T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE DOSTU PLASTİK GERİ DÖNÜŞÜM MAKİNASI İÇİN YENİ ELEK SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Mehmet YUNUSOĞLU

DANIŞMAN
Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

Nisan, 2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet YUNUSOĞLU tarafından, **Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU** danışmanlığında hazırlanan **"ÇEVRE DOSTU PLASTİK GERİ DÖNÜŞÜM MAKİNASI İÇİN YENİ ELEK SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **25/04/2023** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Makine Mühendisliği Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Ömür Can ÖZGÜNEY İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Makine Mühendisliği Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Şakir ALTINSOY İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Mehmet YUNUSOĞLU

(İmza)

Hocam Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU'na ve Aileme ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

ÇEVRE DOSTU PLASTİK GERİ DÖNÜŞÜM MAKİNASI İÇİN YENİ ELEK SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın hazırlanmasında, başından sonuna kadar değerli bilgi, tecrübe ve fikirlerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam kıymetli zamanını ayırıp benden yardımlarını esirgemeyen çok değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU'na en içten minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca mekanik ürün tasarımları, analizleri ve araştırmalarında bana yol gösteren, benden yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen çok değerli mekanik tasarım ekibi çalışma arkadaşlarıma da çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım esnasında her türlü destek, sabır ve teşvikleri ile yanımda duran aileme sonsuz minnetlerimi sunuyorum. Ayrıca beni sabırla destekleyen ve bu günlerimi benimle paylaşan değerli nişanlım Aysun'a sevgilerimi sunuyorum.

Nisan 2023 Mehmet YUNUSOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
BEYAN ..... **iii**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
TABLO LİSTESİ ..... **xi**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xii**
ÖZET ..... **xiii**
ABSTRACT ..... **xiv**
1. GİRİŞ **1**
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **4**
2.1. ELEK SİSTEMLERİ VE ALT PARÇALARI 4
2.1.1. Eleme Haznesi 4
2.1.2. Yay 6
2.1.3. Elektrik Motoru 6
2.1.4. Kayış-Kasnak Mekanizması 7
2.1.5. Rulman Yataklama Sistemi 7
2.1.6. Vidalar ve Cıvatalar 8
2.1.7. Elek Mekanik Destek Gövdesi 10
2.2. LİTERATÜR 10
3. YÖNTEM **15**
3.1. ELEK SİSTEMİ DETAY TASARIMI VE ÜRÜN SEÇİMLERİ 15
3.1.1. Motor İletim ve Kam Mili 16
3.1.2. Motor 16
3.1.3. Eleme Haznesi 17
3.1.4. Sarkaç Sistemi 18
3.1.5. Eleme Haznesi Mekanik Hareket İletim Kolu 18

3.1.6. Helezon Yay ve Mekanik Destek Parçası 19
3.1.7. Rulman Yataklama Sistemi 19
3.1.8. Kayış – Kasnak 20
3.1.9. Mekanik Destek Gövdesi 21
3.1.10. Titreşim Sönümleyici Kauçuk Ayak 22
3.1.11. Vidalar ve Cıvatalar 22
3.2. ELEK SİSTEMİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ 23
4. BULGULAR 25
4.1. HELEZON YAY VE MEKANİK DESTEK PARÇASI ANALİZİ 25
4.2. MOTOR İLETİM VE KAM MİLİ ANALİZİ 29
4.3. MEKANİK DESTEK GÖVDESİ ANALİZİ 32
4.4. ELEK SİSTEMİ TİTREŞİM ANALİZİ 36
4.5. PROTOTİP MALİYET ANALİZİ 38
5. TARTIŞMA 39
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 40
KAYNAKLAR 43
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 45
ETİK KURUL İZİN YAZISI 46
KURUM İZNİ YAZILARI 47
ÖZGEÇMİŞ 48

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Atık PET şişeler. 1

Şekil 1.2: Türkiye'de plastik tüketiminin yıllara göre değişimi [1]. 2

Şekil 2.1: Genel elek sistemi görünüşü ve bileşenleri [2]. 4

Şekil 3.1: Tasarımı gerçekleştirilen elek sistemi. 15

Şekil 3.2: Tasarımı gerçekleştirilen elek sistemi montajı. 15

Şekil 3.3: Motor iletim ve kam mili. 16

Şekil 3.4: Motor. 16

Şekil 3.5: Eleme haznesi. 17

Şekil 3.6: Sarkaç sistemi. 18

Şekil 3.7: Eleme haznesi mekanik hareket iletim kolu. 18

Şekil 3.8: Helozon yay ve mekanik destek parçası. 19

Şekil 3.9: Rulman yataklama sistemi. 20

Şekil 3.10: Kayış-kasnak. 20

Şekil 3.11: Mekanik destek gövdesi. 21

Şekil 3.12: Titreşim sönümleyici kauçuk ayak. 22

Şekil 3.13: Elek serbest ilk konum. 23

Şekil 3.14: Elek kam kurs boyu değeri kadar ileri konum. 23

Şekil 3.15: Elek sistemi kam milinin tam bir tur adımları. 24

Şekil 4.1: Helozon yay ve mekanik destek parçası üzerindeki kuvvetler. 25

Şekil 4.2: Mekanik destek parçası gerilme ve yer değiştirme analizi. 27

Şekil 4.3: Mekanik destek parçası güvenlik faktörü analizi. 27

Şekil 4.4: Mekanik destek parçası topology analizi. 28

Şekil 4.5: Mekanik destek parçası topology analizi sonucundaki nihai tasarım. 28
Şekil 4.6: Motor iletim ve kam mili üzerindeki kuvvetler. 29
Şekil 4.7: Motor iletim ve kam mili gerilme ve yer değiştirme analizi. 30
Şekil 4.8: Motor iletim ve kam mili güvenlik faktörü analizi. 30
Şekil 4.9: Motor iletim ve kam mili topology analizi. 31
Şekil 4.10: Mekanik destek gövdesi üzerindeki kuvvetler. 32
Şekil 4.11: Mekanik destek gövdesi gerilme ve yer değiştirme analizi. 33
Şekil 4.12: Mekanik destek gövdesi güvenlik faktörü analizi. 34
Şekil 4.13: Mekanik destek gövdesi topology analizi. 35
Şekil 4.14: Sarkaç topology analizi ve nihai tasarım. 35
Şekil 4.15: Motor iletim ve kam mili frekans analizi 36
Şekil 4.16: Yere sabit montajlı elek sistemi frekans analizi. 37
Şekil 4.17: Yere serbest montajlı elek sistemi frekans analizi. 38
Şekil 5.1: Sanayideki elek sistemleri ve tasarımı yapılan elek sistemi. 39

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1: Türkiye'de ambalaj atıkları ve geri kazanım [1]. 2

Tablo 3.1: Normal V kayışları ve kasnakları DIN 2215 – TS 198/1 [23]. 21

Tablo 6.1: Elek sistemi statik analiz parçaları ve sonuçlar.....41

Tablo 6.2: Elek sistemi frekans/titreşim analiz parçaları ve sonuçlar. 41

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
mm	: Milimetre
W	: Watt
N.mm	: Newton.Milimetre
Al	: Alüminyum
PS	: Pferdestarke (736 Watt)
HP	: Horsepower (746 Watt)
F	: Kuvvet
N	: Newton
N/mm	: Newton/Milimetre
N/mm^2	: Newton/Milimetre kare
MPa	: MegaPascal
Hz	: Hertz

Kısaltmalar	Açıklama
AC	: Alternating Current
AISI	: American Iron and Steel Institute
Al-6063-T1	: Alüminyum-Magnezyum Alaşımı
Al-2024-T3	: Alüminyum-Bakır Alaşımı
DC	: Direct Current
DIN	: Deutsches Institut für Normung
PET	: PolyEthylenTerephthalat
RPM	: Revolutions Per Minute
TS	: Türk Standartları
51CrV4	: Düşük alaşımlı Krom-Vanadyum yay çeliği

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE DOSTU PLASTİK GERİ DÖNÜŞÜM MAKİNASI İÇİN YENİ ELEK SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Mehmet YUNUSOĞLU

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

Danışman : Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU

Dünyamızın atık malzemeler nedeniyle gün geçtikçe yaşanması zor bir yer haline geldiği bu günlerde, başta gıda, tarım, sanayi vb. sektörlerde kullanılan plastik ambalajların, kullanımdan sonra atılmaları ekonomiklik, enerji tasarrufu ve çevre kirliliği açılarından olumsuz durumlar oluşturmaktadır. Tüm bu etkilerden yola çıkılarak, doğada geri dönüşümü uzun zaman alan PET plastik hammaddeli şişelerin geri kazanılmasında katkı sağlayabilecek bir geri dönüşüm makinesinin daha basit ve ucuz şekilde tasarımı bu çalışmanın hedefini teşkil etmektedir. Atık PET şişelerin geri dönüşümü sırasında atık malzemelerin depolama alanı kazandırılması hedefi doğrultusunda, söz konusu plastik geri dönüşüm makinası için yenilikçi yapıda kam mekanizmalı bir titreşimli elek sisteminin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımda mekanizma tasarımı ve yapısal analizler için SolidWorks Simulation Premium kullanılmıştır. Elek yer değiştirme boyu 10 mm olup, eleme haznesinin gövdeyle montajı bir sarkaç kol parçasıyla yapılmıştır. Bu sayede elek sisteminin yüksek verimliliğe sahip eliptik salınım hareketi yapması sağlanmıştır. Sisteme uygun yay ve kayış-kasnak hesaplamaları yardımıyla, makine için gerekli rulman, elektrik motoru, titreşim sönümleyici destekler, cıvata-somun, pul, yaylı pul ve vida seçimi gerçekleştirilmiştir. Sistemin çalışmasında kritik öneme sahip parçalar belirlenerek bunlar üzerinde statik, modal ve topology analizleri yapılmıştır. Neticede analitik ve sayısal mühendislik yaklaşımlarının kullanılması sayesinde daha basit ve ucuz yeni bir geri dönüşüm makinesinin elek sisteminin tasarımı gerçekleştirilebilmiştir.

Nisan 2023 , 61 sayfa.
Anahtar kelimeler: Plastik, Çevre, Elek, Kam, Sistem

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

DEVELOPMENT OF A NEW SIEVE SYSTEM FOR AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PLASTIC RECYCLING MACHINE

Mehmet YUNUSOĞLU

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Mechanical Engineering

Mechanical Engineering Programme

Supervisor : Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU

In these days when our world is becoming a difficult place to live due to waste materials, the disposal of plastic packaging used in sectors such as food, agriculture, industry, etc. after use creates negative situations in terms of economy, energy saving and environmental pollution. Based on all these effects, the aim of this study is to design a simpler and cheaper recycling machine that can contribute to the recovery of PET plastic raw material bottles that take a long time to recycle in nature. In line with the goal of saving landfill space for waste materials during the recycling of waste PET bottles, an innovative design of a vibrating sieve system with a cam mechanism has been realized for the plastic recycling machine in question. SolidWorks Simulation Premium was used for mechanism design and structural analysis. The sieve displacement length is 10 mm and the sieving chamber is mounted to the body with a pendulum arm part. In this way, it is ensured that the sieve system performs elliptical oscillation motion with high efficiency. With the help of spring and belt-pulley calculations suitable for the system, the necessary bearings, electric motor, vibration damping supports, bolts-nuts, washers, spring washers, and screws were selected for the machine. Static, modal and topology analyses were performed on the critical parts of the system. As a result, through the use of analytical and numerical engineering approaches, the design of the sieve system of a new simpler and cheaper recycling machine has been realized.

April 2023, 61 pages.
Keywords: Plastic, Environment, Sieve, Cam, System

1. GİRİŞ

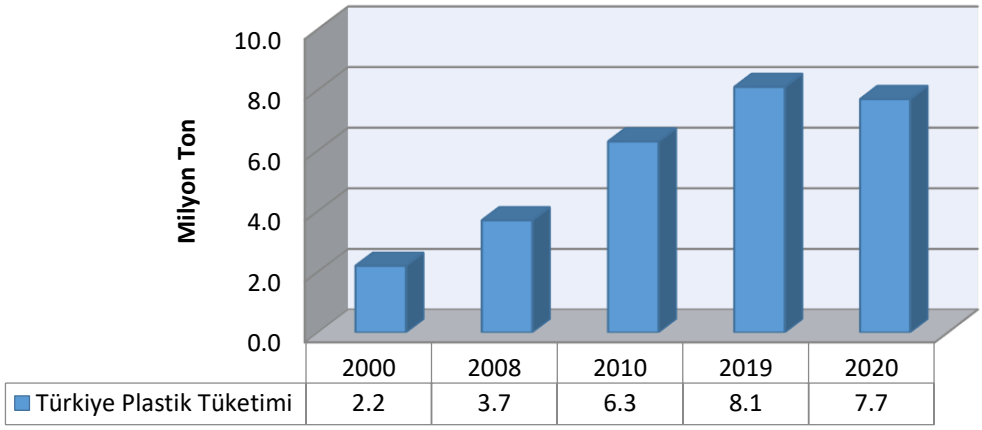
Hayatımızın her alanında yer alan çoğu eşya, alet ve ürünler artık çok daha kolay, hızlı ve maliyeti düşük olarak üretilebilmektedir. Bu da hızlı tüketimi arttırmakta ve geri dönüşümü ön plana çıkarmaktadır. Atık malzemeler, dünyamızın azalan enerji kaynaklarını daha da azaltmaya yol açmasının yanı sıra ekolojik sisteme de zarar vermektedirler. Atık malzemelerin doğada uzun sürelerde çözünmelerinden ve uzun süren geri dönüşüm süreçlerinden dolayı çevreye verdikleri zararlar ve bu arada enerji israfı da artmaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayıdır ki çevreye verdikleri yüksek zararlar ve doğal geri dönüşüm süreci uzun süren malzemelerin geri dönüşümünün önemi ve boyutu çok büyüktür. Doğal geri dönüşüm süreci çok uzun süreler alan malzemelerin geri dönüşümünü hızlandıracak çözümler bulunması gerekmektedir. Örnek çalışma olarak PET (PolyEthylenTerephthalat) şişelerin kapağını verebiliriz (Şekil 1.1). Yenisini üretmek oldukça maliyetli bir süreç oluşturuyorken geri dönüşüm yapılması ile hem malzemeden hem de enerjiden tasarruf sağlanmaktadır.



Şekil 1.1: Atık PET şişeler.

Belirtilen bu geri dönüşüm süreçlerinin başlangıcı olarak da büyük boyutlardaki atıkların küçük boyutlara indirgenmesi ve böylece depolama alanından kazanç ve geri dönüşüm sürecini hızlandırma durumu söz konusu olmaktadır. Atık malzeme miktarı arttıkça geri dönüşüm yeterli seviyede değilse çevre kirliliği de kaçınılmaz olmaktadır.

Şekil 1.2'de görüldüğü gibi düşük maliyetli hammadde ve hızlı üretim süreçlerinden dolayı plastik tüketimi de her geçen gün artmaktadır.



Şekil 1.2: Türkiye'de plastik tüketiminin yıllara göre değişimi [1].

Tablo 1.1'de de Türkiye'deki plastik ve diğer maddelerin 2020 yılı bazında pazara sunulan miktarlarını ve geri kazanım oranlarını göstermektedir.

Tablo 1.1: Türkiye'de ambalaj atıkları ve geri kazanım [1].

	Pazara Sunulan (Ton/Yıl)	**Geri Kazanılan (Ton/Yıl)**	**Geri Dönüşüm (Yüzde)**
Kağıt Karton	1.850.000	700.000	36
Plastik	**550.000**	**170.000**	**30**
Metal	150.000	50.000	30
Cam	350.000	80.000	25
TOPLAM	2.900.000	1.000.000	35

Görüldüğü gibi plastik ürünleri ile diğer ürünlerin geri dönüşüm yüzdelik oranları birbirine yakındır. Ancak geri dönüşüm sürecini zamansal olarak ve çevreye verdikleri zararlar göz önüne alındığında plastikleri daha öncelikli bir konuma getirmektedir.

Tüm bu durumlardan yola çıkılarak, çevremize verdikleri büyük zararlar göz önüne alındığında ve doğada çözünmeleri uzun yıllar alan plastik PET şişelerin hem geri dönüşüm sürecini hızlandırmak hem de bu atık malzemelerin kapladıkları alanları azaltmak amacı ile önce kesme ünitesinde bu malzemelerin küçük boyutlara getirilmesi ve küçük boyutlardaki parçacık malzemelerin boyutlandırılmasını sağlayacak bir elek makinesinin konsept tasarımı ve analizlerinin yapılması bu çalışmaya amaç teşkil etmektedir. Plastik geri dönüşüm makinesi, plastikleri parçalama ünitesi ve eleme ünitesi olarak iki kısımdan oluşmaktadır.

İki ünite tek bir yapı üzerinde bulunmaktadır, ancak bu Tez çalışmasında özellikle farklı bir eleme sistemi üzerinde detaylı bir çalışma yürütülmesi hedeflenmektedir. Tasarımı yapılacak elek makinesinde eleme işleminin gerçekleşmesi için gerekli olan sarsma hareketini sağlamak amacı ile daha önce sanayideki elek makinelerinde kullanılmayan kam mekanizması sistemi kullanılmaktadır. Ayrıca hâlihazırda pazarlanan plastik kırma ve eleme makineleri genelde sanayi ortamlarında kullanıldığı için büyük boyutlardadırlar. Bu çalışma sonucunda konsept tasarımı gerçekleştirilen makine ise daha az yer kaplaması için kompakt boyutlardadır.

En çok bilinen ve asıl kullanım yeri olan araç motorlarındaki supap hareketini sağlayan kam mekanizmasının, elek sistemine entegre edilmesi ve analizlerinin yapılması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda sanayide vibrasyonlu, zıplatmalı, kademeli vb. gibi birçok çeşit ve örnekte elek makinesi bulunmaktadır. Belirtilen bu sistemin diğerlerinden farkı, elenecek olan malzemelerin boyutsal, kütlesel, hacimsel vb. gibi özellikleri eğer göz önüne alınırsa, değişik malzemelerin, değişik yöntemlerle elenmesi gerekeceğinden, makinenin çalışma sistemi ve mekanizması çok yönlülük sağlamaktadır. Burada çok yönlülük, makinenin hem titreşimli hem de sarkaç şeklinde çalıştırılabilecek bir tasarımının sonucudur. Tasarım aşamasında sarkaçlarla gövdesine oturtulan elek mekanizması, eksantrik ünitesinin gerekli ayarının yapılmasından sonra, değişik özellikteki malzemeler için, değişik metotlarla çalışabilme özelliğine sahip olacaktır. Sistemin çalışma mekanizması kam milinin eksantrik hareketiyle belirlenmektedir.

