ivme-zaman ve ivme-frekans değişimleri elde edilmiştir. Alternatif yakıtlarla yapılan deneylerde titreşimin daha az olduğu (etil alkol %30,34, metil alkol %29,21) tespit edilmiştir. Araştırmacılar titreşimin azalmasında alkollerin vuruntu dayanımının daha

yüksek olması ve oksijen içermeleri nedeniyle yanma prosesinin iyileşmesinin sonuç üzerinde etkili olduğu kanaatine varmışlardır.

Sarıdemir, Polat ve Kılınçel [24], bir dizel motorunda motor devrinin ve motor yükünün titreşim ve gürültü emisyonuna etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler 1500, 2000 ve 2500 rpm motor devirlerinde yüklü ve yüksüz olarak gerçekleştirilmiştir. Gürültü ölçümü için Svantek 104 model dozimetre kullanılmıştır. Ölçüm esnasında cihaz ISO 362-1:2007 standardına uygun olarak motor bloğundan 1 m uzakta olacak şekilde kullanılmıştır. Motor titreşimleri üç eksenli ivmeölçer ile ölçülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda motor titreşimleri ve gürültü emisyonunun motor yüküne ve devrine bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Motor parçaları arasındaki sürtünme ve silindir içerisindeki yanma basıncının bu artışta etkili olduğu araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir.

Karabulut, Öztürk ve Çınar [25], tek silindirli ve dört zamanlı bir dizel motorunun dinamik modelini çıkartarak motor titreşimlerini incelemişlerdir. Motor bloğu, krank mili, biyel ve pistonun hareket denklemleri dinamik modelde kullanılmıştır. Simülasyonda deneysel yöntemle bulunan gaz basıncı değişimi kullanılmıştır. Çalışmada krank milinin hızındaki çevrimlik dalgalanmaların yüksek yüklerde ve düşük hızlarda daha fazla olduğu belirtilmiştir. Ayrıca silindir içi gaz basıncının motor bloğunun açısal hız titreşimine ve piston kütesinin bloğun silindir eksenine doğrultusundaki titreşimine etki ettiği görülmüştür.

Öztürk ve Karabulut [26], tek silindirli bir dizel motoru için oluşturdukları dinamik modelini kullanarak motor bloğunun titreşimlerini ve krank milinin çevrimlik açısal hız değişimlerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada motor bloğunun krank mili eksenine etrafındaki açısal titreşimlerinin gaz kuvvetlerinden, yatay ve düşey doğrultudaki doğrusal titreşimlerinin krank milinin balanssızlığı ve piston kütesinden (kütle eylemsizlikleri) kaynaklandığı belirlenmiştir.

3. MATERYAL METOT

3.1. Materyal

Buji ile ateşlemeli bir motorda titreşim ve gürültünün deneysel olarak incelendiği bu çalışma Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar ve Taşıt Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışma, motor testleri ve taşıt testleri olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada Cussons P8653 test standı üzerinde yer alan deney motoru kullanılarak motor devri ve motor yükünün titreşime olan etkisi incelenmiştir. İkinci aşamada ise; laboratuvar ortamında Sun marka RAM 2000 model şasi dinamometresine bağlanan taşıtın titreşimleri ve gürültüsü ölçülerek taşıt konforu incelenmiştir.

Cussons P8653 test standı üzerinde yer alan deney motoru, FORD marka VSG 413 model dört zamanlı, dört silindirli, su soğutmalı, tek nokta enjeksiyonlu buji ile ateşlemeli bir motordur. Bu motorun teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Deney motoru Resim 3.1’de görülmektedir.

Çizelge 3.1. Deney motorunun teknik özellikleri

Maksimum Motor Torku	98 Nm (2500 rpm)	
Maksimum Motor Gücü	43 kW (5000 rpm)	
Silindir Çapı X Kurs	73,96 X 75,48 mm	
Toplam Kurs Hacmi	1297 cm ³	
Sıkıştırma Oranı	8,8:1	
Ateşleme Sırası	1-2-4-3	
Supap Zamanlaması	Açılma	Kapanma
Emme Supabı	12° ÜÖN’den önce	48° AÖN’den sonra
Egzoz Supabı	47° AÖN’den önce	13° ÜÖN’den sonra



Resim 3.1. Deney motoru

Cussons P8653 test standı üzerinde yer alan deney motorunun frenlenmesinde David McClure Ltd marka elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Bu dinamometre 7000 rpm devre ve 90 kW güce kadar frenleme yapabilmektedir.

Test standına bağlı olan motorun deneyleri esnasında ölçülen ve hesaplanan bazı değerleri test odasında bulunan masaüstü bilgisayara aktarılmaktadır. Windows işletim sistemi altında çalışan Engine Data Logging programı ile deney verileri toplanabilmekte ve saklanmaktadır. Test düzeneğinin ve test odasının resmi Resim 3.2 ve 3.3’de görülmektedir.



Resim 3.2. Test standı



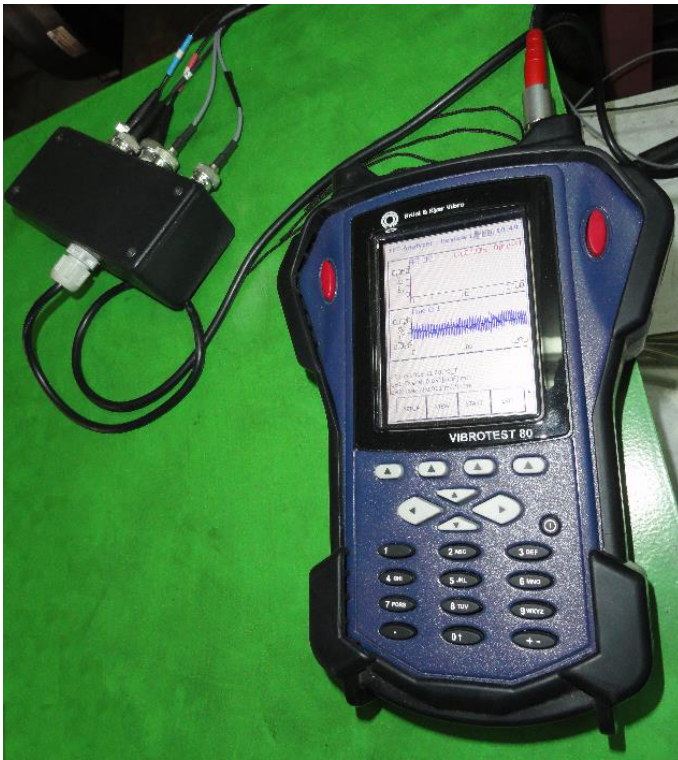
Resim 3.3. Test odası

Motor titreşimlerinin ölçülmesi için üç eksenle ölçüm yapabilen Brüel & Kjaer 4527 model piezoelektrik ivmeölçer kullanılmıştır. Bu cihazın frekans aralığı 0,3 – 10000 Hz, hassasiyeti 10 mV/g ve rezonans frekansı 30 kHz'dir. Cihazın resmi Resim 3.4'de verilmiştir.



Resim 3.4. Brüel & Kjaer 4527 model piezoelektrik ivmeölçer

Titreşim ölçüm verileri dört kanallı Vibrotest 80 model FFT analizi yapabilen veri toplama cihazı ile alınmıştır. Hanning filtreleme yöntemiyle 6400 çözünürlükte veriler analiz edilmiştir. Cihaz Resim 3.5’de yer almaktadır.



Resim 3.5. Vibrotest 80 model veri toplama cihazı

Deneylerde gürültü ölçümü için Svantek 104 model dozimetre kullanılmıştır (Resim 3.6). Bu cihaz 30 Hz ile 8 kHz frekans aralığında 55 dB(A) RMS ile 140,1 dB(A) pik ölçüm aralığında kullanılabilir. Gürültü ölçümlerinde ISO 362-1:2007 standardına uygun olarak cihaz motor veya taşıttan 1 m uzakta olacak şekilde kullanılmıştır.



Resim 3.6. Gürültü ölçüm cihazı

Taşıt testleri toplam kurs hacmi 1,6 L olan dört zamanlı, dört silindirli, buji ile ateşlemeli motora ve beş ileri manuel vites kutusuna sahip olan bir binek otomobil üzerinde gerçekleştirilmiştir. Taşıt testlerinin gerçekleştirildiği aracın teknik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Taşıt testlerinde kullanılan aracın teknik özellikleri

Taşıtın Marka ve Modeli	Renault Megane I Grandtour
Kütlesi (kg)	1160 kg
Ölçüleri (mm) (UxGxY)	4437x1698x1420 mm
Ön iz düşüm alanı (m ²)	2 m ²
Aerodinamik direnç katsayısı	0,35
Maksimum motor torku	148 Nm @ 3750 rpm
Maksimum motor gücü	78 kW (ECE) @ 5750 rpm
Vites kutusu redüksiyon oranları	
1. Vites	3,36
2. Vites	1,86
3. Vites	1,32
4. Vites	1,03
5. Vites	0,82
Diferansiyel dişli oranı	3,87

Sun marka RAM 2000 model şasi dinamometresi taşıt testlerinde kullanılmıştır. Şasi dinamometresi ile yapılan deneylerde farklı taşıt hızlarında taşıt konforunu belirlemek için motor titreşimleri ve gürültü ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu şasi dinamometresi ile taşıtın en yüksek motor gücünü ölçülebildiği gibi taşıt ağırlığı, aerodinamik direnç ve yuvarlanma direnci gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak taşıtın çeşitli hızlardaki sürüş simülasyonu da yapılabilmektedir. Gerçek sürüş şartlarında motor ve aktarma organlarından taşıtın üzerinden akıp gitmekte olan havaya ısı taşınımı söz konusu olduğundan Resim 3.7’de görülen fan yardımıyla laboratuvar ortamında da soğutma için hava akışı elde edilebilmektedir. Deneysel çalışmada ölçümlerin alınabilmesi için planlanan şartlar oluşturulduktan sonra deney sonuçlarını etkilemesin diye ölçüm boyunca fan kapalı tutulmuştur. Ölçümün ardından bir sonraki ölçüm noktasına kadar fan çalıştırılmıştır. Resim 3.7’de taşıtın şasi dinamometresine yerleştirilmiş şekli görülmektedir.



Resim 3.7. Deney taşıtı ve şasi dinamometresi

Taşıt testinin gerçekleştirilebilmesi için taşıtın çekiş tekerleklerinin şasi dinamometresinin yükleme tamburları üzerine yerleştirilmesi gerekmektedir (Resim 3.8). Ayrıca tahrik kuvvetinin aktarılmadığı tekerleklerin (Bu taşıtta arka tekerlekler) ön ve arkasına takoz konularak emniyete alınmıştır. Bununla birlikte güvenli bir çalışma ortamı sağlamak için taşıtın ön kısmında bulunan çeki demiri ile zeminde yer alan sağ ve sol taraftaki bağlantı noktalarına halat ve zincirlerle emniyetli bir şekilde bağlanarak testler gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.8. Şasi dinamometresinin yükleme tamburları

Taşıt testleri esnasında taşıt hızı, tahrik kuvveti, tekerlek gücü gibi veriler şasi dinamometresinin kontrol panelinden alınmıştır. Motor devri ve motor yükünü ifade eden gaz kelebek açıklığı verileri Bosch KTS 540 diagnostik test cihazı (Resim 3.9) aracılığıyla alınmıştır.



