

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**OTOMOTİVDE KULLANILAN SİLECEK SİSTEMİNİN
TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ ANALİZİ**

UFUK ALTIN

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOMOTİVDE KULLANILAN SİLECEK SİSTEMİNİN
TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ ANALİZİ

UFUK ALTIN

Prof.Dr. Taner YILMAZ

Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Doç.Dr. Nejat Yıldırım SARI

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Dr.Öğr.Üyesi Gurbet ÖRÇEN

Jüri Üyesi, Dicle Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 24.06.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması çerçevesinde, silecek sistemlerinde ortaya çıkan gürültü ve titreşim problemlerine deneysel ve numerik yaklaşarak özellikle otomobil üretici firmalarına faydalı olması amaçlanmıştır.

Tez çalışması sırasından desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Taner Yılmaz'a, uluslararası kaynak araştırma konusunda desteğini esirgemeyen Barra Renita'ya, tez çalışmam boyunca değerli katkılarından dolayı Gülşah Basıç'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca beni her zaman destekleyen aileme de sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Haziran – 2021

Ufuk ALTIN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1
1. SİLECEK SİSTEMİ	3
1.1. Tarihçe	3
1.2. Silecek Silme Alanları	6
1.3. Silecek Tipleri	8
1.4. Silecek Sisteminde Kullanılan Önemli Parametreler	12
1.4.1. Atak açısı	12
1.4.2. Kol baskı yükü	13
2. TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ	15
2.1. FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü)	16
2.2. Gürültü Tipleri	17
3. SİLECEK SİSTEMİNİN NUMERİK ÇÖZÜMLEMESİ	19
3.1. Silecek Sisteminin Yay-Kütle Modeli	19
3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modal Analiz	24
3.2.1. Ansys yazılımı ile süpürge'nin modal analiz'in belirlenmesi	25
4. DENEYSSEL OLARAK SİLECEK SİSTEMİNİN TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ	31
4.1. Deney Sırasında Yararlanılan Programlar	31
4.2. Deneysel Ölçüm İçin Yazılımların Hazırlanması	32
4.3. Kalibrasyon	33
4.4. Deneysel Düzeneğin Hazırlığı	35
5. DENEY SONUÇLARI	41
5.1. 1. Deney Grubu Sonuçları	41
5.2. 2. Deney Grubu Sonuçları	42
5.3. 3. Deney Grubu Sonuçları	44
5.4. 4. Deney Grubu Sonuçları	45
5.5. 5. Deney Grubu Sonuçları	46
5.6. 6. Deney Grubu Sonuçları	48
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	57
EKLER	59
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	67
ÖZGEÇMİŞ	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Silecek sisteminin şematik gösterimi.....	3
Şekil 1.2.	Capwell'in 1898 yılında aldığı patent	4
Şekil 1.3.	Mary Anderson'un 1903 yılındaki patentini aldığı sistem	5
Şekil 1.4.	Raymond Anderson'un 1923 yılındaki patentini aldığı sistem	6
Şekil 1.5.	Silecek silme tipleri a) Tek kollu silecek sistemi b) Tandem silecek sistemi c) Üçlü tandem silecek sistemi d) Panoramik silecek sistemi e) Bağımsız panoramik silecek sistemi f) Tek motorlu bağımsız panoramik silecek sistemi	7
Şekil 1.6.	Flat blade silecek kol ve süpürge	8
Şekil 1.7.	Kolu oluşturan alt parçalar	8
Şekil 1.8.	Konvensiyonel süpürge.....	8
Şekil 1.9.	Flat blade süpürge	9
Şekil 1.10.	Süpürgeyi oluşturan alt parçalar	9
Şekil 1.11.	Yük dağılım cihazı a) Cihaz b) Yük ölçerler	10
Şekil 1.12.	Flat blade süpürge yük dağılımı.....	10
Şekil 1.13.	Konvensiyonel süpürge yük dağılımı	11
Şekil 1.14.	Flat blade ve konvensiyonel lastik geometrisi	12
Şekil 1.15.	Atak açısının şematik görünümü	12
Şekil 1.16.	Atak açısının silmeye olan etkileri a) Atak açısı uygun olan süpürge, b) Atak açısı değiştirilmiş numune, c) Atak açısı daha da değiştirilmiş bir numune, d) Hareketli araç üzerinde atak açısı değiştirilmiş numunenin testi	13
Şekil 1.17.	Kol baskı yükünün silmeye olan etkileri b) Kol baskı yükü değiştirilmiş numune c) Kol baskı yükü daha da değiştirilmiş bir numune d) Hareketli araç üzerinde kol baskı yükü değiştirilmiş numunenin testi	14
Şekil 2.1.	60Hz basit bir sinüs dalgası	15
Şekil 2.2.	FFT analizi için bir örnek	17
Şekil 3.1.	Sileceğin fiziksel görünüşü	19
Şekil 3.2.	Silecek kolu ve süpürgesinin yay-kütle modeli	19
Şekil 3.3.	Kol ve süpürge'nin vektörel pozisyonu	20
Şekil 3.4.	Sistem yanıtının genliği (y eksen) uygulanan girişin frekansı (x eksen)	25
Şekil 3.5.	Sileceğin CAD Ortamında modellenmesi.....	26
Şekil 3.6.	Ansys 2019 R12 programının arayüzü	26
Şekil 3.7.	Malzeme tanımlamalarının yapılması.....	27
Şekil 3.8.	Malzeme kütüphanesine giriş	28
Şekil 3.9.	Malzeme kütüphanesi	28
Şekil 3.10.	Uygun malzemelerin eklenmesi.....	29
Şekil 3.11.	Mesh atılmış model.....	29
Şekil 4.1.	a) Arduino b) ADXL345 ivme ölçer.....	31

Şekil 4.2. Arduino ve ADXL335 bağlantısı.....	33
Şekil 4.3. Sensör düz bir zeminde kalibre edilirken.....	34
Şekil 4.4. Ön cam silecek düzeneği	35
Şekil 4.5. ADXL335'in numuneye konulması	36
Şekil 4.6. Kol numulerin ölçüm işlemi	36
Şekil 4.7. Süpürgelerin yük dağılımlarının ölçümü	37
Şekil 4.8. Min ve maks süpürgelerin yük dağılımının karşılaştırılması.....	38
Şekil 4.9. Deneyde kullanılan güç kaynağı.....	39
Şekil 5.1. Sırasıyla birinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları.....	41
Şekil 5.2. Sırasıyla ikinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları.....	41
Şekil 5.3. Sırasıyla üçüncü deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları	42
Şekil 5.4. Sırasıyla dördüncü deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları.....	42
Şekil 5.5. Sırasıyla beşinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları.....	42
Şekil 5.6. Sırasıyla altıncı deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları	43
Şekil 5.7. Sırasıyla yedinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları	43
Şekil 5.8. Sırasıyla sekizinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları.....	43
Şekil 5.9. Sırasıyla dokuzuncu deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları	44
Şekil 5.10. Sırasıyla onuncu deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları	44
Şekil 5.11. Sırasıyla onbirinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları.....	44
Şekil 5.12. Sırasıyla onikinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları	45
Şekil 5.13. Sırasıyla onüçüncü deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları	45
Şekil 5.14. Sırasıyla ondördüncü deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları	45
Şekil 5.15. Sırasıyla onbeşinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları.....	46
Şekil 5.16. Sırasıyla onaltıncı deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları	46
Şekil 5.17. Sırasıyla onyedinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları	46
Şekil 5.18. Sırasıyla onsekizinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları	47
Şekil 5.19. Sırasıyla ondokuzuncu deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları	47
Şekil 5.20. Sırasıyla yirminci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları	47
Şekil 5.21. Sırasıyla yirmibirinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları	48
Şekil 5.22. Sırasıyla yirmiikinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları	48
Şekil 5.23. Sırasıyla yirmiüçüncü deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları	48
Şekil 5.24. Sırasıyla yirmidördüncü deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları	49
Şekil 5.25. Birinci deneyden sileceğin bir çevrimlik hareketi	49
Şekil 5.26. Sileceğin dönüşlerden öncesi ve sonrası.....	50
Şekil 5.27. Motor hızının yavaş olduğu durumda a) Islak ortamda gerçekleştirilen 17. deney b) Kuru da gerçekleştirilen 19. deney	51

Şekil 5.28. Çalışma durumunun ıslak olduğu durumda a) Yavaş mod b) Hızlı mod	52
Şekil 5.29. Çalışma durumunun kuru olduğu durumda a) Yavaş mod b) Hızlı mod	52
Şekil 5.30. Süpürge formunun titreşime olan ortalama etkisi.....	53
Şekil 5.31. Farklı tip parametrelere sahip kol numunelerinin titreşime etkisi a) Silecek kolun özellikleri b) Ortalama frekans değerleri.....	54
Şekil 5.32. Silecek kolu parametrelerinin titreşime olan etkisi a)1. Silecek kolunun FFT sonucu b) 3. Silecek kolunun FFT sonucu	54
Şekil A.1. Arduino yazılımda ki kod ekranı	60
Şekil B.1. LabView programında ki devre ekranı.....	61
Şekil B.2. LabView programında ki sonuç alma ekranı	61
Şekil B.3. LabView programında ki titreşim grafiklerinin sonuç ekranı.....	62
Şekil C.1. Arduino ve ADXL335 sensörünün bağlantı şeması.....	63
Şekil D.1. ADXL335 sensörü kalibrasyon kodunun birinci bloğu	64
Şekil D.2. ADXL335 sensörü kalibrasyon kodunun ikinci bloğu	65
Şekil D.3. ADXL335 sensörü kalibrasyon kodunun üçüncü bloğu.....	65

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Sileceklerde titreşim ve gürültüler	17
Tablo 3.1. Silecek lastiğın durumları	20
Tablo 3.2. Matematiksel modelde kullanılan semboller	21
Tablo 3.3. Analizde kullanılan parçalar	27
Tablo 3.4. Malzemelerin mekanik özellikleri	28
Tablo 3.5. Ürün mesh bilgileri	30
Tablo 3.6. Modalin analiz sonucu süpürgenin doğal frekansları	30
Tablo 4.1. ADXL 335 kalibrasyon değerleri	35
Tablo 4.2. Silecek kolu numunelerinin parametreleri.....	37
Tablo 4.3. Süpürge numunelerini parametreleri	38
Tablo 4.4. Yapılan deneyler	39
Tablo 4.5. Deneyin ortam koşullarına ait değerler.....	40

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

FFT : Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)

OTOMOTİVDE KULLANILAN SİLECEK SİSTEMİNİN TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ ANALİZİ

ÖZET

Gün geçtikçe daha sessizleşmeye doğru eğilim gösteren otomobil teknolojisinde, silecek sistemlerinin ürettiği titreşim ve gürültüler daha dikkat çekici bir hale gelmektedir. Titreşim ve gürültünün birçok kalite sorunu yol açması ve müşteri şikayetlerinin bu konuda çok olması bir araştırma ihtiyacını doğurmuştur. Silecek sistemindeki titreşimler üç tip kategoride sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada, bir binek araçtaki sürücü tarafında silecek sisteminin sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi, matematiksel modeli ortaya konularak, deneysel ölçüm için bir titreşim ölçerin nasıl yapılacağı gösterilmiştir ve farklı özelliklere sahip numuneler deneylere tabi tutulup sonuçları verilmiştir ve yorumlanmıştır. Silecek sistemi düşük frekanslı bir titreşim üretmiştir ve 28,69 Hz baskın frekansta gıcırtı tabir edilen kategoriye girmiştir. Silecek sisteminin koşulları değişmesiyle birlikte 17,82 Hz frekansta titreşim göstermiştir. Parametrelerinde değişiklik yapılan silecek kolunun ve süpürgelerinin titreşime olan etkileri görülmüştür. Aynı zamanda, silecek süpürgesinin çalışma ortamı ve silecek motorun hızı titreşime ve gürültüye ne derece etkili olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gürültü, Silecek Deney Tasarım, Silecek Sistemi, Titreşim.

VIBRATION AND NOISE ANALYSIS OF WIPER SYSTEM USED IN AUTOMOTIVE

ABSTRACT

In automobile technology that tends to become quieter day by day, the vibrations and noises produced by the wiper systems become more noticeable. The fact that vibration and noise cause many quality problems and customers have many complaints on this issue which has created need for research. Vibrations in the wiper system are classified into three types. In this study, the wiper system on the driver's side in a passenger vehicle has been examined with finite element method, a mathematical model has been demonstrated, and how to make a vibration meter for experimental measurement is shown, and samples with different characteristics are subjected to experiments and the results are given and interpreted. The wiper system produced a low frequency vibration and noise called chatter, at dominant frequency of 28.69 Hz. As the conditions of the wiper system changed, it vibrated at a frequency of 17.82 Hz. The effects of the wiper arm and blade which have different and changed parameters have been observed. At the same time, it has been determined that the working environment of the wiper blade and the speed of the wiper motor affect the vibration and noise.

Keywords: Noise, Design of Wiper Experiment, Wiper System, Vibration.

GİRİŞ

Silecek sistemleri başta otomotiv sektöründe olmak üzere birçok farklı alanda uzun yıllar boyunca kullanılmıştır ve kullanılmaya devam edilmektedir. Silecek sistemlerinden olan ön cam silecekleri, yağışlı günlerde otomobil kullanıcılarının sürüş sırasında görüş alanını güvenli ve rahat bir şekilde sürdürebilmesi için vazgeçilmez bileşenlerdendir. Günümüzde tüm otomobillerde, yasal gereklilikler nedeniyle de ön cam sileceği bulunmaktadır. Bu nedenle araç sürücüleri için net görüş, karayolu trafiğinde güvenlik için önemli bir ön koşuldur.

Üretici firmalar, silecek sistemini daha dayanıklı ve silme kalitesine göre daha verimli hale getirmek için çalışmalarını sürdürmektedir. Buna ek olarak, müşterilerin daha sessiz araç talepleri, ön cam silecek sistemleri gibi bileşenlerden gelen gürültüyü ve titreşimi azaltmayı amaçlayan araştırma ihtiyacını doğurmuştur.

Bir güvenlik elemanı olarak sayılan silecek sistemleri çalıştığı süre boyunca, istenmeyen gürültü ve titreşim üretmektedir. Daha sonraki bölümlerde yoğunlaşacağımız bu durum sürücü ve yolcuya duyulabilir ve hissedilebilir şekilde rahatsızlık vermektedir.

Silecek sistemleri hakkında yapılan çalışmalardan biri olan Okura (2000) silecek kol ve süpürgesinin 2 boyutlu kütle-yay modellemesini yaparak süpürge geri dönme anındaki dinamik modellemeyi geliştirmiştir. Daha sonra bu çalışmasını üç boyut model ile geliştirerek, iki boyut modelinden daha iyi sonuçlar ortaya koymuştur.

Goto (2001a, 2001b) “Clarification of the mechanism of wiper blade rubber squeal noise generation” adlı çalışmasında “Squeal noise” olarak adlandırdığı titreşimin düşürülmesi konusunu ele almıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler gösteriyor ki süpürge, tasarımsal ve fiziksel özellikleri “Squeal noise” oluşmasında oldukça etkilidir. Yanlış parametrelerin seçim sonucunda silecek sisteminde konforu etkileyen dezavantajlar ortaya çıkmakla birlikte, süpürge kalitesinde gözle görülür performans düşüşleri gözlemlenmektedir.

“Simulation of chatter vibrations for wiper systems” adlı çalışmasında “Chatter noise” konusu (Grenouillat, 2002) incelenmiştir. Farklı atak açıları ve kol baskı yüklerinin titreşim konusuna etkileri ortaya konulmuştur.

Bu çalışmanın temel amacı; silecek kolu ve süpürgenin titreşim karakteristiklerin nasıl analiz edildiğini göstermektir. Çalışma esnasında meydana gelen titreşimlerin nasıl ölçülebileceğini, ölçüm ekipmanlarının kodlanması ve hazırlık aşamaları anlatılmaktadır. Daha sonra silecek konusunda çok önemli parametreleri değiştirerek, titreşime olan etkilerini incelemektir.

Bu çalışma toplam altı bölüme ayrılmıştır.

Birinci bölüm literatür taramasıdır. Silecek sistemlerinin nasıl ortaya çıktığı ve silecek konusunda ilgili teorik arka planı detaylandırmak ve ardından bir silecek üretiminde kullanılan önemli parametreleri anlatmak ve bu parametrelerin önemini göstermek için silme test sonuçlarını değerlendirilmektedir.

İkinci bölüm titreşim ve gürültü hakkındadır. Bu bölüm silecekteki titreşim ve gürültü konularında gerekli bilgiler verilerek sınıflandırma yapılmıştır ve geçmişte yapılan en önemli çalışmalar değerlendirilmiştir.

Üçüncü bölüm silecek sisteminin numerik çözümlenmesini ele alır ve deneyde kullanılmış silecek sisteminin titreşim karakteristikleri bu bölümde verilmiştir.

Dördüncü bölüm deneysel olarak silecek sisteminin titreşim ve gürültü karakteristiklerini inceler. Bu bölümde deneyin hazırlanma aşamasından, yapılma aşamasına kadar olan adımlar incelenmiştir. Deneyde kullanılan sensörün, kalibrasyonun yapılması, kodlanması ve görsel ara yüzünün oluşturulmasından bahsedilmiş ve kullanılan numunelerin hazırlanma aşamaları verilmiştir.

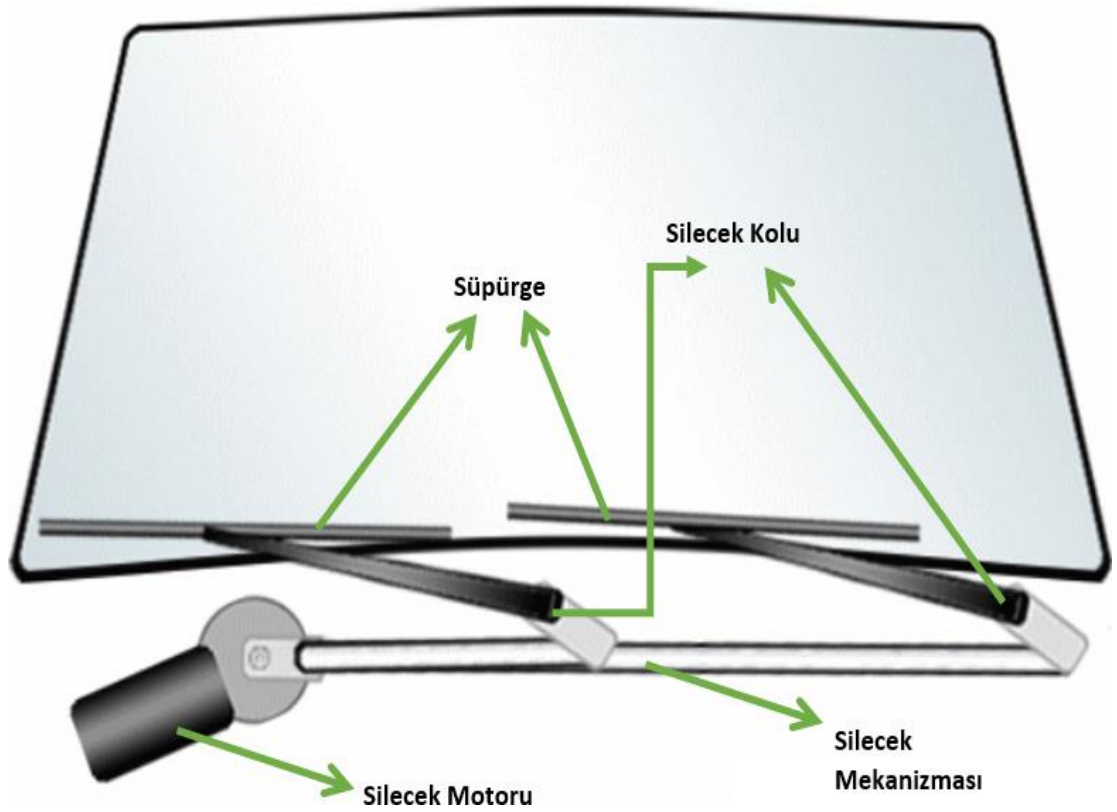
Beşinci bölüm deney sonuçlarıdır. Deneyde elde edilen tüm sonuçların verildiği bölümdür.

Altıncı bölüm sonuç ve önerilerin verildiği bölümdür. Bu bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir ve bir sonraki çalışmalar için öneriler verilmiştir

1. SİLECEK SİSTEMİ

Silecek sistemi kol, süpürge, mekanizma ve silecek motorundan oluşan ve sürücü ve yolcuya uluslararası normların belirttiği oranda, cam üzerinde görüş alanı ve görüş yeteneğini kazandıran otomobil parçasıdır. Basit bir tanımla silecek kolu süpürgeyi belirli yük ve açıyla süpürgeyi cama bastırır ve bu sistemi çeviren bir mekanizma, motor sayesinde silme işlemi gerçekleşir (Şekil 1.1).

Silecek sisteminin homojen bir temizlik yapmasının yanı sıra, gürültüsüz ve konforlu bir şekilde çalışmasını beklenir.



Şekil 1.1. Silecek sisteminin şematik gösterimi

1.1. Tarihçe

Silecek sisteminde tarihte ilk patent ürün George J. Capewell tarafından 6 Ağustos 1896 yılında alınmıştır (George,1898). Şekil 1.2'de gözüktüğü gibi bu patent sayesinde silecek sisteminin ilk temelleri atılmıştır.

Nö. 609,787.

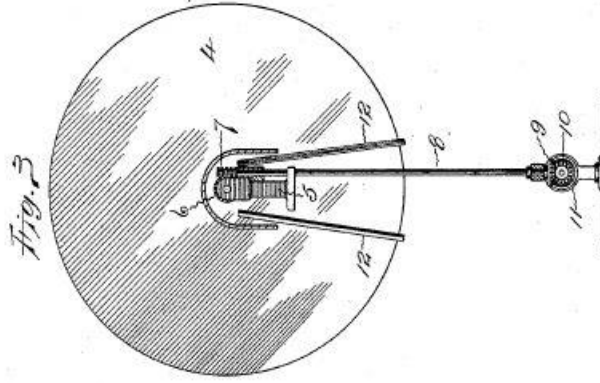
Patented Aug. 30, 1898.

G. J. CAPEWELL.
WINDOW CLEANER.

(Application filed Aug. 6, 1896. Renewed Jan. 5, 1898.)

(No Model.)

2 Sheets—Sheet 2.



Witnesses:

E. J. Hyde.
C. E. Buckland.

Inventor:

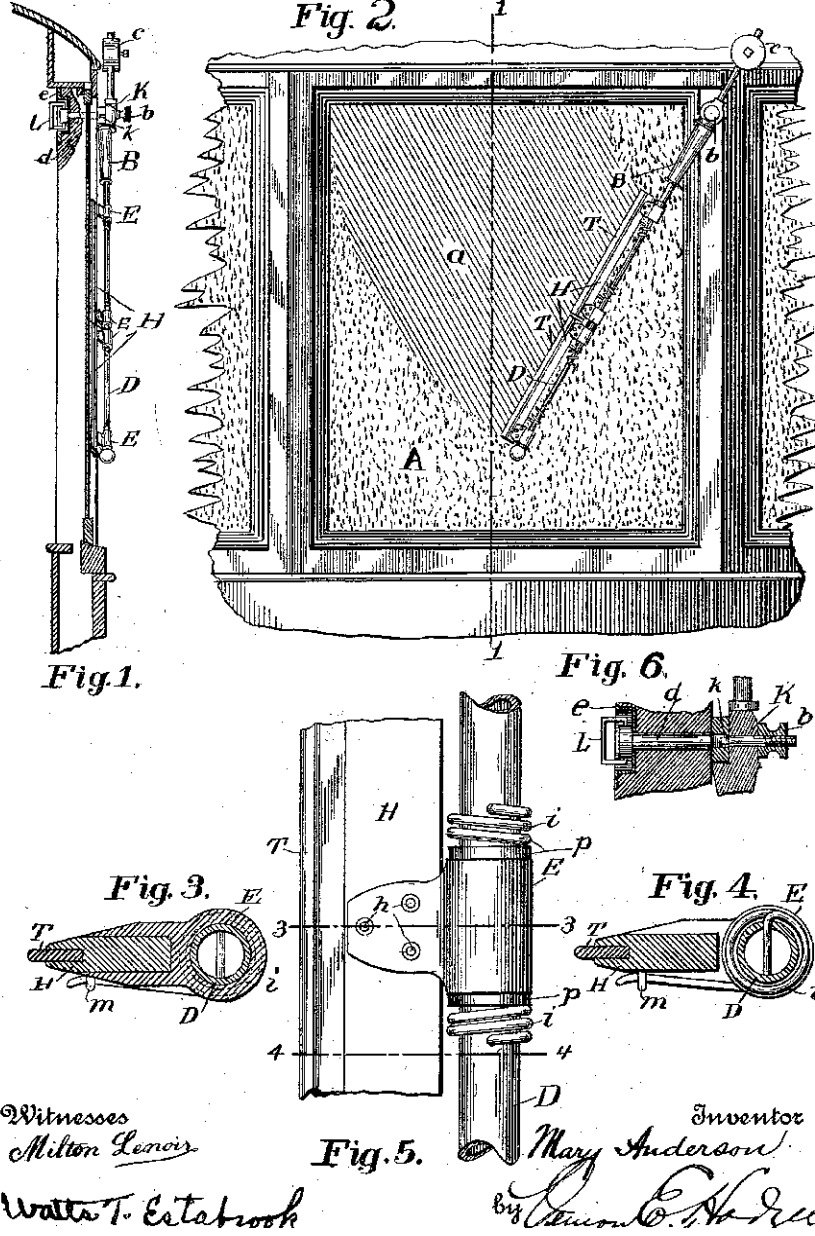
George J. Capewell,
Mary P. Williams
attys

Şekil 1.2. Capwell'in 1898 yılında aldığı patent
(George, 1898)

Capwell yaptığı çalışmalardan sonra birçok patent alınmasına rağmen Mary Anderson'ın 1903 yılının kış ayında New York'a yaptığı bir ziyaret sırasında, soğuk bir günde tramvay içerisinde, yağın sulu kar yüzünden ön camı temiz tutmak zor olduğu için, sürücünün aracı açık olan ön cam ile sürdüğünü gözlemlemiş ve bu konu hakkında çalışmalar yapmaya karar vermiştir. Yaptığı çalışmada, aracın içerisinde bulunan ve dışarıdaki cam sileceğini kontrol etmeyi sağlayan bir koldan oluşuyordu (Şekil 1.3). Bu sayede sürücünün görüş alanı istenmeyen cisimlerden ve sıvılardan uzaklaştırılmış oluyordu. Mary Anderson'un bu buluşu günümüzün silecek sisteminin temelini atmıştır (Bellis, 2019).