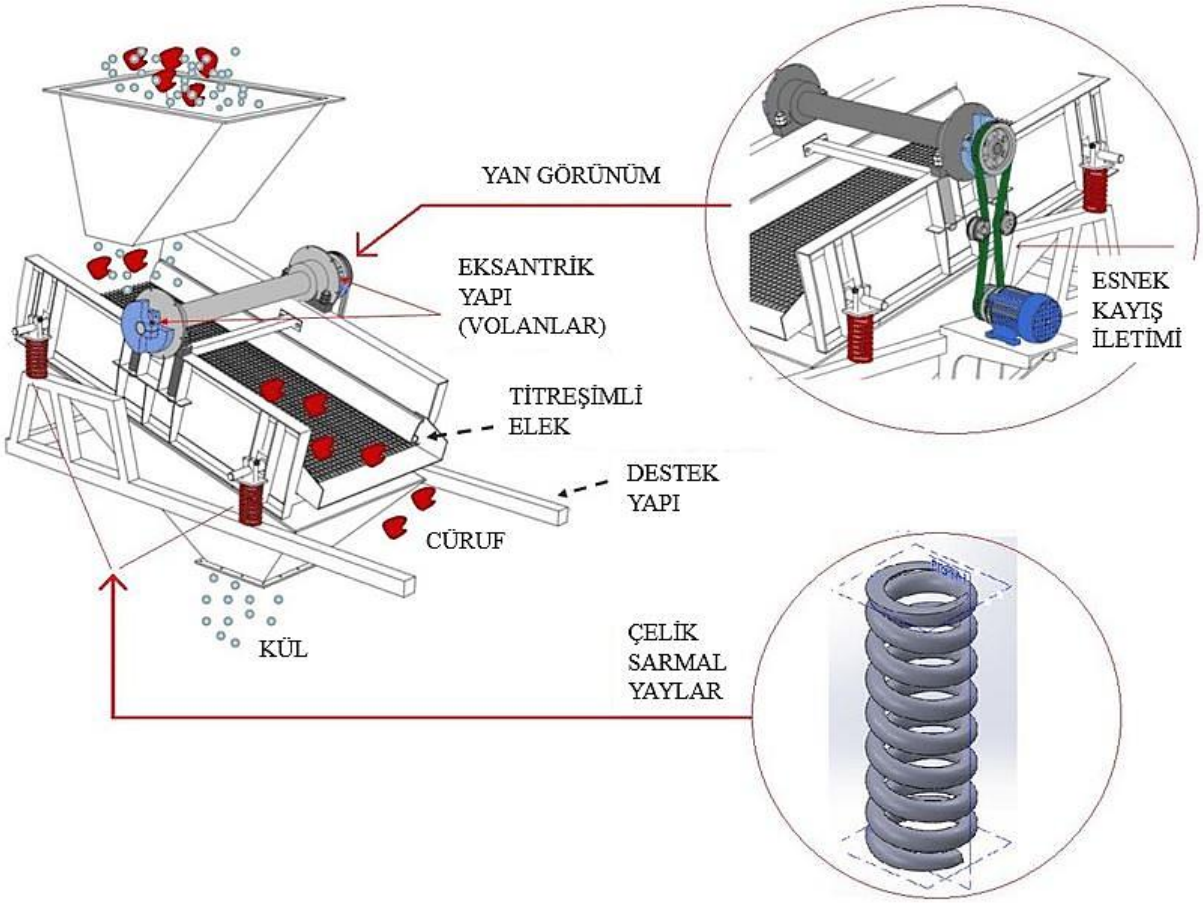
Elenecek malzemelere verimli bir eleme işleminin uygulanabilmesi için en verimli elek delik yapısının belirlenmesi ve salınım hareketi yapması gerekmektedir. Hareketi belirleyen parça da yine kam parçasıdır. Elek çok hızlı ve şiddetli bir sallanma hareketi veya çok yavaş bir hareket yapmamalıdır, bunu belirlemek için de kam parçasının geometrik yapısının ve ölçülerinin belirlenmesi için sistem tasarımına hareket ve titreşim analizleri uygulanmaktadır.

Sistem üzerinde çalıştırılacak olan kam mekanizmasının kaç devirde çalışması gerektiği, malzemesinin belirlenmesi, eleme şiddeti gibi birçok parametreyi belirlemek ve ayrıca kam mekanizması tahrikli elek makinesi üzerinde bulunan cıvata, rulman vb. makine elemanlarının seçim hesaplamalarında SolidWorks Simulation Premium mühendislik analiz programı kullanılmıştır. Tez çalışmasının sonucunda, özgün bir elek tasarımının elde edilmesi hedeflenmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. ELEK SİSTEMLERİ VE ALT PARÇALARI

Elenecek malzeme türü ve parçacık boyutuna bağlı olarak değişiklikler olmakla birlikte genel bir elek sisteminin görünüşü Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Genel elek sistemi görünüşü ve bileşenleri [2].

2.1.1. Eleme Haznesi

Farklı boyutlarda karışık halde bulunan ürünleri en az iki veya daha fazla aynı boyuta ayırma işlemi eleme/sınıflandırma olarak adlandırılmaktadır. Eleme işlemi, ayırmak istediğimiz boyuttaki malzemenin belirlenen açıklıktan geçmesini sağlamaktır. Böylece açıklıktan geçemeyen malzeme ile geçebilen malzeme birbirinden ayrıştırılmaktadır.

Elekler genel olarak 3 kategoriye ayrılmaktadır [3];

- Sabit Elekler
- Titreşimli Elekler
- Döner Elekler

Genellikle elek gövdesi, tahrik mekanizması ve elastik sistemden oluşan titreşimli elekler endüstride en çok tercih edilen elek türüdür. Titreşimli elekler de kullanım yerlerine göre kendi içerisinde gruplara ayrılmaktadır. Bunları kısaca belirtmek gerekir ise;

Kaba eleme elekleri: Elenecek malzeme boyutu 150-50 mm arasındadır. Üst katı ızgara veya aşınmaya dayanıklı sacdan yapılmış eğimli eleklerdir [3].

Standart ayırma elekleri: Elenecek malzeme boyutu 50-5 mm arasındadır. Açılı, muz ve yatay elekler bu işlem için kullanılan eleklerdir. Açılı elekler, 15°-30° arasında elek açılarına sahip sanayide en çok kullanılan elek türüdür. Açılı elekler de bütün eleklerde olduğu gibi elek gövdesi çelik veya lastik yaylar üzerinde çalışmaktadır. Bu tip eleklerin çalışma kurs boyu genellikle 8-12 mm arasında olabilmektedir. Yatay elekler ise, açılı eleklere göre daha karmaşık yapıdadır. Bu elekler ya yere paralel ya da 0°-5° arasında değişen açılarda konumlandırılmaktadırlar. Yatay eleklerin en önemli özelliği istenilen vuruntu açısında ve kurs boyutunda eliptik şeklinde bir titreşim hareketi yapabilmesidir [3].

İnce ayırma elekleri: Elenecek malzeme boyutu 5-0.3 mm arasındadır. Genellikle yüksek eğimli, düşük genlikte ve yüksek frekansta çalışan eleklerdir [3].

Ultra ince ayırma elekleri: Elenecek malzeme boyutu 0.3 mm'den küçüktür. Düşük genlikte, yüksek frekanslı ve santrifüj etkisiyle eleme yapan eleklerdir [3].

Ayrıca elek yapısı olarak da metal (sac) esaslı veya polimer esaslı eleme hazneleri kullanılmaktadır. Sanayide her ne kadar sac malzemeler hala yaygın bir şekilde kullanılsa da polimer esaslı poliüretan elek yapısının metal eleklere kıyasla birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar; uzun hizmet ömrü, tıkanmaya karşı dayanıklılık, korozyon dayanımı, ses yalıtımı ve neme karşı dayanıklılıktır.

2.1.2. Yay

Yaylar; malzeme özellikleri ve geometrik şekilleri nedeniyle dış yükleme etkisinde büyük oranda şekil değiştirebilen, potansiyel enerji biriktirerek dış etkenlerin ortadan kalkması halinde kısmen veya tamamen eski şekil ve konumlarını alabilen esnek elemanlardır [4].

Elek sistemlerinde, elastik sistem elemanı olarak helezon çelik yayı, kauçuk takoz veya kauçuk elemanlar özel bir yapıya montajlı olarak kullanılmaktadır. Helezon çelik yaylar elek sistemlerinde en çok kullanılan ve en ekonomik elastik sistem elemanlarıdır.

Helezon yay; araç amortisör sisteminin ya da daha çok kullanılan araç süspansiyon sisteminin etrafını saran ve aracın yolda stabil kalmasını sağlayan yay sistemine verilen isimdir.

Bu yay türü, elek sistemlerinde elek haznesi ile ana gövde arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Motor ve iletim elemanlarından elde edilen sarsıntı hareketini yay sistemi karşılamaktadır. Böylece eleğin titreşim hareketi yaylar üzerinde gerçekleşmektedir.

2.1.3. Elektrik Motoru

Elektrik motoru, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren aygıttır. Her elektrik motoru biri sabit (stator) ve diğeri kendi çevresinde dönen (rotor ya da endüvi) iki ana parçadan oluşmaktadır [5]. Elektrik motorları; alternatif akımla çalışan (AC) ve doğru akımla çalışan (DC) olarak temelde iki ana gruba ayrılmaktadır.

DC motorlar kendi içerisinde servo motorlar ve step motorlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Belirtilen her iki motor türünde de hız kontrolü ve hassasiyet oranları çok yüksektir.

AC motorlar ise, kendi içerisinde senkron motorlar ve asenkron motorlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Senkron motorlar, AC akımlarında hız kontrolünün önemli olduğu ve yüksek hassasiyetin gerekli olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Asenkron motorlar ise hız kontrolünün ve hassasiyetin daha az gerekli olduğu sistemlerde kullanılmaktadır. Belirtilen bu özellikler doğrultusunda; elek sistemlerinde genellikle AC akım kaynaklı, hız kontrolü ve hassasiyetin çok gerekli olmadığı asenkron elektrik motorları kullanılmaktadır.

2.1.4. Kayış-Kasnak Mekanizması

Bir milden diğer bir mile güç aktarmak için kullanılan güç aktarım elemanları kayış-kasnak mekanizmaları olarak adlandırılmaktadır. Belirtilen bu güç iletim yapıları, iki mil üzerinde bulunan kasnaklardan ve bu kasnaklara sarılan kayıştan meydana gelmektedir [6].

Kayışlar esnek bir yapıya sahiptir. Aynı zamanda güç aktarımı dışında darbe sönümleyici, hız düşürücü ve aşırı yüksek yükleri dengeleyici özellikleri bulunmaktadır. Maliyet açısından zincirler ile karşılaştırıldıklarında daha hesaplı çözümlerdir.

Kayış-kasnak mekanizmaları üç gruba ayrılmaktadır [6]:

- Düz kayış mekanizmaları
- Dişli kayış mekanizmaları
- V kayış mekanizmaları

Düz kayış mekanizmaları, düz ve ince bant şeklindeki yapıları ile silindirik kasnaklar üzerinde çalışmak üzere tasarlanmışlardır. Bu tip mekanizmalar daha çok yüksek hızlarda, büyük kuvvetlerin iletilmesinde ve eksenler arası mesafenin fazla olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Ayrıca, düşük maliyet ve esnek yapılarından dolayı diğer tip kayışlara göre daha fazla tercih edilmektedir [6].

Dişli kayış mekanizmalarında güç iletimi, kayış yüzeylerinde bulunan geometrik şekil bağı ile oluşmaktadır. Dişli kayışlar ile kasnakları arasında diş yapılarından dolayı kayma meydana gelmemektedir. Bu tip kayışlara kayış yüzeyinde bulunan dişlerden dolayı elastik malzemeden yapılmış zincir mekanizmaları da demek mümkündür [6].

V kayış mekanizmaları, çok geniş güç iletim aralıklarında kullanılmaktadır. Sanayide en sık kullanılan türdür. Bu kayışlar, üzerine iki veya daha çok V yivi açılmış kasnaklar üzerine sarılarak kullanılmaktadır. V kayış ve kasnaklar arasında sürtünme bağı hem normal yüzey hem de kayışın yan yüzeyinde oluşmaktadır. Böylece yüksek güç iletimi sağlanmaktadır [6].

2.1.5. Rulman Yataklama Sistemi

Bir tarafı sabit diğer tarafı dönen iki makine parçası arasında kuvvet iletimi rulmanlar ile sağlanmaktadır. Bu doğrultuda iki makine parçasına bilezik yapısı oturacak şekilde montajı yapılmakta ve yuvarlanma elemanları bu bilezikler üzerinde yuvarlanma hareketini oluşturmaktadır. Rulmanlar, yuvarlanma elemanlarının geometrik yapısına göre; bilyalı, silindirik, makaralı ve konik makaralı gibi sınıflara ayrılmaktadır. Ayrıca rulmanlar ilettikleri kuvvetin yönüne göre de radyal ve eksenel yataklı olarak da iki grupta incelenmektedir [7].

Sanayide en çok bulunan ve tercih edilen rulmanlar şöyledir [8];

Radyal bilyalı rulmanlar; 6000, 6200, 6300 ve 6400 gibi standart seri veya istenilen özel ölçülerde bulunan, parçalarına ayrılamayan rulmanlardır. Bu rulmanların, her iki tarafından bilyalara temas etmeyen kapakları bulunmaktadır ve bu nedenle bakım gerektirmemektedir. En yüksek devir ve en az sürtünmeyi oluşturan rulman türüdür. Ayrıca sanayide en çok tercih edilen ve en yaygın bulunan rulmanlardır. Elek sistemlerindeki yataklama ve kuvvet iletim ihtiyaçlarında da en çok sabit bilyalı radyal rulmanlar tercih edilmektedir. Sabit bilyalı radyal rulmanların Z, ZZ, E, EE ile simgelenen sızdırmazlık elemanları bulunmaktadır. N ile simgelenen dış bileziği yivli ve NR ile simgelenen bileziği yivli ve segmanlı tipleri mevcuttur.

Eksenel bilyalı rulmanlar; her iki yönden gelen kuvvetlerde kullanılan ve parçalarına ayrılabilen rulmanlardır. Ayrıca büyük eksenel yüklerin taşınmasına imkân sağlamaktadırlar.

Silindirik makaralı rulmanlar; çok yüksek radyal yük taşıma kapasitesine sahip rulmanlardır. Ayrıca çok yüksek hızlarda tercih edilmektedirler.

Konik makaralı rulmanlar; yüksek radyal yük taşıma kapasitesine sahip rulmanlardır. Ayrıca tek yönlü eksenel yük durumlarında kullanılma imkânları bulunmaktadır.

2.1.6. Vidalar ve Cıvatalar

Silindirik yapıdaki herhangi bir elemanın dış yüzeyine veya herhangi bir deliğin iç yüzeyine açılan helis şeklinde dişlerden oluşan yapı vida olarak adlandırılmaktadır [9]. Vidalar kullanım alanlarına göre 5 ana gruba ayrılmaktadır [10];

- Üçgen vidalar
- Trapez vidalar
- Kare vidalar
- Testere vidalar
- Yuvarlak vidalar

Üçgen vidaların diş profili üçgen şeklindedir. Ayrıca üçgen vidaların helis adımı küçük, diş açısı ise büyüktür. Belirtilen bu özelliklerden dolayı da üçgen vidaları sıkma görevini iyi bir şekilde yapmaktadır. Bu nedenle üçgen vidalar, bağlama vidası olarak da adlandırılmaktadır [10].

Trapez vidalar, diş profili 30° açılı olan ve eş kenarlı trapez şeklindeki vidalardır. Bu vidalar hareket vidası olarak takım tezgâhlarının ana milleri üzerinde ve buna benzer alanlarda kullanılmaktadır [10].

Kare vidalar, diş profili kare şeklinde olan vidalardır. Bu vidalar da hareket vidası olarak daha çok takım tezgâhlarının ana millerinde, pres makinelerinde ve bunlara benzer alanlarda kuvvet iletimi amacı ile kullanılmaktadır [10].

Testere vidalar, diş profili 30° açılı olan ve tek yönlü kullanılan eğik yapıdaki vidalardır. Bu vidalar da hareket vidası olarak kullanılmaktadır ancak tek yönlü kuvvetleri taşımaktadırlar. Daha çok vinç, kriko ve benzeri kullanım alanları bulunmaktadır [10].

Yuvarlak vidalar, diş profil bakımından yine 30° açılı olan vidalardır. Ancak yuvarlak oldukları için vidalardan farklı olarak da gruplandırılabilmektedir. Vida profilinin yuvarlak olması, tozlu, kumlu ve nemli yerlerde daha çok kullanılabilmesini sağlamaktadır [10].

Cıvatalar, parçaları sökülebilir şekilde montajlanmasına imkân sağlayan, gövdesine vida dişi açılmış ve farklı baş yapıları bulunan bağlantı elemanlarıdır. Cıvatalı montajlarda ayrıca somun kullanılmaktadır ve sıkma momenti genellikle somuna uygulanmaktadır. Bu nedenle de cıvataların sıkılması için daha çok somun anahtarı kullanılmakta ve böylece vidalara göre daha kuvvetli sıkma oluşmaktadır. Vidalarda genellikle vidalama gövde üzerine yapılmaktadır ancak cıvatalarda ise somun ile sıkma yapılmaktadır. Ayrıca vidalarda sıkma momenti genellikle vida başına uygulanmaktadır, cıvatalarda ise somuna uygulanmaktadır [11]. Cıvatalar baş biçimlerine göre 5 gruba ayrılmaktadır [12];

- Altı Köşe Başlı Cıvatalar
- Allen Cıvatalar
- Havşa Başlı Cıvatalar
- Tornavida Ağızlı Cıvatalar
- Yıldız Tornavida Ağızlı Cıvatalar

Belirtilen cıvatalarda diş kısımları genel olarak aynı yapıdadır. Ancak cıvataların kullanım alanları, tasarım çözümleri ve mekanik ihtiyaçlar vb. durumlara göre baş biçimleri değişmektedir. Bu doğrultuda tasarımlara uygun cıvata türü seçilmektedir. Elek sistemlerinde hem vida çeşitlerinden hem de cıvata çeşitlerinden yüksek oranda kullanılmaktadır.

Daha yüksek sıkma kuvvetinin gerekli olduğu yerlerde cıvatalar kullanılmaktadır. Somun kullanımının zor olduğu alanlarda ve montajlar da vidalardan yararlanılmaktadır.