Resim 3.9. Bosch KTS 540 diagnostik test cihazı

3.2. Metot

Bu çalışmada motor devri ve motor yükünün titreşim ve gürültüye etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma motor ve taşıt testleri olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

Motor testlerinde ölçüm sonuçları almadan önce motor, dinamometre, test standının ve ölçü aletlerinin kontrolleri yapılmıştır. Ölçümler öncesinde motor normal çalışma sıcaklığına gelinceye kadar çalıştırılmış ve ardından deneylere geçilmiştir. Yüksüz olarak gerçekleştirilen motor deneylerinde motor devri rölanti ile 2500 rpm aralığında değiştirilmiştir. Yüklü motor deneylerinde ise; motor sabit devirde çalışırken motor yükü 30-80 Nm aralığında değiştirilmiştir.

Taşıt testlerinde ise; motor testlerindeki gibi öncelikle taşıtın, şasi dinamometresinin ve ölçü aletlerinin kontrolleri yapılmıştır. Ölçümlere geçmeden önce motor çalıştırılmış ve normal çalışma sıcaklığına gelmesi beklenmiştir. Şasi dinamometresinde motor yükü, çekiş tekerleklerinin temas halinde olduğu yükleme tamburları üzerinden gerçekleştiğinden yol şartlarının simüle edilebilmesi için taşıtın teknik özelliklerine uygun olarak taşıt ağırlığı, aerodinamik direnç ve yuvarlanma direnci parametrelerinin şasi dinamometresi kontrol paneli üzerinden girilmesi gerekmektedir. Aerodinamik direnç ve yuvarlanma direnci Eş. 3.1 ve 3.2 ile hesaplanmıştır. Şasi dinamometresindeki deneylerde taşıt 4. ve 5. vites kademesinde 40 – 110 km/h hız aralığında (± 2 km/h) kullanılarak titreşim ve gürültü ölçümleri yapılmıştır.

$$R_a = 0,0386 \cdot \rho_{hava} \cdot A \cdot C_d \cdot V^2 \quad (3.1)$$

$$R_{ro} = W_{taşıt} \cdot \mu_{ro} \quad (3.2)$$

Gerek motor deneyleri gerekse taşıt testlerinde kullanılan ivmeölçerin her bir kanalından alınan ivme değerleri kullanılarak Eş. 3.3'te yer alan ve literatürde kullanılan [24,27] denklem aracılığıyla ortalama karekök değerleri (a_{RMS}) hesaplanmıştır. Ortalama karekök değerleri (a_{RMS}) titreşimin varlığını ifade etmek için kullanılan ve sistem tarafından üretilen titreşimin genliğinin istatistiksel ortalama değerini ifade eden bir büyüklüktür [5,28].

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_k^2} \quad (3.3)$$

İvme ölçerin x, y ve z kanallarından alınan ölçüm sonuçlarına göre hesaplanan ortalama karekök değerleri (a_{RMS}) literatürdeki [18,29-31] gibi kullanılarak Eş. 3.4'te ifade edilen toplam ortalama titreşim hesaplanmıştır.

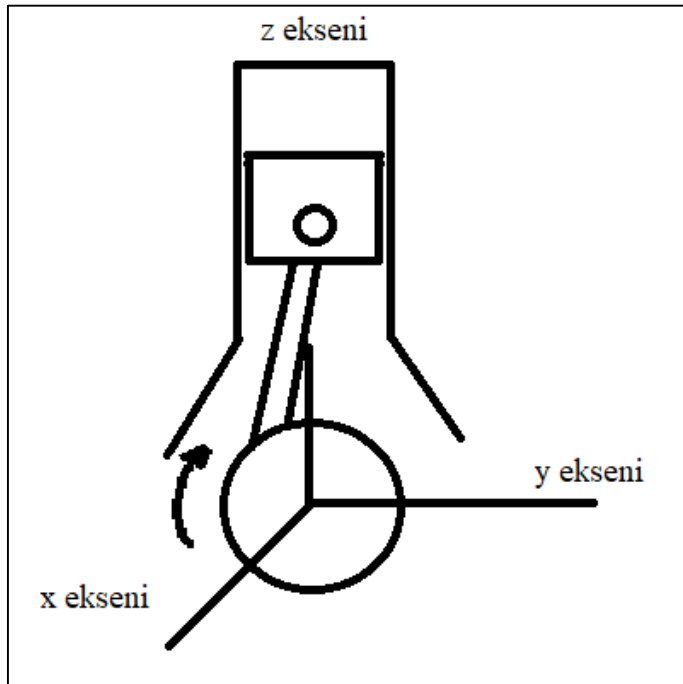
$$a_{toplamlam} = \sqrt{a_{RMS(x)}^2 + a_{RMS(y)}^2 + a_{RMS(z)}^2} \quad (3.4)$$

4. DENEYSEL BULGULAR

Bir motorun temel işletme parametrelerinden olan motor devri ve motor yükünün titreşim ve gürültüye etkisinin deneysel olarak incelendiği bu çalışma iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada dinamometreye bağlanan motor çeşitli devirlerde yüklü ve yüksüz çalıştırılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. İkinci aşama şasi dinamometresine bağlanan taşıt çeşitli hızlarda 4. ve 5. vites kademelerinde kullanılarak titreşim ve gürültü verileri alınmıştır.

4.1. Motor Deneyleri

Şekil 4.1’de deneysel çalışmada kullanılan ivmeölçerin üç boyutlu Kartezyen koordinat sisteminde konumlandırıldığı x, y ve z eksenleri görülmektedir. Kanal 1 x eksenine doğrultusundaki ölçümleri temsil etmektedir. Kanal 2 y eksenini ve kanal 3 ise z eksenine doğrultusunu ifade etmektedir.



Şekil 4.1. İvme ölçerin motor üzerindeki konumuna göre x, y ve z eksenleri

Şekil 4.2’de rölanti devri (890 rpm), 1750 rpm ve 2500 rpm motor devirlerinde yüksüz motor şartlarında her üç ekseninde alınan ölçümleri göstermektedir. Ölçüm sonuçlarına göre en fazla titreşim dikey doğrultuda (z eksen) ortaya çıkmış ve her üç motor devrinde de benzer bir

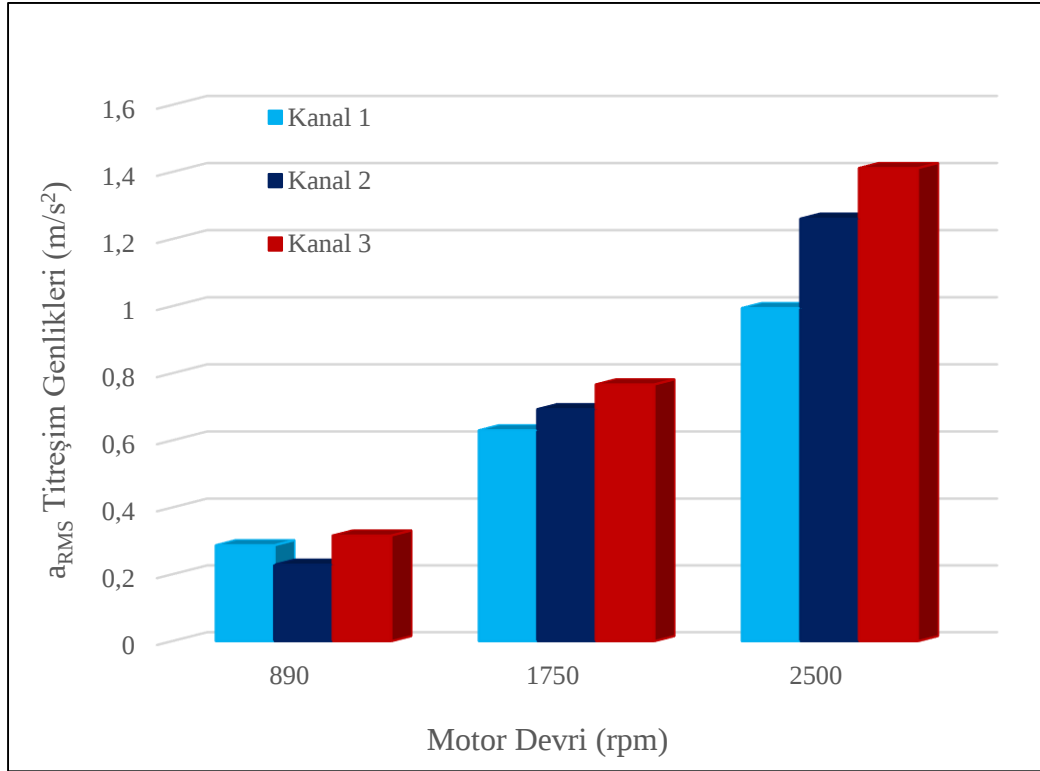
durum elde edilmiştir. Düşey doğrultuda çalışan pistonların atalet kuvvetlerinin neden olduğu bu sonuç birim zamanda yapılan devir sayısının artmasına bağlı olarak artış göstermiştir. 2500 rpm motor devrindeki düşey doğrultudaki titreşim, rölanti devrindekini yaklaşık olarak 4,5 katıdır.

Benzer bir sonuç Satsangi ve Tiwari tarafından yapılan çalışmada da [22] elde edilmiştir. Bu çalışmada dizel/n-bütanol karışımlarının titreşime etkisi x, y ve z eksenlerinde deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en fazla titreşim pistonun hareket doğrultusunda olan düşey doğrultuda ardından pistonun silindir duvarlarına yaslandığı yatay doğrultuda elde edilmiştir.

Piston hareketinin olduğu düşey doğrultuda en yüksek titreşimin elde edildiği bir başka çalışmada [32], araştırmacılar motorun içerisinde gerçekleşen yanmanın öncelikli olarak piston üzerinde dikey yönde bir itme kuvveti oluşturmamasının bu sonuca neden olduğunu ifade etmişlerdir.