M. ANDERSON.
WINDOW CLEANING DEVICE.
APPLICATION FILED JUNE 18, 1903.

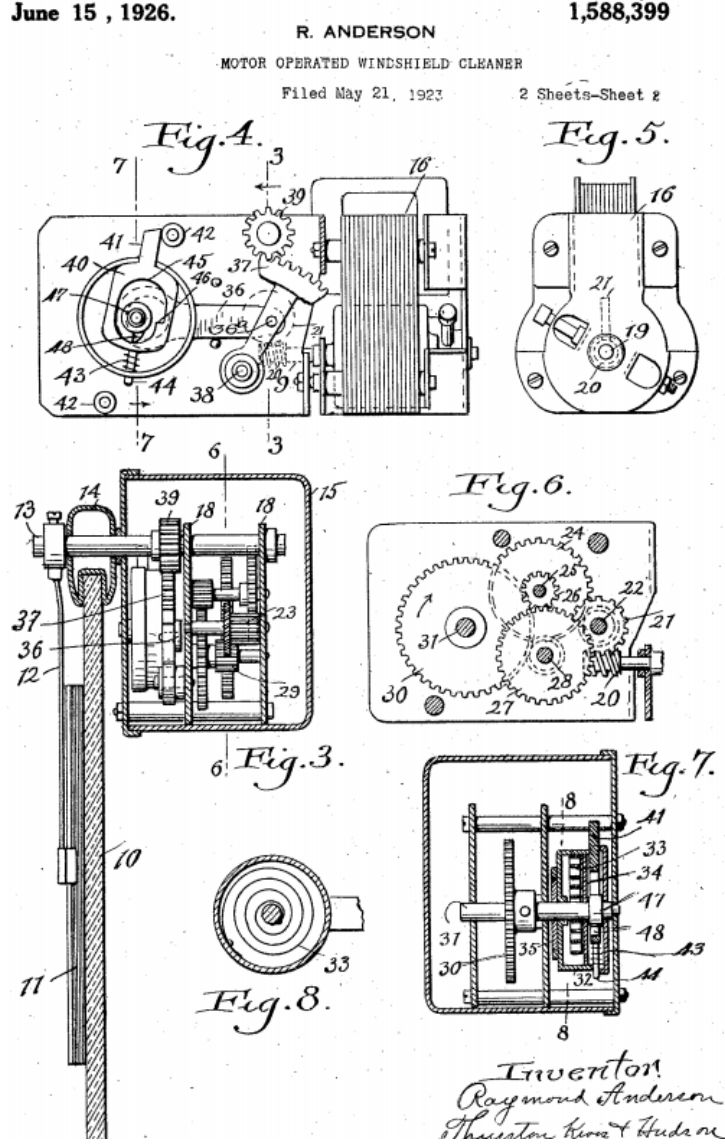
NO MODEL.



Şekil 1.3. Mary Anderson'un 1903 yılındaki patentini aldığı sistem (Mary, 1903)

William M. Folberth, kardeşi ve Fred 1919 yılında "otomatik silecek sistemi" adı altında patent başvurusunu gerçekleştirmiş ve 1922 yılında patentleri onaylanmıştır. Geliştirdikleri silecek sistemi vakumla çalışmakta ve bu çalışma prensibi 1960 yılına kadar kullanılmıştır. Bu silecek sistemini çalıştırmak için bir tuşa basıldığında sistemin gereksiz yere 2 veya 3 kez çalışması bu sistemin olumsuz yönü olarak sayılabilir (Dashka, 2014).

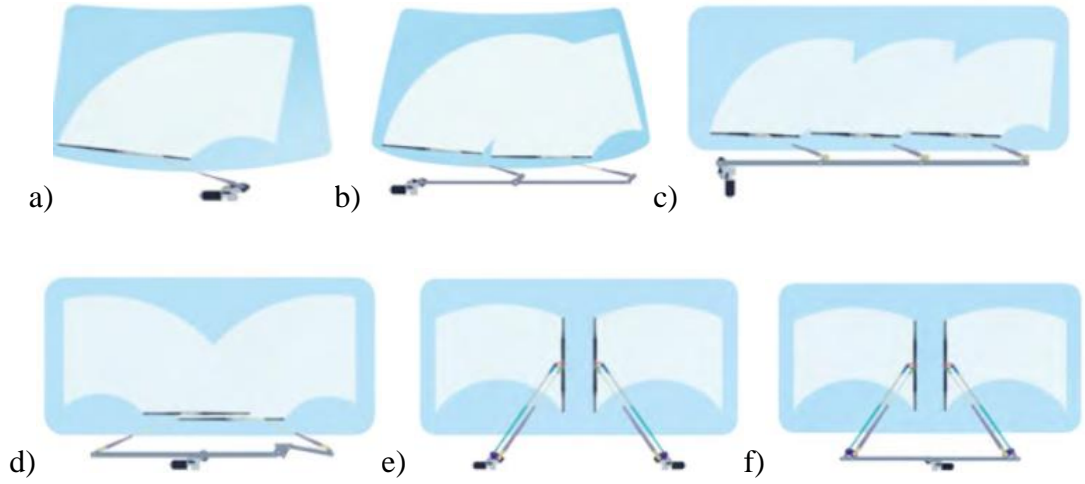
1923 yılında Raymond Anderson elektro-mekanik tasarımıyla günümüzde silecek motorlarının temelini atmıştır ve bu çalışması için patent almıştır (Anderson, 1903). Raymond Anderson'un Şekil 1.4'te verildiği buluş daha önceki silecek sisteminin gereksiz yere çalışma sorununu çözerek, çalışma kontrolünü sürücüye bırakmıştır.



Şekil 1.4. Raymond Anderson'un 1923 yılındaki patentini aldığı sistem (Anderson, 1903)

1.2. Silecek Silme Alanları

Silecek sistemleri temel olarak silme şekillerine göre altı gruba ayrılabiliriz. Temel olarak silme işlemini gerçekleştiren bu sistemler araç tipine, silme alanının yüzeyine, bir sileceğin görüş alanı temizleme süresine ve ihtiyacı olan yerlere göre seçilebilmektedir.



Şekil 1.5. Silecek silme tipleri a) Tek kollu silecek sistemi b) Tandem silecek sistemi c) Üçlü tandem silecek sistemi d) Panoramik silecek sistemi e) Bağımsız panoramik silecek sistemi f) Tek motorlu bağımsız panoramik silecek sistemi

Şekil 1.5’te silecek silme alanlarına göre farklı şekilde çalışma prensipleri silecek sistemleri verilmiştir. Özel ihtiyaçlardan dolayı uygun silecek sistemi ihtiyaçlara göre üreticiler tarafından tasarlanmaktadır ve kullanılmaktadır.

Tek kollu silecek sistemi genellikle araçların arka camında kullanılır. Bu sistemde tek bir kol tek bir motor ile kontrol edilir. Tandem silecek sistemi ise günümüzde en yaygın olarak kullanılan silecek sistemidir. Tek bir motor mekanizma vasıtasıyla sürücü ve yolcu sileceğe hareket kazandırarak silme işlemini gerçekleştirir. Üç çevrimli tandem silecek sistemi ise tandem sistemi ile çalışan ve daha özel durumlar da tercih edilebilen bir sistemdir. Panoramik silecek sistemi tandem sistemden daha karmaşık bir mekanizması olup sürücü ve yolcu tarafı için aynı kol ve süpürge parçalarını kullanmak isteyen üreticiler için bir tasarımıdır. Sürücünün sağda veya solda oturduğu araçlarda, sistemde bir değişiklik yapmadan üretim proseslerin basitleştirilmesi hedeflenir. Bağımsız panoramik silecek sistemi iki silecek içinde 2 ayrı motor kullanılan sistemlerdir. Tek motorlu bağımsız panoramik silecek sistemi bağımsız panoramik sistemle çalışma yapısı aynıdır fakat tek motorlu kontrol edilmektedir.

Tandem sistemi ve panoramik sistemi en yaygın olarak kullanılan silecek sistemidir. Bu çalışmada ise tandem sistemi ele alınmıştır ve bu sisteme sahip silecek parçaları kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışma da silecek sisteminde daha kritik yol oynayan sürücü kısmına odaklanmış olup bu sistem, incelenmiştir.

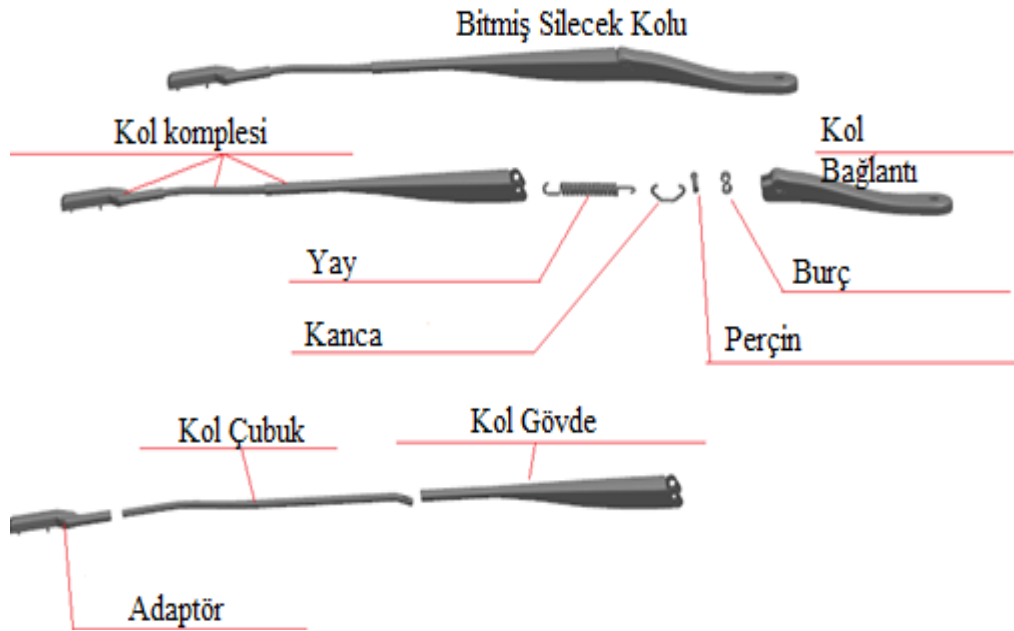
1.3. Silecek Tipleri

Günümüzde genel olarak Şekil 1.6’da flat blade ve Şekil 1.8’deki gibi konvansiyonel olarak isimlendirilen iki tip silecek sistemi kullanılmaktadır.



Şekil 1.6. Flat blade silecek kol ve süpürge

Silecek kolu, içerisinde bulunan yayda biriktirilen potansiyel enerji vasıtasıyla süpürgeyi cama belirli bir kuvvet altında basmaya ve süpürgeyi cama belirli açıda temas etmesini sağlayan bir üründür (Şekil 1.7).

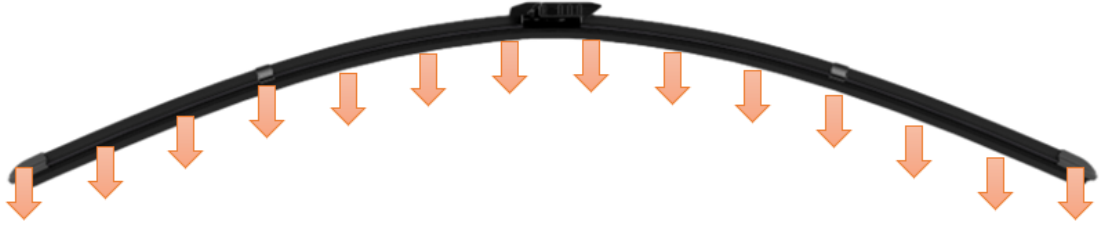


Şekil 1.7. Kolu oluşturan alt parçalar

Ön silecek sistemlerinde konvansiyonel diye tabir edilen klasik silecek sisteminin yerini flat blade teknolojisine bırakmaktadır. Bu sayede bir silecek teknolojisi birçok avantaja sahip olmaktadır.

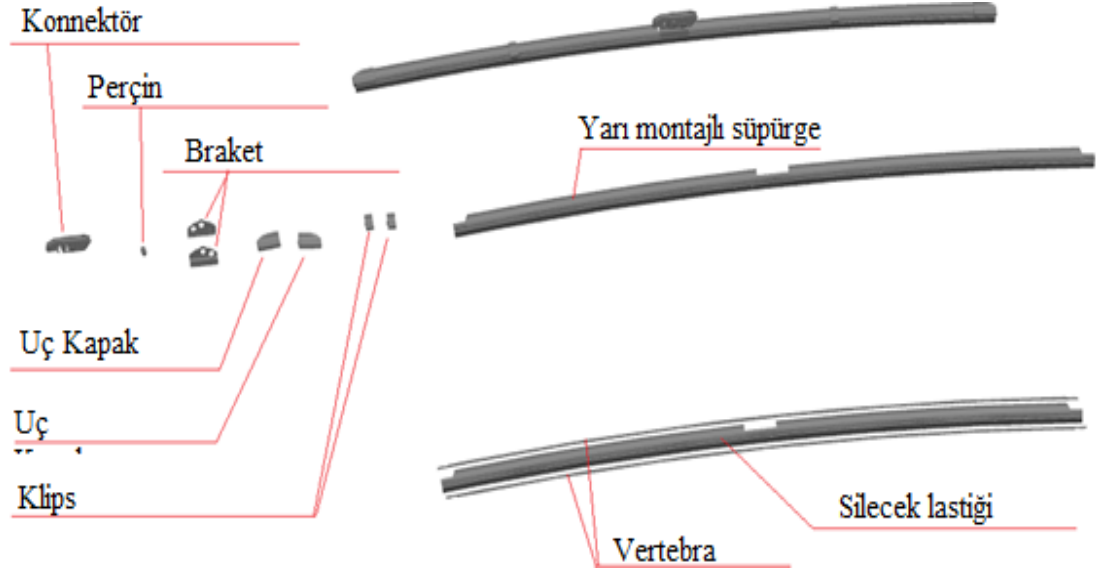


Şekil 1.8. Konvansiyonel süpürge



Şekil 1.9. Flat blade süpürge

Bu iki tüp süpürge, uygulanan kol baskı yükünü farklı şekilde cama aktarır. Konvansiyonel süpürge bu yükü cama birkaç noktadan daha yoğun bir şekilde iletmekte ve homojen olmayan yük dağılımını meydana getirmektedir (Şekil 1.8). Flat Blade süpürge ise sahip olduğu eğimli yapısı ile yükü daha homojen olarak dağılmasını sağlamaktadır (Şekil 1.9).



Şekil 1.10. Süpürgeyi oluşturan alt parçalar

Yük dağılımını grafiksel olarak gösterebilmek için, 70 adet yük sensörü ile ölçümler yapılır (Şekil 1.11). Bu sensörler ölçümlerden önce tüm sensörler kalibrasyon işlemine tabi tutulur ve uygun referans ağırlıklarla birlikte kontrolleri sağlanır. Bu şekilde süpürgenin yük dağılım sonuçlarının güvenilirliği artırılmaktadır. Süpürgenin uyguladığı yükler bu sensörler tarafından ölçülür. Bu sayede süpürge formunun camın üzerinde nasıl etki edeceği ve yüklerin hangi bölgelerde daha yoğun veya hangi bölgelerde daha az baskı kuvveti olduğu tespit edilebilmektedir. Şekil 1.10'da alt parçaları verilen süpürgenin sadece vertebra parçası değiştirilerek farklı numuneler aynı parametrelerle hazırlanmıştır. Bu sayede süpürgenin sadece formdan gelen etkileri göz önüne alınabilmektedir.



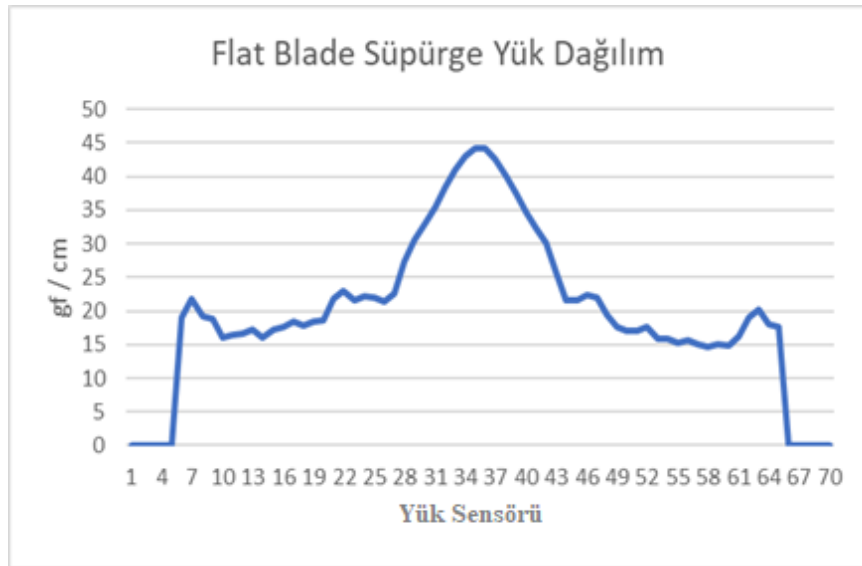
a)



b)

Şekil 1.11. Yük dağılım cihazı a) Cihaz b) Yük ölçerler

Şekil 1.8’de görüldüğü gibi konvansiyonel sileceklerde kol vasıtasıyla uygulanan yük 7 noktaya yayılmıştır. Şekil 1.13’teki yük dağılım grafiğinden görülebildiği üzere, yük homojen bir şekilde dağılmamıştır. Şekilde 1.9’da olduğu gibi flat blade süpürgelerinde yük daha homojen bir şekilde yayıldığını Şekil 1.12’deki grafikten görmekteyiz. Bu durum daha iyi bir temizleme deneyimi sunmaktadır.



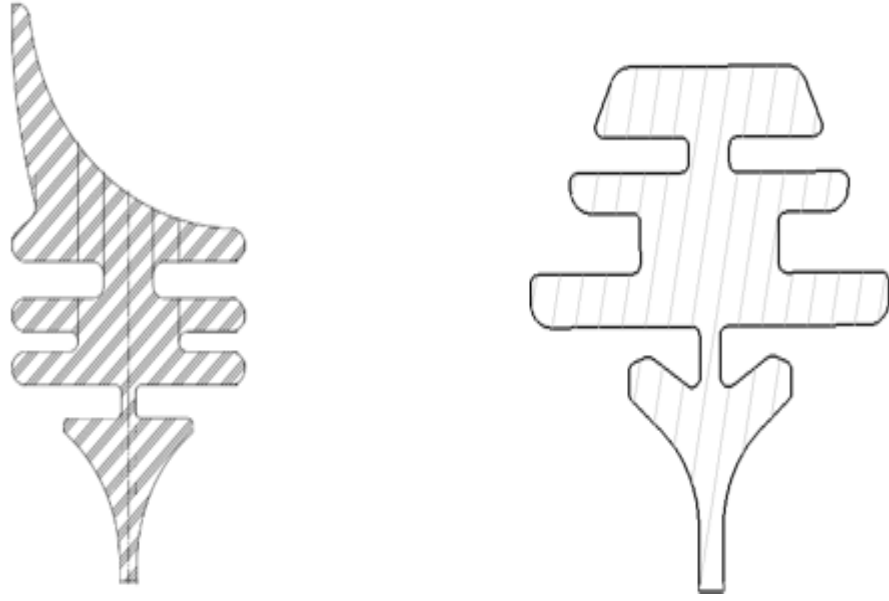
Şekil 1.12. Flat blade süpürge yük dağılımı



Şekil 1.13. Konvansiyonel süpürge yük dağılımı

Silecek sisteminde kol baskı yükü değeri iyi bir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Bu değer silme kalitesi, silecek sisteminin çalışma esnasındaki titreşimi ve oluşturduğu gürültüleri de önemli derece etkilemektedir.

Titreşim ve gürültüde önemli etkenlerden biri de kullanılan lastik geometrisidir (Şekil 1.14). Lastik, silme işlemi esnasında suyu, tozu ve istenmeyen maddeleri camdan uzaklaştıran ve silecek sisteminin en önemli parçasıdır. Bu işlem sırasında hareketli bir yapıda olan lastik, silecek yönünü aşağı veya yukarı yönde takip ederek cam ile belirli bir açıda temas eder. Lastiğin hareketi esnasından herhangi bir uygunsuzluk çalışma anında süpürge'nin istenmeyen bir şekilde titreşmesine ve gürültü oluşmasına neden olduğu gibi silme kalitesine de doğrudan etkilediği için silecek fonksiyonunu yerine getirmemesine neden olabilmektedir. Aynı zamanda lastik rüzgârı karşılayan bir parça olduğundan dolayı aerodinamiksel durumu göz ardı edilmemelidir. Flat blade süpürgelerinde kullanılan lastiklerin aerodinamiksel durumu göz önünde tuttuğumuzda diğer geometrilere sahip lastik profillerine göre daha iyi bir sonuç verecektir (Sanon ve diğ., 2002). Dolayısıyla bu çalışmada aerodinamiksel olarak geliştirilmiş bu tip silecekler kullanılmıştır.



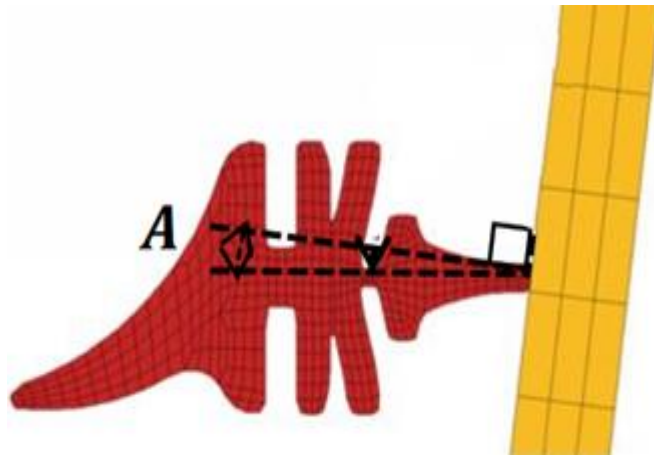
Şekil 1.14. Flat blade ve konvansiyonel lastik geometrisi

1.4. Silecek Sisteminde Kullanılan Önemli Parametreler

Bir sileceğin silme performansını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır ve bu parametreler üreticiler tarafından dikkatli bir şekilde seçilmektedir. Bu çalışmada, parametrelerin değişimi sonunda sileceğin çalışma esnasındaki davranışları da incelenmiştir.

1.4.1. Atak açısı

Süpürge nin simetri düzlemi ile cama dik gelen doğru arasındaki, en önemli parametrelerden birisidir (Şekil 1.15). Bu açı sileceğin cam üzerindeki pozisyonuna ve birçok etmene bağlıdır.