2.1.7. Elek Mekanik Destek Gövdesi

Eleklerde tüm sistemi ayakta tutan ve gerekli mekanik desteği sağlayan yapıya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yapılar genellikle profil borulardan (kare/dikdörtgen profiller) oluşan yapılardır. Tasarıma uygun ayrı ayrı üretimi gerçekleştirilen parçaların kaynak yöntemi veya vidalama işlemi ile birleştirilmesi ve bir bütün yapı haline getirilmesi sağlanmaktadır. Yapılan elek tasarımlarından sonra sisteme uygulanan analiz çalışmaları sonucunda profillerin ölçüleri belirlenmektedir ve daha sonrasında üretimleri sağlanarak montajları yapılmaktadır.

2.2. LİTERATÜR

Literatürde yapılan araştırmalar neticesinde eleme makinaları ve sistemleri ile ilgili çeşitli yapılar ve çözümler karşımıza çıkmaktadır.

Bunlardan biri olan ve "Türk Patent Enstitüsü" tarafından patent verilen, "MatMetal Çelik, Çelik Mamülleri, Makina San. Ve Tic. A.Ş." adına Gülçağ ve Demirbaş' a [13] ait olan "Vibrasyonlu Elek Makinesi" isimli makinenin çalışması şöyledir;

Buluş yapılan vibrasyonlu elek makinesi, öncelikli olarak plastik hammaddeli granül üretimi sağlayan üreticilere yöneliktir. Makine, farklı boyutlara sahip karışık ürünlerin, belirli standart büyüklükler olacak şekilde ayırmakta kullanılmaktadır. Ayrıca elek makinesi, farklı çaplara sahip eleklerden meydana gelmektedir. Vibrasyon motorunun eleme haznesine oluşturduğu titreşim hareketi sonucunda ürünler üç ayrı büyüklüğe ayrılmaktadır. En üstte buluna elekten geçemeyen parçalar kaba mal çıkış ağızından, en üstteki elekten geçip ikinci kademedeki elekten geçemeyen ürünler orta seviye mal çıkış ağızından ve tüm eleklerden geçen toz şeklindeki ürünler en ince seviye mal çıkış ağızından dökülmektedir. Yapılan buluş ve işlemle, tek bir makine ile farklı deliklere sahip birden fazla elek kullanılarak ve değiştirilebilir elekler kullanılarak verimli bir eleme işleminin elde edilmektedir. Bu sayede de ekonomiye katkı sağlanması amaçlanmaktadır [13].

"Akyürek Kardeşler Tarım Ürünleri Makinaları Taşımacılık ve Madencilik San. Tic. Ltd. Şti." firmasından Akyürek'e [14] ait olan Türk Patent Enstitüsü'nden patentli elek makinesi, "Tek Tekneli Ürün Eleme Makinesi" dir.

Eleme makinesi, tüm sistemlerini bir arada montajlanmasını sağlayan ve sistemin düz bir zeminde dengede çalışmasını sağlayan ana mekanik gövde, eleme haznesinin montajı için elek askıları, eleme işlemi için gerekli olan hareketi oluşturan eksantrik yapısı ve eksantrik ünitesi ile salınım hareketi yapan tek tekneli ürün eleme haznesinden oluşmaktadır. Eleme işlemi için makineye gelen ürünler, eleme teknesine dökülerek eleme ve boylama işlemi gerçekleştirilmektedir. Eleme işlemi sırasında elenen malzemelerin elek deliklerine sıkışmaması için elek temizleme fırçaları kullanılmaktadır. Bu fırçaların hareketi için de pnömatik pistonlar kullanılmaktadır. Ayrıca belirtilen bu delik temizleme fırçalarının ileri-geri hareketini oluşturan ve eleğin altında çalışan bir kızak ünitesi bulunmaktadır [14].

Yine "Türk Patent Enstitüsü" tarafından faydalı model korumasında bulunan ve Çakırer'in [15] yapmış olduğu "Plastik Öğütme Makinası Elek Sistemi", genel bir elek sistemi olarak değil, sadece elek yapısı ile ilgilidir ve plastik öğütme makinelerinde kullanılmaktadır.

Buluş, silindir şeklinde eleme haznesinde oluşmaktadır. Elek gövde yapısında, malzeme olarak en düşük st37 özelliğinde malzeme ve en az 5 mm kalınlıkta sac kullanılmaktadır. Elek yapısında kullanılan sac öncelikle silindir şekline getirilmektedir. Daha sonra sacın yaklaşık olarak 1/5'lik kısmı kesilmektedir. Kesilen kısma 3x3 ölçülerinde delikli sac monte edilerek öğütülen ürünlerin bu kısımdan çıkışı sağlanmaktadır. Elek iç yüzeyinde delik olmayan kısımlarda elenen malzemelere aşındırma etkisi oluşturmak adına çelik elektrotlar ile punto oluşturularak kabartılmış yüzey elde edilmektedir. Bu şekilde eleme işlemi sırasında elek iç yüzeyinde zımpara etkisi oluşturulmakta ve elenen ürün karşı kuvvet etkisinde kalmaktadır. Belirtilen bu elek yapısı ile eleme işlemi sırasında yüksek verim elde edilmesi amaçlanmaktadır [15].

Bir diğer çalışma "Türk Patent Enstitüsü" tarafından faydalı model olan "Molimak Mıhcıoğlu Makine San. Ve Tic. A.Ş." adına Mıhcıoğlu'nun [16] yapmış olduğu "Dairesel Salınımlı Elek" makinasının çalışma sistemi şöyledir;

Tasarımı yapılan makine ile karışık halde bulunan materyallerin elek sisteminden geçirilerek belirli boyut standartlarına göre ayrıştırılması sağlamaktadır. Ürünler makinaya üstten girmektedir ve farklı delik boyutlarına sahip eleklerden elenmektedir. Birbirinden ayrılan farklı büyüklükteki ürünler farklı mal çıkış ağızlarından dökülmektedir. Böylece tek makine ile farklı tane büyüklüklerinin elenmesi gerçekleştirilmektedir.

Elek sisteminde, eleme hareketi eksantrik mil ve motordan alınan dönme hareketinin iletimi için kayış-kasnak sistemi ile oluşturulmaktadır. Ayrıca elek makinasına yerleştirilmiş ve şanzımana bağlı olarak çalıştırılan fırçalar ve plastik toplar kullanılarak eleme işlemi sırasında elek deliklerinin tıkanması engellenmektedir [16].

Diğer bir makina, "Soytaş Elektrikli Ev Aletleri San. ve Tic. Ltd. Şti." den Taşpınar'ın [17] yaptığı "Çok Amaçlı Öğütme, Eleme Makinesi" dir.

Makinenin çalışma yapısı sanayideki diğer öğütme ve eleme makinelerinden oldukça farklı bir yapıdadır. Makine içine atılan ürünler dönen bıçaklar ile parçalandıktan sonra merkezkaç sistemi ve paletler yardımı ile eleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu doğrultuda buluş yapılan makine daha çok domates, salçalık biber ve üzüm gibi ürünlerin mamul haline getirilmesinde ve ayrıştırılmasında kullanılmaktadır. Ön bıçakların hem parçalama hem de parçalanan ürünleri yönlendirme özellikleri bulunmaktadır. Paletlere yönlendirilen ürünler, paletlerin özel açıları ve kavisleri ile ileriye doğru gönderilmektedir. Tüm bu adımların sonucunda eleme işlemi gerçekleştirilerek posa ve çekirdekler çıkış ağızından dökülmektedir. Belirtilen dairesel yapıdaki elek sistemi aynı anda parçalama işlemini de yapmaktadır [17].

Başmumcu'ya [18] ait olan ve faydalı model makinesi korumasında bulunan, "Elek Açısı Ayarlanabilen Tahıl Eleme Makinesi" diğer bir çalışmadır. Bu çalışmaya göre;

Elek sistemi, ana mekanik yapı üzerinden yer alan ve ürünlerin elendiği kısım olan elek kasaları, belirtilen elek kasalarının ana gövdeye montajının yapıldığı sallanma kollarından oluşmaktadır. Elek sallanma kollarına motordan aldığı hareketi iletmek için ayrı ve özel bir yapıda eksantrik kollar bulunmaktadır. Belirtilen eksantrik kollara ve elek sistemine hareket oluşturan eksantrik salgı sistemi ile sistem çalışmaktadır. Elek kasalarının ana mekanik gövde üzerinde sabitlendiği alt beşik ve üst beşikler bulunmaktadır. Bu beşiklerde de elek kasalarının açısının/eğiminin ayarlanabildiği elek açı ayarlama mekanizması yer almaktadır. Gerçekleştirilen sistem ile eleme haznesinin açısı ayarlanabilmektedir. Bu şekilde tahıl eleme makinelerinde eleme görevi gerçekleştirilmektedir [18].

Dönmez'e [19] ait olan ve "Vibrasyonlu Hassas Eleme Makinesi" isimli çalışmaya göre ise;

Buluş, üreticilerin ihtiyaç duyulan ürünlerin daha iyi elenmesi ve sınıflandırabilmesi için, eleme işlemindeki verimin daha yüksek sağlanabilmesi için geliştirilmektedir.

Ayrıca mevcut eleme makinelerinde yaşanan sorunlara çözüm bulmak ve elek sistemlerinde ilave avantaj sağlanması adına belirtilen elek makinası geliştirilmektedir. Belirtilen vibrasyonlu hassas eleme makinesi; şase, elek gövdesi, ince elek, orta elek, kalın elek, çıkış haznesi, giriş haznesi, takoz ve vibrasyon motorundan oluşmaktadır. Makinedeki vibrasyon hareketi, eksantrik ve sarsaklı sistemlerle oluşturulmaktadır. Günümüzde sanayide kullanılan yatay eleklerin çoğunda eleme haznesi yatayda eğim aşağı 3° ve daha fazla açıda olacak şekilde montajlanmakta ve eleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Ancak belirtilen yapıdaki eleklerde yüksek verim elde edilememektedir. Bu durum maliyet, makine ve ekipman ihtiyacını arttırmaktadır. Burada yapılan buluşun en büyük özelliği, eleme haznesinin 1° ve daha fazla açıda eleme yönüne ters olarak eğim yukarı şekilde olmasıdır. Bu şekildeki çalışma yapısından dolayı eleme işlemi sırasında en hassas ve en verimli şekilde ayrıştırma ve sınıflandırma işlemi oluşmaktadır. Tasarımı gerçekleştirilen elek sistemi ile maliyet, makine ve ekipman ihtiyacı minimuma indirilmektedir [19].

Yapılan diğer literatür araştırmalarının sonucunda elek sistem tasarımları, hareket mekanizması tasarımları ve hesaplamaları üzerine makaleler incelenmiştir.

İncelenilen makalelerden Vijebandara ve diğ.'ne [20] ait "Copper Separation from Burned Out Charcoal-Copper Mixture" isimli makalede; bakır tel üretim sürecinde, bakır malzeme ile kömür tozlarının ayrılmasında kullanılan elek sisteminde, vibrasyon hareketi için kam mekanizmalı hareket iletim ve titreşim sistemi kullanılmıştır. Ancak bu yapıda eksantrik kamın elek haznesine bağlantısında yekpare bir iletim yapısı kullanılmaktadır. Bu durum yapının herhangi bir arızasında maliyet ve zamandan kayıp oluşturabilmektedir. Ayrıca bu sistemde de elek haznesinin mekaniğe sabitlenmesinde yine yaylı bir sistem kullanılmaktadır [20].

"Attrition Testing of Granules with a Tapping Sieve" isimli ve Utsumi ve diğ.'ne [21] ait olan başka bir çalışma ise; demir oksit granüllerinin depolama veya nakliye sırasında şekillerinde değişim/bozulma olanlarının tespitini içermektedir. Belirtilen bu ürünlerin tespit edilmesi/ayrılması için kullanılan elekte, kam milinin üzerine elek sistemi konumlandırılarak her dönüşte kam çıkıntısı kadar elek yukarı yönlü sarsıntı sergileyerek eleme işlemi oluşmaktadır. En alta düşen parçalar aşınmış parça olarak tanımlanmakta ve ayrılmaktadır. Burada tamamen mekanik sürtünmeye dayalı ve tek yönlü bir sistem bulunmaktadır [21].

“The Development of a Multi Purpose Wet Food Sieving Machine” isimli ve Fayose’ye [22] ait olan çalışma ise; tarımsal mahsulleri sıkma ve suyundan ayırmak için manuel eleme işlemine çözümü içermektedir.

Makine, besleme hunisi, karıştırma bölmesi, krank ve yay düzeneği ile çalışan bir eleme bölmesi, toplama tepsileri ve çıkışlarından oluşmaktadır. Makine elenecek malzemeye göre deneysel olarak belirlenerek saniyede 3 devir dönecek şekilde çalıştırılmaktadır. Bu doğrultuda makineyi çalıştırmak için gereken güç 0.16 kW, karıştırma milinin çapı da 15 mm olarak belirlenmektedir. Eksantrik mil çapı ise 15.2 mm seçilmektedir. Belirtilen ölçülerde makine tasarımı gerçekleştirilmektedir. Eleme haznesi tekerlekli bir yapı ile ana gövde üzerine montajı yapılmaktadır. Eksantrik yapı eleme haznesine teması olacak şekilde ana gövdeye montajı yapılmakta ve eksantrik döndükçe eleme haznesi ileri-geri olarak çalışmaktadır. Ancak burada salınım hareketi sadece yatay doğrultuda olmakta ve bu şekilde en verimli eleme işlemi elde edilemeyeceği düşünülmektedir. Ayrıca eleme haznesinin tekerlekli yapı ile montajı sistemin çalışma ömrü üzerinde olumsuz durum oluşturacağı düşünülmektedir [22].

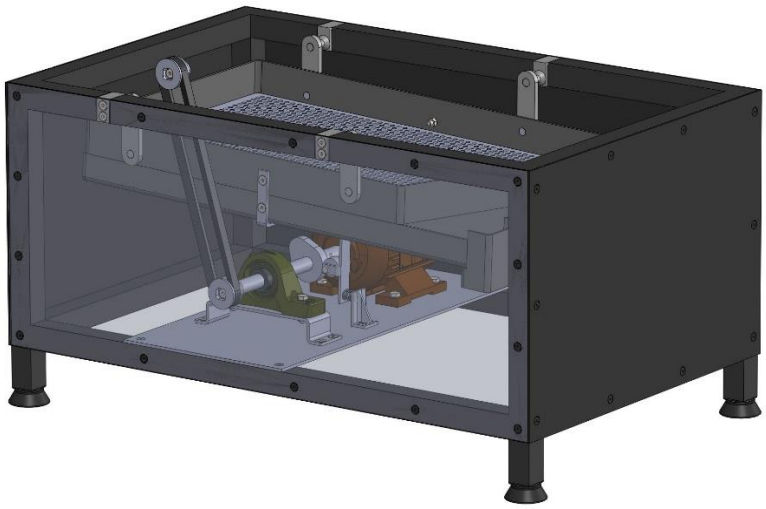
Literatüre geçmiş elek makinaları ve sistemlerine bakıldığında, eleme işlemi için kullanılan elek haznesi genel olarak yaylar, kauçuk parçalar veya tekerlekler üzerinde montajının yapıldığı görülmektedir. Ayrıca hareket olarak da sadece tek yönlü sarsıntıların yer aldığı görülmektedir. Bunların dışında yapılan çalışmalarda da sadece elek parçasının yapısı/formu üzerinde çalışmaların ve geliştirmelerin gerçekleştirildiği görülmektedir.

Ancak bu çalışmada tasarımı gerçekleştirilen elek makinesi, farklı bir çalışma sisteminden oluşmaktadır. Tasarımı yapılan sistem, endüstrideki örneklerinden farklı olarak vibrasyon ile değil, sarkaç mantığıyla çalışmaktadır. Eleme haznesi, kenarlarından montajlandığı sarkaç şeklindeki yapılar sayesinde, seri bir şekilde salınım hareketi sağlaması ile malzemelerin elenmesi için gerekli olan vibrasyon hareketini oluşturmaktadır. Ayrıca eleğin en kritik mekanizmalarından olan ve salınım hareketinin sağlanmasında da kam mekanizmalı hareket sistemi kullanılarak mevcut yapılarda kullanılan hareket sistemlerinden farklı bir yapı kullanılmaktadır. Kam mekanizması ve sarkaç yapısı, elek sistemine aynı anda hem ileri-geri hem de yukarı-aşağı olacak şekilde eliptik hareket oluşturmasından dolayı daha verimli eleme işlemi oluşturacağı düşünülmektedir.

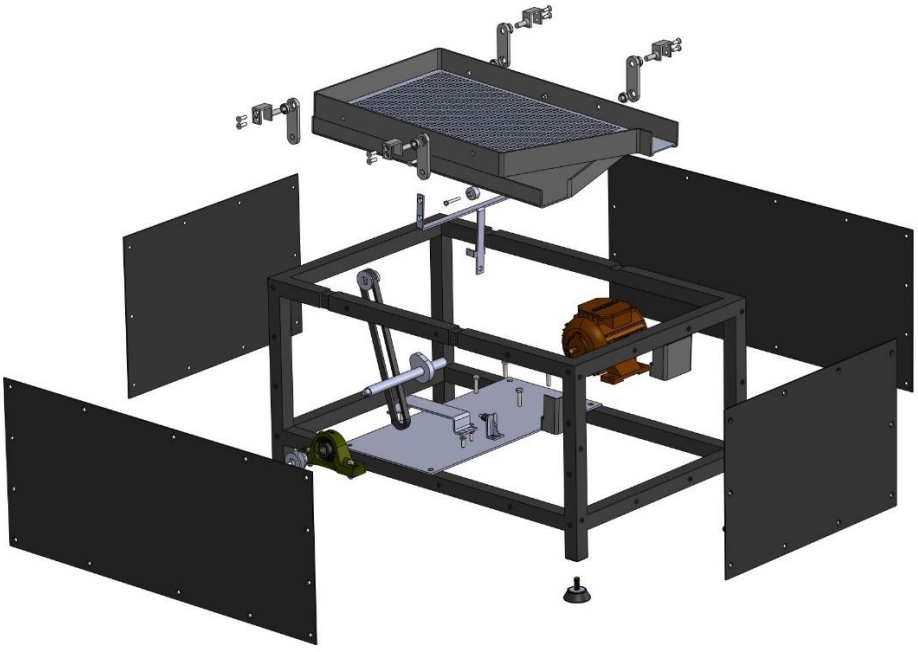
3. YÖNTEM

3.1. ELEK SİSTEMİ DETAY TASARIMI VE ÜRÜN SEÇİMLERİ

Yenilikçi bir yapıda tasarımı gerçekleştirilen ve analizlerin uygulanacağı elek sistem tasarımının genel görünümü ve montaj görünümü Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de yer almaktadır.