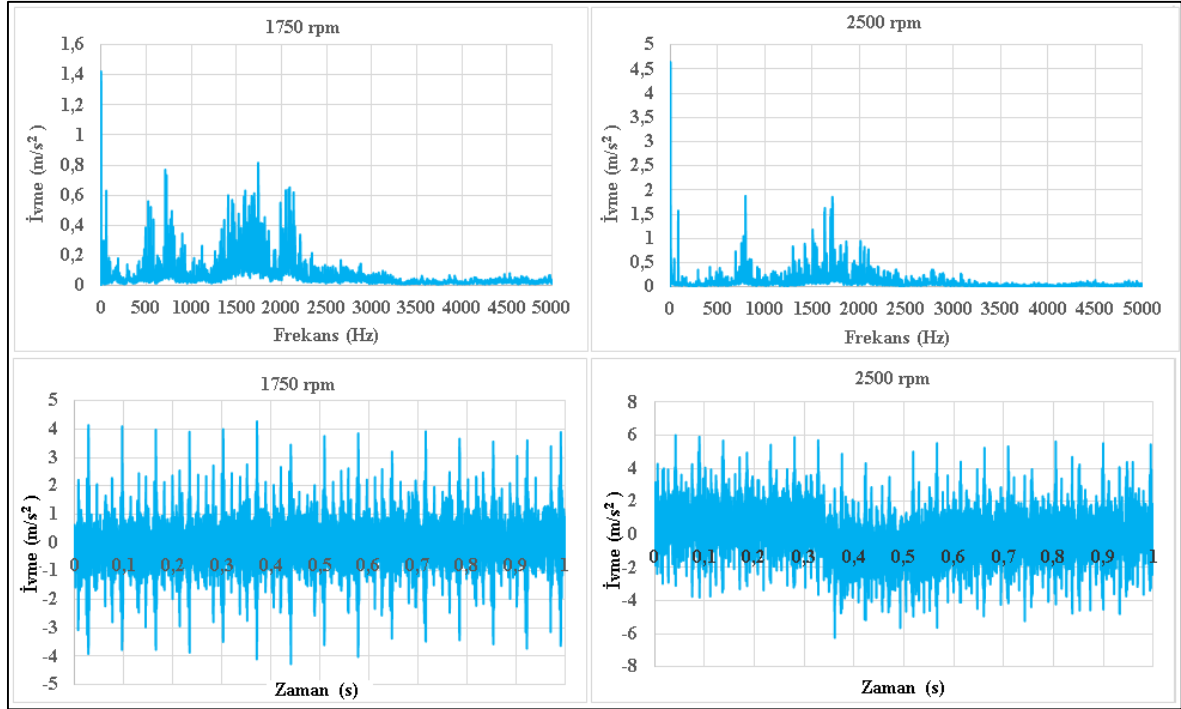
Patel vd. tarafından yapılan bir başka çalışmada da [33] pistonun hareket yönünü ifade eden düşey doğrultuda en yüksek titreşim elde edilmiştir.

Buji ile ateşlemeli bir motorda benzin ve alternatif yakıt olarak etanol ve metanolün kullanıldığı Gravalos vd. tarafından yapılan çalışmada [34]; x, y ve z eksenlerinden alınan titreşim verilerine göre önemli farklılıkların yalnızca dikey ekseninde olduğu görülmüştür. Araştırmacılar, pistonun aşağı-yukarı hareketinin motor titreşimlerine neden olması yüzünden bu eksendeki hassasiyetin beklenmesi gereken bir durum olduğunu ifade etmişlerdir.



Şekil 4.2. Yüksüz motor şartlarında rölanti devri, 1750 ve 2500 rpm motor devirlerinde her üç eksen den alınan titreşim değerleri

Şekil 4.3'te 1750 ve 2500 rpm motor devirleri için ivmeölçerin 3. kanalından alınan ölçümlere göre elde edilen frekans ve zaman bölgesi grafikleri görülmektedir. Frekans bölgesi grafiklerine göre her iki devirde de yaklaşık olarak 250 Hz'in altında ve 500-2500 Hz aralığında (z) ekseninde ivme değerinin daha yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca 2500 rpm'de titreşimin arttığı da görülmektedir. Şekil 4.3'te ayrıca zamanı esas alan zaman bölgesi grafikleri de yer almaktadır. Deneylerin gerçekleştirildiği motor dört zamanlı bir motordur yani krank milinin 720° dönüşünde (iki tur) bir iş gerçekleşmektedir. Zaman bölgesi grafiklerinde ivmenin birim zaman içerisinde (1 saniye) pik yaptığı nokta sayısı incelendiğinde bu miktarın aynı süre içerisinde ele alınan motor devrinde gerçekleşen çevrim sayısına eşit olduğu görülmektedir.



Şekil 4.3. 1750 ve 2500 rpm motor devirlerinde ve yüksüz motor şartlarında ivme-frekans ve ivme-zaman grafikleri

Lee vd.'nin [35] bir dizel motorunda farklı motor devri (1250-2000 rpm) ve yüklerinde (4, 6 ve 8 bar) yapmış oldukları çalışmada 0,3-5 kHz titreşim sinyalinin yanma ile ilişkili olduğu ortaya konulmuştur. 0,3-1,5 kHz bant genişliğinde maksimum ısı yayılım oranı ile titreşim arasında iyi bir korelasyon tespit edilmiştir. Araştırmacılar bu korelasyonun kullanılarak maksimum ısı yayılım oranının silindir içi basınç sensörleri yerine ivmeölçerler kullanılarak tahmin edilebileceğini vurgulamışlardır. Ayrıca çalışmada pistonun çarpma hareketinden kaynaklanan titreşimin frekans aralığı 1,5-2,5 kHz arasında bulunmuştur.

Satsangi ve Tiwari çalışmalarında [22], 400-2500 Hz frekans bandında egzoz gürültüsü ile ilişkili titreşimler elde edilmiştir. Ayrıca motor yükü arttıkça bu frekans aralığındaki enerji oranının daha da arttığı görülmüştür.

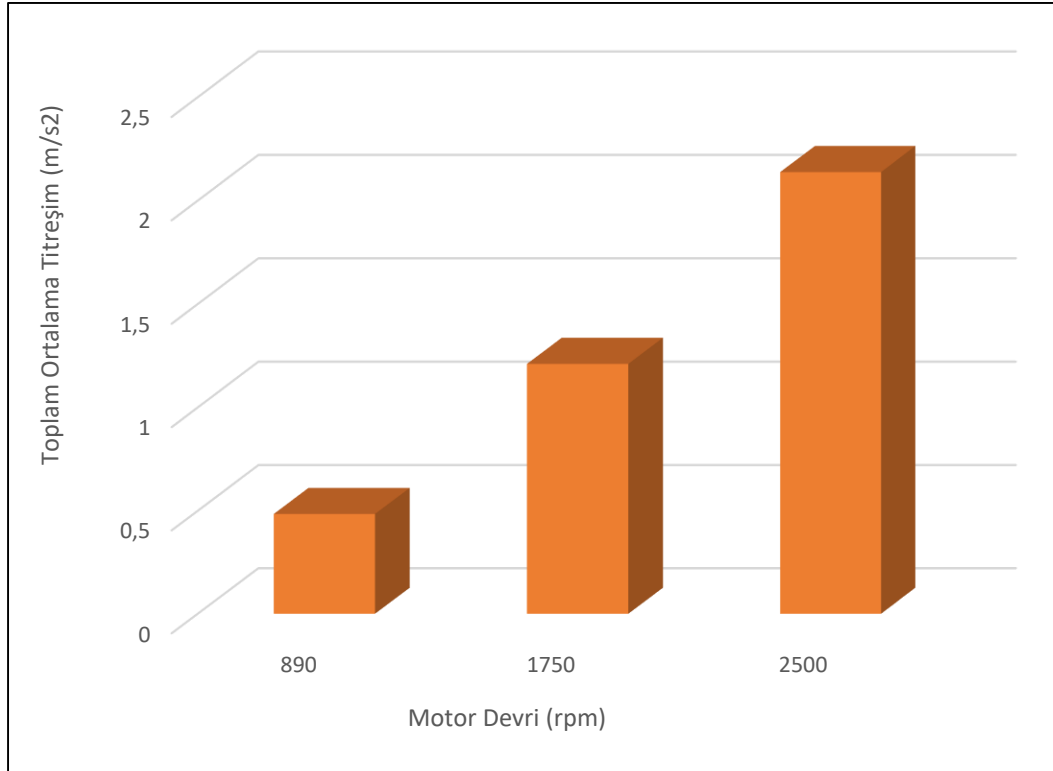
Abou-Arab, Mohamed ve Tayea [36] tarafından yapılan çalışmada benzin ve doğalgaz yakıtlarının titreşim ve gürültüye etkisini araştırılmıştır. Tam yükte ve 2000rpm motor devrinde z ekseninden alınan titreşim genliklerinin ve gürültü değerleri karşılaştırıldığında benzinle çalışan motor için en yüksek ivme genliği 6,2 kHz frekansta 88 dB(A) olduğu ve bu tepe ivmenin 3,2 kHz frekansta başlayıp 7 kHz frekansta sona erdiği tespit edilmiştir. Doğal gazla çalışma durumunda, en yüksek ivme genlik değeri 1,8 kHz frekansta 86 dB(A)

olduğu ve bu tepe ivme, 1,4 kHz'den başlayıp 2,5 kHz'de biten bir frekans aralığında yer aldığını vurgulamışlardır. Ayrıca, araştırmacılar çalışmalarında titreşim spektrumundaki maksimum tepe genliğinin, motorun titreşimi ile doğru orantılı olan silindir içindeki maksimum yanma basıncının konumunu gösterdiğini belirtmişlerdir.

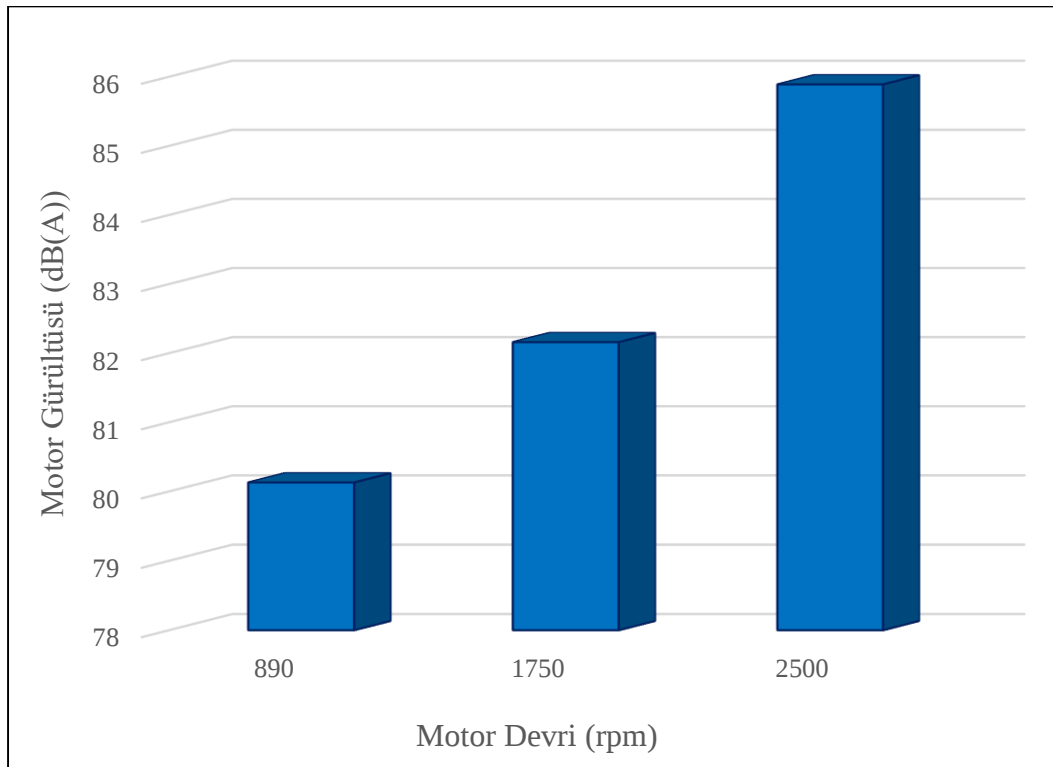
Chiatti ve Chiavola çalışmalarında [37] yük değişiminin temel olarak silindir içi basıncın tepe değeri ve yanma sürecinde etkili olduğu, motor devrinin ise basınç spektrumu bileşenlerinin frekansından sorumlu olduğu ifade edilmiştir.