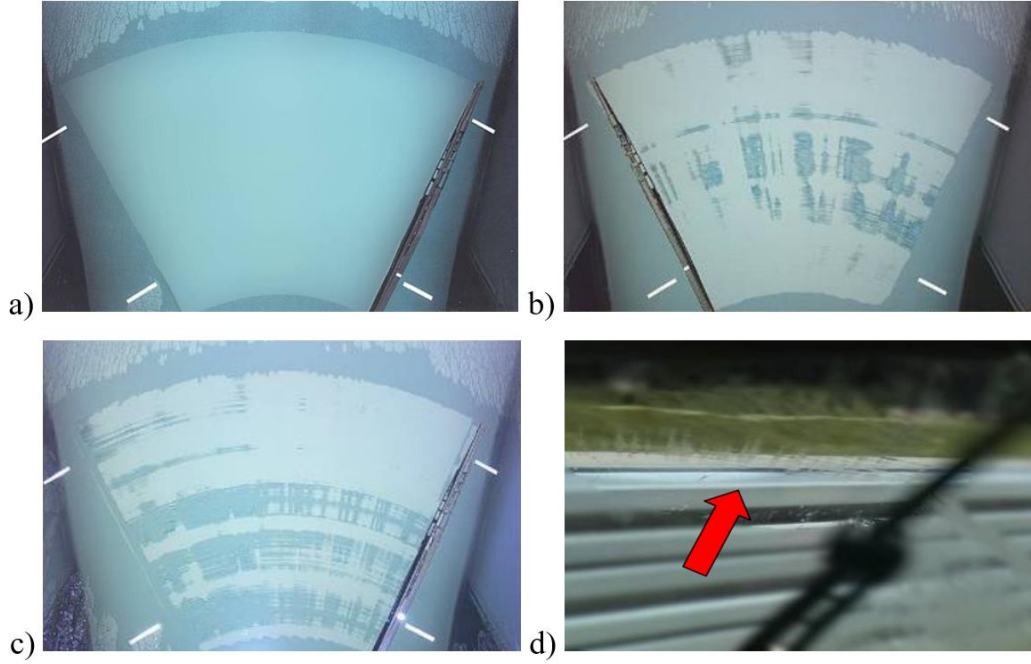


Şekil 1.15. Atak açısının şematik görünümü

Optimum atak açısı değeri -3° ile $+5^{\circ}$ arasındadır. Bu değerlerinin dışına çıkılması durumunda aşağıdaki üç adet hata verilmiştir ve atak açısını etkileyen faktörler aşağıda belirtilmiştir;

- Silme hatası
- Çalışma esnasında tırlama
- Çalışma esnasında istenmeyen ses
- Silecek motor şaftının açısı ve pozisyonu
- Süpürgenin pozisyonu
- Cam eğimi

Atak açısının silme hakkındaki yapılan çalışma Şekil 1.16'daki gibidir.



Şekil 1.16. Atak açısının silmeye olan etkileri a) Atak açısı uygun olan süpürge, b) Atak açısı değiştirilmiş numune, c) Atak açısı biraz daha değiştirilmiş bir numune, d) Hareketli araç üzerinde atak açısı değiştirilmiş numunenin testi

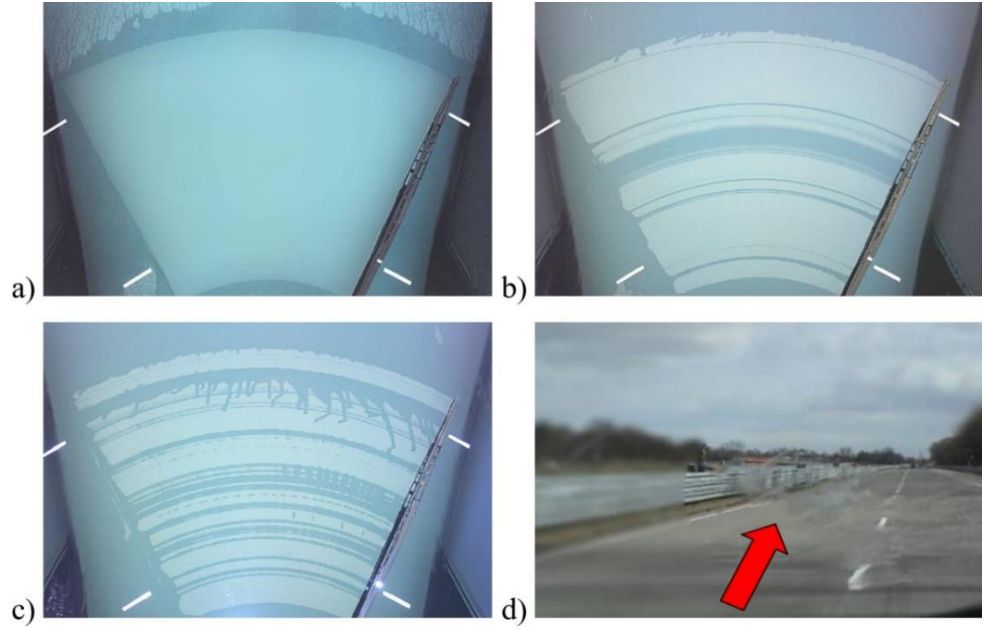
1.4.2. Kol baskı yükü

Silecek kolu içerisinde bulunan bir yayda biriktirilen potansiyel enerjiye kol baskı yükü denir.

Baskı yükünün aşırı yüksek olması durumunda süpürgenin ileri geri silme hareketini yaptığı sırada normal temas yüzeyinin aşırı oranda artması gibi bir durumla

karşılaşılabılır. Bu dolaylı olarak sürtünme katsayısının da aşırı artışına neden olur. Sürtünmenin aşırı yüksek olması istenmediği gibi oldukça düşük olmasında istenmemektedir. Sistem özellikle dönüş noktalarında yeterli derecede sürtünmeye sahip olmalıdır. Örneğin ıslak ortamlarda çalışma sırasında elastik modülü yüksek süpürgelerde uygun yöne yatmama sorunu ile karşılaşılmaktadır.

Kol baskı yükünün uygun seçilmemesi durumunda silme performansı hakkında çalışma Şekil 1.17’de verilmiştir.



Şekil 1.17. Kol baskı yükünün silmeye olan etkileri b) kol baskı yükü değiştirilmiş numune c) kol baskı yükü daha da değiştirilmiş bir numune d) hareketli araç üzerinde kol baskı yükü değiştirilmiş numunenin testi

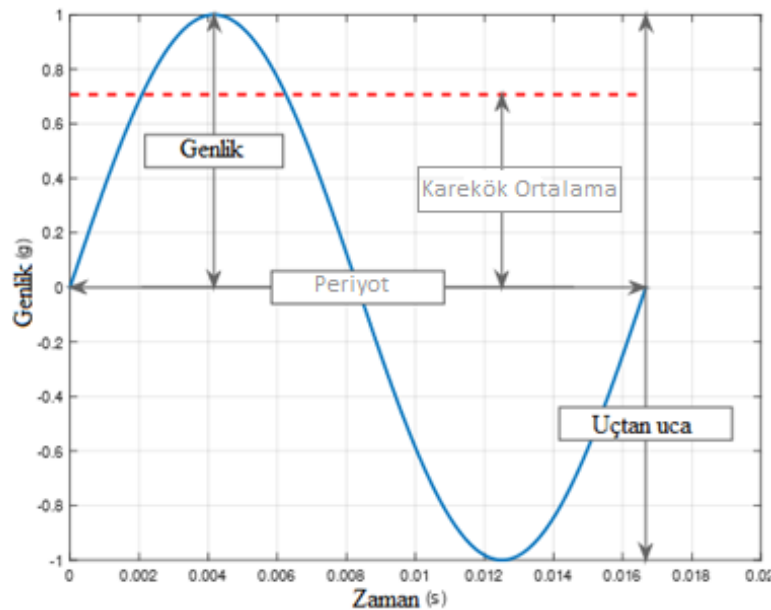
2. TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ

Titreşim ve gürültü özellikle silecek sistemin kritik bir problemdir. Sürücü ve yolcuya rahatsızlık veren istenmeyen gürültüler, titreşim dolayısıyla oluşur ve silme hatalarına sebebiyet verir. Bu nedenle titreşimi azaltma çalışmaları konfor ve güvenli sürüş sunar (Goto ve diğ., 2001).

Titreşim ve gürültü arasında sıkı bir ilişki vardır. Titreşim arttıkça gürültü de artar. Titreşimin iki kaynağı vardır. Birinci kaynak, gizli parça olan silecek motoru ikinci kaynak ise görünür parça olan silme sistemidir (Idris, 2007).

Yukarıdaki sebepler göstermektedir ki sileceğin dinamik karakteristiklerini incelemek oldukça önemlidir.

4. Bölümde anlattığımız titreşim serilerini LabView programından alınmıştır ve bu zamana bağımlı titreşim verilerini analiz edilirken (zamana karşı ivme / titreşim genliği), bu titreşim profilinin gücünü ölçmek için birkaç parametreyle sınırlandırılabilir: genlik, tepeden tepeye değer ve karekök ortalama değeridir. Şekil 2.1’de bu parametreler tanımlanmış ve basit bir sinüs dalgası olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. 60Hz basit bir sinüs dalgası (Hanly, 2015)

Titreşim, bir denge etrafında salınan bir harekettir, bu nedenle çoğu titreşim analizinde bu salınımın oranını veya frekansı belirlenmeye çalışılır. Bir saniyelik bir süre boyunca tam bir hareket döngüsünün oluşma sayısı titreşimin frekansdır ve hertz cinsinden ölçülür. Basit sinüs dalgaları için titreşim frekansı, zaman alanındaki dalga biçimine bakılarak belirlenebilir. Ancak farklı frekans bileşenleri ve gürültü ekledikçe titreşim frekansının daha net bir grafiği elde etmek için spektrum analizi yapılması gerekir (Hanly, 2015).

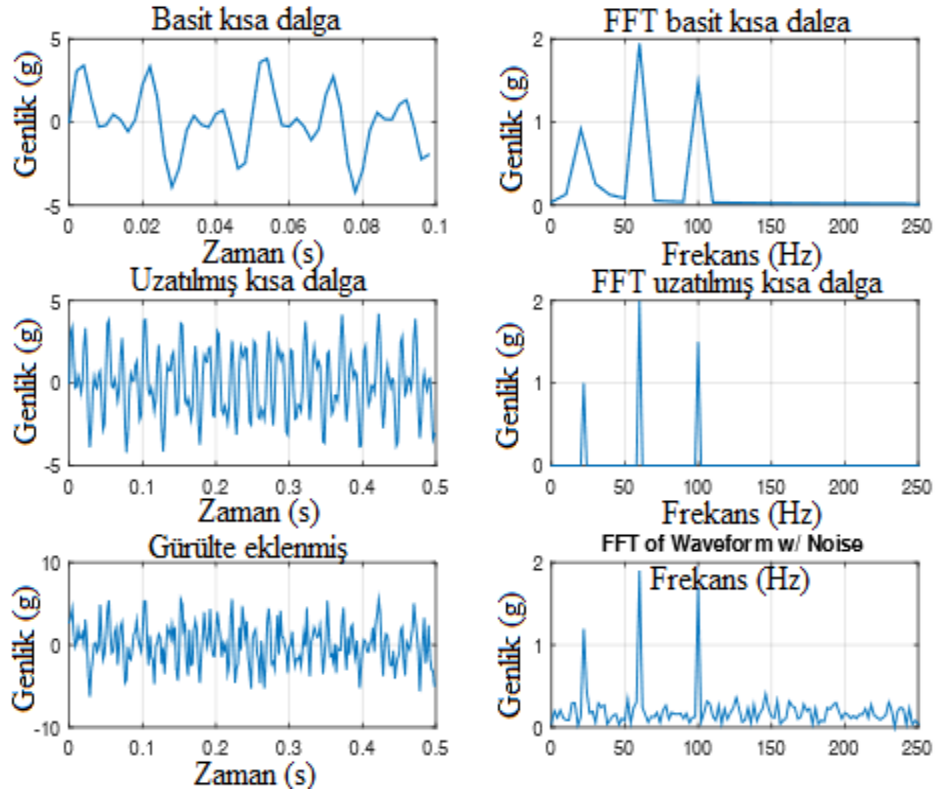
Bu verilen bilgiler doğrultusunda, verilerin analizini sinyal işleme teknikleriyle yorumlanabilmektedir. Bu sinyal serileri hızlı fourier dönüşümü teknikleriyle Matlab programında çözümlenmiştir.

2.1. FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü)

Hızlı fourier dönüşümü titreşim analizinde kullanılan istatistik tabanlı matematiksel bir işlemdir.

Bir sinyal dalgası farklı frekanslardan, genliklerden ve fazlardan oluşan karışık sinyal dalgalarıdır. Bu karışık sinyal dalgaları birçok analizle çözümlenebilmektedir. Bu çalışmada Hızlı fourier dönüşüm analizi kullanılmış olup bu analiz bu sinyal dalgalarını ayırıştırır ve hangi frekansta ne şiddette bir titreşim olduğunu gösterir. Bu tanıma göre elimizde frekansa bağlı ivme, titreşim genlik verileri olur ve titreşim profilinin daha net anlamamızda yardımcı olmaktadır. Birçok titreşim profili hızlı fourier dönüşüm yöntemi ile anlaşılabilir.

Kısaca hızlı fourier dönüşüm sinyallerimizi zaman alanından frekans alanına geçirirken kullandığımız bir işlemdir. Hızlı fourier dönüşüm tekrarlanmayan sinyalleri dikkate almaz. Karmaşık sinyaller içinde periyodik olanları belirleyip harmoni bileşenlerine ayırır. Şekil 2.2’de ise basit bir kısa dalgaya alt grafiklerde olduğu gibi geniş bir gürültü eklendiğinde, dalga biçimi ve karakteristiği daha az anlaşılabilir ve ayırt edebilir hale gelecektir. Dolayısıyla deney sonuçlarının yorumlanmasını zorlaştıracığı gibi yanlış sonuçları da ortaya çıkarabilmektedir. Hızlı fourier dönüşüm tekniği sayesinde grafiği analiz eden kişi bir titreşim sinyalinin nedenini, ana frekansları belirleyebilir ve daha kolay bir şekilde yorumlayabilir. Bu çalışmada bu teknik kullanılarak, deneylerden elde edilen veriler çözümlenmiştir.



Şekil 2.2. FFT analizi için bir örnek (Hanly, 2015)

2.2. Gürültü Tipleri

Günümüzde araçlar daha sessiz oldukça, sileceklerdeki titreşim ve gürültü daha dikkat çekici hale gelmeye başlamaktadır. Market araştırmaları göstermiştir ki müşterilerin en çok şikâyet ettiği konu ise sileceklerdeki gürültü oranıdır.

Sıklıkla silecek sistemleri çalışma esnasında sürücü ve yolculara rahatsızlık verici istenmeyen gürültü ve titreşimle üretmektedir. Sileceklerde titreşim ve gürültü Tablo 2.1’de verildiği gibi 3’e ayrılır (Goto ve diğ., 2001a).

Tablo 2.1. Sileceklerde titreşim ve gürültüler

Tip	Gürültü	Frekans [Hz]
Ciyaklama	Ciyak	1000
Tırlama	Bip	100 veya daha az
Geri Dönüş	Çarpışma	500 veya daha az

Ciyaklama gürültü, yaklaşık 1000 Hz değerine sahip yüksek frekanslı bir gürültüdür. Geri dönüş gürültüsü ise orta frekanslıdır ve yaklaşık 500 Hz de meydana gelir (Goto ve diğ., 2001). En düşük frekanslı ses ise tırlama 100 Hz değerinde meydana gelmektedir (Suzuki ve Yasuda, 1998).

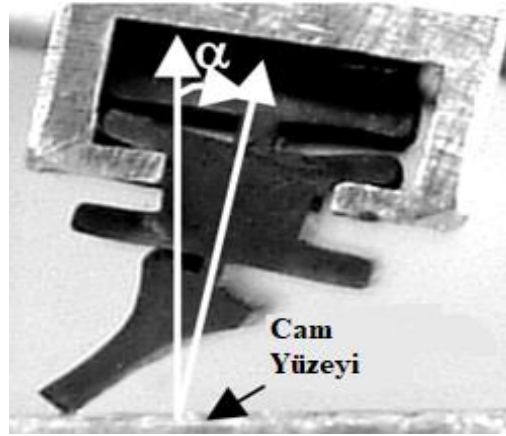
Titreşim ile ilgili birçok çalışma yapılmış ve deneysel yaklaşımlar ortaya konulmuştur. Okura (2000) sileceğin ters dönüşü esnasındaki 2 boyutlu dinamik analizi inceleyerek kol ve süpürgenin yay-kütle modelini ortaya çıkarmıştır. Daha sonraki çalışmalarında, dinamik analizi 3 boyutlu gerçekleştirmiştir. 2 boyutlu ve 3 boyutlu dinamik analizleri karşılaştırıldığında, 3 boyutlu analizin sonuçları daha iyi simüle edebildiği sonucuna varmıştır (Okura ve Oya, 2003).

3. SİLECEK SİSTEMİNİN NUMERİK ÇÖZÜMLEMESİ

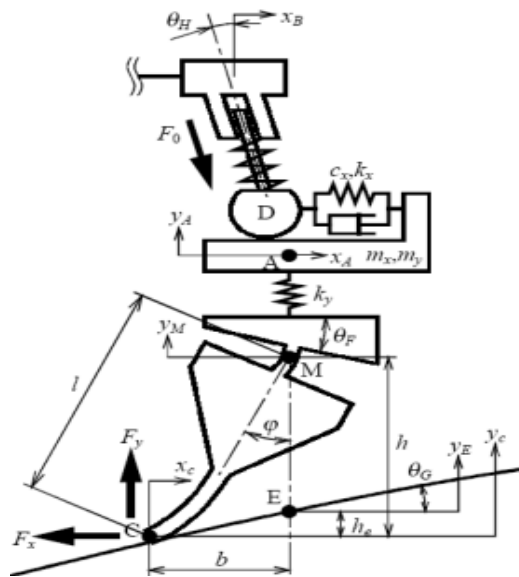
3.1. Silecek Sisteminin Yay-Kütle Modeli

Şekil 3.1’de verilen sileceğin titreşim ve gürültülerini anlayabilmemiz için Shigeki ve diğ. (2000) tarafından gerçekleştirilen matematiksel model verilmiştir.

Şekil 3.2’de silecek kolu ve süpürgesinin yay-kütle modelini gösterilmiştir (Shigeki ve diğ., 2000).


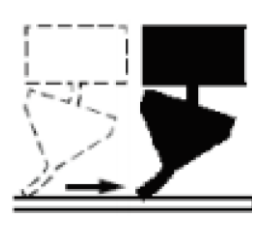


Şekil 3.1. Sileceğin fiziksel görünüşü



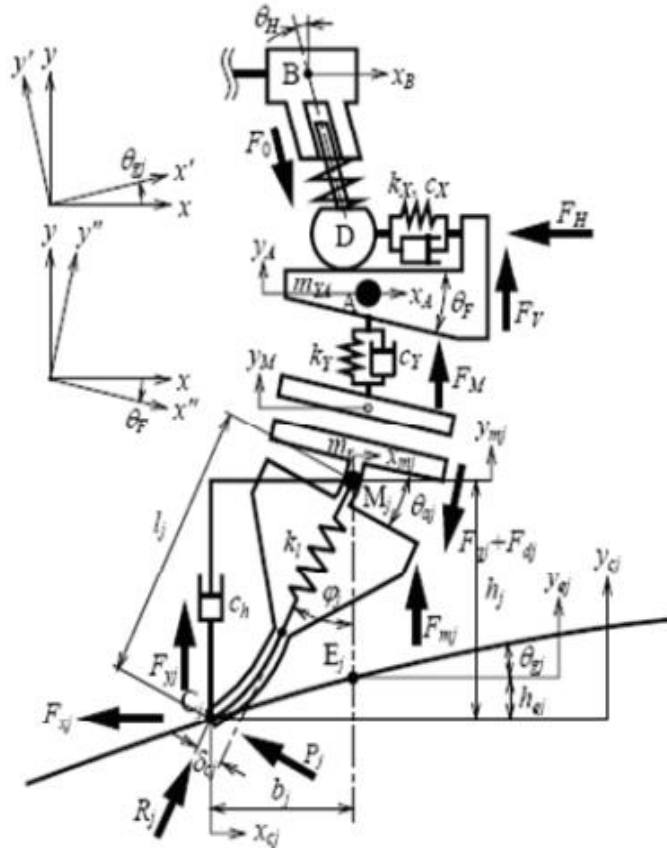
Şekil 3.2. Silecek kolu ve süpürgesinin yay-kütle modeli (Shigeki ve diğ., 2000)

Tablo 3.1. Silecek lastiğın durumları (Shigeki ve diğ., 2000)

Şart	B	C	Değişkenler
A			y_A, θ_a

- A) Lastiğın baş kısmı ile omuzu arasında kontak olmaması
 B) Cam yüzey ile lastik dudağının yapışık olması durumu
 C) Silecek lastiği ile cam arasındaki temasın kaygan durumu

Bu modelde kullanılan parametreler ise Tablo 3.1’de ve Tablo 3.2’de gösterilmiştir. İ alt indisi lastik ucunun pozisyonunu temsil ederken, j vektörü ise lastik elemanı boyunca pozisyonu temsil eder. Şekil 3.2 ve 3.3’te bu indisler gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Kol ve süpürgeğin vektörel pozisyonu (Shigeki ve diğ., 2003)

Tablo 3.2. Matematiksel modelde kullanılan semboller

Parametre	Tanım
I_A	Kol uzunluğu
I_B	Süpürge uzunluğu
n_s	Çene pozisyon sayısı
n_z	Lastik ayrışma sayısı
I_z	Lastik eleman boyu ($I_z = I_B / n_z$)
d_{mj}	Pivottan kauçuk elemana olan mesafe
m_x	Kol ve süpürgenin x-ekseni boyunca eş değer kütlesi
m_y	Kol ve süpürgenin y-ekseni boyunca eş değer kütlesi
m_{Ax}	Kolun x-yönündeki eş değer kütlesi
m_{Ay}	Kolun y-yönündeki eş değer kütlesi
m_B	Süpürge ağırlığı
m_R	Lastik ağırlığı
m_r	Lastik elemanın kütlesi ($m_r = m_R / n_z$)
c_x	Kolun x-yönündeki sönümlleme katsayısı
k_x	Kolun x-yönündeki eş yay katsayısı
x_B	Kol deformasyonu olmaksızın kol ucunun sanal pozisyonu
y_m	Boyun merkez dönme pozisyonu
θ_H	Kol başı burulma açısı
θ_F	Kol ön burulma açısı
θ_G	Ön cam profili
F_0	Kol baskı yükü

Bu çalışmada, süpürge'nin A ve C pozisyonları ilk pozisyon olarak seçilmiştir. Vektör pozisyonu ise Şekil 3.3'te verilmiştir. Bu çalışmada silecek sisteminin vektörel pozisyonu ihmal edilmiştir (Shigeki ve diğ., 2003).

A ve C koşullarının matematiksel türevleri, y yönündeki kuvvete odaklanmıştır. Şekil 3.3'te silecek lastiğini tanımlanmış ve M_r noktasındaki dönme pozisyonu gösterilmiştir. Lastik boyu ise Denklem (3.1)'de verilmiştir. Buna göre;

$$I = \frac{I_a}{2} + I_b + I_c \quad (3.1)$$

Tepki kuvveti P lastik deformasyonunda türetilir ki,

$$P = \frac{k_a \theta_a}{l} = k_c \delta_c \quad (3.2)$$

Kuvvet P ayrıca x-yönündeki kuvvet olan F_x ile y-yönündeki kuvvet F_y cinsinden tanımlanırsa,

$$F_x \cos \varphi + F_y \sin \varphi = P \quad (3.3)$$

$$\varphi = \theta_a + \theta_F$$

Bu türev yapılarak denklem 3.3 için varsayımlar Şekil 3.1'e dayanır ve bu varsayımlar ise aşağıda belirtilmiştir;

- Kol rijit olarak burulmaktadır.
- Dahil edilen kütle dışında sürtünme kuvveti yoktur.
- Kol yatay düzlemden ayrılmaz.

Varsayıma göre başlangıç noktası, bu konumların x-yönündeyseniz krank kolunun her yay için herhangi bir deformasyon olmaksızın ayarlandığını gösterir. Yay dışında her başlangıç konumundaki ayar, F_0 basıncına ve K_y katsayılı süpürge yayına sahiptir.