Şekil 3.1: Tasarımı gerçekleştirilen elek sistemi.

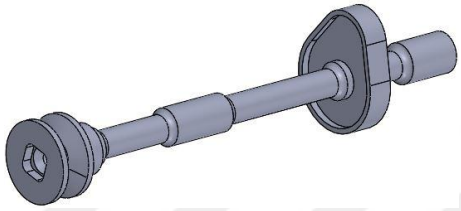


Şekil 3.2: Tasarımı gerçekleştirilen elek sistemi montajı.

Elek sisteminde, yeni tasarımı gerçekleştirilen alt bileşenler ve diğer komponentlerin sisteme uygun şekilde ürün tasarımı detaylı olarak sunulmaktadır. Ayrıca elek sisteminde standart olarak kullanılan ürünlerin seçimi ve hesaplamaları da detaylı olarak yapılmaktadır.

3.1.1. Motor İletim ve Kam Mili

Motordan alınan dönme hareketinin iletimini sağlayan ve kam tasarımı ile de eleğe salınım hareketini oluşturan parçadır. Ayrıca bu yapı, aynı mil üzerinden hem elek salınım hareketini hem de plastik parçalama ünitesine güç iletimini de sağlamaktadır.



Şekil 3.3: Motor iletim ve kam mili.

Mil motor kısmı, motorun ucundaki mile uygun olarak çapı 16 mm olacak şekilde ve sabit rulman kısmında rulman seçimine göre çapı 14.8 mm olarak ve kam yapısında da elek salınım hareketinin kurs boyu değeri 10 mm olacak şekilde tasarımı gerçekleştirilmiştir. Milin en uç kısmında kayış kasnak montajı ve kuvvet iletimine destek amaçlı kare bir yapı ve ortasında M5 vidalı sabitleme kullanılmıştır. Yapılan tüm bu tasarım ve seçim değerleri analizler ile de değerlendirilmektedir.

3.1.2. Motor

Daha önce de belirtildiği gibi elek sistemlerinde genellikle AC akım kaynaklı, hız kontrolü ve hassasiyetin çok gerekli olmadığı asenkron elektrik motorları kullanılmaktadır.

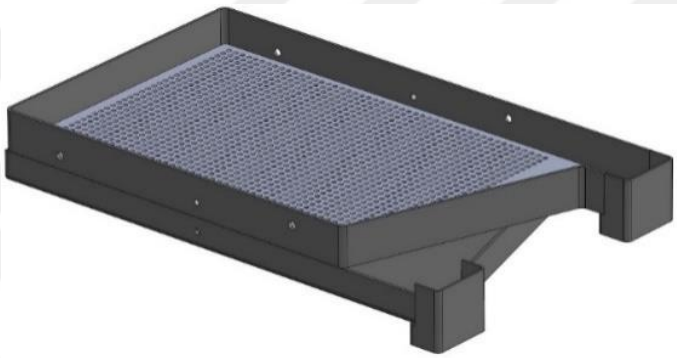


Şekil 3.4: Motor.

Bu doğrultuda tasarımı gerçekleştirilen elek sisteminde gerek duyulan güç ihtiyacı hesaplamalar ile belirlenerek GAMAK ürün grubundan 250 W güç üretimine ve 1800 Nmm tork değerine sahip C AGM 63M 4c kodlu elektrik motor seçimi yapılmaktadır.

3.1.3. Eleme Haznesi

Elek sisteminin belki de en önemli kısmını eleme haznesi ve delikli eleme yüzeyi oluşturmaktadır. Çünkü eleme kısmının derinliği, eleme yüzeyindeki deliklerin çapı, eleme haznesinin montaj açısı ve elek yapı malzemesi vb. gibi etkenler eleme verimliliğine büyük etki oluşturmaktadır. Bu doğrultuda eleme haznesinin ana iskelet yapısında 3 mm'lik sac büküm malzeme kullanılmaktadır. Eleme yüzeyinde elenecek plastik malzemelerin istenilen boyutta ve geometrik yapıda elde edilmesi adına delikler 5 mm çapında dairesel yapıda tasarımları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca eleme yüzeyi malzemesi olarak da polimer esaslı poliüretan malzeme kullanılarak, ses yalıtımı, neme karşı dayanıklılık, uzun hizmet ömrü ve korozyon dayanımı gibi avantajlar elde edilmesi hedeflenmektedir.



Şekil 3.5: Eleme haznesi.

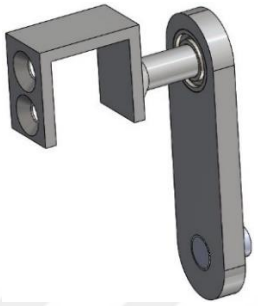
Eleme haznesi ve alt kısımdaki toplama haznesi birbirlerine kaynak yöntemi ile birleştirilmekte ve tek bir yapı olarak ana mekanik gövdeye montajı sağlanmaktadır. Bu montaj sırasında da eleme haznesinin normal yüzey ile 4° açı olacak şekilde montajı gerçekleştirilmektedir. Burada elek çeşitlerinden olan yatay elek sisteminin seçilme sebebi, istenilen vuruntuda ve kurs boyunda eliptik şekilde bir titreşim hareketi yapmasıdır. Bu şekilde eleme işlemindeki verim artmaktadır.

Ayrıca sanayideki çoğu elek ana gövdeye helozon yay veya kauçuk takozlar üzerinde olacak şekilde montajı yapılmaktadır. Ancak tasarımı gerçekleştirilen elek sisteminde eleme haznesi ana gövdeye sarkaç sistemi denilen parçalar ile montajı yapılmaktadır. Bu şekilde belirtmiş olduğumuz eliptik şekildeki titreşim hareketi daha yüksek oranda gerçekleşmektedir.

Montaj işlemlerinde; eleme haznesinin sarkaç kollara montajında rulman ve pim kullanılmaktadır. Pimler eleme sacına kaynaklanmaktadır. Ayrıca eleme haznesi ve toplama haznesi ucunda toplama yönlendirme ağız parçaları da kaynak yöntemi ile sabitlenmektedir.

3.1.4. Sarkaç Sistemi

Eleme ve toplama haznesini havada tutan ve ayrıca eleğin salınım hareketi yapmasını sağlayan sistemdir. Bu sistemde iç çap: 8 mm olan 2 adet radyal rulman kullanılmaktadır. Sistemin gövdeye merkezlenmesinde de U şeklindeki yapısından ve sabitlenmesinde de 2 adet M5x16 havşa başlı vida kullanılmaktadır.

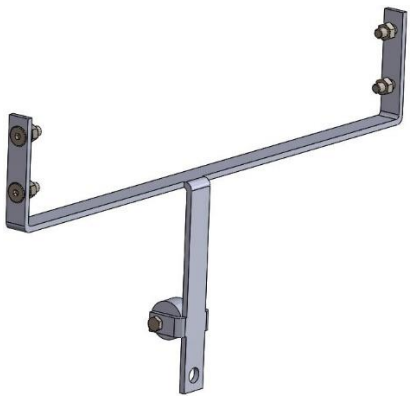


Şekil 3.6: Sarkaç sistemi.

Sarkaç sistemi 2 adet Al-6063-T1 malzemesi talaşlı imalat parçasından oluşmaktadır. Bu iki parçanın birleştirilmesinde de iç çap: 8 mm olan bir adet rulman kullanılmaktadır.

3.1.5. Eleme Haznesi Mekanik Hareket İletim Kolu

Elek sisteminde, kamdan alınan eksantrik hareketin eleğe salınım hareketi olarak iletimini sağlayan ve elek sistemini oluşturan en önemli parçalardan bir tanesidir.



Şekil 3.7: Eleme haznesi mekanik hareket iletim kolu.

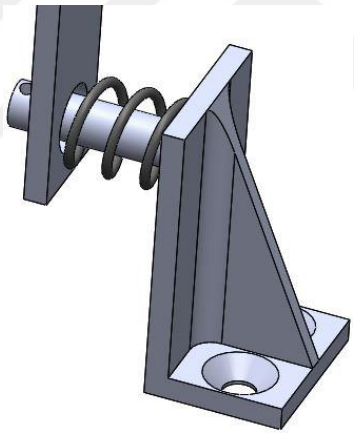
Tasarımı gerçekleştirilen ürün 3 mm kalınlık ve 12 mm genişliğinde Al-2024-T3 malzemesinden oluşmaktadır. Ürünün hem rijit bir yapıda olması için hem de üretim kolaylığı ve üretim maliyetinin uygunluğu için büküm yöntemi ile üretimi sağlanmaktadır. Malzeme olarak da Al-2024-T3 seçilmesinin sebebi, bu malzemenin diğer alüminyum serilerine göre daha yüksek mukavemetli, sert ve rijit bir yapıda bulunmasıdır.

Hareket iletim kolu 4 adet M5x16 havşa başlı cıvata somun ile eleme haznesine montajı sağlanmaktadır. Diğer ucunda ise kam ile teması bulunan ve kamdan hareketi alan tekerlek parçası bulunmaktadır. Tekerlek parçasının montajın da M4x30 düz başlı cıvata somun kullanılmaktadır. Tekerlek parçasının hemen arkasında da karşı yay parçası bulunmaktadır. Kamdan alınan hareket ile ileri yönde giden elek bu yay sayesinde geri dönmekte ve bu şekilde eleğin kurs boyu aralığında ileri-geri salınım hareketini oluşturmaktadır.

3.1.6. Helezon Yay ve Mekanik Destek Parçası

Kamdan alınan ileri yönlü harekete karşılık olarak geri yönde hareket oluşturması adına tasarımda oluşan kuvvetlere ve elek kurs boyu değerine uygun şekilde iç çap:9,8 mm, boy:15 mm, 3 tur ve tel çapı:1,2 mm olan yay tasarımı gerçekleştirilmiştir. Belirtilen yayın üretimde AISI 6150 (51CrV4) yay çeliği kullanılmaktadır.

Kam tarafında gelen hareket yönüne karşı olarak oluşturulan bu yay yapısına destek amaçlı da Şekil 3.8'de yer alan mekanik parça tasarımı gerçekleştirilmiştir.

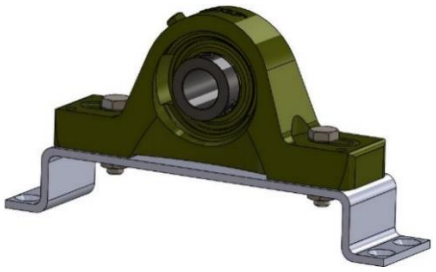


Şekil 3.8: Helozon yay ve mekanik destek parçası.

Tasarımı gerçekleştirilen parça 2 adet M4x12 havşa başlı cıvata somun ile ana gövdeye sabitlenmektedir. Yay mekanik destek parçasında bulunan mile yataklanmaktadır. Böylece elek salınım hareketine karşı tepki yay yardımı ile oluşturulmaktadır.

3.1.7. Rulman Yataklama Sistemi

Elek sisteminde motor hareket iletim ve kam miline yataklama görevi sağlaması adına Şekil 3.9'da yer alan SKF SY 15 TF radyal bilyalı rulman seçimi yapılmaktadır. Rulman iç çapı mil tasarımına uygun şekilde çap:16 mm olarak seçilmiştir. Ayrıca rulman M6x29 düz başlı cıvata somun ile de ana gövdeye sabitlenmektedir.



Şekil 3.9: Rulman yataklama sistemi.

3.1.8. Kayış – Kasnak

Elenecek parçaların elek sistemine gelmeden önce parçalama ünitesinde parçalanması gerekmektedir. Bu doğrultuda elek sisteminde kullanılan elektrik motorundan alınan dönme hareketi kayış-kasnak yapısı ile parçalama ünitesine de iletilmektedir. Sonuç olarak tek motor ve tek iletim mili ile hem elek salınım hareketi oluşturulmaktadır hem de parçalama ünitesi çalıştırılmaktadır. Elek sisteminde V kayış türü kullanılarak güç iletiminde daha yüksek verim elde edilmesi hedeflenmektedir.



Şekil 3.10: Kayış-kasnak.

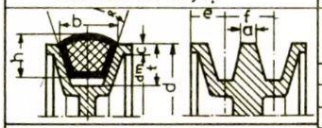
V kayışlar DIN 2215 – TS 198/1 standartlarına göre belirli kesit ve boylarda üretilmektedir. Bu nedenle hesap olarak sadece gerekli kayış adedi bulunmaktadır. Bu doğrultuda elek sistemi için ihtiyaç duyulan kayış seçimi, iletilecek güç ihtiyacına göre Tablo 3.1'e göre standart seçimi yapılmaktadır.

Kayış-kasnak sistemi ile iletilecek gücün belirlenmesinde parçalama ünitesinin ihtiyaç duyduğu güç ve moment belirlenmektedir. Ancak elektrik motoru seçimi yapılırken de yine tüm bu ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak seçim yapılmıştır. Bu nedenle iletilecek gücü motordan çıkan güç olarak alınmakta ve kayış-kasnak seçimi de bu güç iletimine göre yapılmaktadır. Elektrik motoru 250 W ve 1800 Nmm'dir. 250 W yaklaşık olarak 0.34 PS'dir. 0.34 PS güç iletimi için gerek duyulan kayış genişliği 13 mm ve yüksekliği de 8 mm olmaktadır. Belirlenen bu kayış ölçüleri ile yine Tablo 3.1'den standart kasnak ölçüleri belirlenmektedir.

Belirlenen bu standartlar doğrultusunda üretici firma kataloğundan ürün seçimi gerçekleştirilmektedir. Bu doğrultuda OPTIBELT marka ve VB-13x800 kodlu ürün seçimi yapılmaktadır.

Tablo 3.1: Normal V kayışları ve kasnakları DIN 2215 – TS 198/1 [23].

Kasnak ve kayış



V Kayışı kasnak ölçüleri

Ölçü	KAYIŞ GENİŞLİĞİ b= KANAL GENİŞLİĞİ										
	5	6	8	10	13	17	20	25	32	40	50
h	3	4	5	6	8	11	12,5	16	20	25	32
c	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16
e	6	7	8	10	12	15	18	22	27	34	42
f	6	8	10	12	16	20	24	30	38	46	58
a	1	2	2	2	3	3	4	5	6	6	8
t I	5	6	8	10	12	16	18	22	27	32	40
t II	6	7	9	12	15	18	21	26	31	38	47
dm I	22	32	45	63	90	125	180	250	355	500	710
dm II	40	50	63	80	100	132	180	236	315	450	600

α= Kasnak kanal (yiv) açısı

36°	50	71	100	140	200	280	400	560	800	1120	1600
34°	22	32	45	63	90	125	180	250	355	500	710

32° Küçük kasnak çapı dm

Kayışla iletilen güç (PS)

	Kayış genisliği b= mm.										
	5	6	8	10	13	17	20	25	32	40	50
2	0,03	0,05	0,10	0,19	0,37	0,7	1,0	1,5	2,4	3,7	6
4	0,05	0,10	0,19	0,37	0,74	1,3	1,9	3,0	4,7	7,4	12
6	0,07	0,15	0,28	0,55	1,1	1,9	2,8	4,4	7,0	11	18
8	0,09	0,19	0,36	0,72	1,4	2,5	3,7	5,7	9,2	14	23
10	0,10	0,22	0,43	0,87	1,7	3,1	4,5	6,9	11,1	17	28
12	0,11	0,25	0,48	1,0	2,0	3,6	5,2	8,0	12,8	20	32
14	0,11	0,26	0,52	1,1	2,2	4,0	5,8	9,0	14,4	22	36
16	0,11	0,27	0,55	1,2	2,4	4,3	6,3	9,8	15,7	24	39
18	0,10	0,26	0,56	1,2	2,6	4,6	6,7	10,4	16,6	26	42
20	0,08	0,24	0,54	1,3	2,7	4,8	6,9	10,7	17,1	27	43
22	0,05	0,21	0,49	1,2	2,7	4,8	7,0	10,7	17,3	27	44
24		0,15	0,42	1,1	2,6	4,7	6,8	10,3	17,0	26	43
26		0,08	0,30	1,0	2,5	4,5	6,5	10,1	16,1	25	41
28			0,19	0,9	2,3	4,1	6,0	9,3	14,8	23	27
30					2,0	3,6	5,1	8,0	13,0	20	32

V KAYIŞLARI ve Kasnakları DIN 2215-2217 | 59

Kasnak yapısı motor iletim ve kam miline M5x25 havşa başlı vida ile sabitlenmektedir. Aynı şekilde parçalama ünitesindeki montajı da aynı vida yapısı ile yapılmaktadır.

3.1.9. Mekanik Destek Gövdesi

Mekanik destek gövdesi, elek sistemi, parçalama ünitesi, motor ve diğer tüm parçaları bir arada tutan yapıdır. Ana gövde, farklı uzunluklarda ve 20x20 mm kare Al-6063-T1 profillerden oluşmaktadır. Kare profiller daha sonra kaynak yöntemi ile birleştirilerek ana mekanik destek gövdesini oluşturmaktadır. Profiller üzerine montaj amaçlı M4 vida delikleri ve sarkaç sisteminin yataklanması için montaj yuvaları işlenmektedir



Şekil 3.11: Mekanik destek gövdesi.

3.1.10. Titreşim Sönümleyici Kauçuk Ayak

Tüm sistemin çalışması sürecinde ana mekanik gövde üzerinde oluşan doğal frekans titreşimlerinin ve diğer hareketli parçaların oluşturduğu titreşimlerin zemine iletilmesinde titreşim sönümleyici bir yapıya ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 3.12: Titreşim sönümleyici kauçuk ayak.

Bu doğrultuda tasarıma uygun olarak BRT S8001 kauçuk takoz-tek taraflı-cıvatalı-D tipi-pullu titreşim sönümleyici ürün seçimi yapılmaktadır. Belirtilen kauçuk takoz seçiminde sistemin oluşturduğu yatay ve dikey doğrultudaki titreşimlerin sönümlenmesi kriterleri göz önüne alınmaktadır. Ayrıca tek cıvatalı kauçuk takoz seçiminde tüm elek sisteminin ağırlığı ve ürettiği titreşimler analizler ile belirlenerek; takoz boyu, çapı, cıvata uzunluğu ve cıvata çapı kriterlerine göre ürün seçimi yapılmaktadır. Cıvata kısmı ana mekanik destek ve genel tasarıma uygun olacak şekilde M8 olarak seçilmektedir. Kauçuk kısımda ise 55 Shore A sertlik değerine sahip kauçuk kullanılmaktadır. Ayrıca seçimi yapılan kauçuk takozun şekli itibariyle zemine mükemmel tutunma özelliğine sahip vakum tipi vibrasyon takozu olarak da adlandırılmaktadır.