Şekil 4.4 ve 4.5'te motor devrine bağlı olarak toplam ortalama titreşim ve gürültü değerlerindeki değişim görülmektedir. 1750 rpm'de titreşim, rölanti devrindeki yaklaşık 2,5 katı iken, 2500 rpm'de yaklaşık 4,5 katıdır. Titreşim ile motor devri arasındaki benzer bir ilişki Taghizadeh-Alisaraei vd [18], Santhosh vd [38] tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir.

Elde edilen gürültü verileri değerlendirildiğinde rölanti devri ile karşılaştırıldığında 1750 rpm'de yaklaşık 2 dB(A), 2500 rpm'de ise yaklaşık 5,8 dB(A) artmıştır. Bharath ve Selvan tarafından yapılan çalışmada [39] motor devrine bağlı olarak gürültü seviyesinin artış gösterdiği ifade edilmiştir. Benzer sonuç Keskin [40] ve Sharma vd. [41] tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir.



Şekil 4.4. Yüksüz motor şartlarında rölanti devri, 1750 ve 2500 rpm motor devirlerindeki ortalama titreşim değerleri

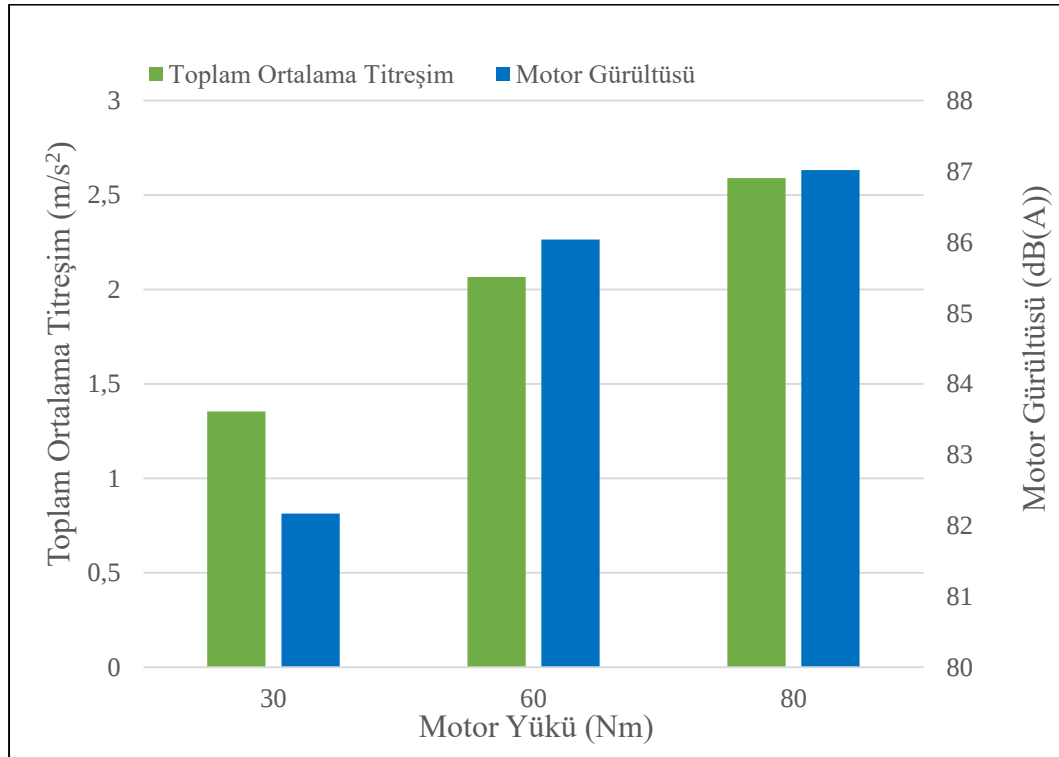


Şekil 4.5. Yüksüz motor şartlarında rölanti devri, 1750 ve 2500 rpm motor devirlerinde ölçülen gürültü değerleri

Şekil 4.6’da motor yükünün titreşime ve gürültüye etkisi yer almaktadır. Birim zamanda gerçekleşen çevrim sayısı aynı kalsa da her bir çevrimde motor tarafından üretilen torkun dolayısıyla piston üzerine etki eden silindir basıncının artması titreşim ve gürültüde artışa neden olmaktadır. 30 Nm motor yüküne karşılık yük 80 Nm’ye arttırıldığında titreşim yaklaşık 2 katına çıkmıştır. Gürültü ise 4,85 dB(A) artmıştır.

Keskin ve Gürü tarafından yapılan ve kurşunsuz benzine etanol veya propanol ilavesinin gürültüye etkisini inceledikleri çalışmada [42] motor yüküne bağlı olarak gürültüde yaklaşık 1 dB(A) artış elde edilmiştir. Ayrıca oksijen içeren yakıtlardaki gürültü artışına reaksiyon hızının artmasının, alkollerin yüksek buharlaşma ısısının ve benzine göre ayarlanmış olan ateşleme zamanının etkili olabileceğini ifade etmişlerdir.

Flekiewicz vd. çalışmalarında [16], silindir basıncındaki değişimlerin motor gövdesindeki titreşim sinyallerini önemli ölçüde etkilediğini ve motor yükü ve hızının artması silindir basıncının tepe değerlerinin ve motor bloğu titreşimlerinin artmasına neden olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.6. 1750 rpm motor devrinde çeşitli motor yüklerindeki ortalama titreşim ve gürültü değerleri

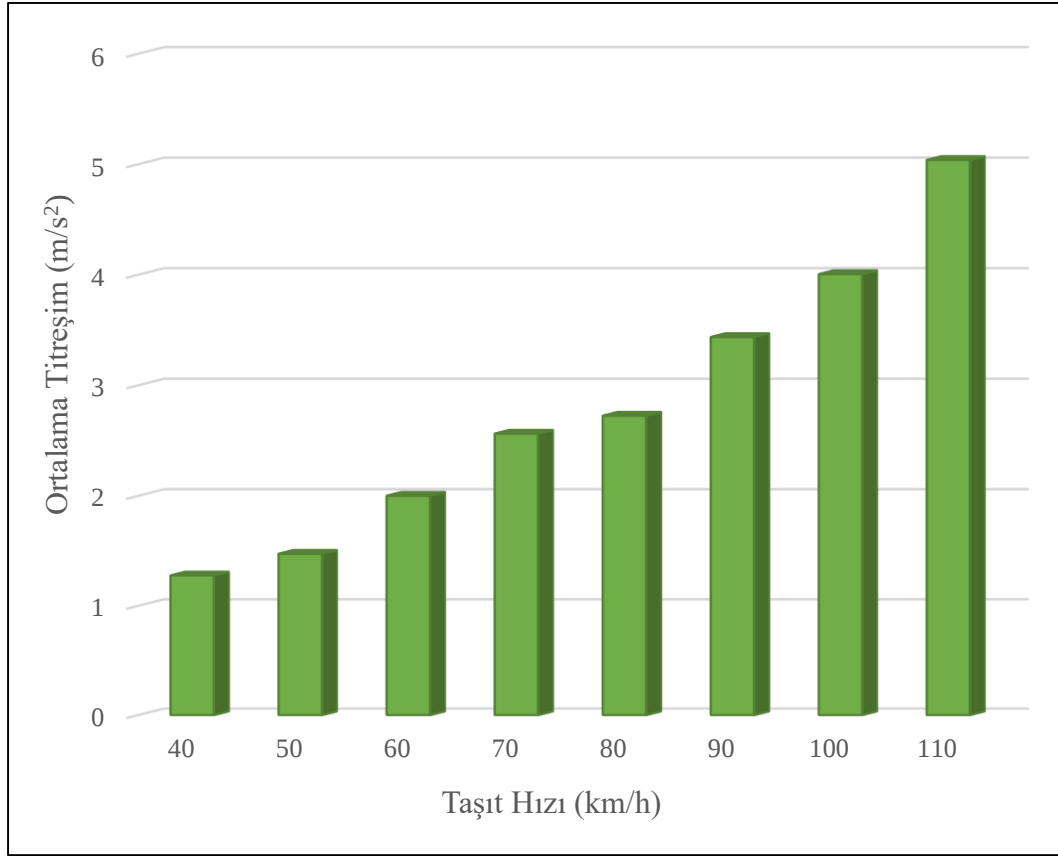
4.2. Taşıt Deneyleri

Temel motor işletme parametrelerinin (motor devri ve yükü) titreşim ve gürültüye etkisinin incelendiği taşıt deneyleri 40 – 110 km/h taşıt hız aralığında ve 5. vites kademesinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu deneyde elde edilen veriler, 50 ve 90 km/h taşıt hızlarında 4. vitede tekrarlanan deneylerde alınan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