Orijinal nokta y_A ve y_m olarak tayin edilmiştir. M noktası ise $\theta_a = \delta_c = 0$ ve $x_A = 0$ iştir. Y yönündeki E noktası ise y_c ve y_e başlangıç noktasıdır. Yay sabiti F_0 için sıfır olduğundan, yay sabiti otomatik olarak sabit parametre ile değişmektedir. Sistem dengesiz olduğunda, θ_H ve θ_F parametreleri $t = 0$ da başlangıç konumu olarak tanımlanabilir ve bu koşula göre, $\theta_a = \delta_c = 0$ olan bir denge koşulu yapılabilir. Bu

denge konumu, F_{x0} ve F_{y0} da bir denge koşuluna sahiptir ve aşağıdaki işlem adımları takip edilerek türetilebilir,

$$\begin{aligned} F_0 &= F_{y0}\cos\theta_H + F_{x0}\sin\theta_H \\ &= F_{x0}\cos\theta_F + F_{y0}\sin\theta_F \end{aligned}$$

$$F_y\sin\theta_F = -F_x\cos\theta_F$$

$$F_0 = \frac{-F_{x0}\cos\theta_F\cos\theta_H}{\sin\theta_F} + F_{x0}\sin\theta_H$$

$$F_0 = \frac{-F_{x0}(\sin\theta_H\sin\theta_F - \cos\theta_F\cos\theta_H)}{\sin\theta_F}$$

$$F_{x0} = \frac{-\sin\theta_F F_0}{\cos\theta_F\cos\theta_H - \sin\theta_F\sin\theta_H} \quad (3.4)$$

X ve y yönünde hareket eden reaksiyon kuvvetlerinin denklemi şu şekilde özetlenebilir:

$$F_{x0} = \frac{-\sin\theta_F}{\cos(\theta_H + \theta_F)} F_0 \quad (3.5)$$

$$F_{y0} = \frac{\cos\theta_F}{\cos(\theta_H + \theta_F)} F_0 \quad (3.6)$$

Denklem (3.4)'te $\theta_F \neq 0$ olduğundan $F_{x0} \neq 0$ idir. X yönündeki kuvvetlerin toplamı ise Denklem (3.7)'te gösterildiği gibi ifade edilebilir. Y yönündeki kuvvetleri toplamı ise Denklem (3.8)'te ifade edilmiştir.

$$m_x\ddot{x}_A + c_x(\dot{x}_A + \dot{y}_A\tan\theta_H - \dot{x}_B) + k_x(x_A + y_A\tan\theta_H - x_B) + F_{x0} = 0 \quad (3.7)$$

Y yönündeki kuvvetlerin toplamı şu şekilde ifade edilebilir,

$$m_y\ddot{y}_A + c_y(\dot{y}_A + \dot{y}_c) + \{c_x(\dot{x}_A + \dot{y}_A\tan\theta_H - \dot{x}_B) + k_x(x_A + y_A\tan\theta_H - x_B)\}\tan\theta_H - F_{y0} = 0 \quad (3.8)$$

$$F_y = -k_y(y_A - y_m) + F_{y0}$$

X ve y yönündeki AC koşulu için matematiksel model denklemi, sırasıyla x yönü için Denklem (3.5) ve (3.7) y-yönü için ise Denklem (3.6) ve (3.8) denklemleri kullanılarak basitleştirilebilir. Yeni denklem hem x hem de y yönü için Denklem (3.9) ve (3.10)'da temsil edilir.

$$m_x(\ddot{x}_c + \ddot{b}) + c_x((\dot{x}_c + \dot{b}) + \dot{y}_A \tan \theta_H - \dot{x}_B) + k_x((x_c + b) + y_A \tan \theta_H - X_B) + F_{x0} = \frac{-\sin \theta_F}{\cos(\theta_H + \theta_F)} F_0 = 0 \quad (3.9)$$

$$m_y \ddot{y}_A + c_y [\dot{y}_A - \{(\theta_G - l \theta_G \sin \varphi) \dot{x}_A - l \theta_G \dot{\theta}_a \cos \varphi\}] + c_x \left\{ l \dot{\theta}_a \left\{ \left(1 + \frac{1}{K} \right) \cos \varphi - \left(\frac{\theta_a}{K} \right) \sin \varphi \right\} + (\dot{y}_A \tan \theta_H - \dot{x}_B) + k_x \left\{ (x_c + 1 \left\{ \sin \varphi + \left(\frac{\theta_a}{K} \right) \cos \varphi \right\} + \tan \theta_H - x_B) \right\} \tan \theta_H \right\} - \left[-k_y (y_A - y_m) + \frac{\cos \theta_F}{\cos(\theta_H - \theta_F)} F_0 \right] + \frac{\cos \theta_F}{\cos(\theta_H - \theta_F)} F_0 = 0 \quad (3.10)$$

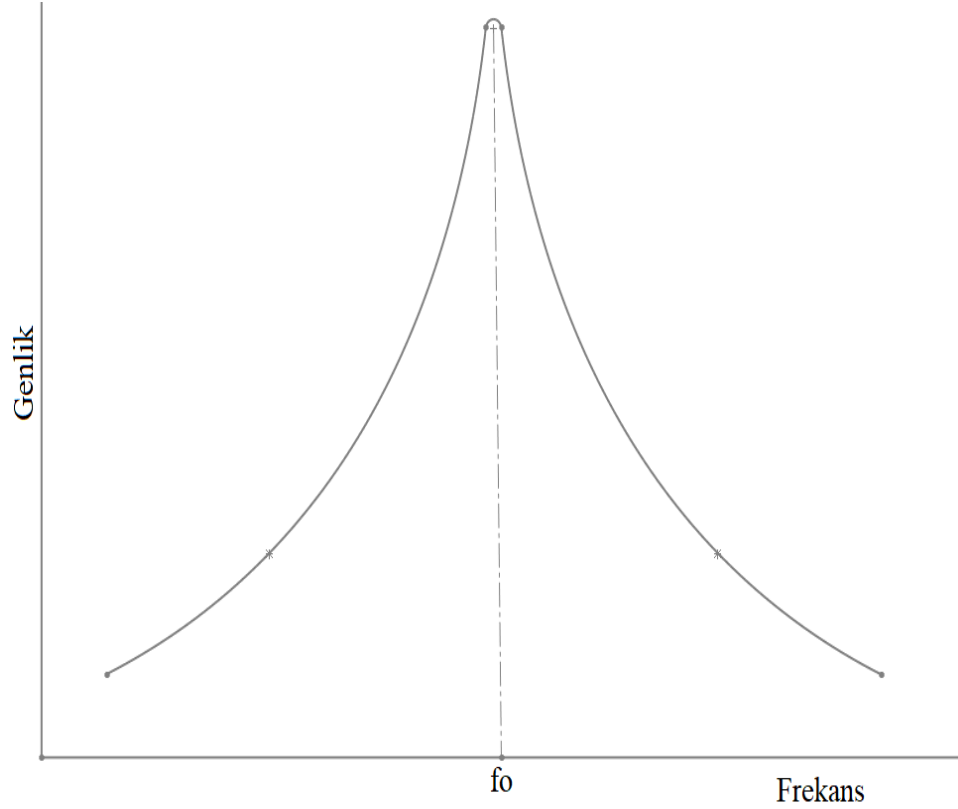
Silecek sistemindeki istenmeyen gürültü ve titreşim seviyesini araştırmak için analitik yaklaşımda Denklem (3.9) ve (3.10) kullanılmıştır. Sonuç tahmin edilen bir sonuçtur ve daha fazla analiz yapmadan önce, FEA analiz yöntemi ve deneysel yaklaşımlarla sonuca ulaşılmıştır.

3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modal Analiz

Modal analiz bir ürünün titreşim karakteristiğini daha iyi anlaşılması için kullanılan önemli bir yöntemdir. Bu analiz ile sistemin doğal frekansını, damper faktörünü, mod şekillerini ve deforme oluşma şekilleri bulunur. Modal analiz sonucunda elde edilen veriler özellikle harmonik ve titreşim analizlerinde kullanılır.

Modal analiz sistem yanıt sınırlarına dair bir geniş bir bakış açısı sunmaktadır. Örneğin, belirli bir girdi için (belirli bir genlik ve frekansta uygulanan bir yük gibi), sistemin yanıtının sınırları olan maksimum yer değiştirmenin ne zaman ve nedir olduğuna dair cevaplar vermektedir (Ajay, 2021).

Şekil 3.4'te gösterildiği gibi, her nesnenin doğal olarak titreşebileceği bir iç frekansı veya rezonans frekansı vardır. Aynı zamanda nesnenin bir formdan diğerine minimum kayıpla enerji transferine izin vereceği frekanstır. Frekans rezonans frekansına doğru artarken yanıtın genliği asimptotik olarak sonsuza yükselir. Başka bir deyişle modal analizin sonucu genliğin sonsuza yükseldiği bu frekanslardır.



Şekil 3.4. Sistem yanıtının genliği (y eksen) uygulanan girişin frekansı (x eksen)

Bu sonuçlara göre yapılması gereken ilk şey sileceğin modal davranışının ve doğal frekansının tespit edilmesidir. Ölçülen veriler, sonlu elemanlar modelin dinamik davranışını doğrulamak için yararlı olacaktır.

3.2.1. Ansys yazılımı ile süpürgeğin modal analizinin belirlenmesi

Modal analiz, yapıların titreşim altındaki dinamik karakteristiklerini inceleyen bir analiz modülüdür. Sonlu elemanlar yöntemi ile doğal frekanslar, mod şekilleri ve yapının mod vektörleri modal analiz modülü ile tespit edilebilir.

Ansys yazılımında titreşim analizleri gerçekleştirmek amacıyla modal analiz modülü kullanılır. Bu modülde makine parçalarının birden fazla doğal frekansı ve bu frekanslarda deforme şekilleri belirlenir.

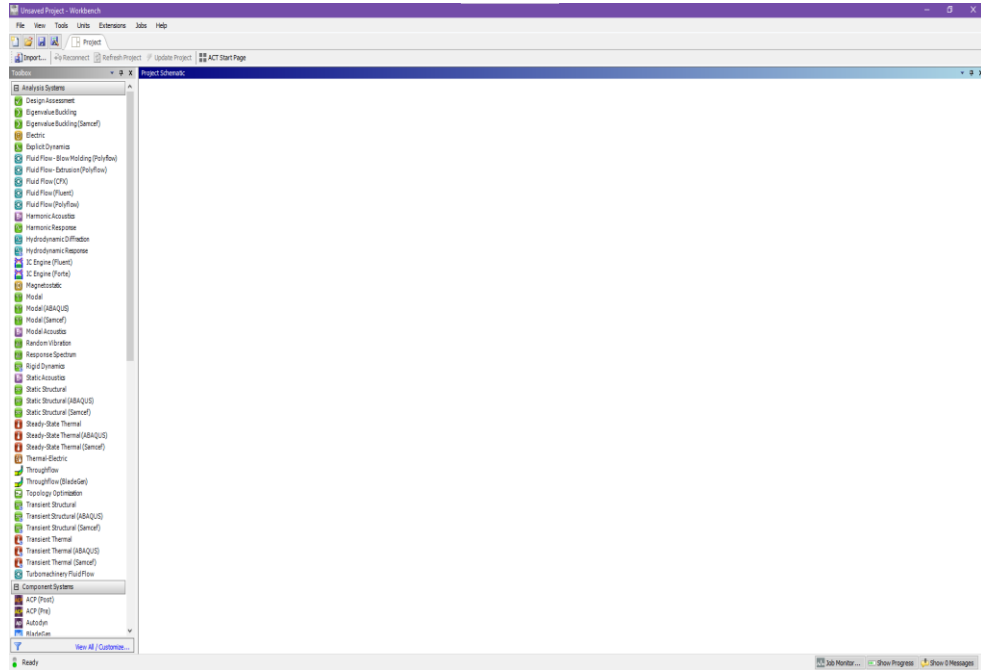
Ansys yazılımı, fiziksel bir sistemin (tasarımı yapılmış bir ürün veya sistemin) yapısal, termal ve elektro manyetik yükleme koşullarına verdiği tepkinin simülasyonun yapılmasını sağlayan, endüstride geniş kullanım alanı bulan, problemlerin sayısal olarak çözümlenmesini sağlayan bir analiz yazılımıdır (URL-1).

Öncelikle analiz yapacağımız parçanın modelleme programında tasarımı yapılır (Şekil 3.5). Atak açısı, kol baskı yükleri gibi parametreler homojen olacak şekildedir ve hesaplama sürelerini kısaltmak için sadece süpürge tasarımı dikkate alınmıştır.



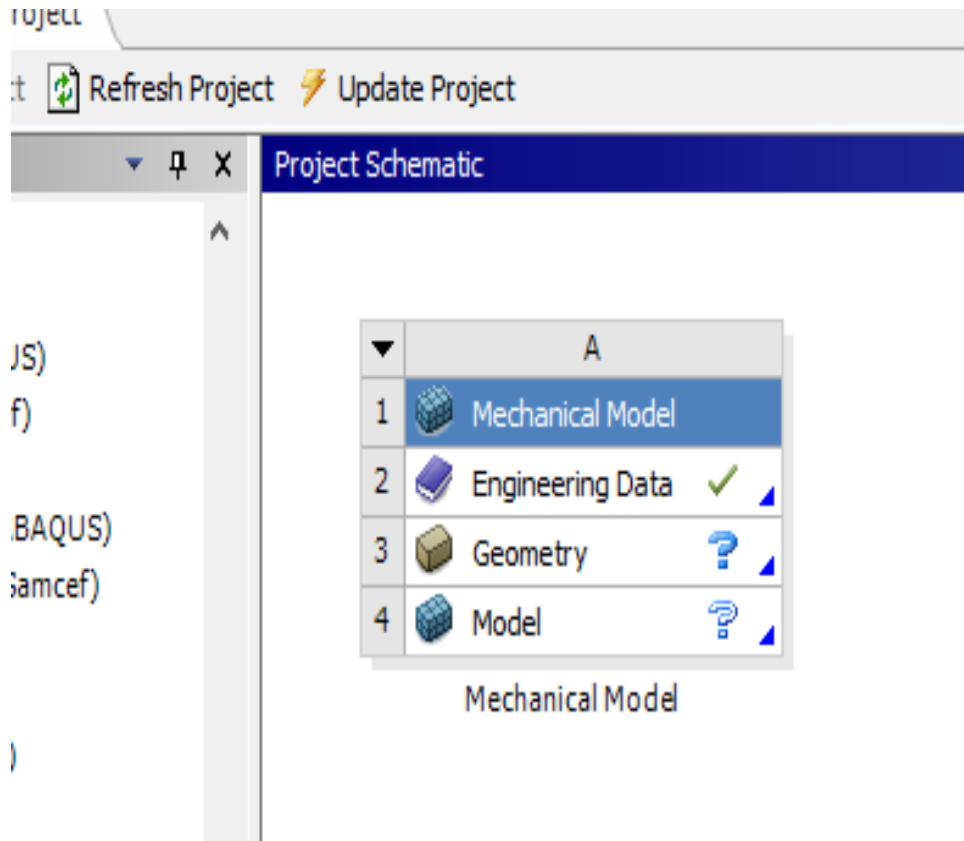
Şekil 3.5. Sileceğin CAD ortamında modellenmesi

Bu analiz yapılırken Ansys 2019 R12 programından yararlanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Ansys 2019 R12 programının arayüzü

Öncelikle modal analiz modülü eklenir ve daha sonra “Engineering Data” seçeneğine girilerek malzeme kütüphanesi bölümüne erişilir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Malzeme tanımlamalarının yapılması

Analiz yapacağımız süpürge modelinde kullanılan malzeme türleri Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Analizde kullanılan parçalar

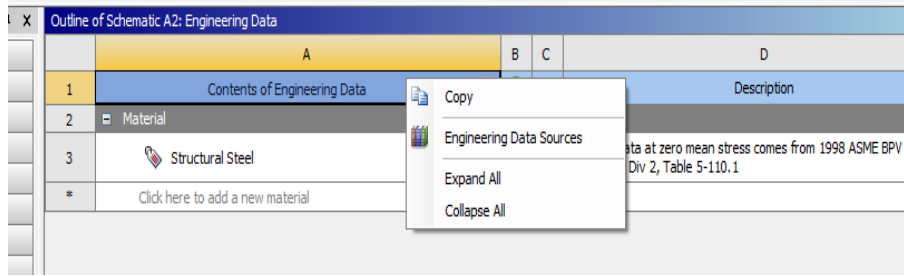
Ürün	Malzeme Türü
Lastik	NR + CR (WRC60)
Uç Kapak	POM
Klips	POM
Braket	Zamak 5
Vertebra	C72D – Bezalplast Black – DIN ISO 10016-2

Modal analiz sonuçlarının güvenilir olması için süpürge kullanılan malzeme özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Süpürge kullanılan bu malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri ise malzeme bilgi formlarından elde edilerek Tablo 3.4'te sunulmuştur ve bu değerler Ansys malzeme kütüphanesinde tanımlanarak, programa girilmiştir.

Tablo 3.4 Malzemelerin mekanik özellikleri

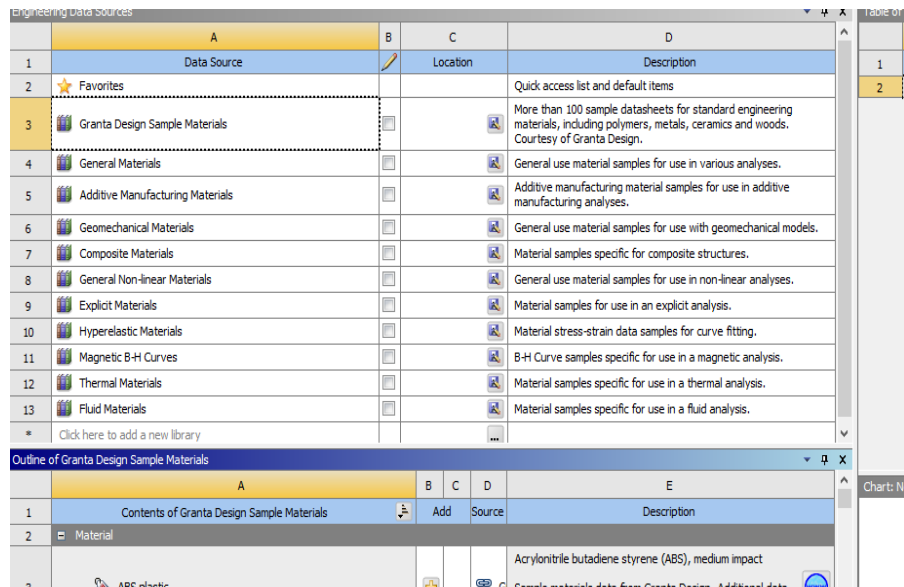
Özellik Ürün	Uzama [%]	Çekme Mukavemeti [Mpa]	Akma Mukavemeti [Mpa]	Yoğunluk [g/cm ³]
Lastik	328	21	12	0,87
Uç Kapak ve Klips	24	73	60	1,41
Braket	7	328	228	6,60
Vertebra	2	230	154	7,8

Şekil 3.8’de görüldüğü gibi “Contents of Engineering Data” bölümüne sağ tıklanarak, açılan pencerede “Engineering Data Sources” kısmı seçilir.



Şekil 3.8. Malzeme kütüphanesine giriş

Şekil 3.9’deki gibi üzere malzeme kütüphanesine erişilir. Uygun malzemeye sağ tıklanarak Şekil 3.10’daki gibi proje kısmına eklenir.



Şekil 3.9. Malzeme kütüphanesi

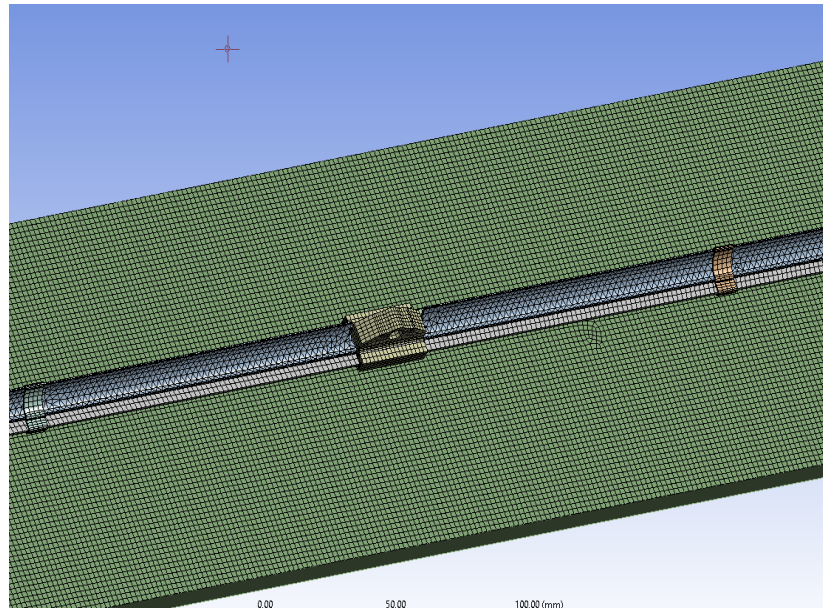
Outline of Schematic A2: Engineering Data				Table of P	
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Acetal resin (POM) (Clips, End Caps)				Polyoxymethylene (POM, Acetal) copolymer Sample materials data from Granta Design. Additional data and information available through the Granta website. Granta provides no warranty for the accuracy of the data.
4	Rubber 1				Coefficients fitted to experimental data from Treloar, L.R.G., Stress strain data for vulcanized rubber under various types of deformation, Transactions of the Faraday Society, vol. 40, pp.59-70 (1944)
5	Stainless Steel (Vertebra)				Zinc-aluminum alloy (Alloy 3), cast Sample materials data from Granta Design. Additional data and information available through the Granta website. Granta provides no warranty for the accuracy of the data.
6	Zinc-aluminum alloy, cast (Bracket)				

Şekil 3.10. Uygun malzemelerin eklenmesi

Daha sonra “Geometri” kısmından analizi yapılacak olan model programa eklenir. Modelin kontak ayarları yapılır ve mesh atma işlemi başlanır.

Mesh oluşturma, karmaşık geometrilerin büyük alanlara ayrı olarak yerel yaklaşımlarla kullanılabilir, basit öğelere bölündüğü mühendislik simülasyon sürecinin ayrılmaz bir parçasıdır. Mesh, simülasyonun doğruluğunu, yakınsamasını ve hızını etkiler. Dahası, mesh oluşturma tipik olarak simülasyon sonuçlarını almak için gereken sürenin önemli bir bölümünü tükettiğinden, mesh oluşturma araçları ne kadar iyi ve daha otomatik hale gelirse, çözüm o kadar hızlı ve daha doğru olur (URL-2).

Mümkün olduğunca altı yüzlü elementler, dört yüzlü elementler yerine seçilmiştir. Çünkü daha az sayıda elementle daha iyi sonuçlara izin verirler. Mesh modelde eleman boyutu 0,1 mm ile 1 mm arasında değişmektedir. Tablo 3.5’te meshlemeye ait istatistikler verilmiştir. Şekil 3.11’de mesh atılmış model verilmiştir.



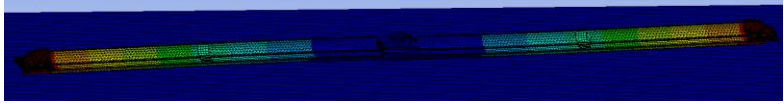
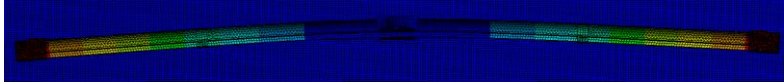


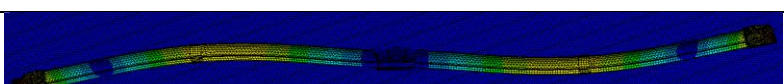
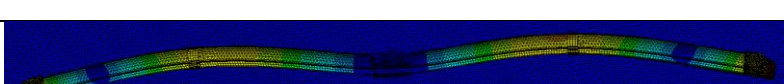
Şekil 3.11. Mesh atılmış model

Tablo 3.5. Ürün mesh bilgileri

Ürün	Nokta Sayısı	Element Sayısı
Klips	3590	580
Uç kapak	53429	30723
Lastik	161173	92777
Vertebra	41667	24554
Braket	12075	2284

Modelin modal analizinden önce kol baskı yükü uygulanması gerekir. Üreticiden edinilen bilgilere göre 11,7 Newton değerinde bir kuvvet adaptöre uygulanmaktadır. Ansys Static Structral kısmından bu kuvveti uygulanmıştır. Daha sonra ise “Modal Analysis” kısmından analizin gerekli ayarları yapılır ve doğal frekans değerleri program tarafından çözümlendirilir. Tablo 3.6’da bu sonuçlar verilmiştir.

Tablo 3.6. Modal analiz sonucu süpürgenin doğal frekansları

Mod	Frekans	Mod Şekil
Mod 1	89,606 Hz	
Mod 2	108,48 Hz	
Mod 3	352,14 Hz	
Mod 4	357,31 Hz	
Mod 5	510,4 Hz	
Mod 6	532,26 Hz	

4. DENEYSEL OLARAK SİLECEK SİSTEMİNİN TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Tasarımın en önemli çıktılarında biri ise, deneysel olarak titreşimin ölçülmesidir. Deneye başlamadan önce gerekli ölçüm aletlerinin yapılması, deney ortamının inşa edilmesi ve deneyde kullanılacak numunelerin hazırlanması gerekir.

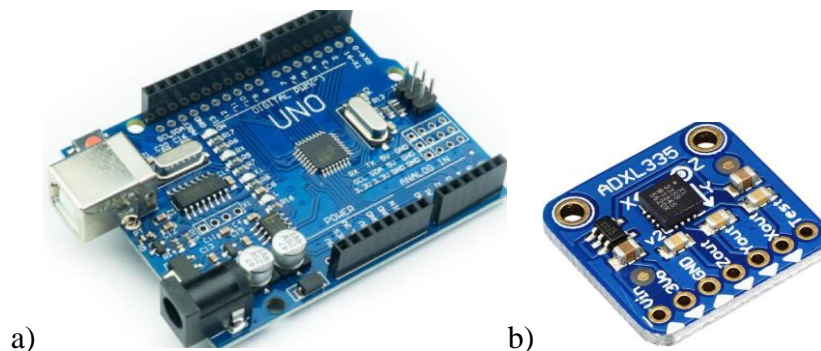
4.1. Deney Sırasında Yararlanılan Programlar

Deney sırasında titreşimi ölçmek için kullanılabilir birçok metot vardır. Bu metotlar hassasiyet, kullanım alanı, maliyet, deney süresi gibi birçok parametreye bağlıdır. Bu çalışmada ilgili nedenlerden dolayı Arduino Uno Rev 3 mikro kontrolcüsü ve ADXL 335 ivme sensörü kullanılması uygun görülmüştür (Şekil 4.1).

Arduino, elektronik projeleri oluşturmak için kullanılan açık kaynaklı bir platformdur. Arduino, hem fiziksel bir programlanabilir devre kartından (genellikle bir mikro denetleyici olarak adlandırılır) hem de bilgisayarda çalışan, bilgisayar kodunu yazmak ve fiziksel panele yüklemek için kullanılan bir yazılım parçasından veya IDE'den (Entegre Geliştirme Ortamı) oluşur (URL-3).