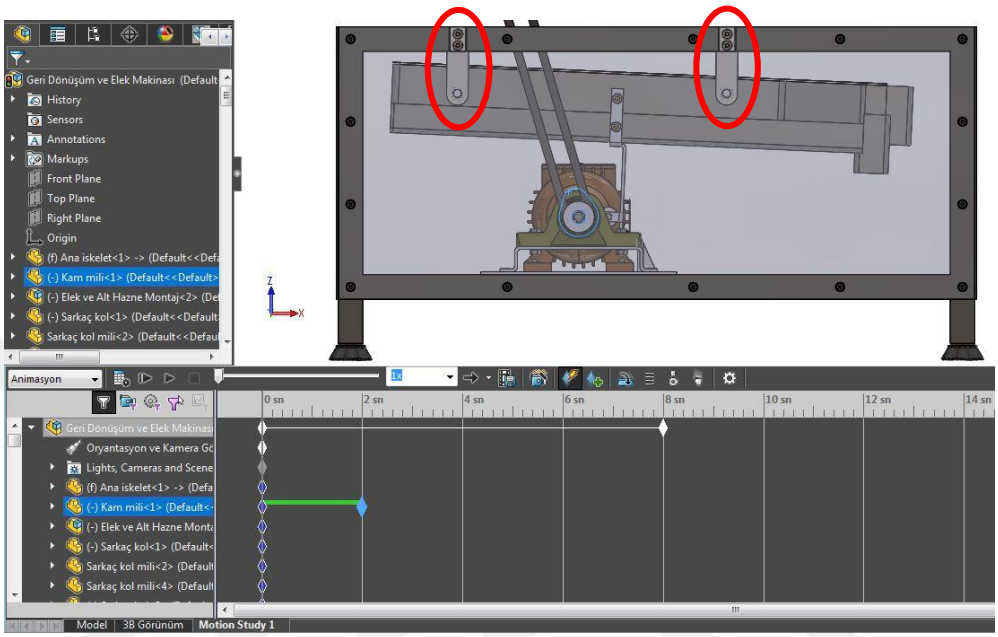
Tüm bu seçimler statik ve frekans (titreşim) analiz kısımlarında detaylı olarak incelenmekte ve doğrulanmaktadır. Ayrıca farklı ihtiyaçlar doğrultusunda sistemin yere tamamen sabitlenmesine gerek duyulması durumunda yere vidalama ile sabitleme oluşturulabilecek ayak seçimi de yapılabilmektedir.

3.1.11. Vidalar ve Cıvatalar

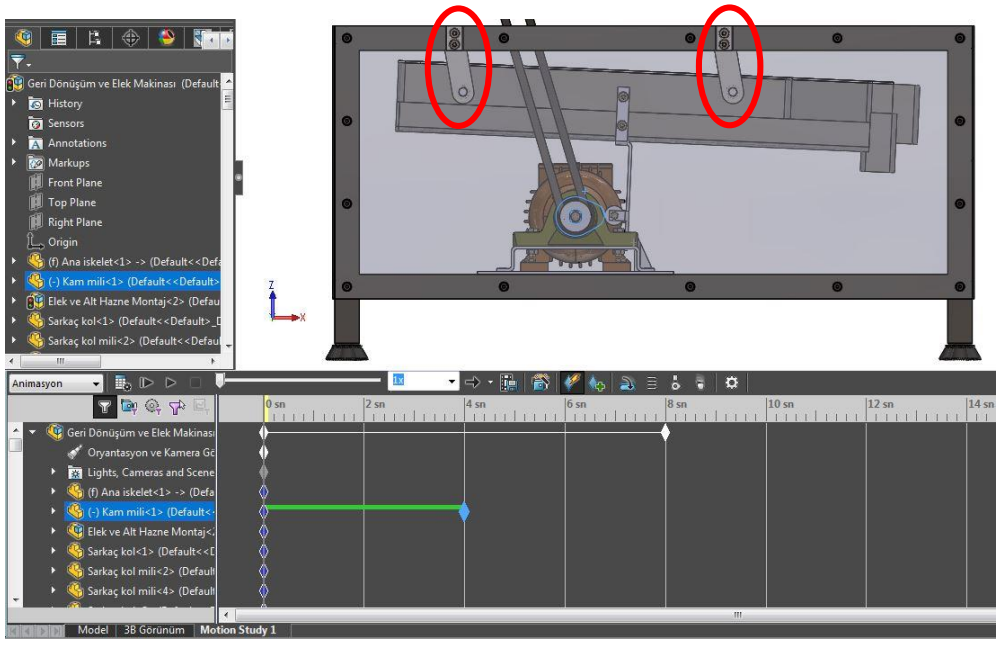
Elek sisteminde tasarım ihtiyaçlarına göre çok sayıda vida ve cıvata kullanılmaktadır. Bu doğrultuda, daha yüksek sabitleme gerektiren yerlerde cıvata-somun diğer yerlerde de vida kullanılmaktadır. Sistemde montaj kolaylığı ve maliyet düşürücü etkiler göz önünde bulundurularak genelde aynı boyutta vida ve cıvata kullanılmaya çalışmıştır. Bu doğrultuda elek sistemi tasarımında M4, M5 ve M6 vida ve cıvata-somun kullanılmaktadır. Ayrıca titreşim etkilerine karşı da pul ve yaylı pul kullanılmaktadır. Belirtilen vida ölçülerinin seçiminde daha önceki tecrübelerden yararlanılmaktadır. Ancak analizler ile de bu seçilmiş vida ve cıvataların kontrolü sağlanmaktadır.

3.2. ELEK SİSTEMİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Elek sisteminin hareket analiz sonuçları doğrultusunda kam kurs boyu değeri kadar salınım hareketi ile çalışması Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te gösterilmektedir. İlk konumda elek serbest olarak durmaktadır. Kamın hareket etmesi ile ileri yönde 10 mm ilerlemektedir.

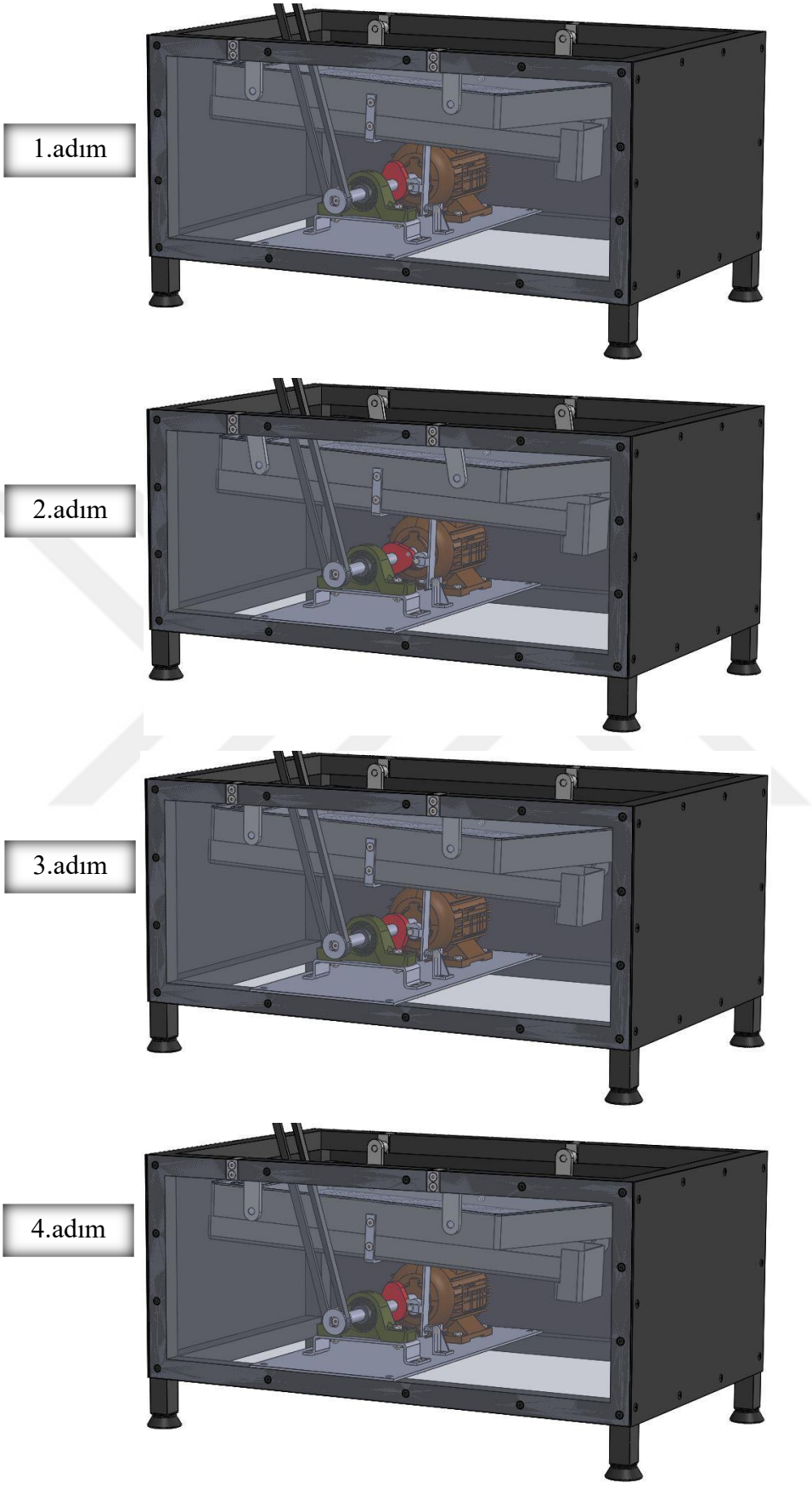


Şekil 3.13: Elek serbest ilk konum.



Şekil 3.14: Elek kam kurs boyu değeri kadar ileri konum.

Daha sonra karşı yay kuvvetinden dolayı elek eski konumuna gelmektedir. Böylece kamın her bir turunda bu döngü devam etmektedir.



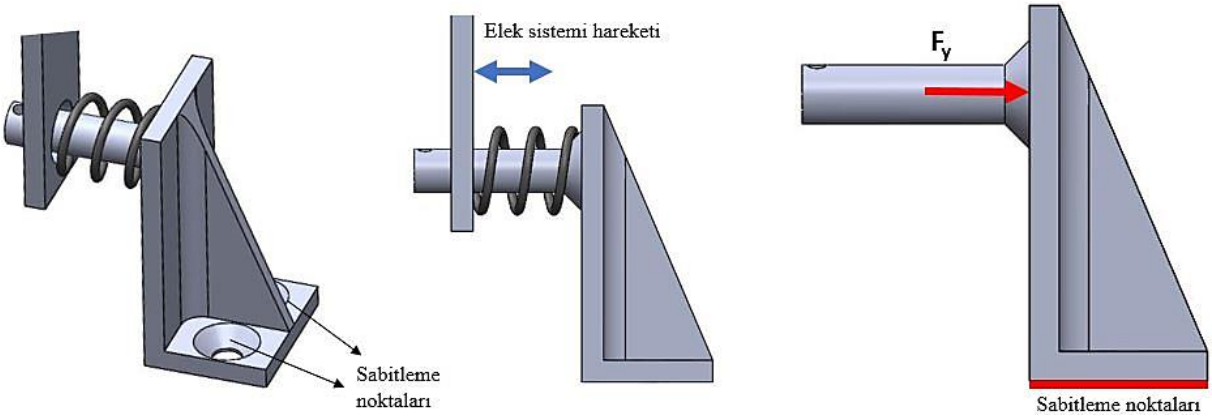
Şekil 3.15: Elek sistemi kam milinin tam bir tur adımları.

4. BULGULAR

Elek sisteminin, tasarım programı üzerinde hareket analizleri sonucunda sistemin çalışmasında kritik öneme sahip parçalar belirlenmiştir. Bu doğrultuda belirlenen parçaların mekaniksel anlamda uygunluğu ve doğruluğu daha detaylı olarak statik analizlerle hesaplanmaktadır. Ayrıca tüm sistemin ve makinenin bir bütün olarak çalışmasının uygunluğu da yine sisteme uygulanan analizlerle incelenmektedir. Sonuç olarak, belirlenen parçalar ve analizler başlıklar halinde detaylı olarak sunulmaktadır.

4.1. HELEZON YAY VE MEKANİK DESTEK PARÇASI ANALİZİ

Kam tarafından oluşturulan ileri yönlü hareket doğrultusunda elek haznesine geri yönde tepki kuvveti oluşturarak eleğin ileri-geri salınım hareketi yapmasına yardımcı olan helezon yay ve mekanik destek parçasının tasarımı kritik öneme sahiptir. Bu nedenle tasarımı gerçekleştirilen mekanik destek parçasının yay ve kamdan gelen kuvvetler doğrultusunda analizleri gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.1: Helozon yay ve mekanik destek parçası üzerindeki kuvvetler.

Analize başlanmadan önce analiz sürecinde kullanılacak değerlerin hesaplaması yapılmaktadır. Bu doğrultuda Şekil 4.1'de gösterilen F_y yay kuvveti hesabı için [24];

$$\boldsymbol{F_y = k.\Delta x} \tag{4.1}$$

F_y : Yay kuvveti (kamın ve iletim parçasının yaya ilettiği kuvvet) [N]

k : Yay sabiti [N/mm]

Δx : Son ve ilk yay sıkıştırma değerleri farkı $(x - x_0)$ [mm]

Yay kuvvetini bulmak için gerekli olan *k* yay sabiti hesabı için [25];

$$\boldsymbol{k_{baskı} = \frac{d^4 \times G}{8 \times N_e \times D^3}} \tag{4.2}$$

$k_{baskı}$: Yay sabiti (baskı yayı) [N/mm]

d : Yay tel çapı [mm]

G : Torsiyonel elastiklik modulü (çelik yaylarda G: 80000 N/mm^2)

N_e : Etkin yay sarım sayısı (baskı yaylarında)

D : Yay halka (ortalama) çapı [mm], formülleri kullanılmaktadır.

Tasarımı gerçekleştirilen yayın özellikleri; d: 1,2 mm, G: 80000 N/mm^2, N_e: 3, D: 11 mm'dir. Bu doğrultuda, denklem (4.2)'den,

$$k_{baskı} = \frac{(1{,}2mm)^4 \times (80000N/mm^2)}{8 \times (3) \times (11mm)^3}$$

$k_{baskı} = 5{,}19$ N/mm

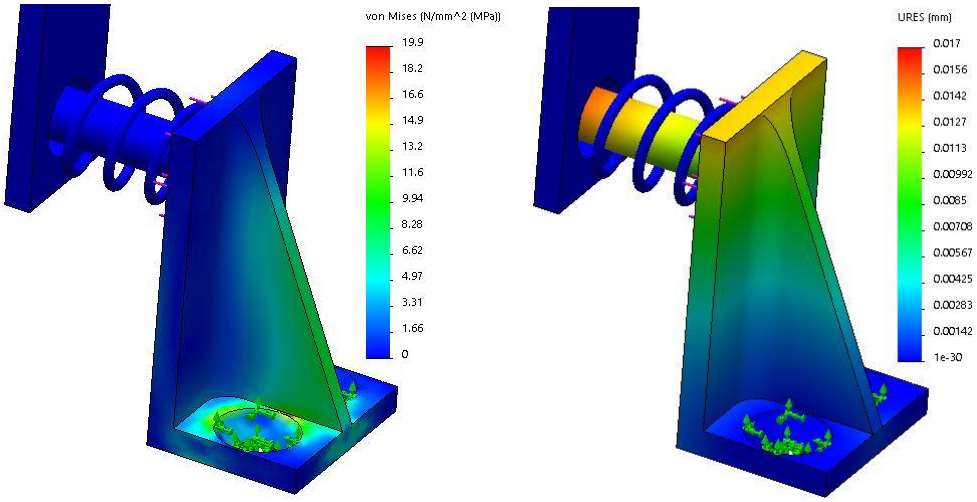
$F_y = (5{,}19\ N/mm)x(9{,}5\ mm - 1\ mm)$

F_y= 44,1 N olarak bulunmaktadır.

Hesaplamalar ile elde edilen veriler analiz programına aktarılarak analiz hesaplamaları ve sonuçları elde edilmektedir.

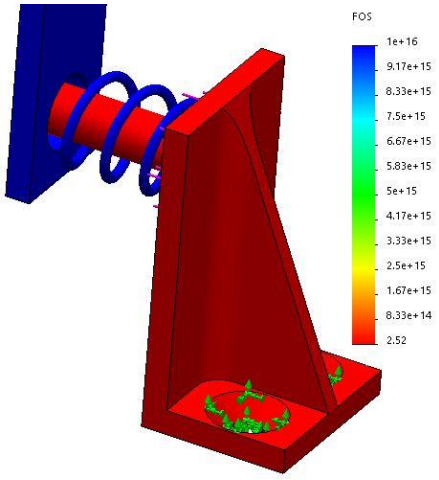
Analizi yapılan mekanik destek parçasında, yayın temas ettiği yüzeye ve yay baskı yönünde 44,1 N değerinde kuvvet uygulanmaktadır. Parça, üzerinde bulunan 2 adet havşa başlı M4 vida kısımlarından da ana gövdeye sabitlenmektedir. Ayrıca mekanik destek parça malzemesi olarak Al 6063-T1 kullanılmaktadır. Analiz çözümlemesi sürecinde mesh olarak da ince bir mesh değeri kullanılarak gerçek değerlere yakın sonuçlar elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Bu doğrultuda parça üzerinde elde edilen gerilme ve yer değiştirme sonuçları Şekil 4.2'de yer almaktadır.



Şekil 4.2: Mekanik destek parçası gerilme ve yer değiştirme analizi.

Tasarımda kullanılan Al-6063-T1 malzemesinin akma mukavemeti 90 N/mm^2'dir. Analiz sonuçlarından elde edilen maksimum gerilme değeri ise 19,9 N/mm^2'dir. Parça üzerinde en fazla gerilmenin olduğu noktalar L şeklindeki parçanın duvar destek kolundadır. Çıkan sonuçlardan da görülmektedir ki tasarım parçası güvenli bölgede kalmaktadır. Ayrıca parça üzerinde yer değiştirmenin en fazla olduğu kısım 0,017 mm değeri ile yayın merkezlemesini sağlayan yay montaj kısmıdır. Tasarım üzerinde bu değer mekanik sistemin hareketine herhangi bir olumsuzluk oluşturmamaktadır.