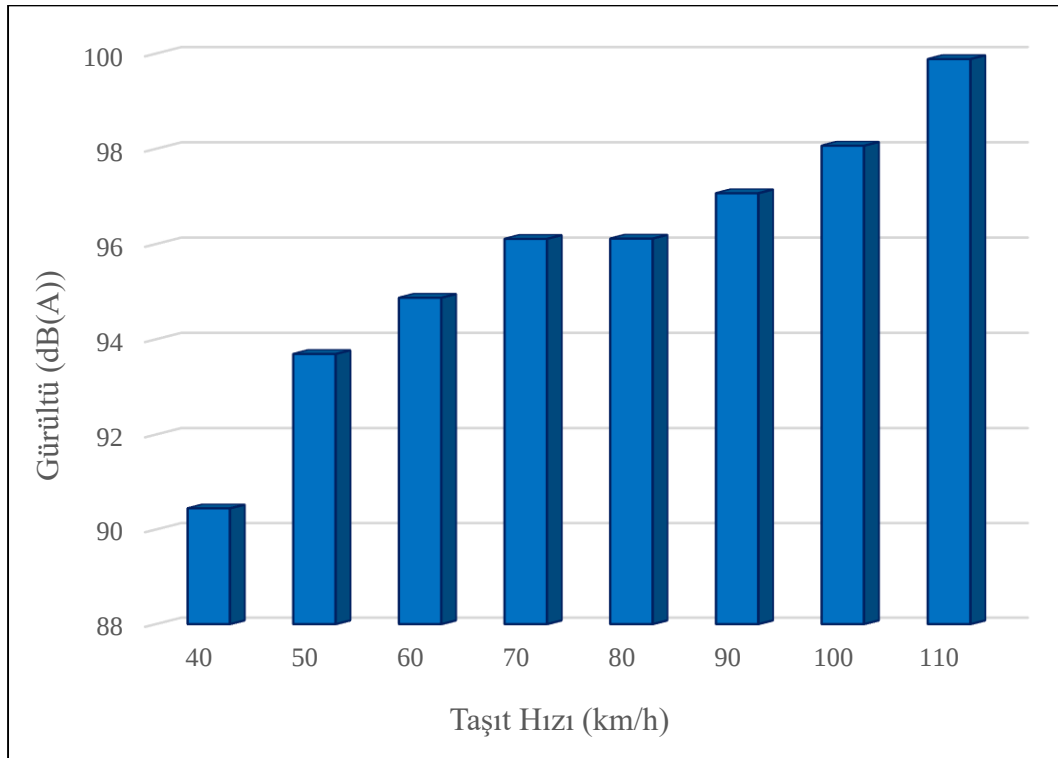
Şekil 4.7’de 40 – 110 km/h hız aralığında ve 5. vites kademesinde motor üzerine bağlanan ivmeölçerin her üç ekseninden alınan verilerin toplam ortalama titreşim değerleri, 4.8’de ise gürültünün değişimi görülmektedir. Manuel transmisyona sahip olan taşıtta aynı vites kademesinde (5.vites) motor devri taşıt hızına bağlı olarak artış göstermektedir (Şekil 4.9). 40 km/h’lik taşıt hızında motor devri 1294 rpm iken, 110 km/h hıza ulaşıldığında motor devri 3405 rpm olmuştur. Gaz kelebek açılığı ise 40 km/h hızda %19 iken 110 km/h hıza kadar %32’ye kadar artmıştır (Şekil 4.9). Bu koşullarda 110 km/h taşıt hızında 40 km/h hıza kıyasla titreşim yaklaşık 4 katına ulaşırken, gürültü ise 9,4 dB(A) kadar artış göstermiştir. Taşıt testleri aynı vites kademesinde çeşitli taşıt hızlarına göre gerçekleştirildiğinden motor deneylerinden farklı olarak her bir ölçüm noktasında hem motor devrinin hem de motor yükünün titreşim ve gürültü üzerinde birleşik etkisi kendisini göstermektedir.

Yanma gürültüsü, mekanik gürültü ve emme ile egzozdan kaynaklanan gürültüler motor gürültüsünü oluşturan üç ana kaynaktır. Çevrim gerçekleşirken motorun yanma odasındaki hızlı basınç yükselişi yanma gürültüsünü oluştururken esas olarak motorun hareket eden parçaları ise mekanik gürültüye neden olur. Emme ve egzoz sisteminin tasarımına bağlı olarak ortaya çıkan bir diğer motor gürültü kaynağıdır [19,43-45]. Şekil 4.8’de ifade edilen gürültü değerleri, testin gerçekleştirildiği laboratuvar ortamında ve taşıtın dışından alındığından yalnızca motor gürültüsünü değil aynı zamanda güç aktarma organları ve çekiş tekerleklerinden kaynaklanan gürültüyü de kapsamaktadır.

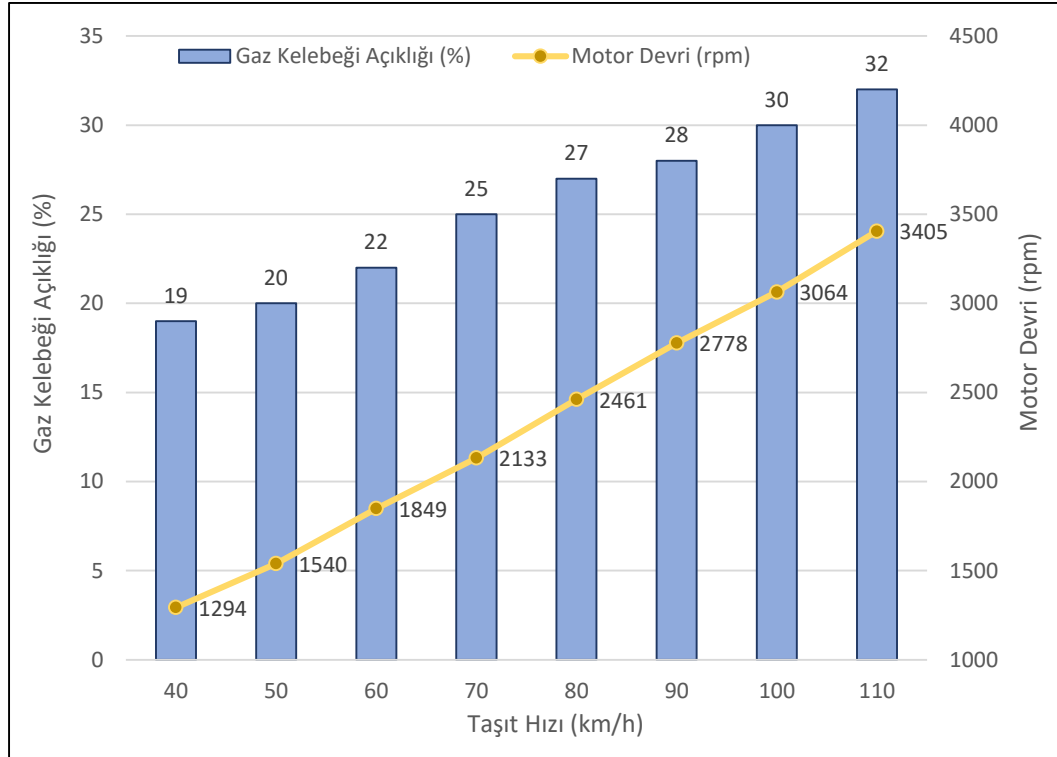
Şekil 4.10’da taşıt hızına bağlı olarak tekerleğe aktarılan gücün değişimi görülmektedir. Deney koşulları düz yol şartlarında taşıtın karşılaştığı dirençler (yuvarlanma direnci ve aerodinamik direnç) dikkate alınarak oluşturulduğundan tekerleğe aktarılan tahrik kuvvetini ve tekerlek gücünü bu kuvvetler etkilemektedir. 40 km/h hızdan itibaren toplam direnç taşıt hızına bağlı olarak arttığından tekerleğe aktarılması gereken tahrik kuvvetinin artışına bağlı olarak tekerlek gücünün de arttığı şekilde de görülmektedir.



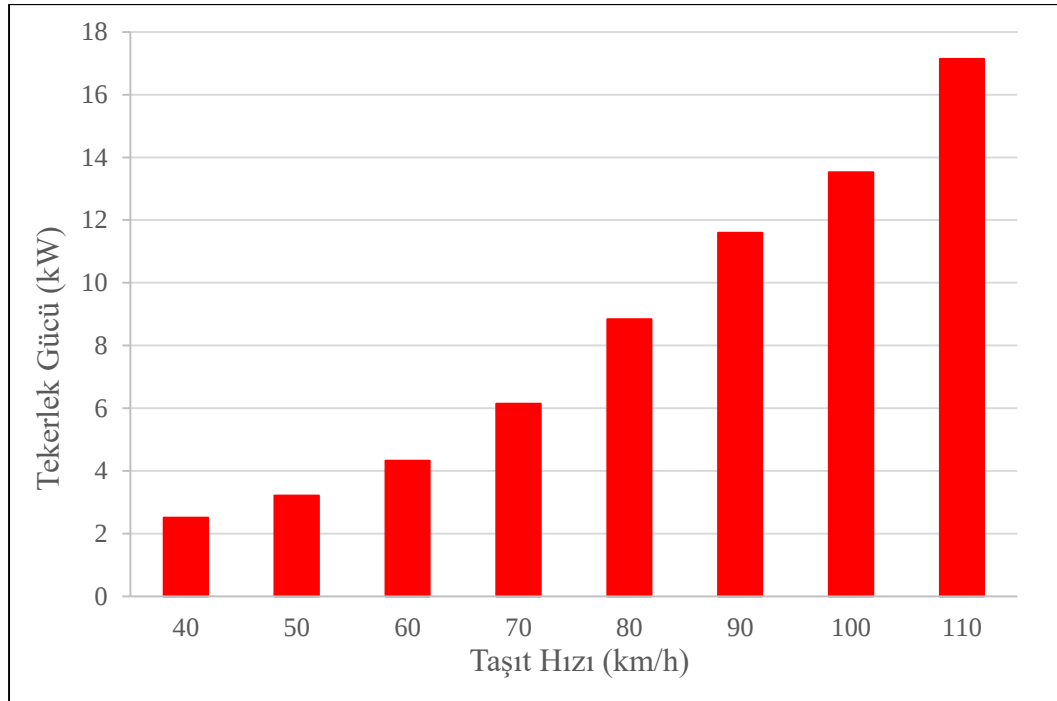
Şekil 4.7. 5. viteste yapılan taşıt deneylerinde elde edilen ortalama titreşim değerleri