Mikro kontrolcüde Atmega328 8 bit işlemcisi bulunmaktadır. Saat frekansı 16 MHz ve bu kontrolcü 5 V ile çalışmaktadır.

Tezin ilerleyen bölümlerinde bu elektronik kartların nasıl kodlanacağı ve tasarlanacağı bilgisi verilmiştir.



Şekil 4.1. a) Arduino b) ADXL335 ivme ölçer

ADXL 335 ise düşük güçlü ve 3 eksen de ölçüm yapabilen mikro elektro mekanik ivmeölçer modülüdür.

Titreşim ölçmek için kullanılan 3 eksen ADXL 335 ivme sensörü X, Y ve Z eksenlerinde ölçüm yapabilmektedir. 1.8 V ile 3.6 V arasında çalışan bu sensör X, Y ve Z eksenlerin ölçüm yapabilen bu sensör X, Y eksenlerin de 0,5 Hz ile 1600 Hz arasında ve Z eksenlerin de 0,5 Hz ile 550 Hz arasında değerleri ölçmektedir.

Hazırlanan bu yazılımdan çıktıları almak için, LabView programından yararlanılmıştır.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) grafiksel bir gösterim kullanarak programlar oluşturulan bir programlama ortamıdır. Bu bakımdan metinle programlanan C, C ++ veya Java gibi geleneksel programlama dillerinden farklıdır. Bilim adamları ve mühendisler gibi işlerinin bir parçası olarak programlamaya ihtiyaç duyan kişiler için tasarlanmış etkileşimli bir program geliştirme ve yürütme sistemidir. LabVIEW geliştirme ortamı Windows, Mac OS X veya Linux çalıştıran bilgisayarlarda çalışır (URL-4).

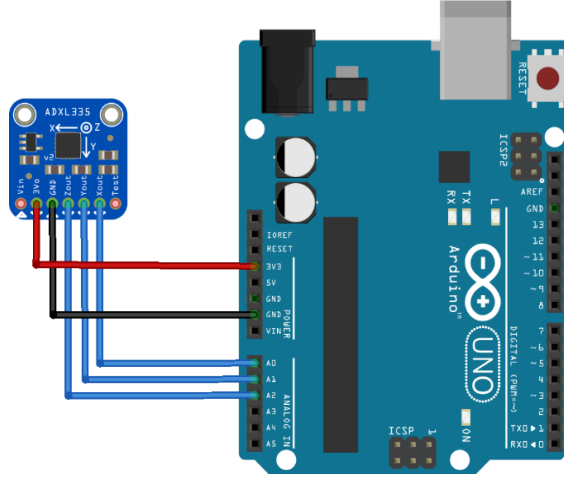
Haberleşme için LabView programına sonradan yüklenen NI-Visa eklentisini kurulum ve bu eklenti Seri, Ethernet veya USB gibi arabirimlerinden oluşan sistemlerin programlaması için gereklidir. Bu sayede kurulacak Arduino kütüphanesi ile gelen fonksiyonlarında kullanmamızı sağlayacak olan araçtır. Hazırlanan bu ivme ölçer süpürgeinin istenilen bölümüne yerleştirilmiştir.

4.2. Deneysel Ölçüm İçin Yazılımların Hazırlanması

Deneysel ölçümün yapılması için LabView programı ve Arduino programı kullanılmıştır. Öncelikle, Arduino programında gerekli yazılım kodlanmıştır. Daha sonra ise LabView programında gerekli elektronik devre oluşturulmuş olup Arduino yazılımıyla birlikte haberleştirilmiştir.

Frekans ölçümünü gerçekleştirmek için ivmeölçer sensörü olan ADXL 335 modelinden faydalanılmıştır. X, Y ve Z eksenlerin ölçüm yapabilen bu sensör X, Y eksenlerin de 0,5 Hz ile 1600 Hz arasında ve Z eksenlerin de 0,5 Hz ile 550 Hz arasında değerleri ölçmektedir.

1,8 V ve 3,6 V arasında çalışan bu ivme ölçeri Arduino ile 3 V olarak beslemesini sağlamıştır. Devre düzeneği Şekil 4.2'deki gibi Fritzing program ile çizilmiştir.



Şekil 4.2. Arduino ve ADXL335 bağlantısı

Arduino ve sensörün birbiriyle haberleşebilmesi için Ek-A'daki kod yazılır Arduino'ya yüklenir.

Bu koddaki komutları açıklamak gerekirse;

Wire kütüphanesini eklenerek Arduino ve ivmeölçer seri protokol ile bağlantı kurar. Seri çevresel arabirim haberleşme protokolü, kendi kütüphanesi ile ana cihaz olarak Arduino ve seri çevresel arabirim cihazlarıyla iletişim sağlar.

Ayrıca ADXL 335 sensörün X, Y ve Z eksenlerini sırasıyla A3, A2 ve A1 portuna tanımlı olduğu eklenir.

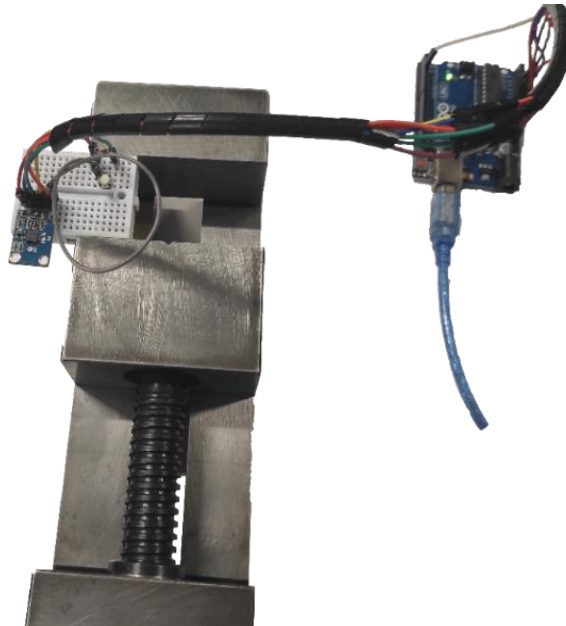
Ek-A'deki işlemler tamamlandıktan sonra Ek-B'deki şemalar LabView programına tanımlanarak Arduino ile Labview programının haberleşmesi sağlanır. Test boyunca çıktılar takip edebilmesi için ise, Ek-B'de sunulan parametreler Labview panel üzerinde eklenmiştir.

4.3. Kalibrasyon

Deneye başlamadan önce, elde ettiğimiz sonuçların güvenilirliğini arttırmak ve sensörden alınan elektrik sinyallerin anlamlı bir hale gelmesi için, hazırlanan sensörün kalibrasyonu yapılmıştır. Bu kalibrasyonda sensörün X, Y ve Z eksenleri tanımlanmıştır.

ADXL 335 ivme ölçer, atalet kuvvetlerini kullanarak ivmeyi hafızasında saklar. Cihaz, her eksenin ivmesini tespit etmek için mikro elektro-mekanik bir sistem kullanır. Mikro elektro mekanik sistem (MEMS), her yönde görülen kuvvetleri ölçmek için sensörler kullanır. Bir eksene kuvvet uygulandığında ivmeölçer kuvvetin değerini alır ve sonra bu kuvveti ivmeye dönüştürür. Bu kuvvet, Newton'un İkinci Yasası ($F = ma$) kullanılarak ivmeye dönüştürülür. MEMS'deki nesnenin kütlesi bilindiğinden sistem kuvvet okumasını daha kolay bir ivmeye dönüştürebilir. Bu eylemsizlik kuvveti okuma tekniği ivmeölçerin sistem sabit olduğunda bile her zaman bir ivme okuyacağı anlamına gelir. İvmeölçer sabit olduğunda, ivmeölçer yerçekimine bağlı ivmeyi okuyacaktır. Bu, bir eksen yerçekimi yönüne paralel olarak işaret edilirse, o eksen okunan ivmenin $9,81 \text{ m/s}^2$ 'ye eşit olacağı anlamına gelir, çünkü bu eksen yerçekimi kuvvetini hisseder. Bu nedenle ivmeölçer ivmesini 9.81 m/s^2 olan yerçekimine bağlı ivmeye dayandırır çünkü sistem bu ivmeyi hissetmeye izin verir ve böylece ivme değerleri bu değerden elde edilir. İvmeölçer, $0.5g$ 'lik bir değer verirse, gerçekte hızlanma $0.5 * 9.81 \text{ m/s}^2$ 'dir. Bu tezde, ölçülen tüm ivmeler g 'ye göredir veya tüm ivmeler g 'nin bir kesri veya katıdır.

Kalibrasyon için birçok metot vardır ve bu çalışmada sensörle birlikte gelen ve Ek-D'de sunulan yazılım ve Ek-C'de verilen devre uygulanarak kalibrasyon işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 4.3. Sensör düz bir zeminde kalibre edilirken

Şekil 4.3'te gösterildiği üzere sensör, Zmak, Zmin, Ymak, Ymin, Xmak ve Xmin eksenlerinde kalibrasyon edilir ve ilgili değerler Tablo 4.1'deki gibidir.

Tablo 4.1. ADXL 335 kalibrasyon değerleri

Eksen	Değer	Değer
X	Mak	638
	Min	433
Y	Mak	615
	Min	408
Z	Mak	616
	Min	410

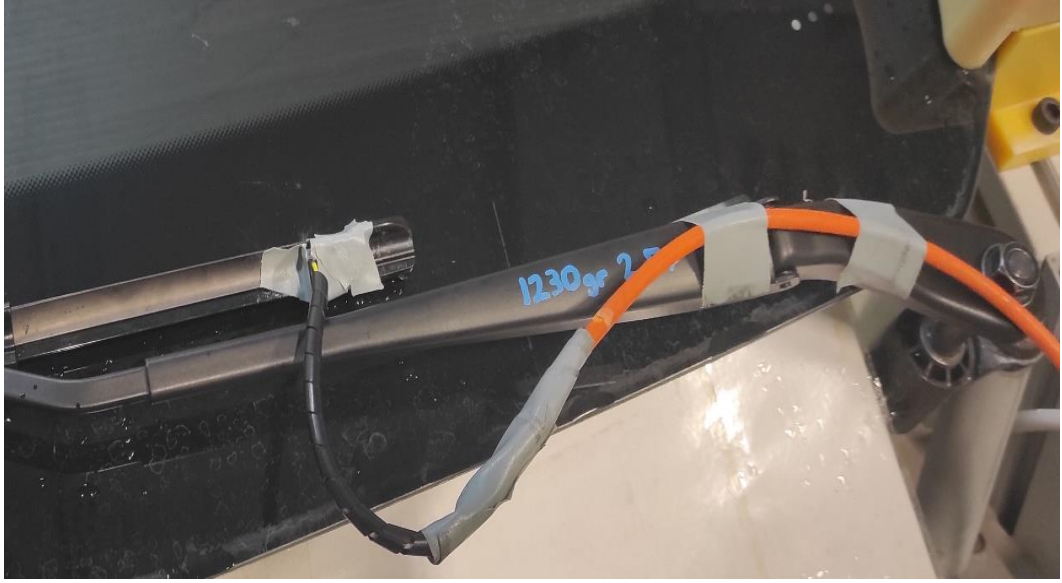
4.4. Deneysel Düzeneğin Hazırlığı

Silecek sistemin titreşimini ölçmemiz ve daha ileri araştırmalar yapmak için bir deney düzeneği inşa edildi. Bu yapılan deney düzeneğinin gerçeği simüle edebilmesi için, gerçek araçlarda kullanılan araç camı, üreticisinden alınan bilgilere göre doğru bir şekilde çelik profil üzerine konumlandırılmıştır. Şekil 4.4 bu çalışmada kullanılan ön cam silecek deney düzeneğini göstermektedir.



Şekil 4.4. Ön cam silecek düzeneği

Daha önceden hazırladığımız ve kalibrasyonunu yaptığımız ölçüm ekipmanını ise sileceğin Şekil 4.5'te gösterildiği gibi hassas bir şekilde numunemize yerleştirilmiştir.



Şekil 4.5. ADXL 335'in numuneye konulması

Deney düzeneğini hazırladıktan sonra kullandığımız silecek kolunu ve süpürgesinin gerekli ölçümlerini gerçekleştirilmiştir.

Daha önce tanımlarını verdiğimiz ve silecek konusunda çok önemli 2 parametre olan kol baskı yükü ve atak açıları Şekil 4.6'daki cihazla tüm numuneler için ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 4.6. Kol numunelerin ölçüm işlemi

Süpürgelerin formunu kontrol etmemiz için ise 3000 yarıçapında eğime sahip ekipmanın üzerinde 70 adet yük sensörü vasıtasıyla yük dağılımına bakılır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Süpürgelerin yük dağılımlarının ölçümü

Tüm bulunan sonuçlar aşağıda tabloda sunulmuştur.

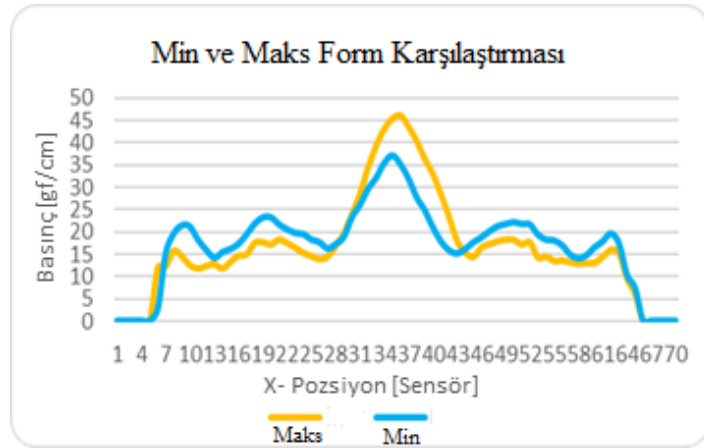
Tablo 4.2’de verilen parametreleri kontrollü bir şekilde değiştirerek, deneysel sonuçlar arasındaki farkı karşılaştırılmıştır. Bu parametreler silecek sisteminin karakteristiğini ve performansını belirleyen önemli değerlerdir. Tablo 4.3’te yük dağılımları verilen süpürgelerin Şekil 4.8’de birbirleriyle olan karşılaştırmaları verilmiştir. Tüm bu değerler üreticiden elde edilen nominal verilerin artı ve eksi yönünde değerlerini değiştirerek tolerans dışını çıkmıştır. Bu şekilde silecek sistemin dinamik ve deneysel olarak inceleyerek, süpürge ve kol numunelerinde nelerin gürültüye ve titreşime yol açtığını tespit etmektir.

Tablo 4.2. Silecek kolu numunelerinin parametreleri

Numune No	Atak açısı [°]	Kol baskı yükü [gr]
1	2,57°	1230
2	-0,6°	1039
3	-3,80°	846

Tablo 4.3. Süpürge numunelerini parametreleri

No	Yük Dağılımı [gf/cm]
1	<p style="text-align: center;">Numune 1: Maks Form</p>
2	<p style="text-align: center;">Numune 2: Min Form</p>



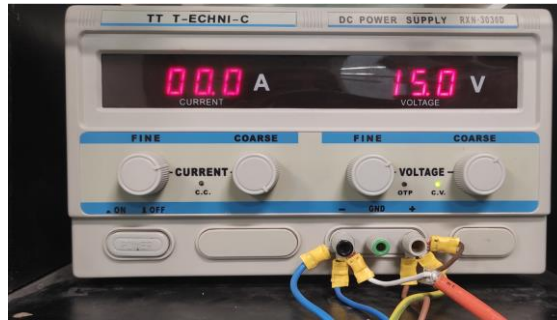
Şekil 4.8. Min ve Maks süpürgelerin yük dağılımının karşılaştırılması

Deney, sistemi belirli hızlarla çalıştırıldığında silecek sisteminin titreşim ölçümleriyle ilgilidir. Islak ve kuru camda yapılan deneylerde, farklı özelliklere sahip numuneler üzerinden yapılır. Tablo 4.4'te yapılacak olan deneylerin listesi bulunmaktadır.

Tablo 4.4. Yapılan deneyler

Deney Grup No	Deney No	Kullanılan Numune	Çalışma Durumu	Silecek Hızı	Motor
1	1	1. numune kol 1. numune süpürge	Islak	Yavaş	
	2			Hızlı	
	3		Kuru	Yavaş	
	4			Hızlı	
2	5	1. numune kol 2. numune süpürge	Islak	Yavaş	
	6			Hızlı	
	7		Kuru	Yavaş	
	8			Hızlı	
3	9	2. numune kol 1. numune süpürge	Islak	Yavaş	
	10			Hızlı	
	11		Kuru	Yavaş	
	12			Hızlı	
4	13	2. numune kol 2. numune süpürge	Islak	Yavaş	
	14			Hızlı	
	15		Kuru	Yavaş	
	16			Hızlı	
5	17	3. numune kol 1. numune süpürge	Islak	Yavaş	
	18			Hızlı	
	19		Kuru	Yavaş	
	20			Hızlı	
6	21	3. numune kol 2. numune süpürge	Islak	Yavaş	
	22			Hızlı	
	23		Kuru	Yavaş	
	24			Hızlı	

Deneyde DC bir güç kaynağı kullanılarak, yavaş hız modu için 10V ve hızlı mod için ise 15V kullanılmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Deneyde kullanılan güç kaynağı

Tablo 4.5. Deneyin ortam koşullarına ait değerler

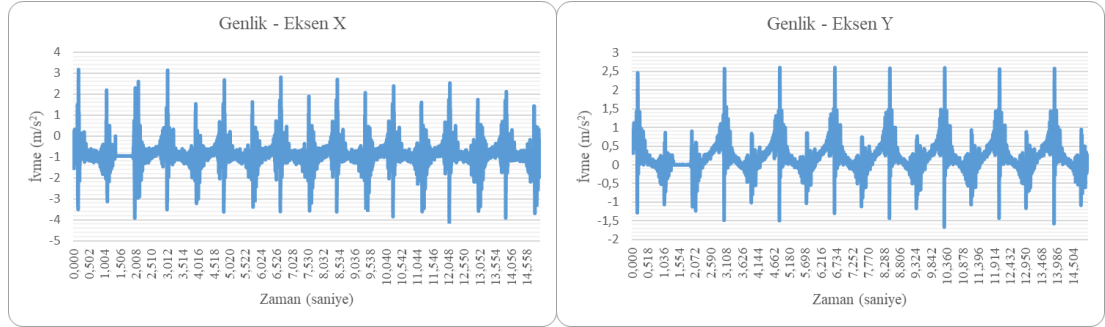
No	Sıcaklık	Bağıl Nem
1	22 °C	%50

Toplam 24 adet deney Tablo 4.5'te verilen ortam koşullarında gerçekleştirilmiş olup, bu koşulları ait değerler sabit tutularak olası bir etkinin önüne geçilmesine engel olunmuştur.

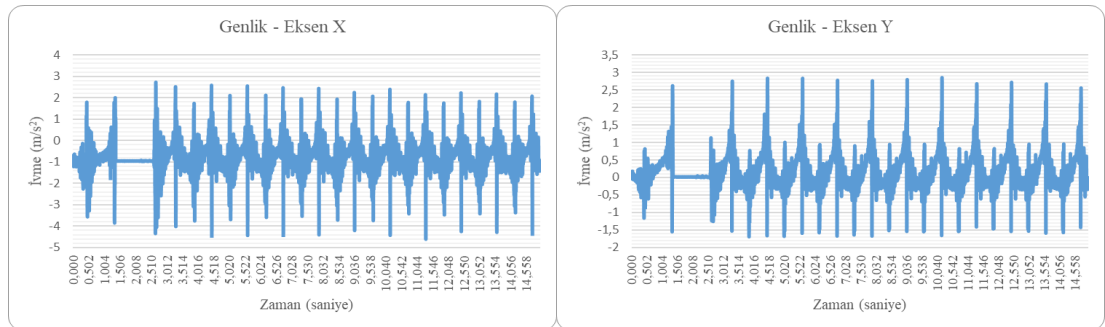
5. DENEY SONUÇLARI

Sonuçlar sırasıyla x ve y eksenleri için zamana bağlı olarak deneyden elde edilir. Bunun nedeni silecek lastiğinin her iki yönde yer değiştirmesinde değişikliklerin sistemimin bir titreşimi olarak kabul edilmesidir. Şekil 5.1., Şekil 5.2., Şekil 5.3., ve Şekil 5.4'te 1. grup deneyin sonuçlarına Şekil 5.5., Şekil 5.6., Şekil 5.7., ve Şekil 5.8'te 2. grup deneyin sonuçlarına yer verilmiştir. Şekil 5.9., Şekil 5.10., Şekil 5.11., ve Şekil 5.12'te 3. grup deneyin sonuçlarına yer verilirken Şekil 5.13., Şekil 5.14., Şekil 5.15., ve Şekil 5.16'da 4. grup deneyin sonuçlarına yer verilmiştir. Grup 5 sonuçları ise Şekil 5.17., Şekil 5.18., Şekil 5.19., ve Şekil 5.20'de verilmiştir. Şekil 5.21., Şekil 5.22., Şekil 5.23., ve Şekil 5.24'te 6. grup deneyin sonuçlarına yer verilmiştir. Tüm grafiklerde gözüktüğü üzere sistemde değişken genliklerde sürekli titreşimler mevcuttur. Değişken hızlanmalar, farklı modlarda silecek frekansına karşılık gelir. Her grafikteki ivme değerleri, sistemin titreşim miktarını ifade eder.

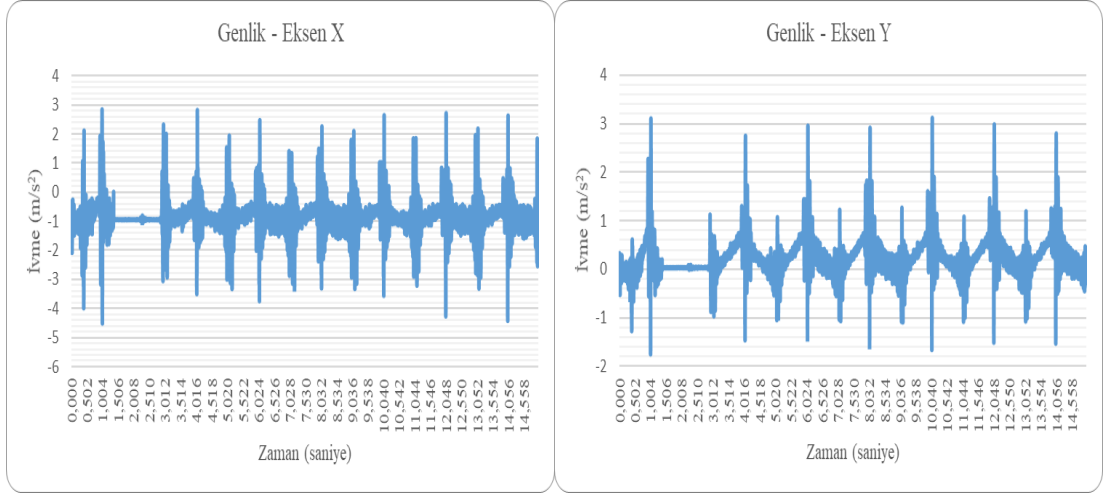
5.1. 1. Deney Grubu Sonuçları



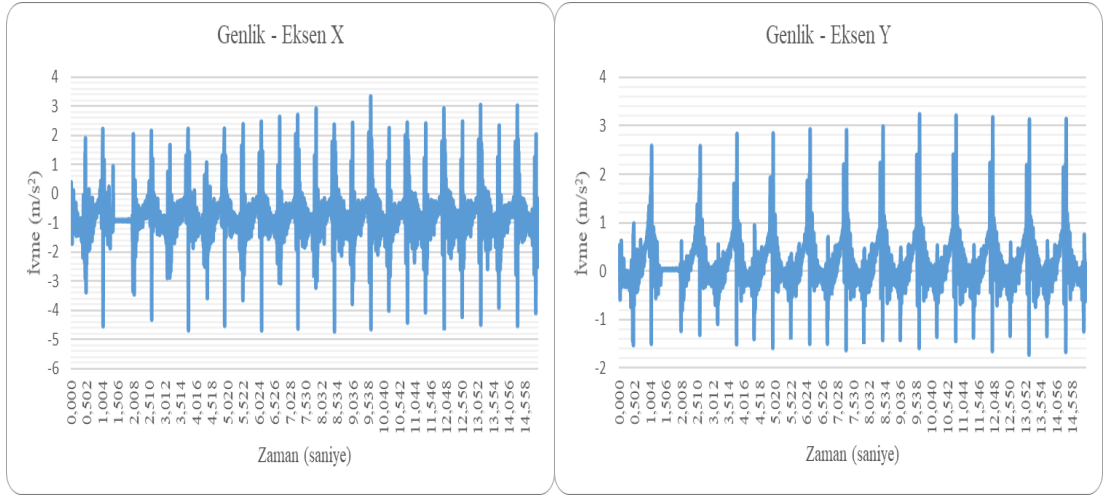
Şekil 5.1. Sırasıyla birinci deneyin x ve y eksenlerindeki titreşim sonuçları