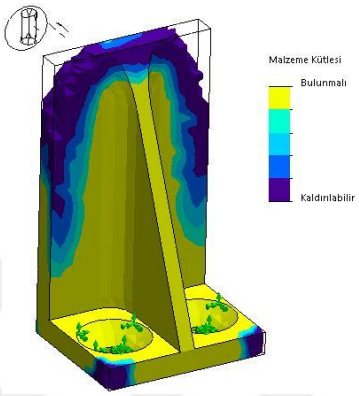


Şekil 4.3: Mekanik destek parçası güvenlik faktörü analizi.

Mekanik destek parçasının güvenlik faktörü analiz sonuçlarından da görülmektedir ki, sistemin çalışması parça üzerine gelen kuvvetlerde güvenli bölgede kalmaktadır. Bu doğrultuda mekanik destek parçası-helozon yay-kam hareket iletim kolu üçlüsünün çalışmasında olumsuz bir durum görülmemektedir.

Elde edilen statik analiz hesaplamaları doğrultusunda mekanik destek parçası üzerinde en yüksek gerilmelerin meydana geldiği kısımlar görülmektedir. Bu verilerden yola çıkılarak parça üzerinde daha düşük gerilmelerin meydana geldiği kısımlara yapılabilecek iyileştirmelerin belirlenmesi için mekanik destek parçasına topology analizi uygulanmaktadır.

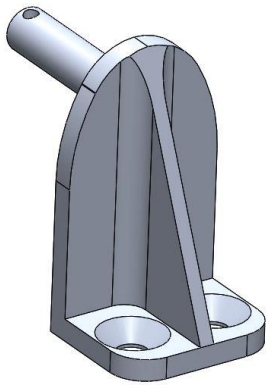
Statik analiz kısmında kullanılan parça üzerindeki kuvvetler ve sabitleme noktaları aynı şekilde topology analizine de aktarılarak analiz çözümlemesi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.4: Mekanik destek parçası topology analizi.

Yapılan topology analizinde, kütle ve gerilme arasında optimizasyon gerçekleştirilmektedir. Yani mekanik destek parçasının mukavemeti korunarak parça ağırlığında ve tasarımında iyileştirme yapılmaktadır. Bu doğrultuda Şekil 4.4'de de görüldüğü üzere mor ve mavi ile gösterilen kısımlardan malzeme alınması ile parçanın hem yükler altındaki mukavemeti korunmuş olmakta hem de ağırlık olarak %30 kazanç sağlanmaktadır.

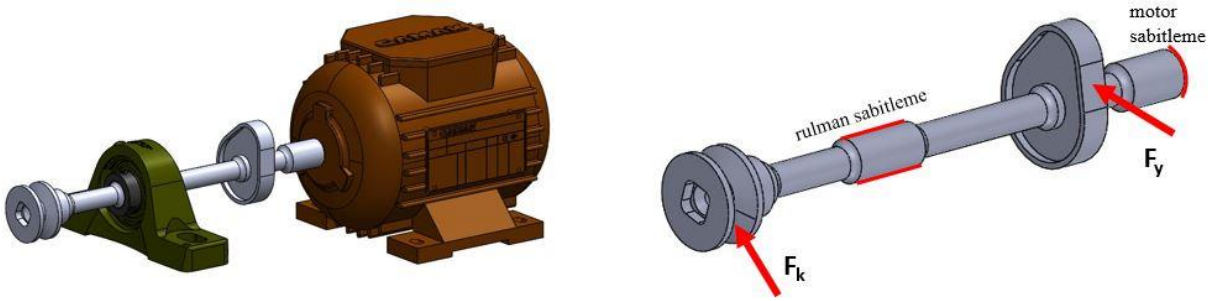
Analiz sonuçlarından elde edilen veriler doğrultusunda parça üzerinde gerekli iyileştirmeler ve tasarımsal değişiklikler parça üzerine uygulanmaktadır.



Şekil 4.5: Mekanik destek parçası topology analizi sonucundaki nihai tasarım.

4.2. MOTOR İLETİM VE KAM MİLİ ANALİZİ

Motor iletim ve kam mili, motordan alınan dönme hareketinin sisteme iletimini sağlayan ve mil üzerindeki kam tasarımı ile elek sistemine ileri yönde ilk hareketi oluşturan parçadır. Ayrıca aynı mil ile arada rulman yataklama kullanılarak elek sisteminin üstünde bulunan parçalama ünitesine hareket iletimini de sağlamaktadır. Belirtilen tüm bu işlevlerinden dolayı elek sistemi üzerinde en kritik ve en önemli parça bu mildir. Bu doğrultuda tasarımı gerçekleştirilen milin, yay tarafından gelen tepki kuvveti ve parçalama ünitesi için gerekli kuvvetler hesaplanarak analizler gerçekleştirilmektedir.

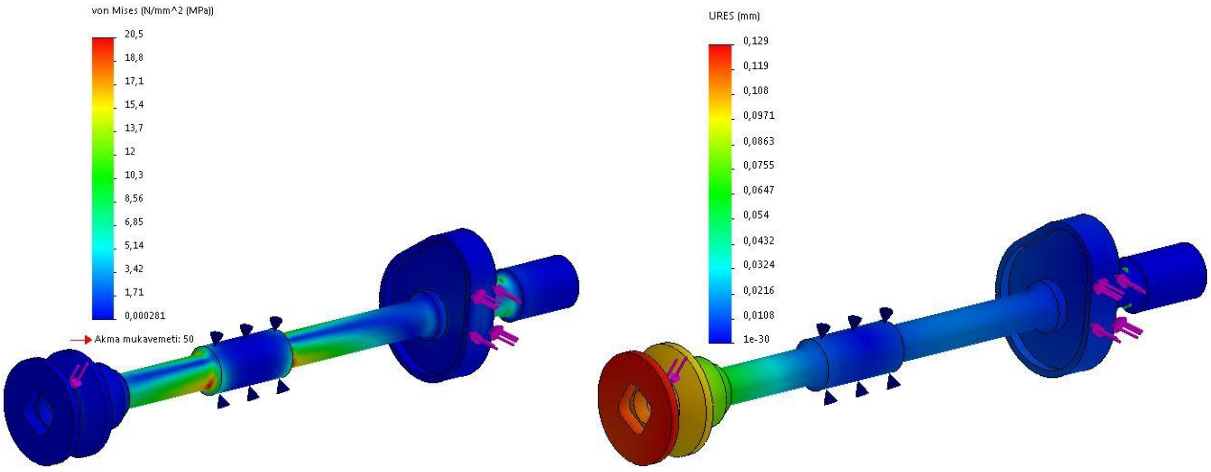


Şekil 4.6: Motor iletim ve kam mili üzerindeki kuvvetler.

Kama gelen kuvvet, yayın sıkıştırılması sırasında meydan gelen F_y tepki kuvvetidir. Bir önceki analiz çalışmasında da hesaplandığı üzere F_y: 44,1 N'dir. Diğer bir kuvvet olan ve elek makinesi parçalama ünitesine kayış-kasnak sistemi ile iletimi sağlanan F_k kuvvetidir. Projenin başında da belirtildiği gibi parçalama ünitesi çalışmaları farklı bir projede yapıldığı için burada sadece bu ünite için gerekli olan kuvvetler belirlenerek kasnak üzerine uygulanmaktadır. Bu doğrultuda iki kayıştan giden kuvvet değerleri F_k: 80 N olarak hesaplanmaktadır.

Mil üzerine gelen kuvvetler belirlendikten sonra milin sabitleme noktaları oluşturulmaktadır. Bu doğrultuda mil rulman sabitleme noktasından rulmanla ve motor bağlantı noktasından da motorla sabitlenmektedir. Mil tasarım malzemesi olarak Al-6063-T1 kullanılmaktadır. Analiz çözümlemesi sürecinde mesh olarak da ince bir mesh değeri kullanılarak gerçek değerlere yakın sonuçlar elde edilmesi amaçlanmaktadır.

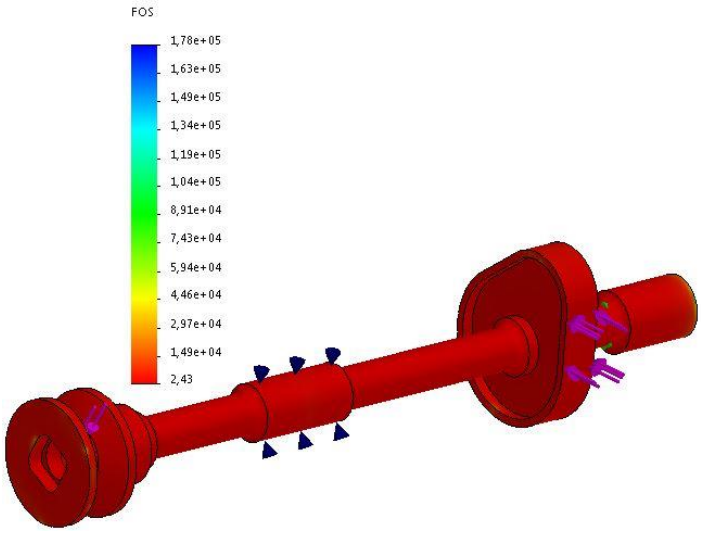
Bu doğrultuda parça üzerinde elde edilen gerilme ve yer değiştirme sonuçları Şekil 4.7'de yer almaktadır.



Şekil 4.7: Motor iletim ve kam mili gerilme ve yer değiştirme analizi.

Mil tasarımı analiz sonuçlarından elde edilen maksimum gerilme 20,5 N/mm^2'dir. Tasarımda kullanılan Al-6063-T1 malzemesinin akma mukavemet değeri ise 90 N/mm^2'dir. Bu değerler doğrultusunda görülmektedir ki mil tasarımı, gelen kuvvetlere karşı dayanım göstermekte ve güvenli bölgede kalmaktadır. Mil üzerinde en fazla gerilmenin olduğu noktalar rulman ile montajı yapılan noktaların çevresidir. Bunun nedeni ise, gelen kuvvetlerin rulmana olan uzaklıkları fazla olduğu için bu noktalarda fazla gerilme oluşturmaktadır.

Ayrıca mil üzerinde yer değiştirmenin en fazla oldu kısım 0,12 mm değeri ile kayış-kasnak iletim kısmıdır. Bunun nedeni, kayış tarafından gelen kuvvet serbest olarak bulunan kasnak yapısını yer değiştirmeye zorlamasındandır. Tasarım üzerinde bu değer mekanik sistemin çalışmasına herhangi bir olumsuzluk oluşturmamaktadır.

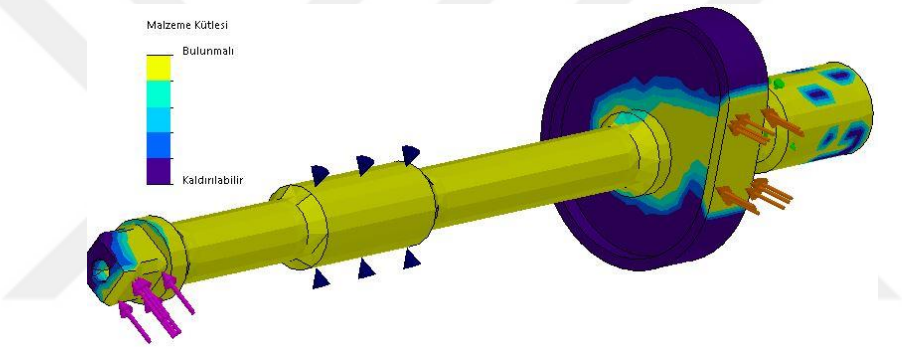


Şekil 4.8: Motor iletim ve kam mili güvenlik faktörü analizi.

Motor iletim ve kam mili güvenlik faktörü analiz sonuçlarından elde edilen veriler, sisteminin çalışması sırasında üzerine gelen kuvvetler doğrultusunda mil güvenli bölgede kalmaktadır. Sonuç olarak da motor iletim ve kam mili parçasının sistem üzerinde çalışmasında olumsuz bir durum görülmemektedir.

Elde edilen statik analiz hesaplamaları doğrultusunda motor iletim ve kam mili üzerinde en yüksek gerilmelerin meydana geldiği kısımlar elde edilmiştir. Bu verilerden yola çıkılarak mil üzerinde daha düşük gerilmelerin meydana geldiği kısımlara yapılabilecek iyileştirmelerin belirlenmesi için motor iletim ve kam miline topology analizi uygulanmaktadır.

Statik analiz kısmında kullanılan mil üzerindeki kuvvetler ve sabitleme noktaları aynı şekilde topology analizine de aktarılarak analiz çözümlemesi gerçekleştirilmektedir.



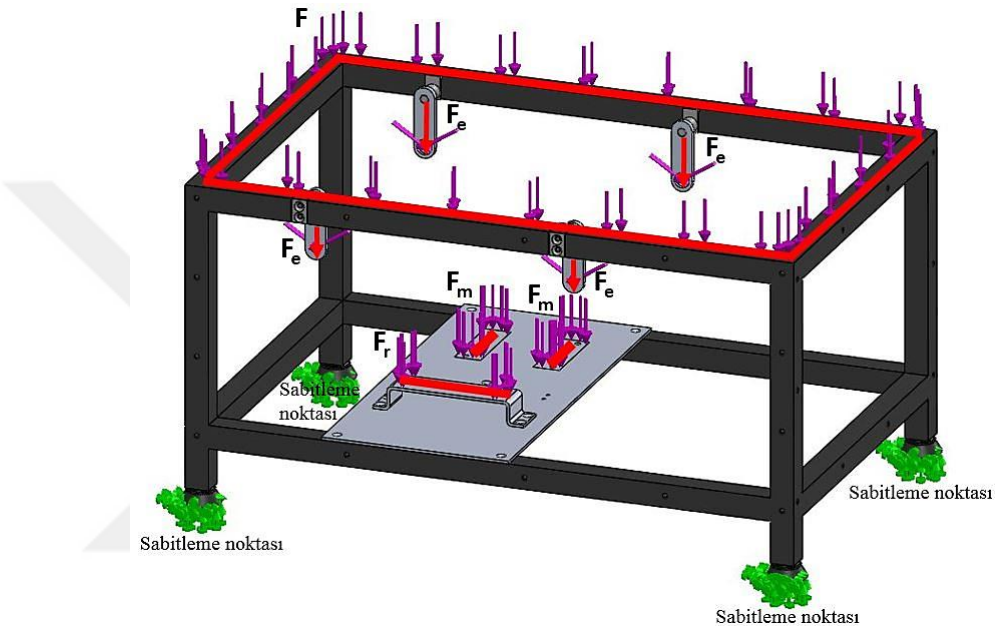
Şekil 4.9: Motor iletim ve kam mili topology analizi.

Motor iletim ve kam mili üzerinde yapılan topology analizinde, kam milinin kütlesi ile gerilmesi arasında optimizasyon gerçekleştirilmektedir. Yani parçanın mukavemeti korunarak parça ağırlığında ve tasarımında iyileştirme yapılmaktadır. Bunların sonucunda Şekil 4.9'da görüldüğü üzere mil üzerinde herhangi bir iyileştirme kısmı meydana gelmemektedir. Analiz sonucunda sadece kam kısmında malzeme azaltma yapılabilirliği yer almaktadır. Ancak kam dönüşü sırasında eleğe salınım hareketi oluşturmasından dolayı bu kısımda görüldüğü gibi bir malzeme hafifletmesi yapılabilirliği uygun görülmemektedir.

Topology analizinden elde edilen veriler doğrultusunda tasarımı gerçekleştirilen motor iletim ve kam mili, sistemin çalışması için gerekli dayanıma ve aynı zamanda en optimum ağırlık ve tasarım çözümlemesine uygun olduğu sonuçlanmaktadır.

4.3. MEKANİK DESTEK GÖVDESİ ANALİZİ

Mekanik destek gövdesi elek sisteminin ana taşıyıcı yapısını oluşturmaktadır. Elek sistemini oluşturan tüm sabit ve hareketli parçaların montajı ana destek gövdesi üzerine yapılmaktadır. Ayrıca sistem çalıştırıldığında oluşun kuvvetlere ve momentlere karşı rijit bir yapı oluşturarak sistemin sorunsuz bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Ayrıca parçalama ünitesi de bir bütün olarak bu destek gövdesi üzerine montajı gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.10: Mekanik destek gövdesi üzerindeki kuvvetler.

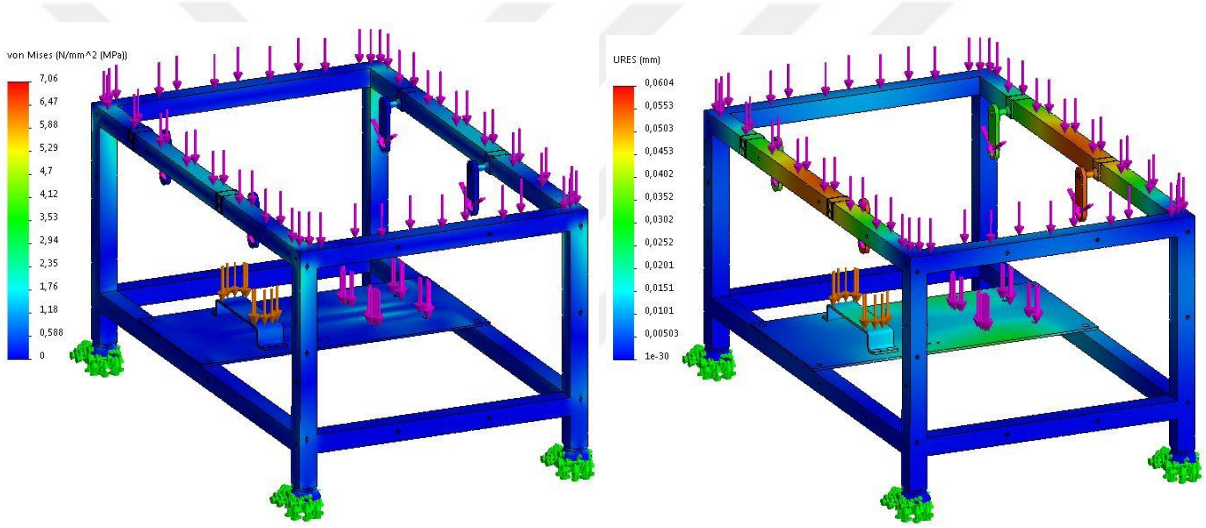
Belirtilen tüm bu nedenlerden dolayı ana destek gövdesi elek sisteminin (makinasının) ana taşıyıcı ve montaj parçasını oluşturduğu için tüm parçaların ve sistemlerin gövde üzerinde oluşturduğu etkiler (kuvvetler) belirlenerek mekanik yapının analizleri gerçekleştirilmektedir.