Şekil 4.8. 5. viteste yapılan taşıt deneylerinde elde edilen gürültü değerleri

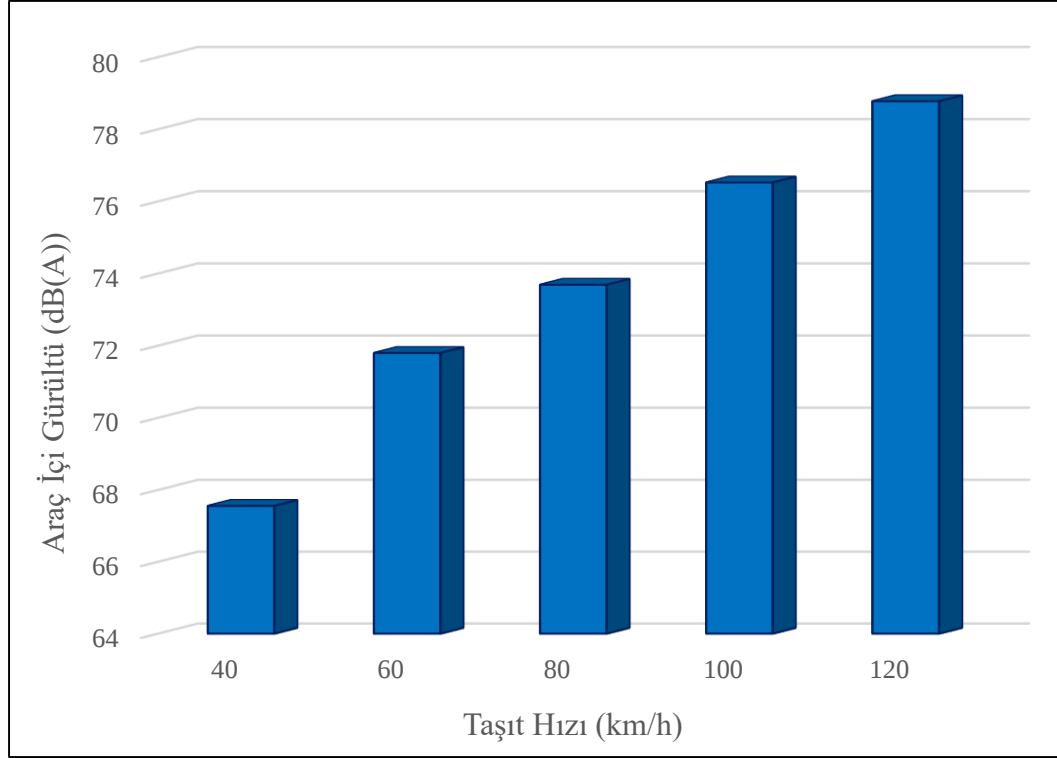


Şekil 4.9. Taşıt deneylerinde 5. viteste taşıt hızlarına karşılık motor devri ve yükünün değişimi



Şekil 4.10. 5. viteste taşıt hızlarına karşılık tekerlek güçlerinin değişimi

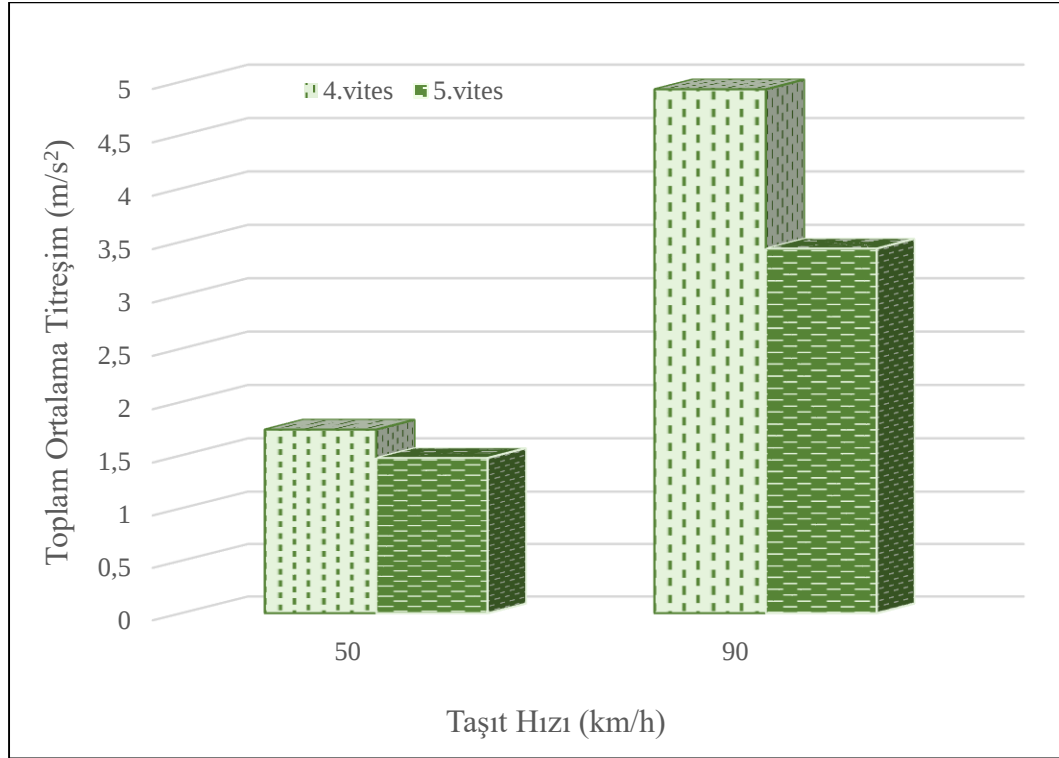
Şekil 4.11’de görüldüğü gibi aynı test koşullarında deneysel çalışma araç içi gürültü ölçümünü gerçekleştirmek için de taşıtın camları tamamen kapalı bir şekilde tekrarlanmıştır. Ölçülen gürültü deneysel çalışmanın gerçekleştirildiği en yüksek taşıt hızında bile 80 dB(A)’nin altında kaydedilmiştir.



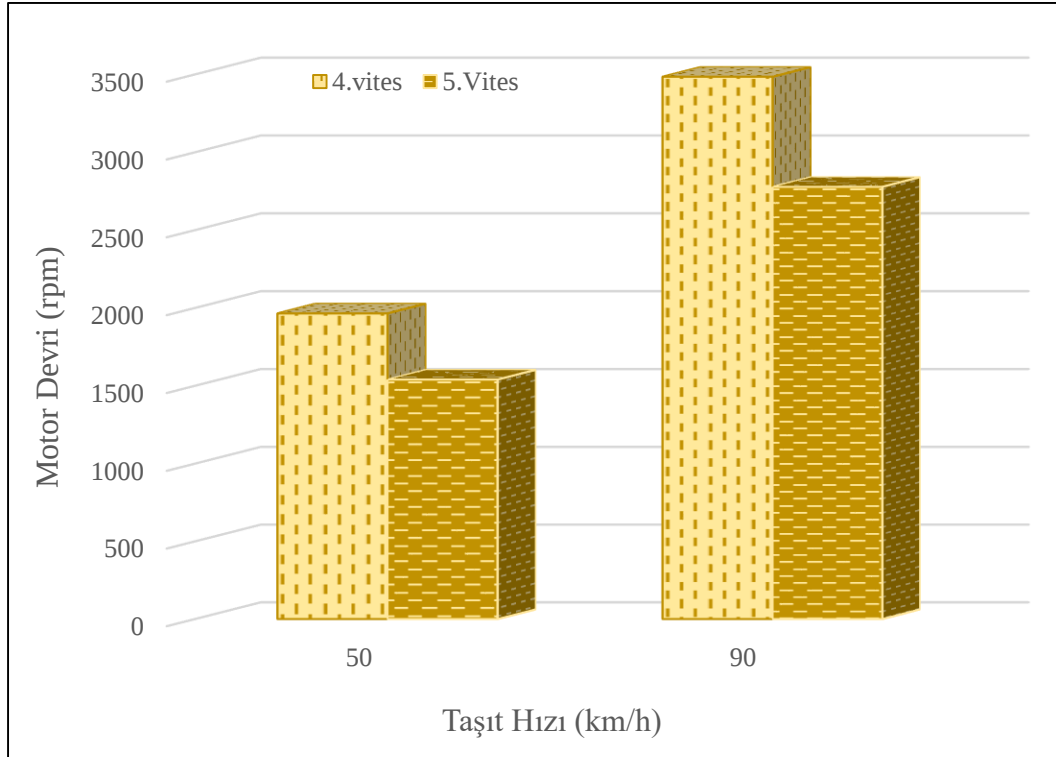
Şekil 4.11. 5. viteste yapılan taşıt deneylerinde elde edilen araç içi gürültü değerleri

Şekil 4.12’de aynı hızlarda (50 ve 90 km/h) 4. ve 5. vites için ortalama titreşim değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir. 50 ve 90 km/h taşıt hızlarında ve 5. vites kullanımında ortalama titreşim 4. vitese göre sırası ile yaklaşık %15,3 ve %30,3 azalmıştır. Şekil 4.13’de motor devri ve Şekil 4.14’te gaz kelebek açıklığının aynı hızlara karşılık 4. ve 5. vitesteki değerlerinin bir karşılaştırılması görülmektedir. Taşıtın 4. veya 5. vites konumunda aynı taşıt hızında yol katedebilmesi farklı motor devirlerinde gerçekleşir. Bu farklılık redüksiyon oranlarından kaynaklanır. 50 km/h taşıt hızına 4. viteste ulaşıldığında 5. vitese göre motor devri %27,6 artış göstermiştir. Bu artış 90 km/h’lik taşıt hızında %25,4 olmuştur. Motor yükünün bir başka deyişle motordan talep edilen torkun taşıt hızı değişmediği takdirde farklı olması beklenmez. Ancak aynı hızda farklı vites kademesinde taşıtın kullanımı söz konusu olduğunda taşıtın genel güç ihtiyacı değişmemesine rağmen redüksiyon oranının üst vites kademesinde daha düşük olması nedeniyle motor yükünün artması öngörülebilir. 4. vites ile karşılaştırıldığında 5. viteste 50 km/h taşıt hızında gaz kelebek açıklığı %5,3, 90 km/h hızda

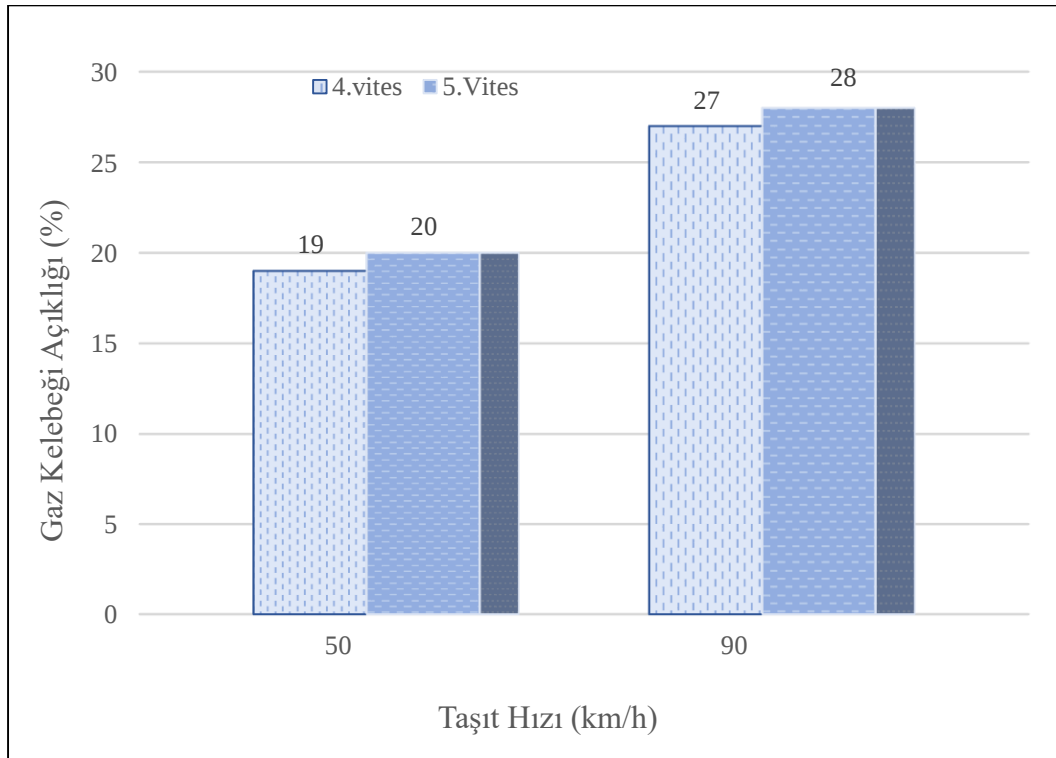
ise %3,7 artış göstermiştir. Yapılan bu karşılaştırmalarla aynı taşıt hızında farklı vites kademesinde motor devrindeki değişiminin motor yüküne göre çok daha fazla olduğu görülmektedir. Bu nedenle 4. viteste aynı taşıt hızları elde edilirken birim zamanda daha fazla çevrimin gerçekleşmesinin titreşim üzerinde daha belirgin bir etki gösterdiği kanaatine varılabilir.



Şekil 4.12. 50 ve 90 km/h taşıt hızlarında 4. vites ve 5. viteste elde edilen ortalama titreşim değerlerin karşılaştırılması

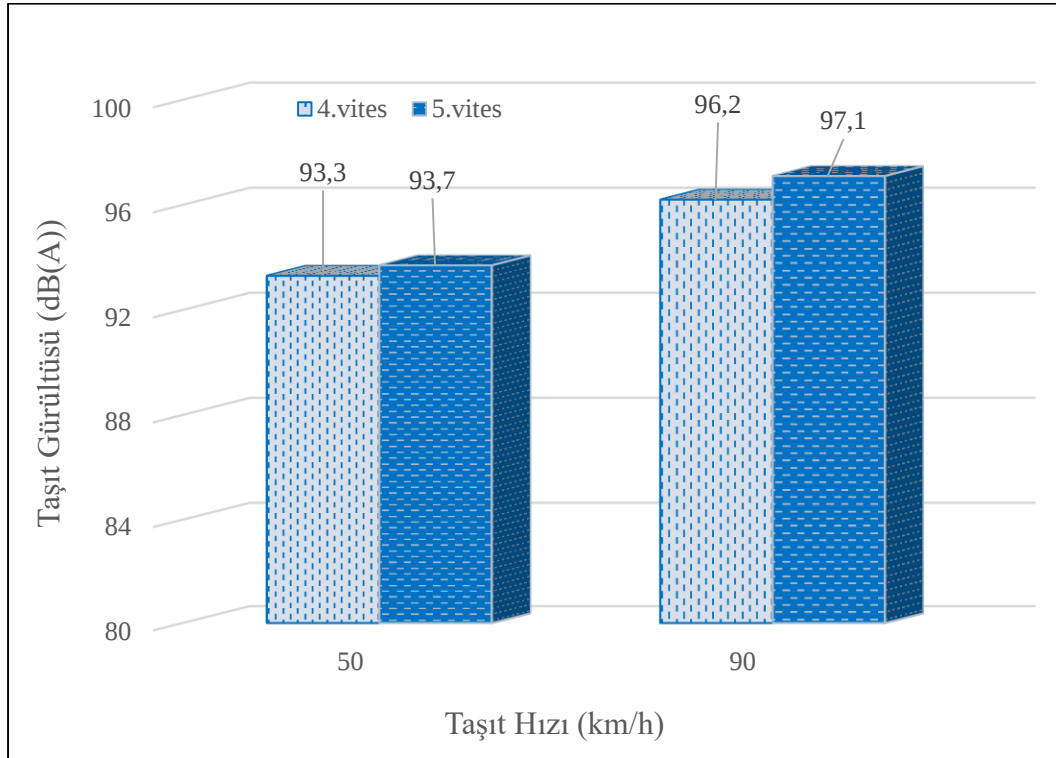


Şekil 4.13. 4. vites ve 5. viteste 50 ve 90 km/h taşıt hızlarına karşılık motor devri değerleri



Şekil 4.14. 4. vites ve 5. viteste 50 ve 90 km/h taşıt hızlarına karşılık motor yükü değerleri

Şekil 4.15'te 50 ve 90 km/h'de taşıttan kaynaklanan (motor, güç aktarma organları ve çekiş tekerlekleri) gürültünün 4. ve 5. vitesteki karşılaştırılmaları görülmektedir. Her ne kadar 4. ve 5. vites kademesinde ölçülen motor devirleri farklı olsa da (Şekil 4.13) aynı taşıt hızında vites kutusu çıkışındaki hız ve tekerlek hızları değişmediğinden ölçülen gürültüler arasında dikkate değer bir fark oluşturmadığı görülmüştür. Elde edilen gürültü değerleri arasındaki fark 1 dB(A)'nın altındadır. Vites kademesindeki değişim gürültüden ziyade titreşimde etkisini daha belirgin ortaya koymaktadır. Bu farklılıkta ölçüm şeklinin etkisi olduğu kanaatine varılabilir. Zira titreşim ölçümünde üç boyutlu piezoelektrik ivmeölçer direkt olarak motor üzerine bağlanmıştır. Ancak gürültü ölçümünde cihaz taşıttan belirli bir mesafe uzaklıkta olacak şekilde konumlandırılmıştır. Bu nedenle sadece motordan kaynaklanan gürültüyü ayırt etmek mümkün olmamıştır.



Şekil 4.15. 50 ve 90 km/h taşıt hızlarında 4. vites ve 5. viteste elde edilen gürültü değerlerin karşılaştırılması

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Motor devri ve motor yükünün titreşim ve gürültüye etkisinin deneysel olarak incelendiği bu çalışma, motor deneyleri ve taşıt deneyleri olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada buji ile ateşlemeli ve tek nokta yakıt enjeksiyon sistemine sahip olan motor dinamometreye bağlanarak yüksüz ve yüklü şartlarda motor deneyleri gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise buji ile ateşlemeli motora sahip bir binek otomobili şasi dinamometresine bağlanarak 4. ve 5. vites kademelerinde çeşitli taşıt hızlarında titreşim ve gürültü ölçümleri yapılmıştır.

İlk aşamada gerçekleştirilen motor deneylerinin yüksüz ölçüm sonuçlarına göre en fazla titreşim dikey doğrultuda (z eksen) ortaya çıkmış ve her üç motor devrinde de (890 rpm, 1750 rpm ve 2500 rpm) benzer bir durum elde edilmiştir. Pistonların düşey doğrultuda çalışması ve atalet kuvvetlerinin neden olduğu bu durum birim zamanda yapılan devir sayısının artmasına bağlı olarak artış göstermiştir. 2500 rpm motor devrindeki düşey doğrultudaki titreşimin, rölanti devrine göre yaklaşık olarak 3,5 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca gürültü motor devrine bağlı olarak artış göstermiştir. Rölanti devrine göre 2500 rpm’de gürültü yaklaşık 5,8 dB(A) artmıştır.

Titreşim ve gürültüye motor yükünün etkisinin incelendiği motor deneylerinde toplam ortalama titreşim 30 Nm yüke kıyasla 80 Nm’lik yükte 1,9 katına artış göstermiştir. Gürültü ise 4,9 dB(A) artmıştır. Birim zamanda gerçekleşen çevrim sayısı aynı kalsa da her bir çevrimde motor tarafından üretilen torkun dolayısıyla piston üzerine etki eden silindir basıncının artması titreşim ve gürültüyü arttırmıştır.

Çalışmanın ikinci aşaması olan taşıt deneylerinde vites kademesi değiştirilmeksizin (5. vites) 40 km/h taşıt hızından 110 km/h taşıt hızına kadar 10 km/h aralıkla titreşim ve gürültü ölçümü gerçekleştirilmiştir. Toplam ortalama titreşim yaklaşık 3 kat artarken, gürültü 9,4 dB(A) artış göstermiştir. Bu test sürecinde motor devri 1294 rpm’den 3405 rpm’ye, GKA ise %19’dan %32’ye artmıştır.

Bu taşıt testi ölçüm sonuçlarında hem motor devri hem de motor yükünün etkisinin yanı sıra güç aktarma organları ve tekerleklerin de etkili olabileceği göz önüne alınarak 50 ve 90 km/h

taşıt hızlarında 4. vitesde titreşim ve gürültü ölçümleri yapılmıştır. 5. vitesdeki ölçüm sonuçları ile karşılaştırıldığında toplam ortalama titreşim 50 km/h taşıt hızında 5. vitesinin yaklaşık 1,2 katına ve 90 km/h taşıt hızında ise yaklaşık 1,4 katına arttığı görülmüştür. Dolayısıyla aynı taşıt hızında taşıtın 4. vitesinde kullanımında titreşim artmıştır. 4. vitesde 5. vitese kıyasla 50 km/h taşıt hızında motor devri 425 rpm artarken, GKA %20'den %19'a azalmıştır. 90 km/h'de ise motor devri 707 rpm artarken, GKA %28'den %27'ye düşmüştür. Her iki taşıt hızında da yaklaşık %20 değişen motor devrinin ortalama titreşime etkisinin daha fazla olduğu sonucuna varılabilir.

Taşıtın 4. ve 5. viteslerdeki gürültü ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında 1 dB(A)'den daha düşük farklar elde edilmiştir. Aynı taşıt hızında taşıt ister 4. vitesde isterse 5. vitesde olsun her iki kademede de vites kutusu çıkış milinden tekerlekler dâhil olmak üzere dönen elemanların devri değişmez. Bu nedenle gürültü ölçümünde elde edilen verilerde motor devri ve yükünden ziyade güç aktarma organları, çekiş tekerlekleri ve dinamometre tamburlarından kaynaklanan gürültünün daha etkin olduğu kanaatine ulaşılabilir.

Taşıt deneylerinde ayrıca 5. vites kademesinde taşıtın camları tamamen kapalı bir şekilde 40 km/h'den 120 km/h taşıt hızına kadar araç içi gürültü ölçümü yapılmıştır. Ölçülen gürültü deneysel çalışmanın gerçekleştirildiği en yüksek taşıt hızında bile 80 dB(A)'nin altında kaydedilmiştir. Gürültü ölçüm sonuçlarında lastiklerin genel yapısı ve test ortamı da etkindir. Lastiğin deseni, hamuru veya yeni olması gürültüyü etkileyecektir. Ayrıca dış ortamda zemin yapısı hava veya rüzgar hızı gibi etmenlerin gürültü sonuçlarını etkileyebileceği ifade edilebilir.

Motor devri ve motor yükünün titreşim ve gürültüye etkisinin incelendiği bu çalışmada elde edilen sonuçlardan yola çıkarak aynı taşıt hızları için ele alınan vites kademe sayısı artırılarak titreşim ve gürültünün değişiminin daha detaylı incelenebileceği bir çalışma yapılması önerisi getirilebilir. Ayrıca yapılacak çalışmada elde edilen veriler dikkate alınarak motor ve aktarma sistemi birbirinden bağımsız olarak aynı şartlarda testler tekrarlanarak titreşim frekansları analiz edilebilir. Ayrıca titreşim ve gürültüdeki payları araştırılabilir.

Yapılan çalışmada ele alınan taşıt içten yanmalı motora sahip bir taşıttır. Günümüzde hibrit ve elektrikli taşıtlar giderek önem kazanmaktadırlar ve yakın bir gelecekte de günlük

hayatımıza daha fazla gireceği öngörülmektedir. Bu nedenle taşıt konforu açısından titreşim ve gürültü deneyleri içten yanmalı motora sahip taşıt ve elektrik taşıt için karşılaştırma amacıyla gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Kelly, S. G. (2016). *Mekanik titreşimler teori ve uygulamalar*. (Çev. Ö. Gündoğdu, G. Şakar, Z. Kırıl, L. Malgaca ve H. Öztürk). Ankara: Palme Yayıncılık. 1,2,11,16-22.
2. Pasin, F. (2000). *Mekanik titreşimler*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 2,7,9,10.
3. Tahralı, N. ve Bağdatlı, S. M. (2014). *Mekanik titreşimler ve izolasyon (Teorik açıklamalar ve uygulamalar)*. Manisa: Celal Bayar Üniversitesi Yayınları, 4.
4. Gowda, T., Jagadeesha, T. and Girish, D. V. (2012). *Mechanical vibrations*. New Delhi: Tata Mc Graw-Hill Education, 3,4,13.
5. Mobley, R.K. (1999). *Vibration Fundamentals*. Woburn, MA: Butterworth-Heinemann. 17,18 21,22,25.
6. Öztürk, E. (2011). *İçten Yanmalı Motorlarda Titreşimin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Ankara, 1.
7. Solmaz, H. (2014). *Dört Silindirli Dört Zamanlı Bir Dizel Motorunun Dinamik Modeli ve Titreşimlerin İncelenmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Ankara, 1,2.
8. Boysal, A. and Rahnejat, H. (1997). Torsional Vibration Analysis of a Multi-Body Single Cylinder Internal Combustion Engine Model. *Applied Mathematical Modelling*, 21 (8): 481-493.
9. Ramachandran, T., Padmanaban, K. P. and Nesamani, P. (2012). Modeling and Analysis of IC Engine Rubber Mount using Finite Element Method and RSM. *Procedia Engineering*, 38: 1683-1692.
10. Sheng, G. (2012) *Vehicle Noise, Vibration, and Sound Quality*. Warrendale, PA: SAE International, 170-172.
11. Karimi, H.R. (2012). A Computational Approach to Vibration Control of Vehicle Engine-Body Systems. M. Zapateiro and F. Pozo (Eds.), *Advances on Analysis and Control of Vibrations: Theory and Applications*, IntechOpen, 157.
12. Gürültü Kontrol Yönetmeliği. (1986). *T.C.Resmi Gazete*. 19308, 11 Aralık 1986.
13. Kökden, D. (2015). *Taşıtlarda Titreşim ve Gürültü Problemlerinin Tespiti için Kullanılan Teknikler ve Taşıt Yakıt Tankı Tasarım Doğrulaması*, Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 18.
14. Gültekin, N., Mayda, M. ve Kilit, M. (2017). Benzin ve dizel motorlarda devir sayısının titreşime olan etkisinin incelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 39-43.

15. Sarıdemir, S., Alçelik, N. ve Uygur, İ. (2016). Biyodizel-dizel yakıt karışımlarının motor titreşimine olan etkisinin incelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 13(4), 103-110.
16. Flekiewicz, M., Fabi, P. and Flekiewicz, B. (2007). Engine block vibration level as a tool for fuel recognition. *SAE Technical Paper*, 2007-01-2162.
17. Taghizadeh-Alisaraei, A., Ghobadian, B., Tavakoli-Hashjin, T., Mohtasebi, S. S., Rezaei-asl, A. and Azadbakht, M. (2016). Characterization of engine's combustion-vibration using diesel and biodiesel fuel blends by time-frequency methods: A case study. *Renewable Energy*, 95, 422-432.
18. Taghizadeh-Alisaraei, A., Ghobadian, B., Tavakoli-Hashjin, T. and Mohtasebi, S. S. (2012). Vibration analysis of a diesel engine using biodiesel and petrodiesel fuel blends. *Fuel*, 102, 414-422.
19. Patel, C., Tiwari, N. and Agarwal, A. K. (2019). Experimental investigations of Soyabean and Rapeseed SVO and biodiesels on engine noise, vibrations, and engine characteristics. *Fuel*, 238, 86-97.
20. Nag, S., Sharma, P., Gupta, A. and Dhar, A. (2019). Combustion, vibration and noise analysis of hydrogen-diesel dual fuelled engine. *Fuel*, 241, 488-494.
21. Omar, F. K., Selim, M.Y.E. and Emam, S.A. (2017). Time and frequency analyses of dual-fuel engine block vibration. *Fuel*, 203, 884-893.
22. Satsangi, D. P. and Tiwari, N. (2018). Experimental investigation on combustion, noise, vibrations, performance and emissions characteristics of diesel/n-butanol blends driven genset engine. *Fuel*, 221, 44-60.
23. Üstün, D., Yamaçlı, S., Keskin, A., Özcanlı, M. ve Baştürk, Ö. (2007). Etil ve metil alkolün bir benzinli motorda alternatif yakıt olarak kullanımının motor titreşimine olan etkisinin frekans analizi yöntemi ile araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), 223-234.
24. Sarıdemir, S., Polat, F. ve Kılınçel, M. (2016). Motor devir ve yükünün titreşim ve gürültü emisyonuna olan etkisinin incelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(3), 459-466.
25. Karabulut, H., Öztürk, E. ve Çınar, C. (2011). Tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorunun dinamik modeli ve titreşimlerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(1), 173-183.
26. Öztürk, E. ve Karabulut, H. (2012). Tek silindirli bir dizel motorunun dinamik ve titreşim analizleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(3), 491-500.
27. Alçelik, N. ve Kam, M. (2020). Dönen Makinelerde Eksenel Kaçıklık ve Dengesizliğin Titreşim Analizi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt 7 256-269.

28. Nithin, S.K, Hemanth, K. and Shamanth, V. (2021). A review on combustion an vibration monitoring of IC engine. *Materials Today: Proceedings*, 45, 65-70.
29. Uludamar, E., Tosun, E. ve Aydın, K. (2016). Experimental and regression analysis of noise and vibration of a compression ignition engine fuelled with various biodiesels. *Fuel*, 177, 326–333.
30. Saridemir, S. (2013). The effect of dwell angle on vibration characteristics of camshaft bearing housings. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27(12), 3571-3577.
31. Saridemir, S. and Saruhan, H. (2014). Experimental analysis of maximum valve lift effects in cam-follower system for internal combustion engines. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28 (9), 3443-3448.
32. Patel, C., Agarwal A. K., Tiwari, N., Lee, S., Lee C. S. and Park, S. (2016). Combustion, noise, vibrations and spray characterization for Karanja biodiesel fuelled engine. *Applied Thermal Engineering*, 106, 506–17.
33. Patel, C., Lee, S., Tiwari, N., Agarwal, A. K., Lee, C. S. and Park, S. (2016) Spray characterization, combustion, noise and vibrations investigations of Jatropha biodiesel fuelled genset engine. *Fuel*, 185, 410-420.
34. Gravalos, I., Loutridis, S., Moshou, D., Gialamas, T., Kateris, D., Tsiropoulos, Z. and Xyradakis, P. (2013). Detection of fuel type on a spark ignition engine from engine vibration behaviour. *Applied Thermal Engineering*, 54, 171-175.
35. Lee, S., Lee, Y., Lee, S., Song, H. H., Min, K. and Choi, H. (2015). Study on the Correlation between the Heat Release Rate and Vibrations from a Diesel Engine Block. *SAE Technical Paper*, 2015-01-1673.
36. Abou-Arab, T. W., Mohamed, H. S. and Tayea, D. A. (2009). Thermo-Mechanical (Vibration & Noise) Performance of CNG Converted Petrol Engine. *SAE Technical Paper*, 2009-01-1682.
37. Chiatti G. and Chiavola, O. (2003). Experimental Analysis of Combustion Noise in Spark Ignition Engine. *SAE Technical Paper*, 2003-01-1422.
38. Hosseini, S. H., Taghizadeh-Alisaraei, A., Ghobadian, B. and Abbaszadeh-Mayvan, A. (2020). Artificial neural network modeling of performance, emission, and vibration of a CI engine using alumina nano-catalyst added to diesel-biodiesel blends. *Renewable Energy*, 149, 951-961.
39. Bharath, B. K. and Selvan, V. A. M. (2021). An Experimental Investigation on Rheological and Heat Transfer Performance of Hybrid Nanolubricant and Its Effect on the Vibration and Noise Characteristics of an Automotive Spark-Ignition Engine. *International Journal of Thermophysics*, 42.

40. Keskin, A. (2010). The Influence of Ethanol–Gasoline Blends on Spark Ignition Engine Vibration Characteristics and Noise Emissions. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32 (20), 1851-1860.
41. Sharma, N., Patel, C., Tiwari, N. and Agarwal A. K. (2019). Experimental investigations of noise and vibration characteristics of gasoline-methanol blend fuelled gasoline direct injection engine and their relationship with combustion characteristics. *Applied Thermal Engineering*, 158, 113754.
42. Keskin, A. and Gürü, M. (2011). The effects of ethanol and propanol additions into unleaded gasoline on exhaust and noise emissions of a spark ignition engine. *Energy sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 33 (23), 2194-2205.
43. Davies, P.O.A.L. and Holland, K.R. (1999). I.C. Engine Intake and Exhaust Noise Assessment. *Journal of Sound and Vibration*, 223 (3), 425-444.
44. Liu, E., Yan, S., Peng, S., Huang, L. and Jiang, Y. (2016). Noise Silencing Technology for Manifold Flow Noise Based on ANSYS Fluent. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 29, 322-328.
45. Ih, J.G. and Peat, K.S. (2002). On the Causes of Negative Source Impedance in the Measurement of Intake and Exhaust Noise Sources. *Applied Acoustics*, 63 (2), 153-171.



GAZİ GELECEKTİR..