Şekil 5.2. Sırasıyla ikinci deneyin x ve y eksenlerindeki titreşim sonuçları

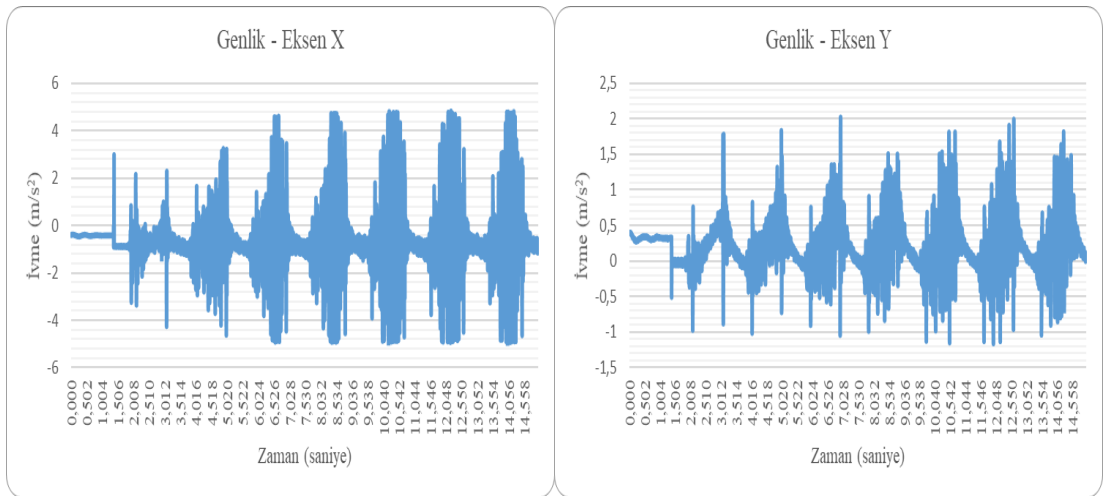


Şekil 5.3. Sırasıyla üçüncü deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları

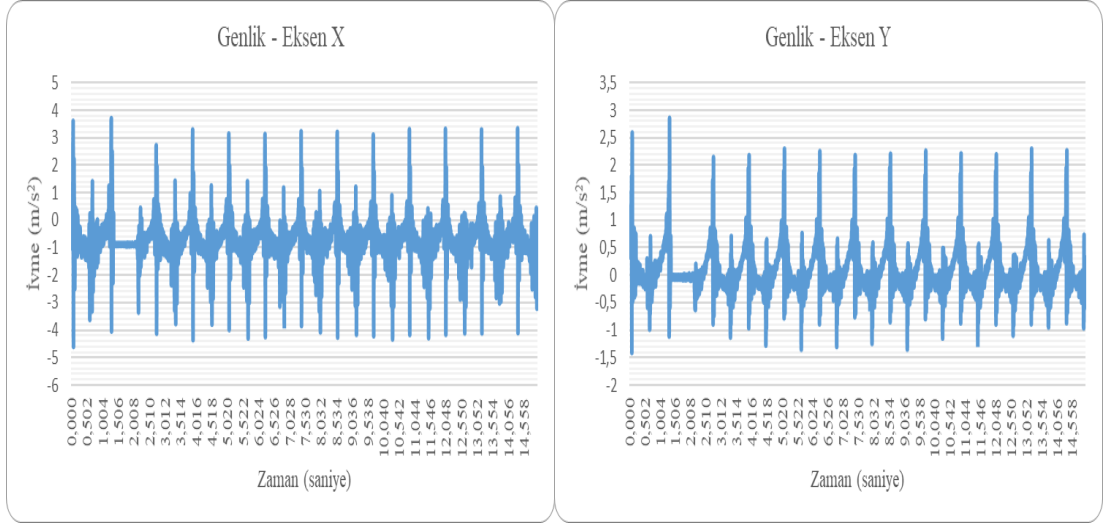


Şekil 5.4. Sırasıyla dördüncü deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları

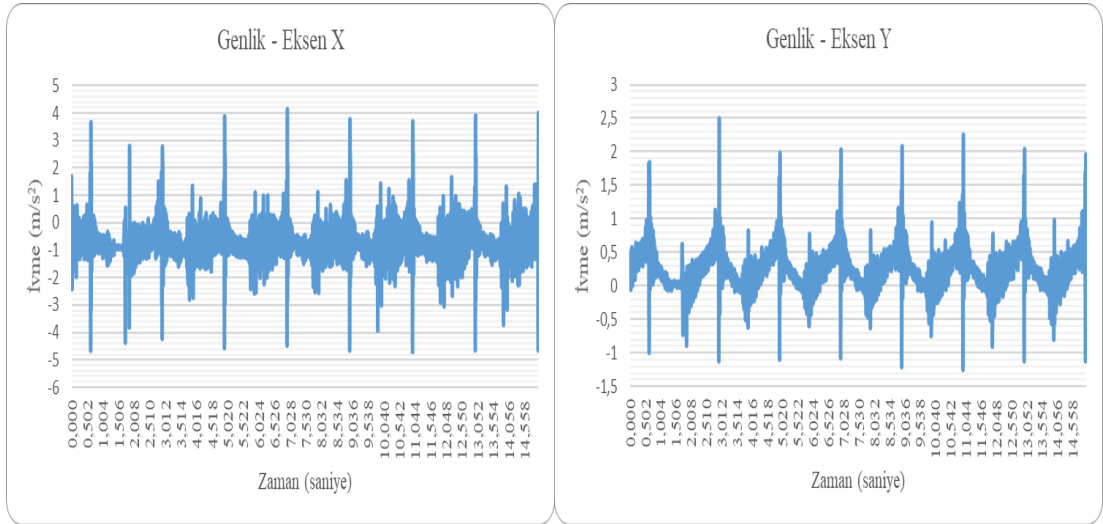
5.2. 2. Deney Grubu Sonuçları



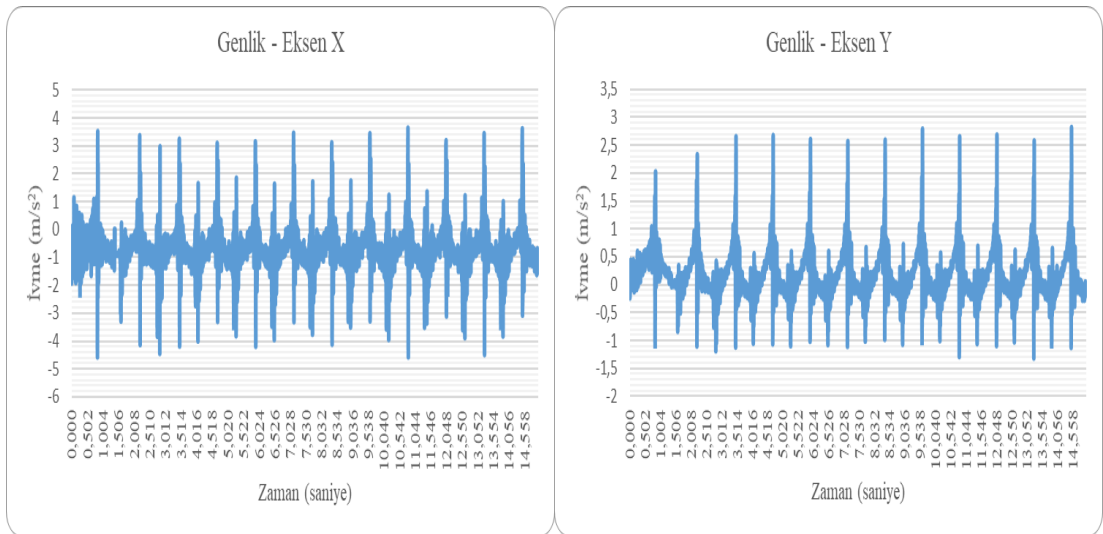
Şekil 5.5. Sırasıyla beşinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları



Şekil 5.6. Sırasıyla altıncı deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları

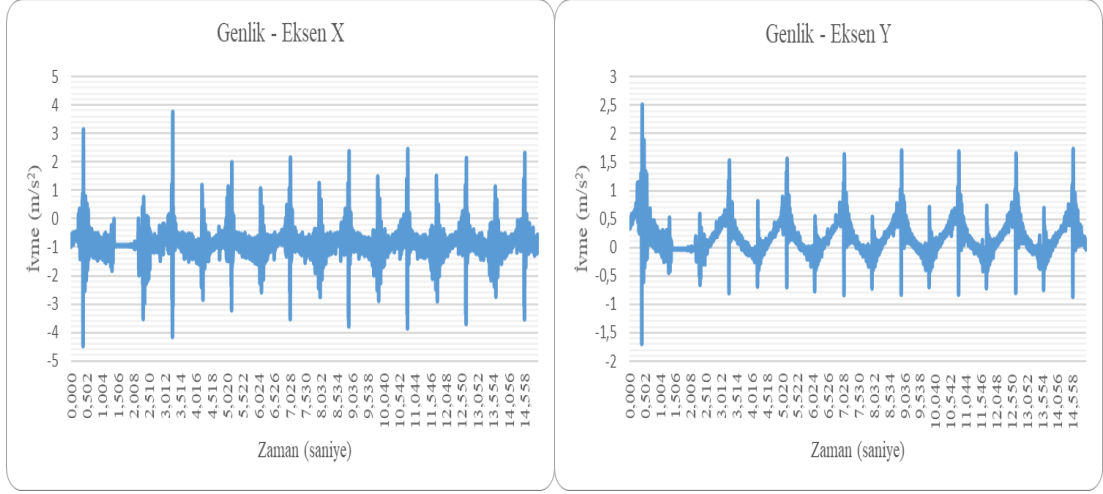


Şekil 5.7. Sırasıyla yedinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları

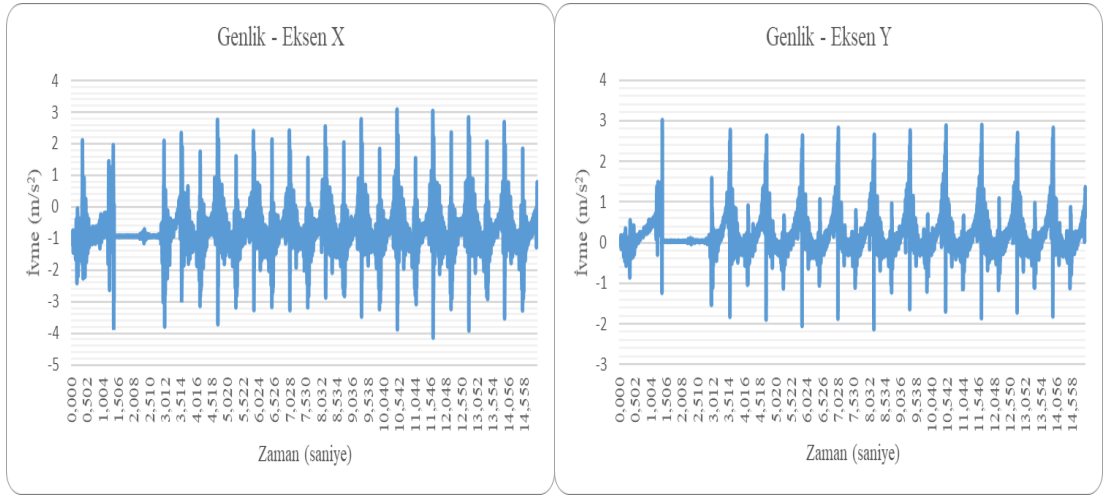


Şekil 5.8. Sırasıyla sekizinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları

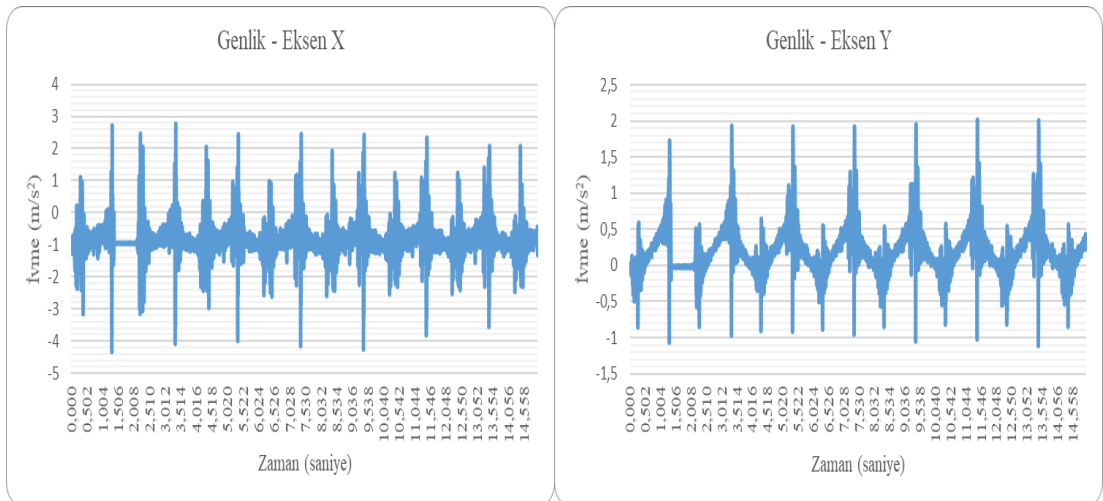
5.3. 3. Deney Grubu Sonuçları



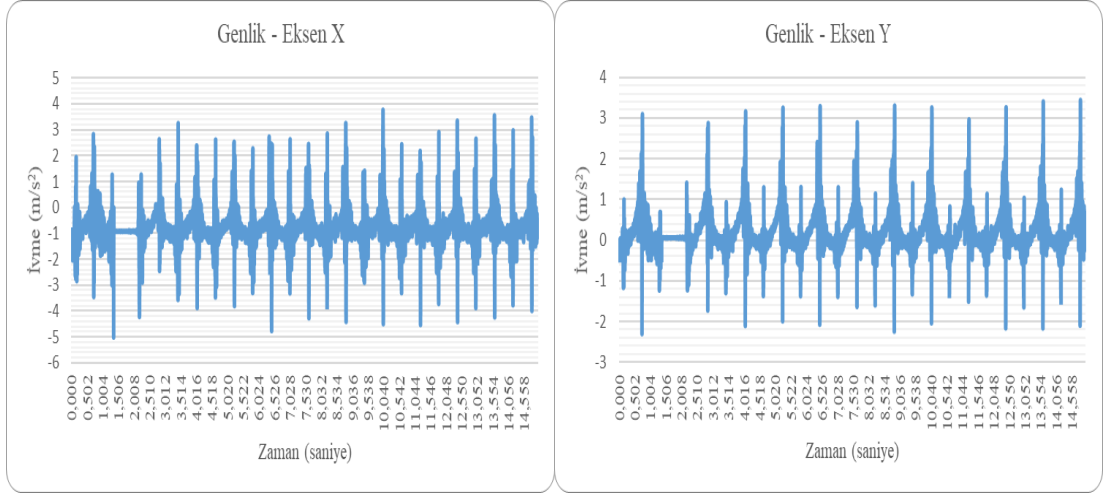
Şekil 5.9. Sırasıyla dokuzuncu deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları



Şekil 5.10. Sırasıyla onuncu deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları

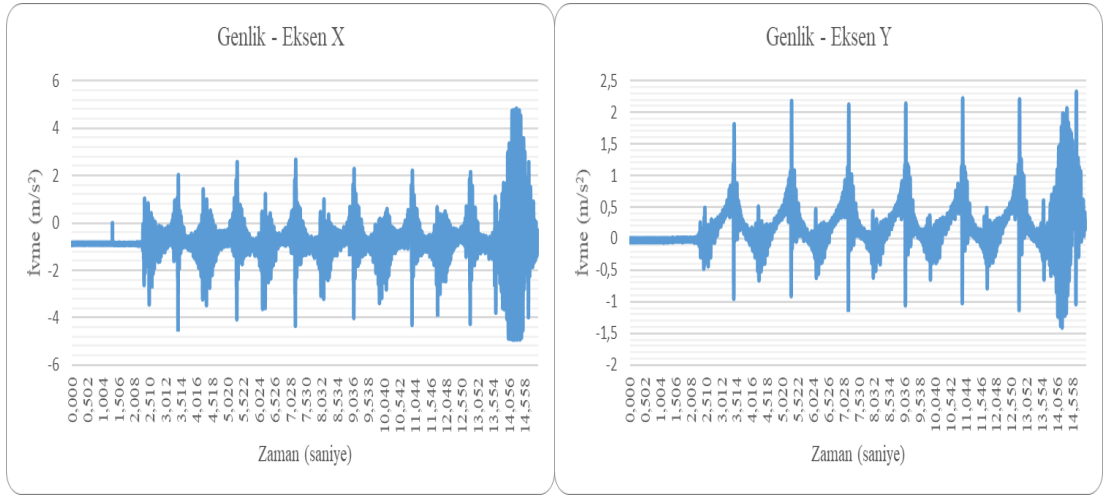


Şekil 5.11. Sırasıyla on birinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları

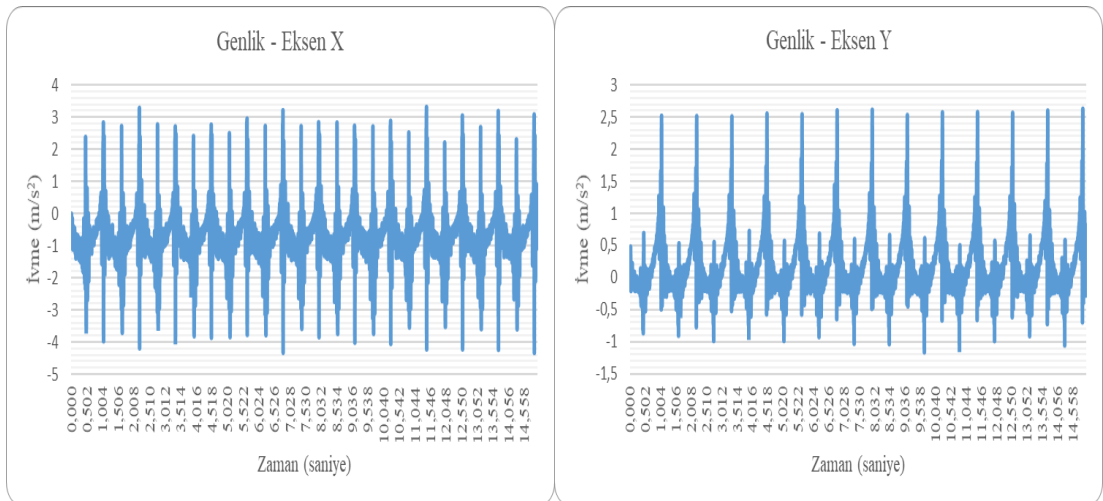


Şekil 5.12. Sırasıyla on ikinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları

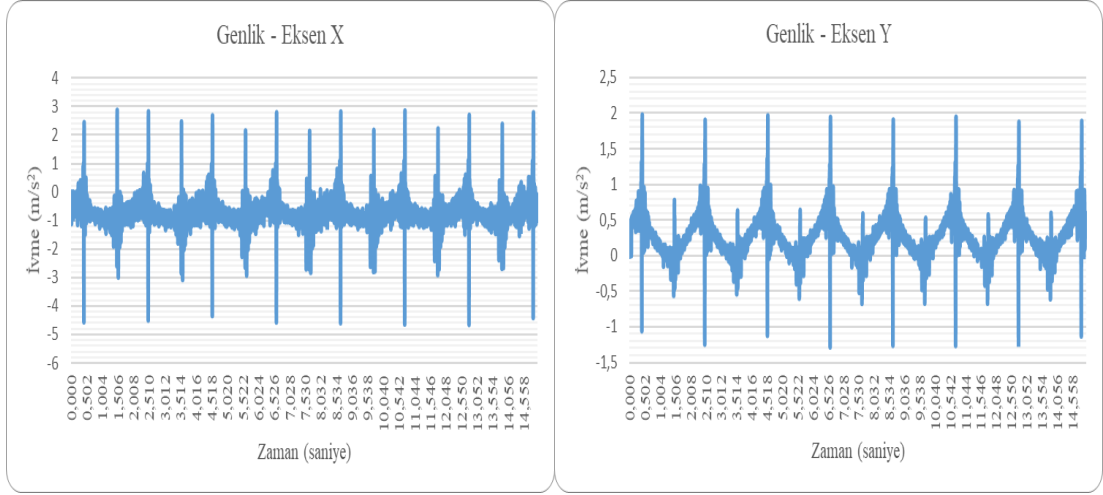
5.4. 4. Deney Grubu Sonuçları



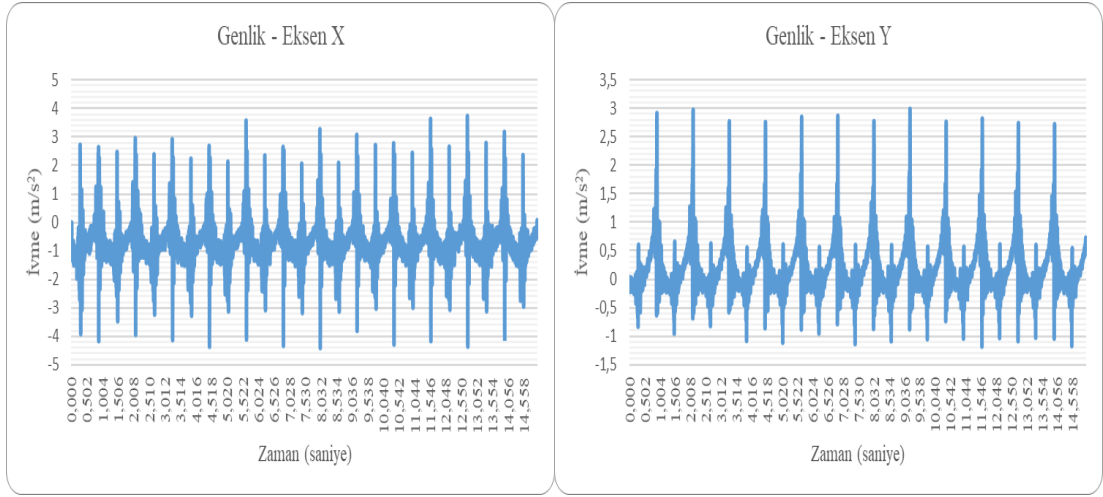
Şekil 5.13. Sırasıyla on üçüncü deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları



Şekil 5.14. Sırasıyla on dördüncü deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları

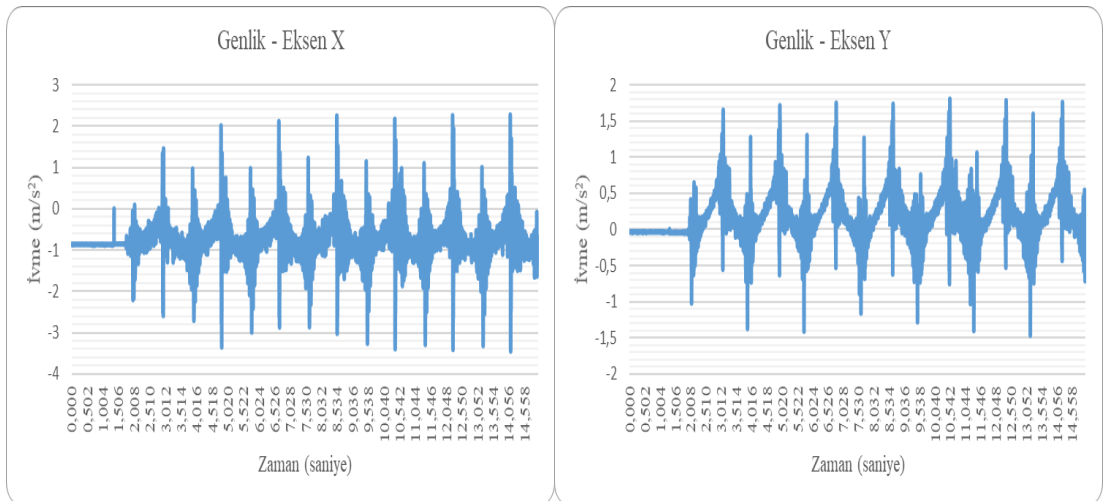


Şekil 5.15. Sırasıyla on beşinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları

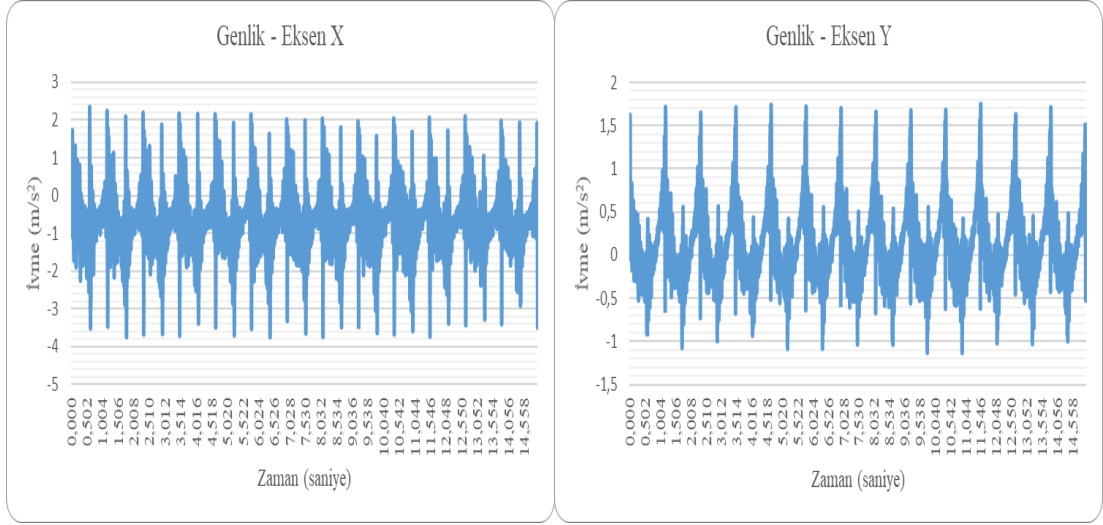


Şekil 5.16. Sırasıyla on altıncı deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları

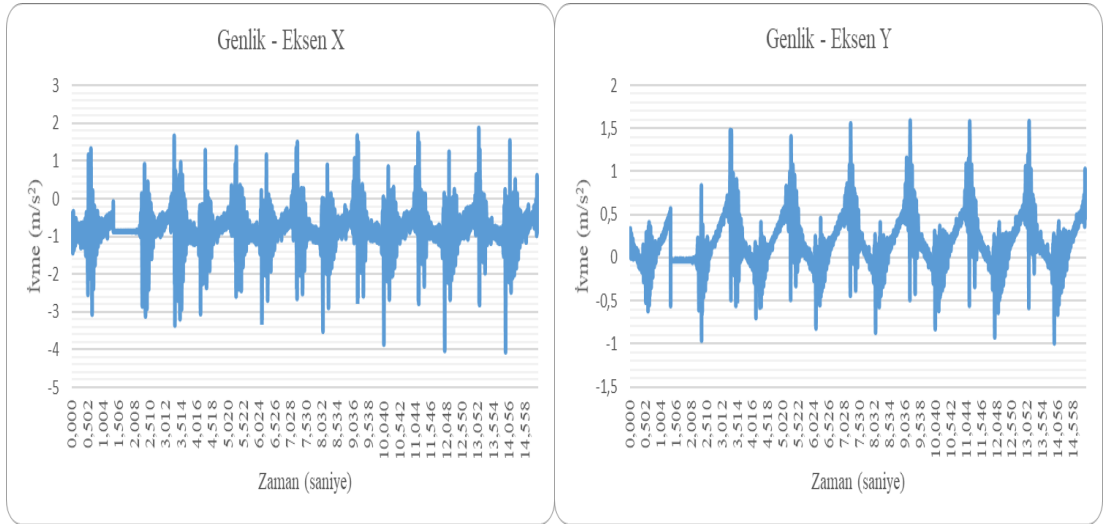
5.5. 5. Deney Grubu Sonuçları



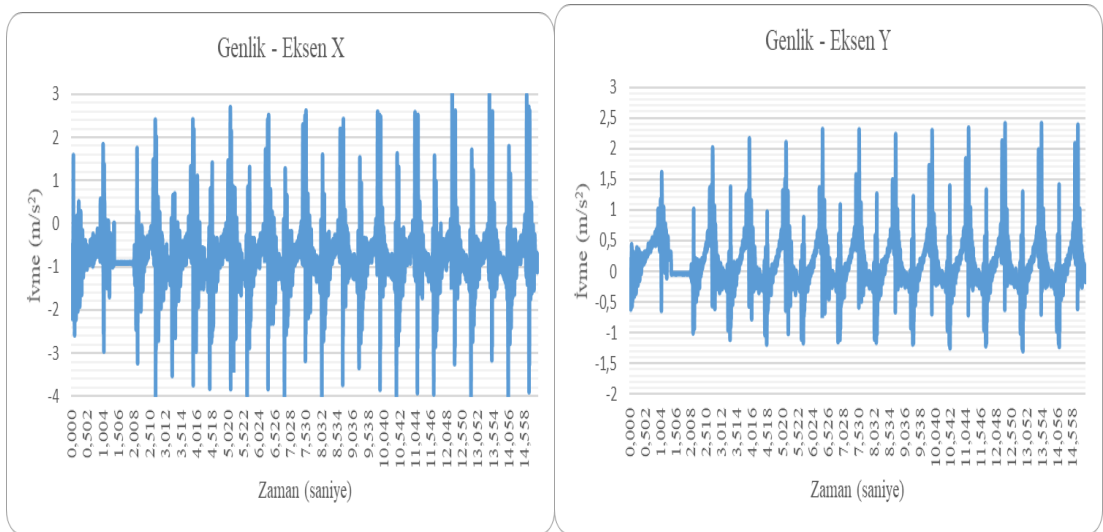
Şekil 5.17. Sırasıyla on yedinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları



Şekil 5.18. Sırasıyla on sekizinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları

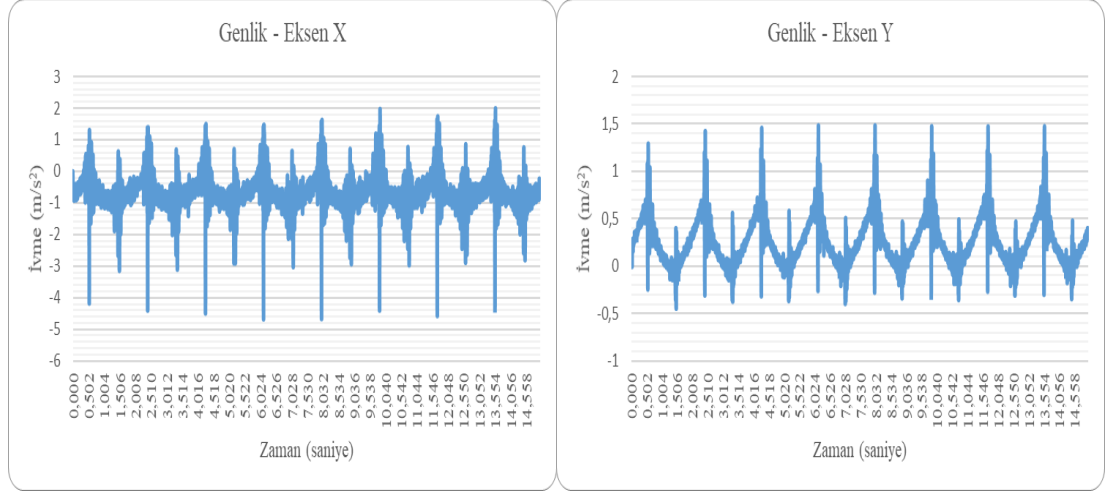


Şekil 5.19. Sırasıyla on dokuzuncu deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları

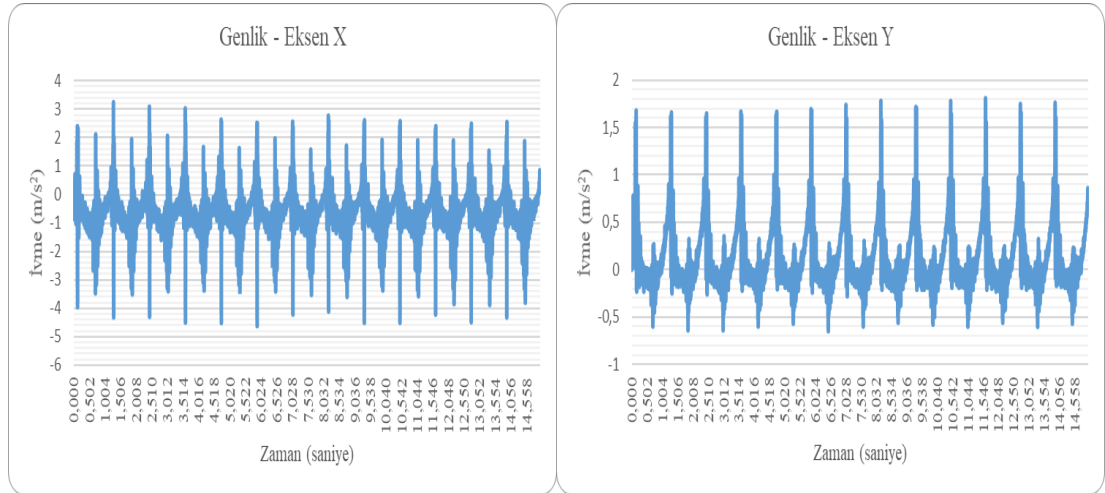


Şekil 5.20. Sırasıyla yirminci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları

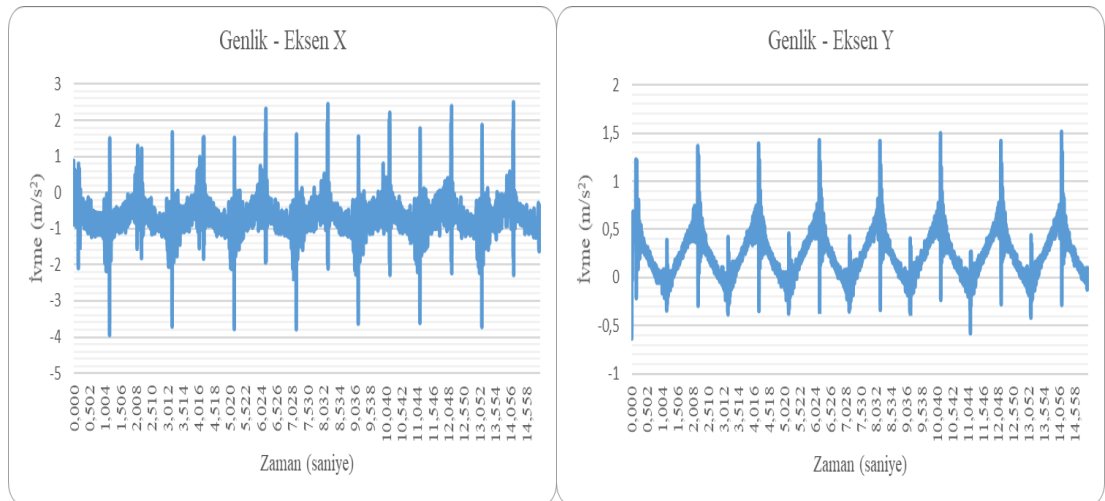
5.6. 6. Deney Grubu Sonuçları



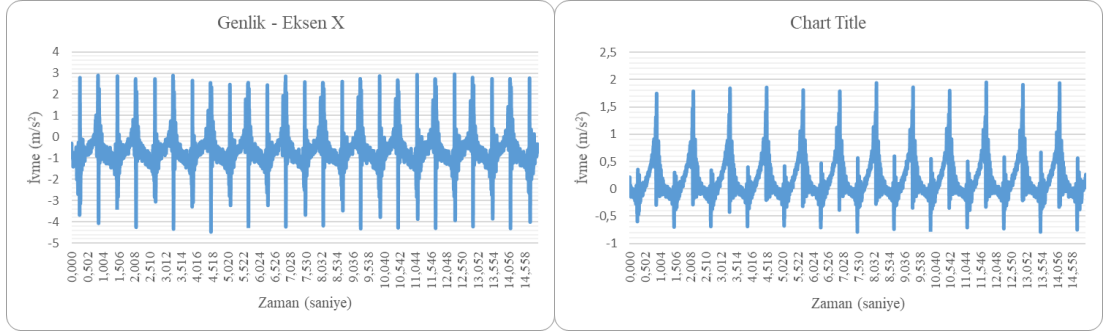
Şekil 5.21. Sırasıyla yirmi birinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları



Şekil 5.22. Sırasıyla yirmi ikinci deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları



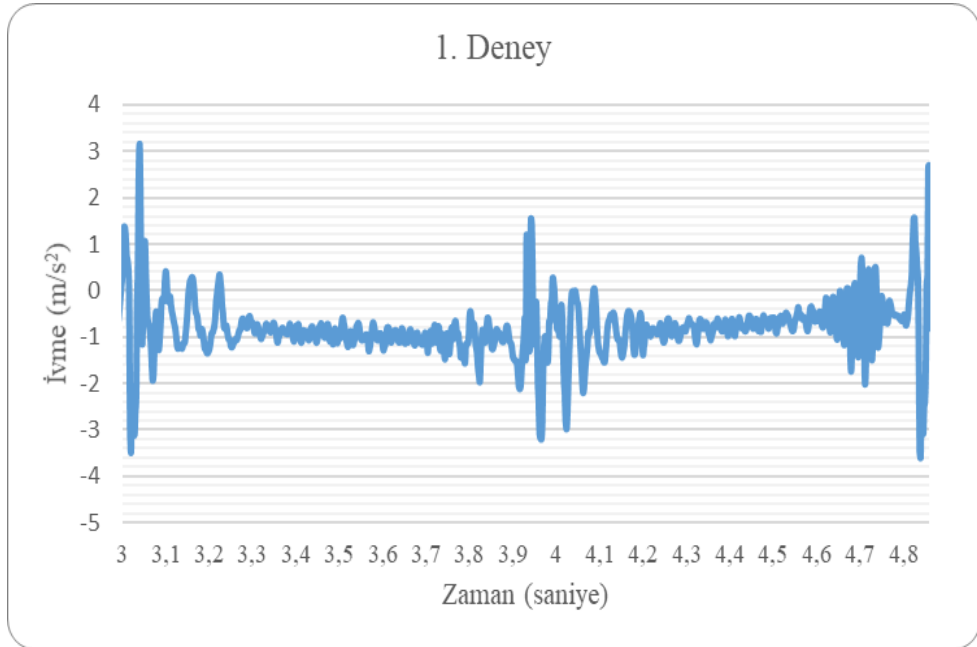
Şekil 5.23. Sırasıyla yirmi üçüncü deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları



Şekil 5.24. Sırasıyla yirmi dördüncü deneyin x ve y eksenlerinde titreşim sonuçları

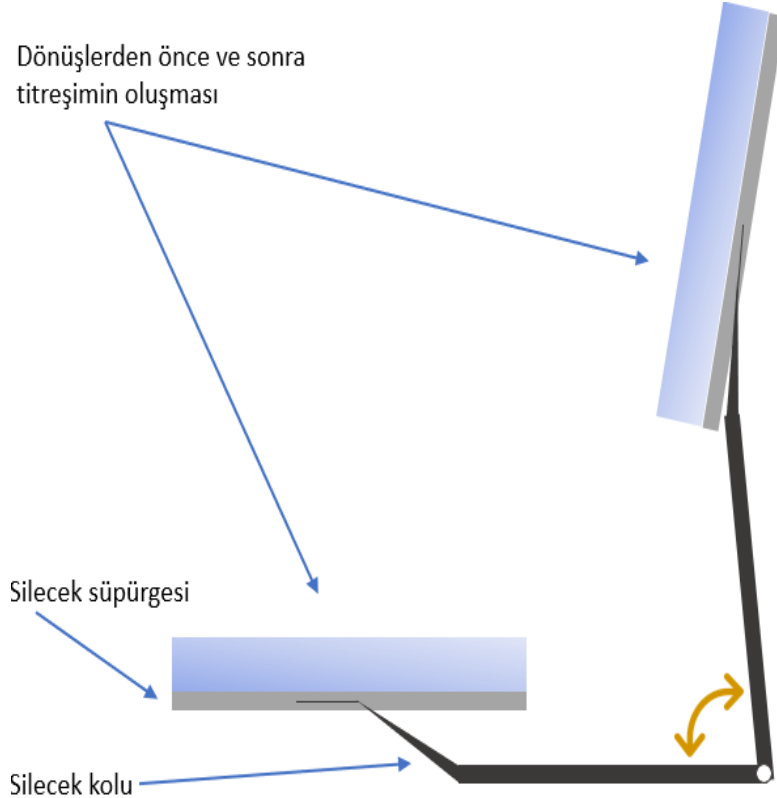
Yukarıdaki ilk sonuçlara baktığımızda ve genel olarak değerlendirdiğimiz de sileceğin başlangıç pozisyonunda en yüksek titreşim elde edilmiştir ve en büyük sebebi ise, sileceğin ileri yönde hareket yapması için, silecek motorundan daha fazla kuvvete ihtiyaç olmasıdır. Silecek lastiğinin ilk hareketinden, silme alanın son pozisyonuna gelene kadar titreşimin azaldığını görebiliyoruz.

Şekil 5.25'te görüldüğü üzere silecek lastiğinin tekrar başlangıç pozisyonuna geri dönmek istediğinde, titreşimin tekrardan arttığını ama bu artışın ilk başlama durumuna göre daha az olduğunu tespit edebiliriz. Yaptığımız tüm deneyler 15 saniyelik çevrim kullanılmıştır ve durumu gözlemlemiş bulunmaktayız.



Şekil 5.25. Birinci deneyden sileceğin bir çevrimlik hareketi

Daha önceki çalışma bulgularında olduğu gibi Şekil 5.26'daki gibi titreşimin en çok sileceği başlangıç ve geri dönüşünden sonra kolayca oluşabileceği görülmektedir.

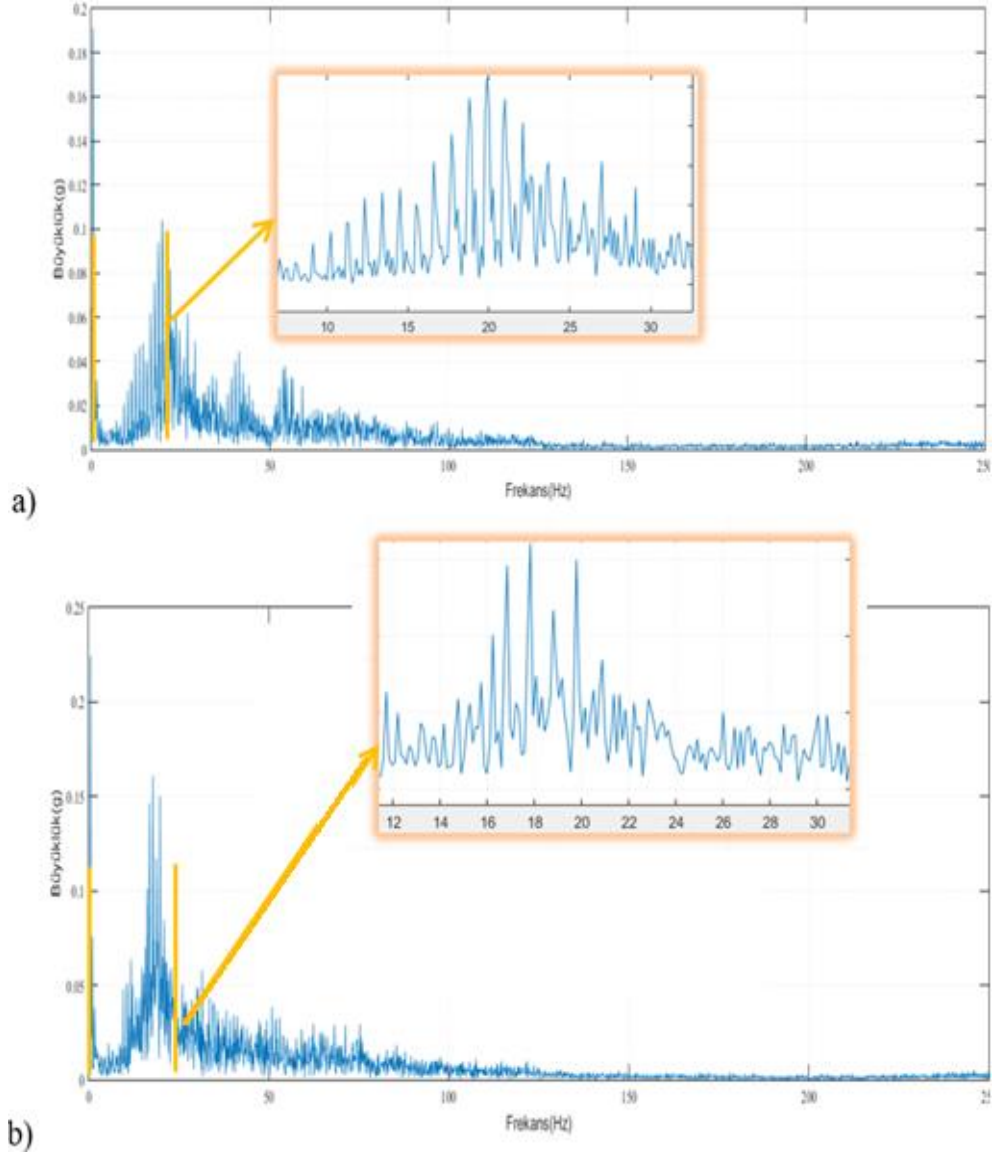


Şekil 5.26. Sileceğin dönüşlerden öncesi ve sonrası

Zaman-genlik sonuçlarından çıkaracağımız bir diğer konu ise, silecekler başlangıç ve dönüş esnasında minimum forma sahip süpürgelerin x ekseninde, y eksenine göre daha fazla genliğe sahip olduğu görülmüştür. Bunun sebeplerinden bir tanesi ise yükü sadece bir noktada toplanması yerine, daha fazla alana yayılmasından dolayı, sürtünme kuvvetini artmıştır. Dolayısıyla ise bu etki x ekseninde sileceğin daha çok genliğe sahip olmasına sebebiyet vermiştir. Y ekseninde ise bu durumun tam tersi olduğunu gözlemlenmiştir.

Yukarıda verdiğimiz zaman-genlik grafiklerini hızlı fourier dönüşümlerine göre analizini incelediğimiz zaman ise sileceğin kuru camda çalıştırıldığı zaman, ıslak durumlara göre daha kararlı bir durumda olduğu görülmüştür. Bunun sebebi su filminin sileceği daha heterojen hareket etmesine sebep olduğu ve bu etkininde titreşime yol açmasıdır. Dolayısıyla daha yağışlı günlerde silecek sisteminin titreşim ve gürültü oluşturması olasıdır.

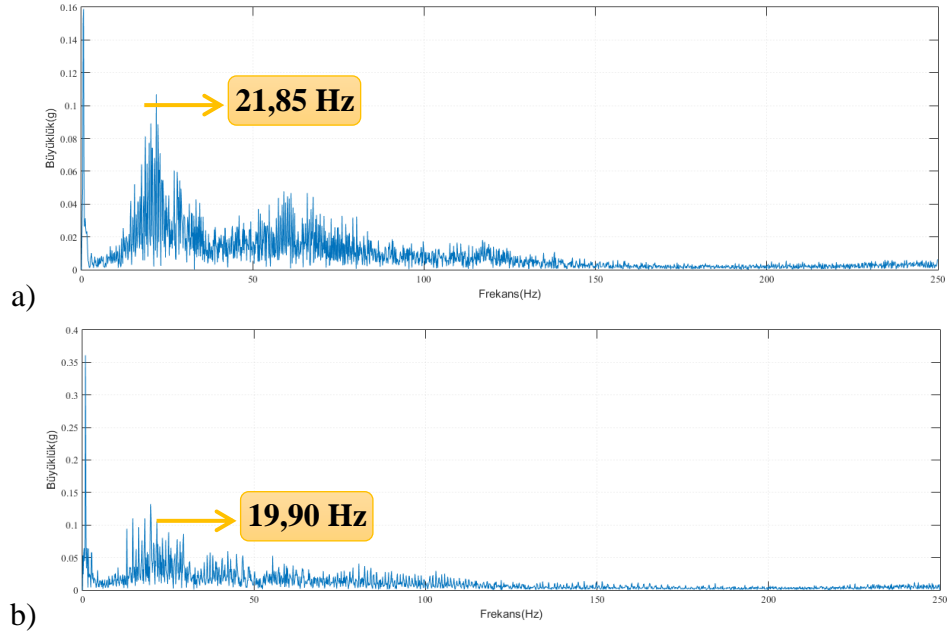
Şekil 5.27’de gözüktüğü üzere aynı şartlarda ve koşullarda gerçekleştirilen deneylerde ıslak cam yüzeyinde frekans 19,9 Hz iken camın kuru halinde silme sistemi çalıştığında 17,82 Hz frekans oluşturmaktadır.



Şekil 5.27. Motor hızının yavaş olduğu durumda a) Islak ortamda gerçekleştirilen 17. deney b) Kuru da gerçekleştirilen 19. Deney

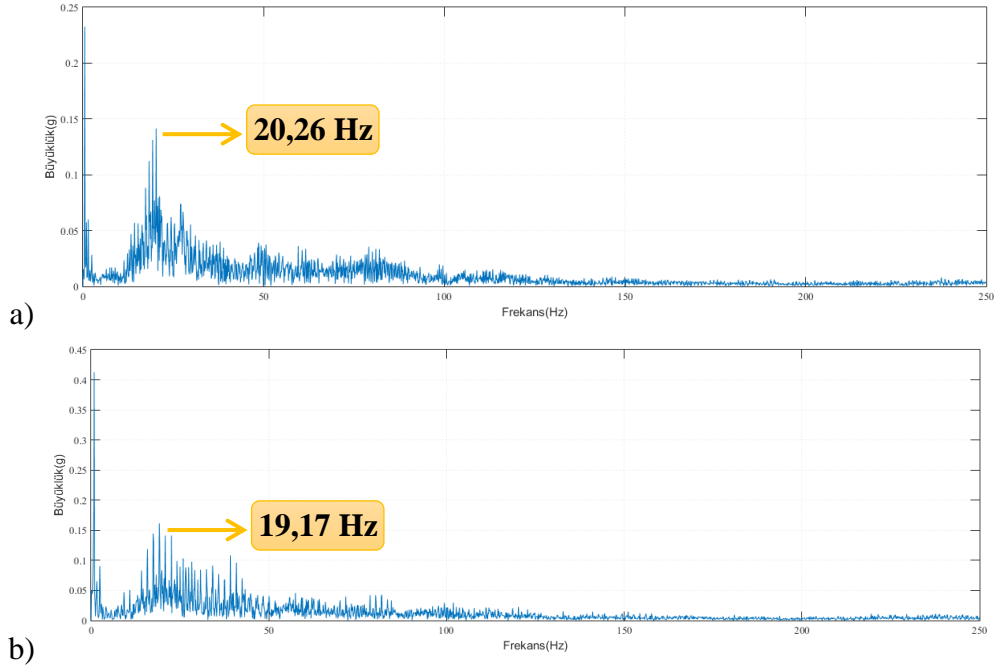
Silecek sistemi sürüş ve ortam koşullarına göre farklı hızlarda kullanıcılar tarafından çalıştırabilmektedir. Silecek lastiğinin çalışma hızı ise, titreşim ve gürültüye negatif ve pozitif katkıda bulunması şüphesizdir. Bu çalışmada çalışma hızı hızlı ve yavaş mod olarak verilen voltajlara göre sınıflandırılmıştır.