Eleme haznesinin sarkaç sistemleri ile destek gövdesine montajının yapıldığı ve tüm eleme haznesinin ağırlığı ve salınım hareketi sonucunda oluşturduğu kuvvetlerin toplamı F_e olarak belirtilmektedir. Bu doğrultuda eleme haznesinin parça ağırlıkları belirlenerek toplam uygulanan kuvvet 25 N olarak hesaplanmaktadır. 25 N dörde bölünürse her bir F_e kuvveti 6.5 N olmaktadır. Sistemin diğer bir kısmı, sistem için gerek duyulan güç ihtiyacına göre yapılan motor seçiminde belirlenen motorun ağırlığı üretici kataloğundan alınmaktadır. Bu doğrultuda mekanik destek gövdesi üzerine motor kaynaklı F_m kuvveti etki etmektedir.

Motorun iki ayağından ayrı ayrı oluşan kuvvet hesaplamaları sonucunda F_m: 20 N olarak belirlenmektedir. Ayrıca kam milinin yataklamasını sağlayan sabit rulman, uygun rulman seçimine göre montaj kısmına yapılan F_r: 6 N olarak hesaplanmaktadır.

Makine parçalama ünitesi bir bütün olarak destek gövdesi üzerine montajı yapıldığında toplam ağırlık hesaplamalarının sonucunda F: 70 N olarak belirlenmektedir. Yine bu kısım daha önce de belirtildiği üzere farklı bir proje ile ilerlediği için o kısımdan gerekli bilgiler alınmaktadır. Son olarak da tüm mekanik yapı montaj ayaklarından (sabitleme noktasından) sabitlenmektedir.

Bu doğrultuda sistem üzerinde elde edilen gerilme ve yer değiştirme sonuçları Şekil 4.11'de yer almaktadır.

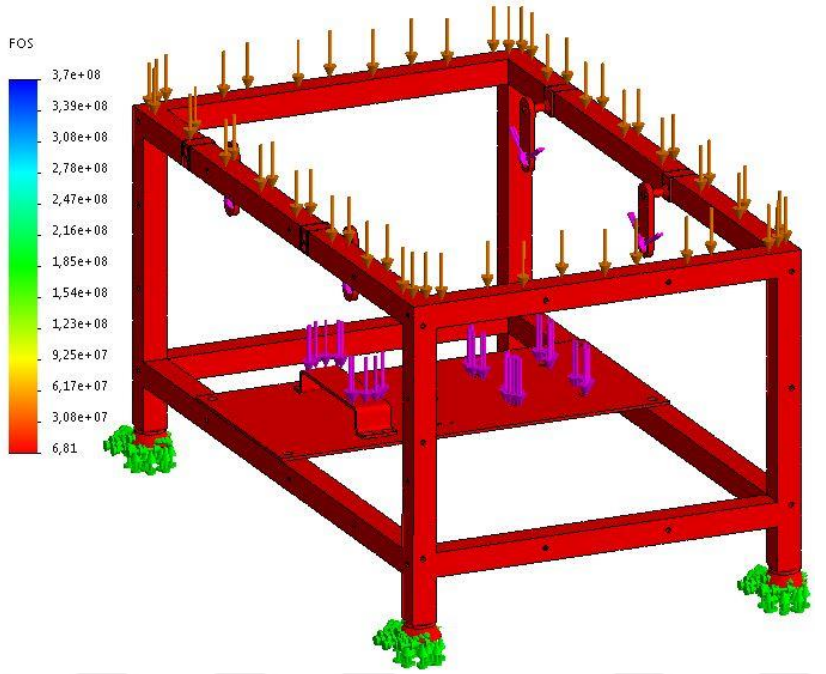


Şekil 4.11: Mekanik destek gövdesi gerilme ve yer değiştirme analizi.

Mekanik destek gövdesi analiz sonuçlarından elde edilen maksimum gerilme 7,6 N/mm^2'dir. Tasarımda kullanılan Al-6063-T1 malzemesinin akma mukavemet değeri ise 90 N/mm^2'dir. Bu değerler doğrultusunda görülmektedir ki mekanik destek gövdesi, gelen kuvvetlere karşı dayanım göstermekte ve güvenli bölgede kalmaktadır.

Sistem üzerinde en fazla gerilme eleme haznesini havada tutan sarkaç kısımlarında ve gövde ayaklarında oluşmaktadır. Sarkaç kısımları, tasarıma uygun yapılarından ve eleme haznesinin salınım hareketinden dolayı bu kısımlarda en çok gerilme oluşmaktadır. Ayak kısımlarında ise sistemin tüm yükünü ayaklar taşıdığı için bu kısımlarda da fazla gerilme oluşmaktadır.

Ayrıca ana gövde üzerinde yer değiştirmenin en fazla oldu kısım 0,06 mm değeri ile yine sarkaç sistemi kısmıdır. Bunun nedeni, eleme sürecinde oluşan salınım hareketinin ve eleme haznesinin ağırlığının bu kısımlara etki etmesidir. Tasarım üzerinde bu değer mekanik sistemin çalışmasına herhangi bir olumsuzluk oluşturmamaktadır.

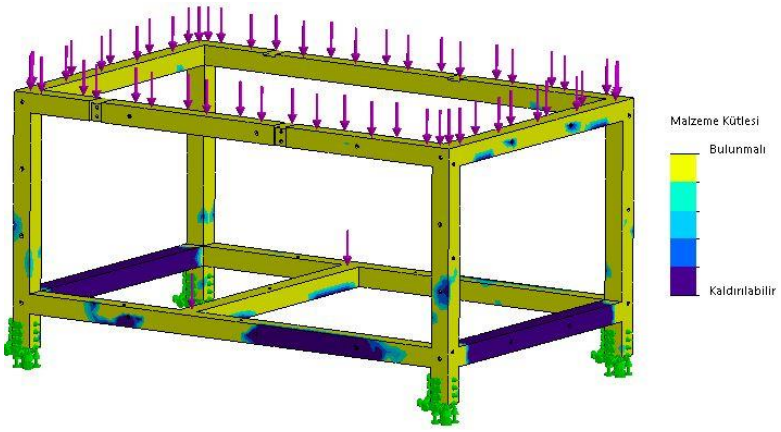


Şekil 4.12: Mekanik destek gövdesi güvenlik faktörü analizi.

Mekanik destek gövdesi güvenlik faktörü analiz sonuçlarından da görülmektedir ki, sistemin çalışması parça üzerine gelen kuvvetlerde güvenli bölgede kalmaktadır. Hatta güvenlik katsayısı yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni tüm sistemin yüksek hassasiyette ve sorunsuz bir şekilde çalışmasının istenmesidir. Ancak bazı hafifletme çalışmaları için daha düşük değerli gerilme kısımlarda iyileştirmeler yapılması mümkündür.

Bu verilerden yola çıkılarak parça üzerinde en yüksek ve en düşük gerilmelerin oluştuğu kısımlar belirlenmekte ve tasarım üzerinde uygulanabilecek iyileştirmelerin hesaplanması için mekanik destek gövdesine topology analizi uygulanmaktadır. Yapılan analizle, gerek duyulmayan kısımlar kaldırılarak ve bazı kısımlarda tasarımsal değişiklikler yapılarak ağırlık açısında iyileştirme yapılması amaçlanmaktadır.

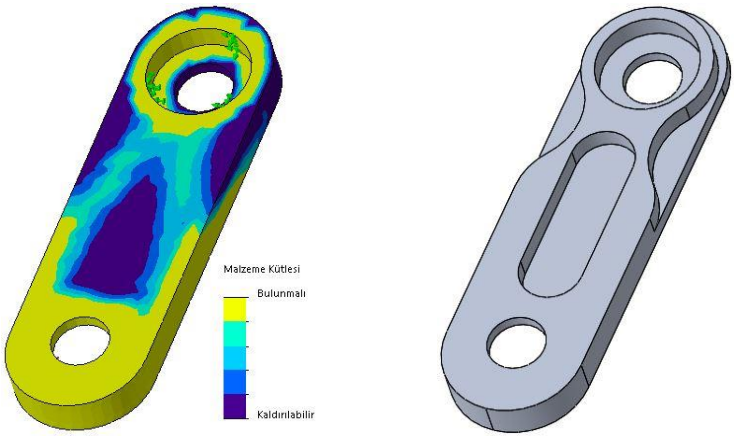
Statik analiz kısmında kullanılan ana gövde üzerindeki kuvvetler ve sabitleme noktaları aynı şekilde topology analizine de aktarılarak analiz çözümlemesi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.13: Mekanik destek gövdesi topology analizi.

Yapılan topology analizinde kütle ve gerilme arasında optimizasyon gerçekleştirilmektedir. Yani mekanik destek gövdesinin mukavemeti korunarak parça ağırlığında ve tasarımında iyileştirme yapılmaktadır. Bu doğrultuda Şekil 4.13'te de görüldüğü üzere mor ve mavi ile gösterilen kısımlardan malzeme alınması veya farklı malzeme kullanılmasının uygun olabileceği elde edilmektedir. Ayrıca statik analizde ana gövde, içi dolu profillerden oluşmaktadır. Topology analizinden elde edilen veriler doğrultusunda bu yapının içi boş profillerden de imal edilebileceği sonucuna varılmaktadır. Yapılan bu çözümler ile yapı üzerinde %30'a yakın ağırlık kazancı sağlanabileceği görülmüştür.

Ayrıca yine bu yapı üzerinde statik analizleri yapılan sarkaç parçası da kritik öneme sahip bir yapı olduğu için bu tasarımın da topology analizi gerçekleştirilmektedir. Bu doğrultuda tasarım parçasının topology sonuçları ve analiz sonuçları doğrultusunda yapılan iyileştirmeler ile nihai ürün tasarımı Şekil. 4.14'te yer almaktadır.



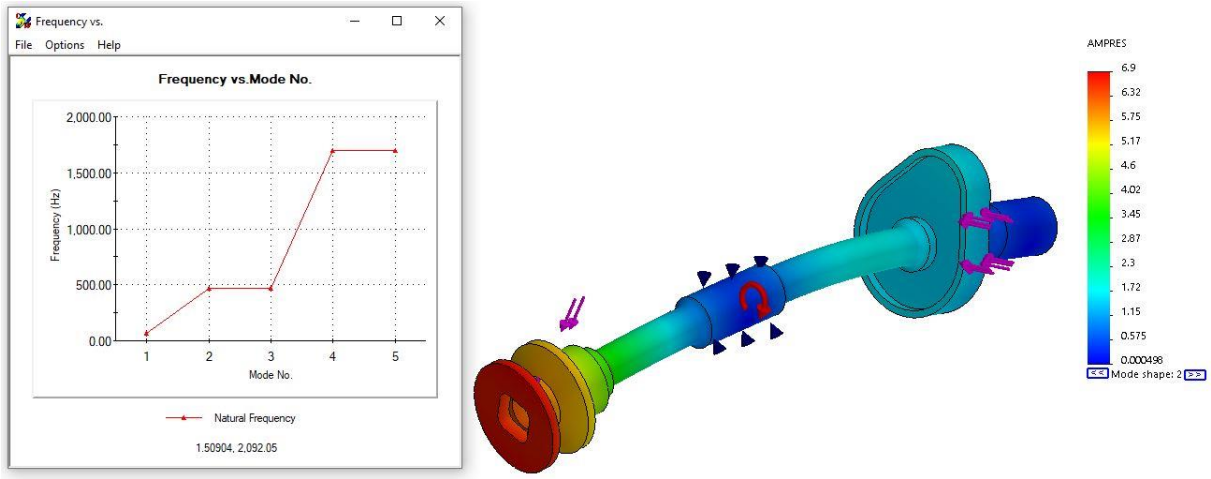
Şekil 4.14: Sarkaç topology analizi ve nihai tasarım.

4.4. ELEK SİSTEMİ TİTREŞİM ANALİZİ

Tasarımı gerçekleştirilen elek sisteminin, kritik öneme sahip parçalarına ve elek sistemine uygulanan analizler sonucunda sistemin çalışmasının doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Ancak elek sistemi üzerinde bulunan motor iletim ve kam milinin belirli bir devirde dönmesi sistem üzerinde doğal frekans ve titreşim oluşturmaktadır. Oluşan bu yüksek frekans değerleri ürün/sistem ömrünü azaltmaktadır. Ayrıca sistem üzerinde bulunan bağlantı parçalarının (rulman, sarkaç kol, vb.) ömrünü ve hassasiyetini de azaltmaktadır. Bunun sonucunda da tüm sistem üzerindeki hassasiyet bozulmakta ve makine verimi düşmektedir. Ayrıca belirtilen bu frekanslar sadece döner mil ve motor kaynaklı oluşmamaktadır. Tüm sistem üzerinde oluşan titreşimler ile doğal frekanslar da oluşmaktadır.

Belirtilen tüm bu durumlar doğrultusunda, sistemin frekans ve titreşim kaynağı olan parçalarının ve tüm elek sisteminin doğal çalışma frekansının belirlenmesi için analizler uygulanmaktadır.

İlk olarak, motor iletim ve kam mili üzerine etki eden kuvvetler statik analiz sonuçlarından alınmakta ve kam mili 180 RPM devir ile çalıştırılmaktadır. Elde edilen frekans analiz sonuçları Şekil 4.15'te gösterilmektedir.



Şekil 4.15: Motor iletim ve kam mili frekans analizi.

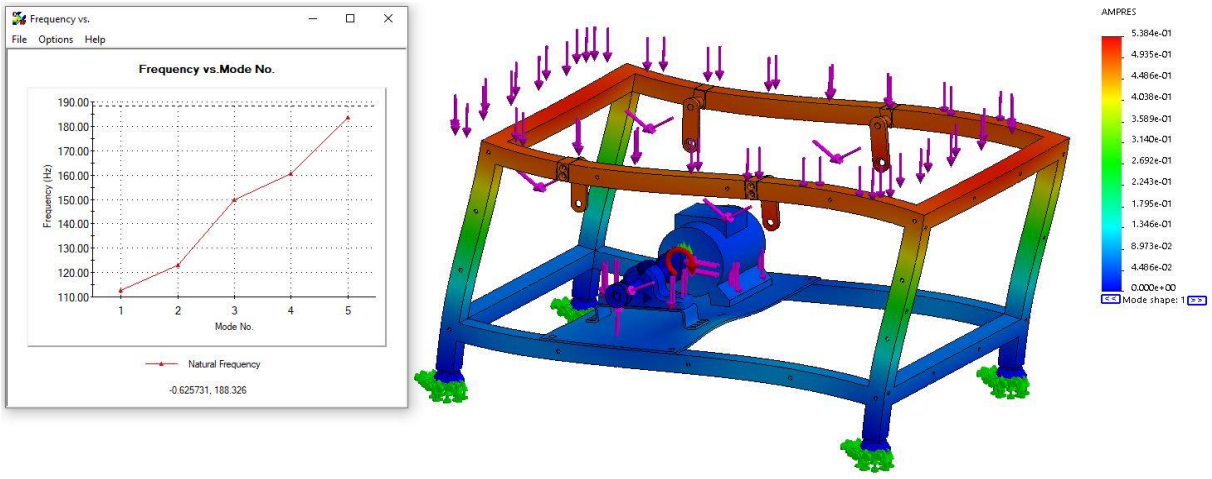
Frekans grafiğinde de görüldüğü gibi 5 farklı mod olacak şekilde doğal frekans değeri üzerinden analiz çalışması yapılmaktadır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda mil üzerinde 500 Hz değerinden sonra doğal rezonans başlamaktadır.

Hz değerini RPM'e dönüştürmek için 60 ile çarpılmaktadır. Buradan yola çıkılarak, elde etmiş olduğumuz 500 Hz, 60 ile çarpılarak RPM'e dönüştürülürse 30000 RPM mil dönüş değeri elde edilmektedir. Yani tasarımı gerçekleştirilen mil en fazla 30000 RPM devirde çalışmaya uygundur. Bu devirden sonra mil rezonansa girmektedir.

Ancak elek sisteminin frekans analizi sadece mil üzerinde oluşan değerler doğrultusunda belirlenememektedir. Çünkü tüm sistem bir bütün olarak çalışmaktadır ve tüm parçaların ayrı ayrı oluşturduğu bir frekans değeri bulunmaktadır. Bu değer mil frekans değerinden düşük ise mil dönüş devrini bu frekans değeri belirlemektedir.

Bu doğrultuda elek sistemi, frekans analizine uygun olarak sadeleştirilmiş bir yapıda hazırlanmaktadır. Burada eleme haznesi sadeleştirilmiş bir şekilde kullanılmak için bu kısım sarkaç kollara bağlandığında oluşan etkiler belirlenerek analize eklenmektedir. Böylece eleme haznesinin oluşturduğu analiz sonuçları sarkaç kollardan elde edilmektedir.

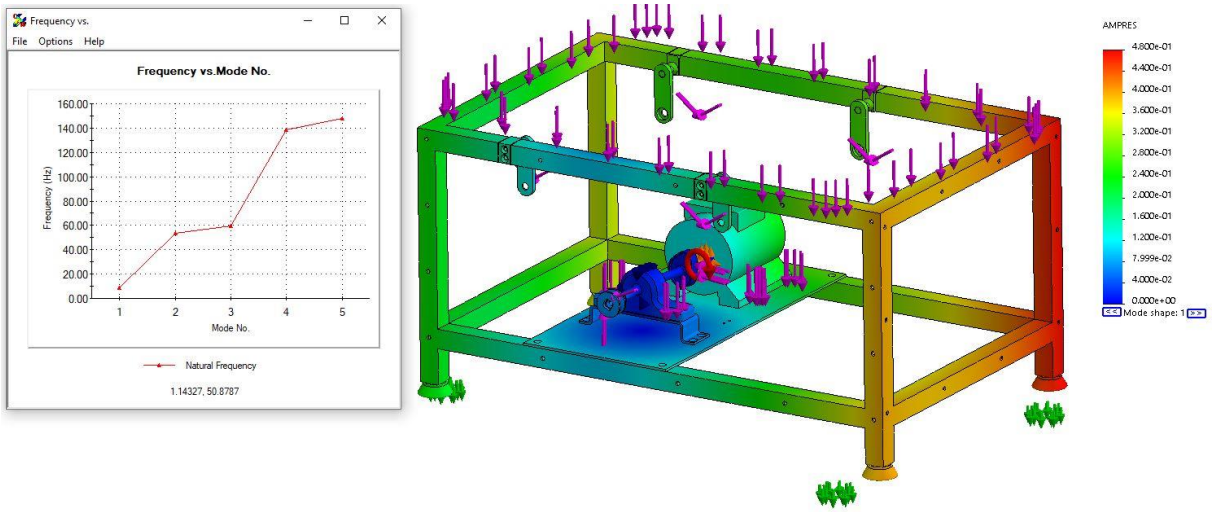
Tüm elek sisteminin yere montajı için ilk çözüm, sabit ayaklar ile yere vidalama veya farklı montaj yapıları kullanılarak yapılmaktadır. Bu durumda elde edilen frekans analiz sonuçları Şekil 4.16'da gösterilmektedir.



Şekil 4.16: Yere sabit montajlı elek sistemi frekans analizi.

Elek sistemi üzerindeki kuvvetler ve sistem üzerindeki parçaların ağırlıkları statik analiz sonuçlarından alınarak ve kam mili yine 180 RPM ile çalıştırılarak frekans analizi uygulanmaktadır. Bu doğrultuda elek sistemi yaklaşık olarak 115 Hz değerinden sonra doğal rezonansa girmektedir. Bu değer daha önce hesaplanan mil üzerindeki frekans değerinden düşük kalmaktadır. Yani tüm elek sistemi mile göre daha önce rezonansa girmektedir.

Tüm elek sisteminin yere montajı için ikinci çözüm, serbest ayaklar ile yani kauçuk ayaklar ile sistem yere serbest bırakılmaktadır. Bu durumda da elde edilen frekans analiz sonuçları Şekil 4.17'de gösterilmektedir.



Şekil 4.17: Yere serbest montajlı elek sistemi frekans analizi.

Yere sabitleme serbest olarak yapıldığında elek sistemi yaklaşık olarak 60 Hz değerinden sonra doğal rezonansa girmektedir. Ayrıca frekans etkisinden dolayı elek sistemi yerinde durmamaktadır ve hareket etmektedir. Bu nedenle de sistemin bir şekilde yere sabitlenmesi gerekmektedir. Yani elek makinesinin yere montajı sabit ayaklar ile yapılmalıdır.

Elde edilen tüm veriler doğrultusunda, elek sisteminin frekans değeri mil frekans değerinin altında kaldığı görülmektedir. Bunun sonucunda da sistemin çalışma frekansını, tüm elek sisteminin frekansı olan 115 Hz belirlemektedir. Hz değeri 60 ile çarpılırsa 6900 RPM elde edilmektedir. Yani elek titreşim hareketi için gerekli olan kam dönüş devri 6900 RPM değerlerine kadar çıkarılabilmektedir. Ancak bu değer çok yüksektir ve elek sisteminin sarkaç yapısı ve eliptik şeklindeki kurs boyu hareketinden dolayı bu kadar yüksek devirlere ihtiyaç duyulmamaktadır. Yine de elek sisteminin üretimi ve montajı yapıldıktan sonra en verimli eleme için tam ve sürekli çalıştırılması uygun motor devrinin belirlenmesi mümkündür.

4.5. PROTOTİP MALİYET ANALİZİ

Yeni elek sistemli geri dönüşüm makinesinin prototip üretimi için yapılan maliyet ve işçilik analizleri sonucunda 20 bin TL civarında harcama gerekeceği hesaplanmıştır. Ancak seri üretim sağlanması durumunda belirtilen maliyet oldukça düşmektedir.

5. TARTIŞMA

Tasarımı ve analizleri gerçekleştirilen elek sisteminden elde edilen veriler doğrultusunda, sistemin çalışma şekli mevcutta sanayide kullanılan eleme makinelerinden farklı yapıdadır. Sanayideki çoğu eleme makinesinin eleme haznesi Şekil 5.1'de görüldüğü gibi ana gövde üzerine montajı yaylar vasıtasıyla yapılmaktadır. Ancak bu tezde tasarlanan sistemin eleme haznesi ana gövdeye yine Şekil 5.1'de görüldüğü gibi sarkaç kollar ile bağlanmaktadır. Bu yapı ile elek salınım hareketi eliptik şeklinde oluşmakta ve böylece eleme işleminin daha verimli olması sağlanmaktadır. Ayrıca eliptik hareket ile elenen malzemelere sürekli yukarı ve ileri yönlü hareket oluşturularak elek deliklerinin tıkanma olasılığı da azaltılmaktadır.



Şekil 5.1: Sanayideki elek sistemleri ve tasarımı yapılan elek sistemi.

Tasarımı yapılan elek sisteminde yay sadece kam mekanizmasına tepki kuvveti oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu da sistemin yay merkezli bir tasarım yapısından çıkarmakta ve titreşim oluşturmak için farklı bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca yeni tasarım elek sisteminde, mevcutta daha çok araç motorlarında kullanılan kam mekanizması elek sistemine entegre edilmektedir. Böylece eleme makinelerine farklı bir çalışma sisteminin yer aldığı bir mekanizma kazandırılmaktadır. Yapılan tüm yeni tasarımlara statik, topoloji ve frekans analizleri uygulanarak çalışmasının doğrulaması simülasyon üzerinde tamamlanmıştır.

Belirtilen bu farklı tasarım ve çalışma çözümleri dışında elek sisteminde sanayide var olan elek sistemlerine benzerlikler de göstermektedir. Mevcut elekler gibi, güç kaynağı olarak elektrik motoru, iletim için kayış-kasnak mekanizması, eleme haznesi için delikli yapı ve tüm sistemin montajı için ana destek gövdesi kullanılmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çevremize verdikleri zararlar göz önüne alındığında ve doğada geri dönüşümü uzun yıllar alan plastik hammaddeli PET şişelerinin geri dönüşümünü sağlamak, geri dönüşüm sürecini hızlandırmak ve bu maddelerin kapladıkları alanı azalmak adına kompakt boyutlar için makine tasarımı yapılmıştır. Bu doğrultuda önce geri dönüşüm/parçalama ünitesinde bu maddeler parçalandıktan sonra, yeni bir üründe kullanılmak üzere veya atık depolama alanından kazanç sağlanması adına parçalanmış malzemelerin boyutlandırılmasını sağlayan farklı bir eleme sisteminin tasarımı, analizleri ve hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

Tasarımı gerçekleştirilen elek sisteminin çalışma yapısında iki farklı özellik bulunmaktadır. Bu iki özellik aynı yapı üzerinde kullanılarak yüksek eleme verimi elde edilmesi hedeflenmektedir. İlk özellik, eleme haznesi montajında sarkaç kol denilen tasarım parçalarının kullanılmasıdır. Bu yapılar sayesinde elek salınım hareketi eliptik şekilde oluşmaktadır. Bu hareket ile elenen malzemeler yatay ve dikey yönde kuvvetlere maruz bırakılmakta ve daha verimli bir eleme işlemi gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Ayrıca bu iki yönlü hareketin etkisi sonucunda, elek sac deliklerinin tıkanma sorunu da çözülmektedir. İkinci özellik ise, genel elek sistemlerinden farklı yapıda hareket kaynağı olarak kam mekanizmasının kullanılmasıdır. Kam kuvvetine karşı kuvvet olarak sadece kamdan gelen kuvvete tepki kuvveti oluşturmak adına yay sistemi kullanılmaktadır.

Elek sisteminin parça tasarım, montaj, hesaplamaları ve seçimleri şöyledir;

- Sisteme en uygun ve verimli eleme işlemi için 10 mm yer değiştirme boyu olacak şekilde uygun kam tasarımı yapılmıştır.

- Elek salınım hareketi ve parçalama ünitesi güç ihtiyacının karşılanması adına 250 W ve 1800 N.mm motor seçimi yapılmıştır.

- Eleme haznesi sarkaç kollar ve rulmanlar ile ana gövdeye montajı yapılmıştır. Ayrıca ana gövde yatayda 4° açıda olacak şekilde eleme yönünde eğim verilmiştir.

- Kam mili yataklaması ve merkezlemesi için SKF marka sabit rulman seçimi yapılmıştır.

- Parçalama ünitesinde ihtiyaç duyulan güç iletimi için kayış-kasnak hesaplaması yapılmış ve OPTIBELT marka VB-13x800 kodlu ürün seçilmiştir.

- Elek sisteminin çalışması sırasında oluşan titreşimlerin sönümlenmesi adına 55 Shore sertlik değerine sahip BRT S8001 kauçuk takoz-tek taraflı-cıvatalı-D tipi-pullu titreşim sönümleyici ayak seçimi yapılmıştır.

SolidWorks Simulation Premium mühendislik programı ile elek sistem tasarımı ve montajı yapılmıştır. Aynı programın analiz bölümü de kullanılarak elek sisteminin çalışması sırasında oluşan gerilmeler ve yer değiştirmeler sonucunda sistemin güvenlik katsayısı belirlenmiştir. Yapılan analizler sistemin çalışmasında kritik öneme sahip parçalarına uygulanmaktadır. Bu doğrultuda elde edilen sonuçlar Tablo 6.1'de sunulmaktadır.

Tablo 6.1: Elek sistemi statik analiz parçaları ve sonuçlar.

	Maximum Gerilme (N/mm^2)	**Maximum Yer Değiştirme (mm)**	**Güvenlik Faktörü**	**Al-6063-T1 Akma Mukavemeti (N/mm^2)**
Mekanik Destek Parçası ve Helozon Yay	19,9	0,017	2,52	90
Motor İletim ve Kam Mili	20,5	0,12	2,43	90
Mekanik Destek Gövdesi	7,6	0,06	6,81	90

Not: Tasarım parça malzemeleri Al-6063-T1

Statik (mukavemet) analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi tasarımı yapılan elek sisteminin yapısal olarak çalışması uygun olduğu sonucu elde edilmiştir.

Ayrıca motor iletim ve kam milinin belirli devirde dönmesi sonucunda ve sistem üzerindeki hareketli parçaların oluşturduğu titreşimler sonucunda sistem üzerinde rezonans ihtimali oluşmaktadır. Bu doğrultuda sistem üzerine yine SolidWorks Simulation Premium mühendislik programı ile elek sistemi üzerinde kritik öneme sahip parçalara titreşim analizleri uygulanmıştır. Bu doğrultuda elde edilen sonuçlar Tablo 6.2'de yer almaktadır.

Tablo 6.2: Elek sistemi frekans/titreşim analiz parçaları ve sonuçlar.

	Doğal Rezonans (Hz)	**Doğal Rezonans (RPM)**
Motor İletim ve Kam Mili	500	30000
Yere Sabit Montajlı Elek Sistemi	115	6900
Yere Serbest Montajlı Elek Sistemi	60	3600

Not: Kam mili ve sistem 180 RPM ile çalıştırılmaktadır.

Tablo 6.2'de elde edilen veriler sonucunda eğer sistem yere sabit olarak montajı yapılıyorsa kam mili en fazla 6900 RPM ile çalıştırılabilmektedir. Ancak serbest olarak montajı yapılırsa en fazla 3600 RPM ile çalıştırabilmektedir. Ancak sistemin yere montajı serbest olarak yapılırsa elek makinesi yerinde durmamaktadır. Bu nedenle sistem yere sabit olarak montajlanması ve en fazla 6900 RPM ile çalıştırılması sonucu elde edilmektedir.

Farklı bir çalışma yapısında tasarımı gerçekleştirilen elek sistemi ile elde edilen sonuçlar ve avantajlar ise şöyledir;

- ✓ Elek hareketinin eliptik yapısından dolayı daha verimli eleme işleminin oluşması,
- ✓ Eliptik hareket nedeniyle elek deliklerinin tıkanmasına karşı ekstra delik açma/temizleme sistemine ihtiyaç duyulmaması,
- ✓ Kam mekanizması kullanılarak titreşim/salınım hareketi oluşturulması,
- ✓ Yapılan titreşim hesaplamaları ile sistemin çalışma devrinin belirlenmesi,
- ✓ Yapılan mukavemet hesaplamaları ve analizleri ile sistemin çalışmasının doğrulaması,
- ✓ Sistemin parçalı/ayrı ayrı montajlı yapısından dolayı kolay müdahale ve hızlı çözüm olanağı sağlamaktadır. Böylece herhangi bir arızada minimum maliyet ve zaman kaybı oluşturması,
- ✓ Mekanik sürtünmelerin ve kuvvetlerin minimumda tutulması ile hem sistem hem de parça olarak uzun ömürlülüğün sağlanması, elde edilmektedir.

Yapılan elek çalışmasında farklı çalışma ve hareket yapılı sistem kullanılarak birçok avantaj ve sonuç elde edilmiştir. Ancak tasarlanan elek sistemi üzerinde ayrıca yeni bazı iyileştirmeler ve eklemeler yapılarak sistemin daha da geliştirilmesi mümkündür. Ayrıca burada kullanılan kam mekanizması sanayideki diğer eleklerin üzerinde de kullanılma imkânı sunmaktadır. Bu doğrultuda sistemin geliştirilmesi adına verilebilecek öneriler şöyledir;

- Farklı delik boyutlarında elek sacları üretilerek ve elek sistemine 2-3 katlı şeklinde montajlanarak, tek yapı ile birden fazla boyutlandırma işlemi yapılabilir.
- Elek saclarının farklı malzemelerden imalatı gerçekleştirilerek ses yalıtımı, neme karşı dayanıklılık, uzun hizmet ömrü ve korozyon dayanımı gibi avantajlar sağlanabilir.
- Elek sisteminin en verimli eleme işleminin gerçekleştiği salınım hareketinin belirlenmesi adına çalışmalar yapılabilir.
- Kam mekanizmalı sistemin diğer titreşimli elekler üzerinde de uygulanarak eleme işlemi ve verimi çalışmaları yapılabilir.

KAYNAKLAR

[1]. Alp, S., 2010, *Plastik sektör raporu*, İstanbul Ticaret Odası, 8-18.

[2]. Despotović, Ž. ve Pavlović, A., 2016, Reconstruction of vibratory sieves drives in system for separation boiler ash from slag on thermal power plant "tent-b", *International conference power plants 2016*, 23-26 Kasım 2016 Zlatibor, Belgrat, Society of thermal engineers of Serbia, 115-164.

[3]. Meka Global, *Titreşimli elekler*, https://www.mekaglobal.com/tr/cozumler/titresimli-elekler, [Ziyaret tarihi: 8 Şubat 2023].

[4]. Koç, E., 2017, *Yaylar*, Makina elemanları cilt-2, In: Dilmen, Y. (ed.), Bölüm 10, Akademisyen Kitabevi, Ankara, 1-76.

[5]. Çolak, İ., 2001, *Asenkron motorlar*, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.

[6]. Öcal, E., 2019, *Kayış nedir?*, http://gucaktarim.com/kayis-nedir/, [Ziyaret tarihi: 25 Ekim 2022].

[7]. Babalık, F.C., 2008, *Makine elemanları ve konstrüksiyon örnekleri*, Nobel Yayıncılık, Ankara.

[8]. Akkurt, M., 2005, *Makine elemanları cilt I-II*, Birsen Yayıncılık, İstanbul.

[9]. Rende, H., 2000, *Makine elemanları hesap ve konstrüksiyon*, Seç Yayıncılık, İstanbul.

[10]. Meşhur, B., 2011, *Cıvata bağlantılarında öngerilme kaybının incelenmesi*, Yüksek Lisans Tez, Akdeniz Üniversitesi.

[11]. Makine Eğitimi, *Cıvata çeşitleri ve özellikleri*, https://www.makinaegitimi.com/civata-nedir-civata-cesitleri-ve-ozellikleri/, [Ziyaret tarihi: 28 Ekim 2022].

[12]. Seçkin, M.S., 2010, *Plaka bağlantı cıvatalarının yorulmasının deneysel incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[13]. Gülçağ, A.M. ve Demirbaş, T., 2006, *Vibrasyonlu elek makinesi*, 2006/07493 nolu Patent, Türk Patent Enstitüsü.

[14]. Akyürek, S., 2009, *Tek tekneli ürün eleme makinesi*, 2009/03319 nolu Patent, Türk Patent Enstitüsü.

[15]. Çakırer, B., 2021, *Plastik öğütme makinası elek sistemi*, 2021/012579 nolu Patent, Türk Patent Enstitüsü.

[16]. Mıhcıoğlu, E., 2008, *Dairesel salınımlı elek*, 2008/03218 nolu Patent, Türk Patent Enstitüsü.

[17]. Taşpınar, Y., 2014, *Çok amaçlı öğütme, eleme makinesi*, 2014/04976 nolu Patent, Türk Patent Enstitüsü.

[18]. Başmumcu, T., 2014, *Elek açısı ayarlanabilen tahıl eleme makinesi*, 2014/10849 nolu Patent, Türk Patent Enstitüsü.

[19]. Dönmez, N., 2012, *Vibrasyonlu hassas eleme makinesi*, 2012/11086 nolu Patent, Türk Patent Enstitüsü.

[20]. Vijebandara, Y., Dadigamuwa, P., ve Goonatilleke, H., 2015, Copper separation from burned out charcoal-copper mixture, *European journal of advances in engineering and technology*, 2 (12), 21-24.

[21]. Utsumi, R., Hata, T., Hirano, T., Mori, H., Tsubaki, J. ve Maeda, T., 2000, Attrition testing of granules with a tapping sieve, *Powder technology*, 119(2001), 128-133.

[22]. Fayose, F.T., 2008, The development of a multi purpose wet food sieving machine, *Agricultural engineering international: the CIGR ejournal*, Vol.10.

[23]. Bozacı, A., 2005, *Makine elemanları cilt 2*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.

[24]. Serway, R. ve Beichner, R., 2007, *Titreşim hareketi*, Fen ve mühendislik için fizik, In: Çolakoğlu, K. (ed.), Bölüm 13, Palme Yayıncılık, Ankara, 389-422.

[25]. Kutay, M., 2010, *Elastik yaylar*, https://www.guven-kutay.ch/index_7.htm, [Ziyaret tarihi: 25 Ekim 2022].

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

4801200141-Mehmet YUNUSOĞLU

ORİJİNALLİK RAPORU

%9	%7	%0	%5
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%3
2	www.mekaglobal.com İnternet Kaynağı	%1
3	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%1
4	www.nesilplastik.com.tr İnternet Kaynağı	<%1
5	Submitted to Konya Necmettin Erbakan University Öğrenci Ödevi	<%1
6	muhendistan.com İnternet Kaynağı	<%1
7	tr.wikipedia.org İnternet Kaynağı	<%1
8	Submitted to Beykent Universitesi Öğrenci Ödevi	<%1
9	adudspace.adu.edu.tr:8080	

ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

☐ **Etik Kurul izni gerekmektedir.**

☒ **Etik Kurul izni gerekmemektedir.**

Mehmet YUNUSOĞLU
(İmza)

KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

☐ **Kurum izni gerekmektedir.**

☒ **Kurum izni gerekmemektedir.**

Mehmet YUNUSOĞLU
(İmza)