Yavaş modda çalıştırılan silecek sistemi, kuru ve ıslak durumda, hızlı moda göre daha fazla titreşim oluşturduğunu göstermiştir. Grup 3'ün deney sonuçlarına baktığımızda, Şekil 5.28'de görüleceği üzere silecek sistemi ıslak çalışırken, hızlı moda 21,85 Hz frekans üretmiş olup, tamamen aynı koşullarda altında ise yavaş çalışma durumunda ise 19,90 Hz frekans ürettiği tespit edilmiştir.



Şekil 5.28. Çalışma durumu ıslak olduğu durumda a) Yavaş mod b) Hızlı mod

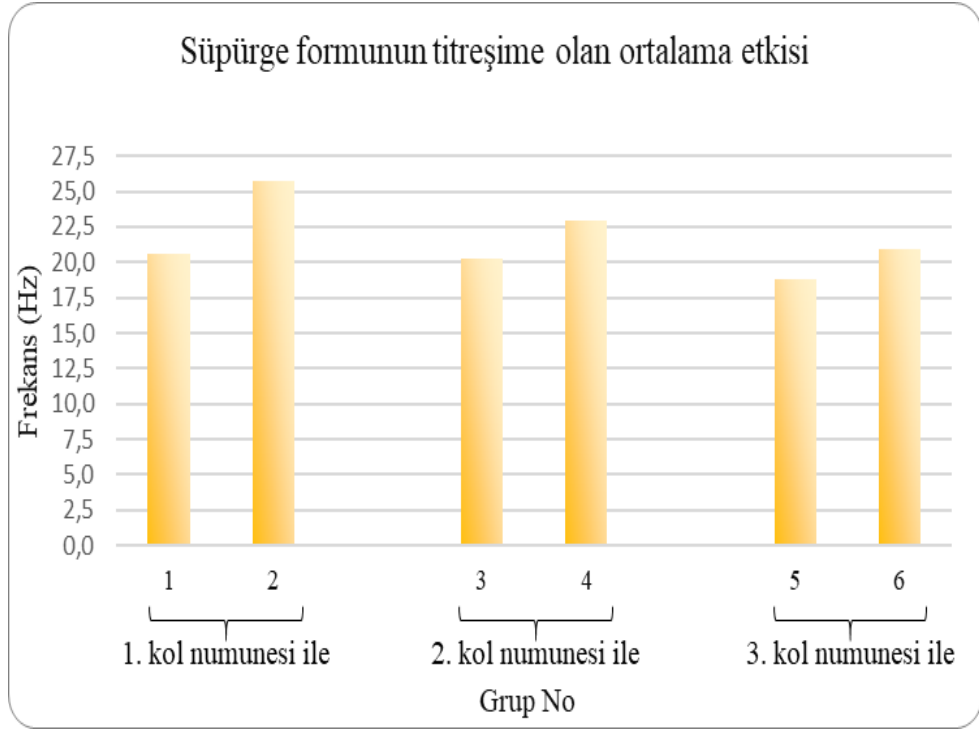
Şekil 5.29’da görüleceği üzere silecek sistemi kuru ortamda çalışırken, hızlı modda 20,26 Hz frekans, yavaş çalışırken 19,17 Hz frekans üretmiştir.



Şekil 5.29. Çalışma durumunun kuru olduğu durumda a) Yavaş mod b) Hızlı mod

Süpürgelerin yük dağılımlarına göre sileceğin titreşim durumunda ise, süpürge minimum formda, yani yükü maksimum forma göre daha homojen dağıtması

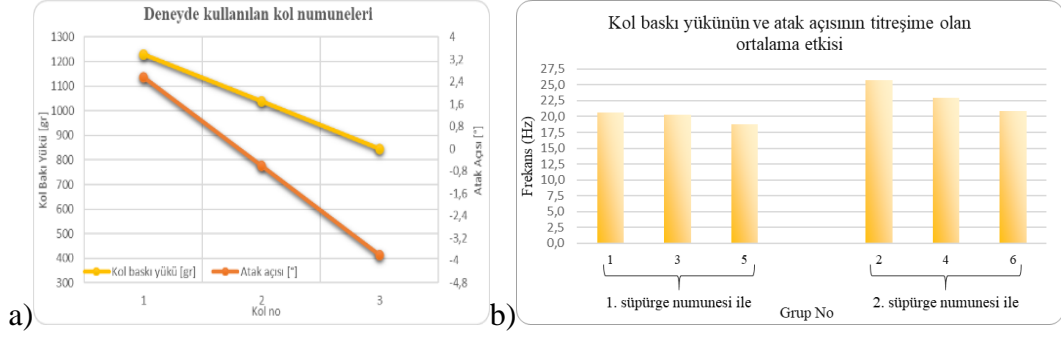
durumunda titreşim miktarı artmıştır. Şekil 5.30’da tüm deney grupları için yapılan deneylerin hızlı, yavaş mod ve ıslak, kuru çalışma ortalamaları göz önüne alınarak gösterilmiştir. Bu grafikte Grup 1- Grup 2’de 1. Numune kol, Grup 3- 4’te 2. Numune kol ve Grup 5 – 6’da ise 3. Numune kol kullanılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, kol baskı yükü ve atak açısının değişmesi durumunda bile, minimum forma sahip süpürgein daha fazla titreşim ürettiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla süpürge tasarımında göz önüne alınması gereken bir parametre de ortaya çıkarılmıştır.



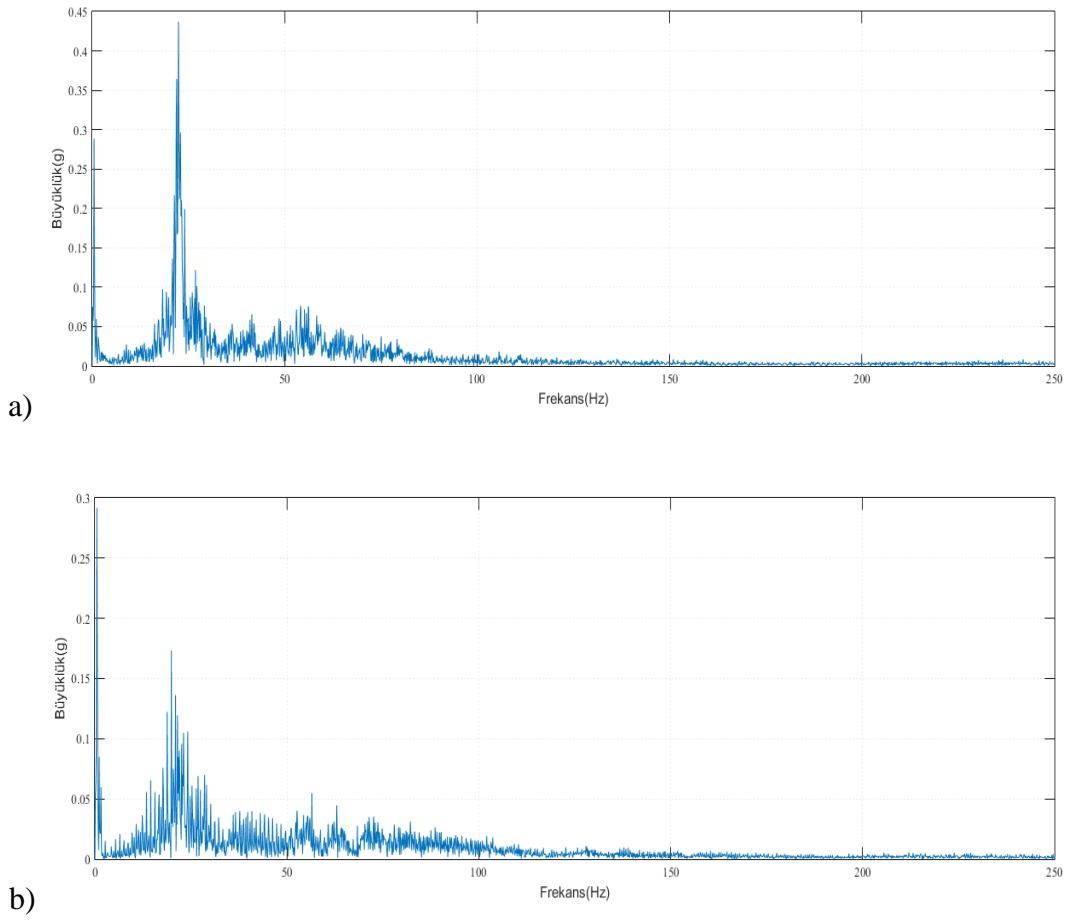
Şekil 5.30. Süpürge formunun titreşime olan ortalama etkisi

Kol baskı yükünün ve atak açısının ise, silme kalitesin de olduğu gibi titreşime olan etkisi tartışmalıdır. Şekil 5.31’de görüleceği üzere, kol baskı yükü ve atak açısının özelliklerinin nominal seviyesinden minimuma değerlere doğru yönelmesi titreşim bakımında pozitif katkı sağlamaktadır. Bu değerlerin nominal seviyesinden maksimum değerlere doğru yönelmesinde ise bu etkinin tam zıt şekli gözlenmiştir.

1. Numune ile yapılan süpürgede, kolun özelliklerinin maksimum olduğu zaman 20,575 Hz titreşim olduğu tespit edilmiş ve minimum olduğu zaman ise 18,77 Hz frekans ile titreşim ürettiği gözlemlenmiştir (Şekil 5.32). Titreşim bakımından daha kötü koşul olan 2. Numune süpürgede ise; maksimum kolda 25,7875 Hz titreşim meydana gelmiştir ve minimum kolda ise 20,905 Hz frekans tespit edilmiştir.



Şekil 5.31. Farklı tip parametrelere sahip kol numunelerinin titreşime etkisi a) Silecek kolun özellikleri b) Ortalama frekans değerleri



Şekil 5.32. Silecek kolu parametrelerinin titreşime olan etkisi a)1. Silecek kolunun FFT sonucu b) 3. Silecek kolunun FFT sonucu

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Silecek sisteminde kol ve süpürgenin karakteristik özellikleri tanımlanmış, titreşim ve gürültü konusuna deneysel olarak yaklaşmıştır. Kullandığımız silecek sisteminin yaklaşık olarak 21 Hz frekansta çalıştığı ki tırlama gürültü sınıfında değerlendirilebiliriz.

Silecek sisteminin hızlı ve yavaş çalışması ve yağmurlu havaları simüle etmesi için ıslak durumda ve kuru durumda çalışma durumuna göre incelenmiştir. Cam üzerindeki su filminin silecek süpürgesinin cama olan temasını rahatsız etmesinden dolayı titreşim ve gürültüye sebebiyet vermiştir. Yağmurlu havanın yani silecek sisteminin cam ıslakken çalışması durumunda 19,9 Hz frekansta çalışması tırlama gürültüsü oluşturduğu tespit edilmiştir. Aynı koşullar altında, silecek sisteminin cam kuru iken çalışması durumunda ise 17,82 Hz frekansla titreştiği görülmüştür.

Günümüzde binek araçlarda kullanılan silecek motoruna ise 10 Volt ve 15 Volt altında çalıştırdığımızda ise, sileceğin ürettiği titreşim ve gürültü oranı değişmiştir. Yavaş modda çalışan silecek sistemi 21,85 Hz frekans oluştururken, silecek sisteminin çalışma hızını arttırdığımızda ise bu değer 19,90 Hz düşürülmüştür.

Araç cam tipine göre ayarlanan süpürge formları ise, silecek sisteminin titreşim karakteristiğine doğrudan etkilemektedir. Yükün silecek boyunca dağılması durumunda tercih edilen süpürgede titreşim miktarının artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada kol baskı yükü ve atak açıları parametreleri birlikte incelenmiş olup, üreticiden alınan nominal verileri eksi ve artı yönünde dışına çıkmıştır. Maksimum yönde kol baskı yükü ve atak açısının değerlerini daha yüksek titreşime yol açtığı tespit edildi.

Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında, bir silecek sisteminin ana fonksiyonları bu sistemi nasıl etkilediği ve hangi durumlarda iyileştirmelerin olduğu deneysel olarak gösterilmiştir. Böylelikle daha kaliteli, sessiz ve uzun ömürlü silecek sistemi için hangi

durumlara dikkat edilmesi gerektiği bu çalışmada gösterilmiştir. Bu parametrelerin doğru bir şekilde yorumlanması, tasarlanması silecek sisteminin kalitesinde, konforunda artışa katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

Ajay H., What Is Modal Analysis and Why Is It Necessary, Simscale, <https://www.simscale.com/blog/2016/12/what-is-modal-analysis/>, (Ziyaret Tarihi: 25 Aralık 2020).

Anderson M., Window Clenaer, 1903, U. S. Patent No. 609787A., *U.S. Patent and Trademark Office*.

Anderson R., Motor Operated Windshield Cleaner, 1903, U. S. Patent No. 1588399A., *U.S. Patent and Trademark Office*.

Bellis M., Biography of Mary Anderson, Inventor of the Windshield Wiper, Thoughtco, <https://www.thoughtco.com/mary-anderson-inventor-of-the-windshield-wiper-1992654/>, (Ziyaret Tarihi: 24 Ocak 2021).

Dashka S., Who Made That Windshield Wiper, Nytimes, <https://www.nytimes.com/2014/09/14/magazine/who-made-that-windshield-wiper.html/>, (Ziyaret Tarihi: 24 Ocak 2021).

George C., Window Clenaer, 1898, U. S. Patent No. 609787A., *U.S. Patent and Trademark Office*.

Goto S., Takahashi H., Oya T., Clarification of the mechanism of wiper blade rubber squeal noise generation, *Society of Automotive Engineers of Japan - Review*, 2001, **22**(1), 57–62.

Goto S., Takahashi H., Oya T., Investigation of Wiper Blade Squeal Noise Reduction Measures, *SAE Technical Paper 2001-01-1410*, DOI: 10.4271/2001-01-1410.

Hanly S., Vibration Analysis: FFT-PSD and Spectrogram Basics, Endaq, <https://blog.endaq.com/vibration-analysis-fft-psd-and-spectrogram>, (Ziyaret Tarihi: 25 Aralık 2020).

Idris H., Study of Windshield Wiper Noise, Yüksek Lisans Tezi, Malaysia University, Tenolofi Enstitüsü, Johor, 2007.

Okura S., Oya T., Complete 3D Dynamic Analysis of Blade Reversal Behavior in a Windshield Wiper System, *SAE Technical Paper 2003-01-1373*, DOI: 10.4271/2003-01-1373.

Okura S., Sekiguchi T., Oya, T., Dynamic Analysis of Blade Reversal Behavior in a Windshield Wiper System, *SAE Technical Paper 2000-01-0127*, DOI: 10.4271/2000-01-0127.

Sanon A., Rehfeld M., Jourdain S., Boure P., Wiper Blades and Windshield Influences on Wiping Aerodynamic Noises, *Internoise02 Congress*, Dearborn, Amerika, 19-21 Ağustos 2002.

Suzuki A., Yasuda K., Analysis of Chatter Vibration in an Automotive Wiper Assembly, *JSME Int*, 1998, **41**(3), 616–620.

URL-1: <https://simutek.com.tr/ansys/>, (Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2020).

URL-2: <https://www.ansys.com/products/meshing>, (Ziyaret Tarihi: 18 Aralık 2020).

URL-3: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino/all>, (Ziyaret Tarihi: 05 Ocak 2021).

URL-4: <https://www.informit.com/articles/article.aspx?p=662895&seqNum=3>, (Ziyaret Tarihi: 06 Ocak 2021).

EKLER

Ek-A

```
#include <Wire.h>#include <SPI.h>
#include <Servo.h>
#include "LabVIEWInterface.h"

const int xpin = A3;
const int ypin = A2;
const int zpin = A1;
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    // syncLV();
}
void loop()
{
    checkForCommand();
    Serial.print(analogRead(xpin));
    Serial.print("\t");

    Serial.print(analogRead(ypin));
    Serial.print("\t");

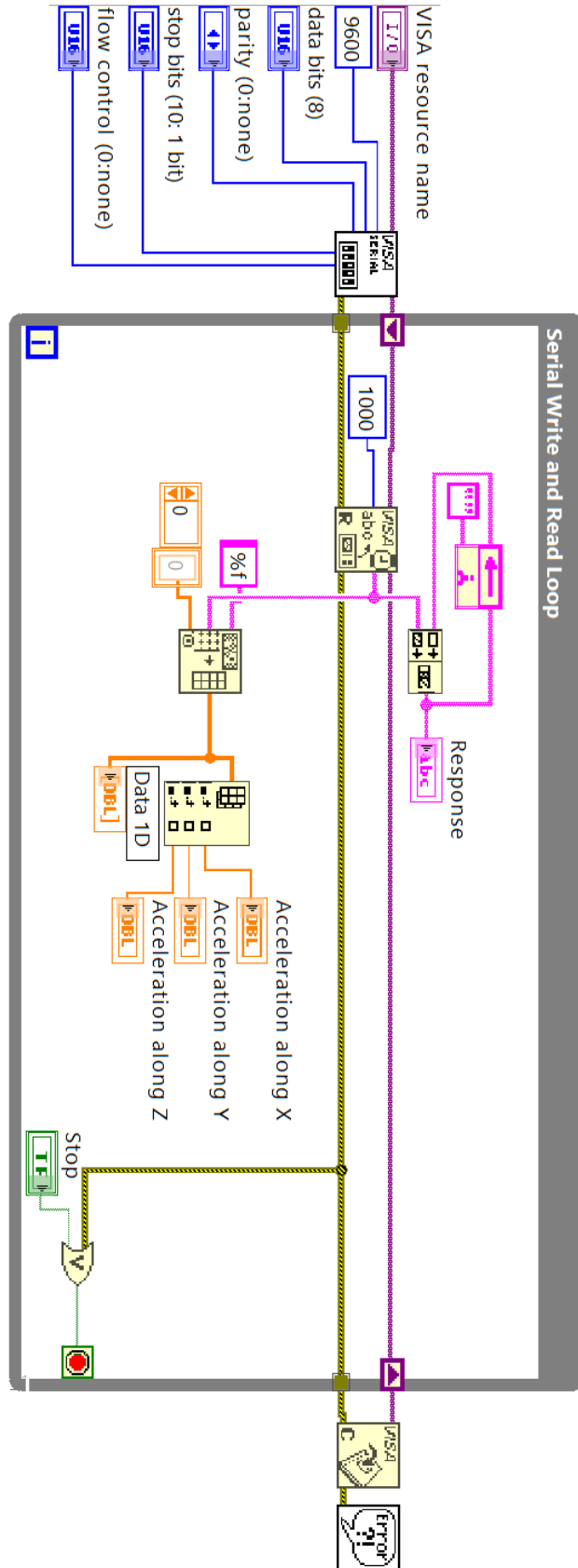
    Serial.print(analogRead(zpin));
    Serial.println();

    delay(100);

    if (acqMode == 1)
    {
        sampleContinuously();
    }
}
```

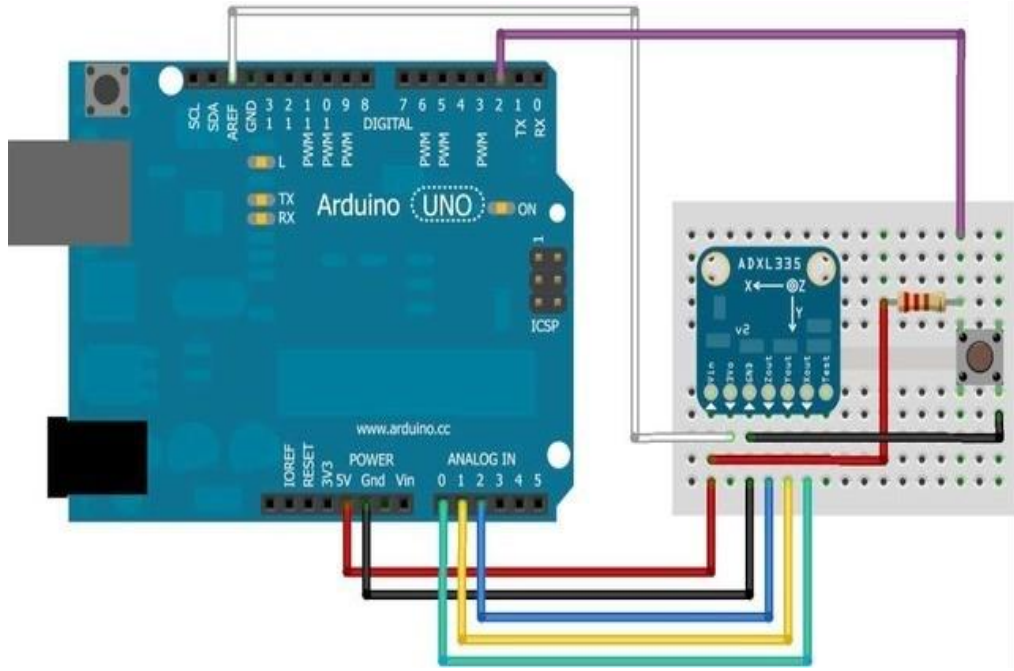
Şekil A.1. Arduino yazılımındaki kod ekranı

Ek-B



Şekil B.1. LabView programındaki devre ekranı

Ek-C



Şekil C.1. Arduino ve ADXL335 sensörünün bağlantı şeması

EK-D

```
const int xInput = A0;
const int yInput = A1;
const int zInput = A2;
const int buttonPin = 2;

int xRawMin = 512;
int xRawMax = 512;

int yRawMin = 512;
int yRawMax = 512;

int zRawMin = 512;
int zRawMax = 512;

const int sampleSize = 10;

void setup()
{
  analogReference(EXTERNAL);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  int xRaw = ReadAxis(xInput);
  int yRaw = ReadAxis(yInput);
  int zRaw = ReadAxis(zInput);

  if (digitalRead(buttonPin) == LOW)
  {
    AutoCalibrate(xRaw, yRaw, zRaw);
  }
  else
  {
    Serial.print("Raw Ranges: X: ");
    Serial.print(xRawMin);
    Serial.print("-");
    Serial.print(xRawMax);

    Serial.print(", Y: ");
    Serial.print(yRawMin);
    Serial.print("-");
    Serial.print(yRawMax);

    Serial.print(", Z: ");
    Serial.print(zRawMin);
```

Şekil D.1. ADXL335 sensörü kalibrasyon kodunun birinci bloğu

```

Serial.println();
Serial.print(xRaw);
Serial.print(", ");
Serial.print(yRaw);
Serial.print(", ");
Serial.print(zRaw);

long xScaled = map(xRaw, xRawMin, xRawMax, -1000, 1000);
long yScaled = map(yRaw, yRawMin, yRawMax, -1000, 1000);
long zScaled = map(zRaw, zRawMin, zRawMax, -1000, 1000);

float xAccel = xScaled / 1000.0;
float yAccel = yScaled / 1000.0;
float zAccel = zScaled / 1000.0;

Serial.print(" :: ");
Serial.print(xAccel);
Serial.print("G, ");
Serial.print(yAccel);
Serial.print("G, ");
Serial.print(zAccel);
Serial.println("G");

delay(500);
}
}

int ReadAxis(int axisPin)
{
    long reading = 0;
    analogRead(axisPin);
    delay(1);
    for (int i = 0; i < sampleSize; i++)
    {
        reading += analogRead(axisPin);
    }
    return reading / sampleSize;
}

void AutoCalibrate(int xRaw, int yRaw, int zRaw)
{
    Serial.println("Calibrate");
    if (xRaw < xRawMin)
    {
        xRawMin = xRaw;
    }
}

```

Şekil D.2. ADXL335 sensörü kalibrasyon kodunun birinci bloğu

```
if (xRaw > xRawMax)
{
    xRawMax = xRaw;
}

if (yRaw < yRawMin)
{
    yRawMin = yRaw;
}
if (yRaw > yRawMax)
{
    yRawMax = yRaw;
}

if (zRaw < zRawMin)
{
    zRawMin = zRaw;
}
if (zRaw > zRawMax)
{
    zRawMax = zRaw;
}
}
```

Şekil D.3. ADXL335 sensörü kalibrasyon kodunun üçüncü bloğu

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Altın U., Yılmaz T., Otomotivde Kullanılan Silecek Sisteminin Titreşim ve Gürültü Analizi, *5.Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 24-25 Nisan 2021.

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2013 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2018 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 2018 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır.