T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNE DİNAMİĞİ BİLİM DALI

VİBRASYONLU DİKEY HELEZON KONVEYÖR TASARIMI VE ANALİZİ

Yusuf Ozan SÖĞÜT

Danışman
Doç. Dr. Süleyman Murat BAĞDATLI

MANİSA–2022

Yusuf Ozan SÖĞÜT	**VİBRASYONLU DİKEY HELEZON KONVEYÖR TASARIMI VE ANALİZİ**	**2022**

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Yusuf Ozan SÖĞÜT

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
TABLO DİZİNİ	VII
TEŞEKKÜR	VIII
ÖZET	IX
ABSTRACT	X
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	4
1.2. Hipotez	5
1.3. Tezin Sanayiye ve Literatüre Katkıları	5
2. GENEL BİLGİLER	6
2.1. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Makine Elemanları	6
2.1.1. Vibrasyon Motoru	8
2.1.1.2. Vibrasyon Motorlarında Doğrusal Hareket	9
2.1.1.3. Vibrasyon Motorlarında Dairesel Hareket	9
2.2. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Avantajları	10
2.3. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Sınıflandırılması	11
2.3.1. Hava Soğutmalı Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör	11
2.3.2. Elektrik Isıtmalı Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör	12
2.3.1. Buhar Ceketli Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör	13
2.3.1. Su Soğutmalı Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör	14
2.4. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör ile İletilen Malzemelerin Özelikleri	15
2.5. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Matematiksel Olarak Modellenmesi	16
2.6. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Hareket Denklemi	16
2.7. Pertürbasyon Analizi	18
2.8. Kararlılık Metodu	20
2.8.1. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Sistemin 1. Modu	20
2.8.2. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Sistemin 2. Modu	22
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER	23
3.1. Konveyörün Tasarımı	23
3.2. Helezonun Tasarımı	24
3.3. Helezon Yataklama Tasarımı	26
3.4. Vibrasyon Motoru Seçimi	27
3.5. Hesaplamalı Analiz Modeli	31
3.5.1. Rocky Dem	31
3.5.2. Ayrık Eleman Modeli	32
3.6. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Deneysel Çalışma ile Analiz Edilmesi	36
3.7. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Ayrık Eleman Modeli ile Analiz Edilmesi	40

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 42
4.1. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün 1. Tasarıma Göre Mukavemet Sonuçları 42
4.2. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Farklı Tasarımlara Göre Simülasyon Sonuçları 44
4.2.1. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör 1. Tasarım 44
4.2.2. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör 2. Tasarım 46
4.2.3. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör 3. Tasarım 47
4.3. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Rezonans Simülasyon Sonuçları .. 49
4.4.Simülasyon Verilerinin Değerlendirilmesi 51
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 53
KAYNAKLAR 54
ÖZGEÇMİŞ 56

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\mathbf{m_{sistem}}$	Sistem kütle
$\mathbf{m_{motor}}$	Motor kütle
n	Devir sayısı
a	İvme
k	Yay rijitliği
A	Akım
f	Frekans
g	Yer çekimi ivmesi
FC	Merkezkaç kuvvet
kW	Kilowatt
kg/m^3	Malzemenin yoğunluğu
W/m.K	Termal iletkenlik
J/kg.K	Öz ısı
kg/mm^2	Yay sabiti
N/mm^2	Young modulü
$\mathbf{z_2}$	Deplasman vektörü
$\dot{\boldsymbol{z}}_{\boldsymbol{2}}$	Hız vektörü
$\ddot{\boldsymbol{z}}_{\boldsymbol{2}}$	İvmelenme vektörü
$\boldsymbol{\varepsilon}$	Sistemin pertürbasyon parametresi
$\boldsymbol{\mu_1}$	Konveyörün sönümleme katsayısı
$\boldsymbol{\mu_2}$	Konveyörün sönümleme katsayısı
$\boldsymbol{\omega_1}$	Sistemin doğal frekansı
$\boldsymbol{\omega_2}$	Sistemin doğal frekansı
$\boldsymbol{\alpha_1}$	Konveyörün doğrusal olmayan katsayısı
$\boldsymbol{\alpha_2}$	Konveyörün doğrusal olmayan katsayısı
$\boldsymbol{f_1}$	Sistemin uyarma zorlama genliği
$\boldsymbol{f_2}$	Sistemin uyarma zorlama genliği
$\boldsymbol{\Omega}$	Sistemin harici ve paremetrik uyarma frekansı
$\boldsymbol{\Omega_1}$	Sistemin harici ve paremetrik uyarma frekansı

$\boldsymbol{t}$	Zaman
$\boldsymbol{R_1, R_2}$	Negatif hız geri besleme kontrolleri
$\boldsymbol{G_1, G_2}$	Katsayı kontrolü
$\mathbf{T_0, T_1}$	Terimlerin karmaşık eşleniğini
$\boldsymbol{A_1, A_2}$	Karmaşık fonksiyon
$\boldsymbol{K_1, K_2, K_3, K_4}$	Karmaşık fonksiyon
$\boldsymbol{H_1, H_2, H_3, H_4}$	Karmaşık fonksiyon
$\boldsymbol{\sigma}$	Zorlama frekansı ile doğal frekans arasındaki ayar parametresi
$\boldsymbol{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4}$	Ayar bozma parametresi
$\boldsymbol{\dot{a}_1}$	Birinci modun hareketinin sabit durum genliği
$\boldsymbol{\varphi_1}$	Birinci modun hareketinin sabit durum fazı
$\boldsymbol{\theta_1, \theta_2}$	Polar formdaki kompleks genliğin faz parametresi
$\boldsymbol{\nu}$	Poisson parametresi
3B	Üç Boyutlu
MPa	Megapaskal
STL	Standart üçgen dili
CPU	Merkezi işlem birimi
GPU	Grafik işlemci birimi
CFD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
DEM	Sonlu elemanlar metodu
CAD	Bilgisyar destekli tasarım

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 1.	Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör	6
Şekil 2.	Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Tasarımları	7
Şekil 3.	Vibrasyon Motoru İç Yapısının Görüntüsü	8
Şekil 4.	Vibrasyon Motorlarında Doğrusal Hareket	9
Şekil 4.1.	Vibrasyon Motorlarında Dairesel Hareket	9
Şekil 5.	Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Kullanım Alanı	10
Şekil 6.	Hava Soğutmalı Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör	11
Şekil 7.	Elektrik Isıtmalı Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör	12
Şekil 8.	Buhar Ceketli Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör	13
Şekil 9.	Su Soğutmalı Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör	14
Şekil 10.	İletilen Malzemelerin Özelikleri	15
Şekil 11.	Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Matematiksel modeli	16
Şekil 12.	Malzemenin Kuvvet Analizi Konumunun Şematik Gösterimi	17
Şekil 13.	Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Tasarımı	20
Şekil 14.	Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Helezon Tasarımı	22
Şekil 15.	Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Malzeme Akışı	23
Şekil 16.	Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Yataklama Tasarımı	23
Şekil 17.	Vibrasyon Motoru Tasarımı	24
Şekil 18.	Eksantrik Ağırlıkların Açı Değeleri	25
Şekil 19.	Rocky Dem Geometry Bölümü	29
Şekil 20.	Rocky Dem Motion Frames Bölümü	30
Şekil 21.	Rocky Dem Materials Bölümü	31
Şekil 22.	Rocky Dem Kütüphane Materials	32
Şekil 23.	Rocky Dem Solver Bölümü	32
Şekil 24.	Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörde Deney Resimleri	33
Şekil 25.	Konveyörün Termal Kamera Görüntüsü	34
Şekil 26.	Konveyörün Yaylarının Görüntüsü	34
Şekil 27.	Rocky Dem Malzeme Akışı	35
Şekil 28.	Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helis Açısı 5^0, Titreşim Frekansını 16Hz Hız Sonucu	36
Şekil 29.	Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helis Açısı 5^0, Titreşim Frekansını 16Hz Sıcaklık Sonucu	36
Şekil 30.	Deneysel Çalışmanın Helis Açısı 3^0, Titreşim Frekansını 10Hz Hız Sonucu	37
Şekil 31.	Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helis Açısı 3^0, Titreşim Frekansını 10Hz Hız Sonucu	38
Şekil 32.	Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helis Açısı 3^0, Titreşim Frekansını 10Hz Malzeme İletim Sonucu	38
Şekil 33.	Helezonun Eşdeğer Gerilmesi [N/mm^2]	39
Şekil 34.	Helezonun Toplam Deformasyonu [mm]	40
Şekil 35.	Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 540mm, Titreşim Frekansını 20Hz Yer Değiştirme Sonucu	41
Şekil 36.	Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 540mm, Titreşim Frekansını 20Hz Hız Sonucu	42
Şekil 37.	Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 540mm, Titreşim Frekansını 20Hz Sıcaklık Sonucu	42

Şekil 38. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 620mm, Titreşim Frekansını 20Hz Yer Değiştirme Sonucu 43
Şekil 39. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 620mm, Titreşim Frekansını 20Hz Hız Sonucu..... 43
Şekil 40. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 620mm, Titreşim Frekansını 20Hz Sıcaklık Sonucu..... 44
Şekil 41. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 700mm, Titreşim Frekansını 20Hz Yer Değiştirme Sonucu 44
Şekil 42. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 700mm, Titreşim Frekansını 20Hz Hız Sonucu..... 45
Şekil 43. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 700mm, Titreşim Frekansını 20Hz Sıcaklık Sonucu..... 45
Şekil 44. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helis Açısı 5^0, Titreşim Frekansını 2Hz Hız Sonucu..... 46
Şekil 45. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helis Açısı 5^0, Titreşim Frekansını 2Hz Yer Değiştirme Sonucu..... 46
Şekil 46. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helis Açısı 5^0, Titreşim Frekansını 32Hz Hız Sonucu..... 47
Şekil 47. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helis Açısı 5^0, Titreşim Frekansını 32Hz Yer Değiştirme Sonucu..... 47

TABLO DİZİNİ

		Sayfa
Tablo 1.	Tasarımların Helis Açısı ve Titreşim Frekansı Bilgileri	21
Tablo 2.	Vibrasyon Motor Seçim Tablosu	26
Tablo 3.	OLI Vibrasyon Motoru Kataloğu.....	27
Tablo 4.	Tasarımların Kriterleri.....	41
Tablo 5.	Konveyör Tasarımlarının Malzeme Hızları.....	51
Tablo 6.	Konveyör Tasarımlarının Malzeme Termal Analizi.....	51
Tablo 7.	Konveyör Tasarımlarının Malzeme Yer Değiştirmesi.....	52
Tablo 8.	Konveyör Tasarımlarının Konveyör Hızı ve Uygulanan Kuvvet	52

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamın yürütülmesi her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Süleyman Murat BAĞDATLI' ya öncelikle çok teşekkür ederim.

Bana maddi ve manevi destek ortamı sağlayan, her zaman yanımda olan annem Birsen SÖĞÜT, babam Erdinç SÖĞÜT, kardeşim Oğulcan SÖĞÜT ve eşim Banu SÖĞÜT'e herşey için çok teşekkür ederim.

İş hayatımda şuanda çalışmakta olduğum Oerlikon Kaynak Elektodları'na, tüm şirket imkanlarını bu süreçte bana sağladığı için teşekkür ederim. Tüm bunların yanında, çalışmalarım sırasında küçük ve büyük yardımlarını esirgemeyen değerli yöneticim Şükrü Onur ALA' ya çok teşekkür ederim.

Yusuf Ozan SÖĞÜT
Manisa, 2022

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

VİBRASYONLU DİKEY HELEZON KONVEYÖR TASARIMI VE ANALİZİ

Yusuf Ozan SÖĞÜT

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Süleyman Murat BAĞDATLI

Bu tezde maden ürünleri, tıbbı ürünler, gıda ürünleri, kimyasal ve plastik sektöründe kullanılan özelikle taşımanın gerekli olduğu ve çeşitli alanlarda kullanılan vibrasyonlu dikey helezon konveyör makinası için araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada ülkemizde kullanılan konveyörde malzemelerin taşıma sırasında oluştukları ayrı ayrı ya da birlikte sistem üzerinde hem mekanik hem titreşim açısından önemli problemler oluşturmaktadır. Mevcut tasarım konveyörün malzeme taşıma süresi ve kullanılan malzemenin soğuma süresi ile çıkan ürün kalite düşmesinin analiz edilmesi tasarım açısından önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında titreşimle taşıma sektöründe kullanılan vibrasyonlu dikey helezon konveyörün tasarımı yapılmıştır. Tasarım için fabrikada bulunan konveyör üzerinden deneysel çalışma yapılmıştır. Ayrık elemanlar yöntemi için dynamic analysis on vertical vibratory conveyor adlı çalışma ile helezondaki titreşim analizi simülasyonu ile kıyaslanarak bilgisayar ortamında yapılan modellemenin sapmaları incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda helezon çapı, helis açısı ve titreşim frekansı değiştirilerek yapılan tasarımların çıktıları incelenmiştir. Bunların iletim kapasitesi ve termal analiz üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: dikey helezon konveyör, vibrasyonlu dikey helezon konveyör tasarımı, yapısal analiz mekanik titreşimler

2022, 56 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DESIGN AND ANALYSIS OF VIBRATION VERTICAL SCREW CONVEYOR

Yusuf Ozan SÖĞÜT

Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineer

Supervisor: Assoc. Prof. Süleyman Murat BAĞDATLI

In this thesis, research and development studies were carried out for the vibratory vertical screw conveyor machine, which is used in mineral products, medical products, food products, chemicals and plastics industry, especially where transportation is required and used in various fields. In the conveyor used in our country, the formation of the materials during the transport creates important problems on the system, both separately or together, in terms of both mechanical and vibration. It is important for the design to analyze the material handling time of the existing design conveyor and the cooling time of the used material and the product quality decrease.

Within the scope of the study, the design of the vibratory vertical screw conveyor used in the vibratory transport sector was made. For the design, an experimental study was carried out on the conveyor in factory. For the discrete element method, the dynamic analysis on vertical vibratory conveyor was compared with the vibration analysis simulation in the helix and the deviations of the modeling made in the computer environment were examined. As a result of the study, the outputs of the designs made by changing the helix diameter, helix angle and vibration frequency were examined. Their effects on transmission capacity and thermal analysis were investigated.

Keywords: vertical screw conveyor, design of vibratory vertical screw conveyor, mechanical vibrations, structural analysis

2022, 56 pages

1. GİRİŞ

Günümüzde, konveyörler çeşitli yük ve malzemeyi iki bölge arasında tek yönlü hareketle sürekli veya kesikli olarak taşıyan sabit veya portatif taşıma araçlarındandır. Verimliliği yüksek olmakla beraber farklı malzeme türlerinin taşınmasına olanak sağlamaktadır. Konveyörle taşıma sistemlerinde helezon konveyör insanlık tarihinin en eski iletim araçlarından su taşıma sebebiyle Arşimet tarafından düşülmüş mekanik cihazdır. Helezon konveyörler dökme malzemelerin naklini sağlayan, malzemeleri döner vida şeklinde helezon sayesinde yatay, eğik veya düşey olarak ileterek taşıyan sistemlerdir. Bu sistemler taşımada kullanıldığı gibi eleme, yıkama, karıştırma, soğutma, ısıtmak, sıkıştırma ve karıştırma elemanı olarak da kullanılmaktadır. Helezon konveyörlerde genellikle bir tekne içinde dönen mil ile bu mili hareket ettiren bir çalışma tertibatından meydana gelmektedir. Sistemde ki mil tahrik sisteminin yardımıyla döndükçe malzeme, helisin (kanatların) etkisiyle eksenel kuvvet ile itilir. Öteleme hareketi yapan malzeme boşaltma noktalarından boşaltılır. Taşınacak malzeme helezon konveyöre bir veya birden fazla besleme oluğundan doldurulur. Bu malzeme diğer adıyla taşınan yük kendi kütle ağırlığı ve tekne duvarları ile arasında ki sürtünme sayesinde vida ile birlikte dönmez. Bu durumda biraz önce bahsettiğimiz öteleme hareketi yapmasına sebebiyet verir. Teknenin öbür ucuna veya altına açılmış kapaklı boşaltma delikleri sayesinde malzeme istenilen yere taşınmış olur

Konveyör sistemlerinde titreşimle taşıma teknolojisi mühendislik uygulamalarında yaygın olarak karşılaşılmaktadır. Otomotiv endüstrisi, elektronik endüstrisi, gıda endüstrisi, kimya endüstrisi ve diğer endüstri üretim tesisleri örnek olarak verilebilir. Titreşim genelde zararlı bir etken görülse de üretim ve işletme maliyetini azaltmak, az enerji tüketimi, üretim hızını arttırmak ve ürün kalitesini iyileştirmek adına konveyör sistemlerinde önemli bir yer edinmiştir.

Helezon konveyörlerin öteleme hareketi yaparak taşıdığı malzemeleri vibrasyonlu dikey helezon konveyörler günümüzde ufak boyuttaki dökme malzemeleri ve toz halde olan ürünlerin taşınmasında kullanılan makinedir.

Konveyörün helisel yapısından kaynaklı ve taşıma mesafesinin uzun olması nedeniyle, malzemeleri taşıma işlemi sırasında soğutulabilir, kurutulabilir ve nem alma gibi işlemler gerçekleşebilir. Sektör olarak madenler, tıbbı ürünler, tarım ürünleri, kimyasal, plastik ve kum gibi ürünlerin taşınmasında geniş bir alana sahiptir. Dikey helezon konveyör taşıma sistemlerinde hem kapladığı yer açısından hem de maliyet açısından çok daha ekonomik bir çözümdür [1].

"D. Talabă and T. Roche.. 2004", Spiral elevator modelling and analysis using adams software adlı çalışmada Adams yazılımı ile sistemin yer değiştirmesi deneysel yollarla edilen yer değiştirme sonucu oluşan grafikleri incelenmişlerdir [2].

"İsmail Gerdemeli., 2005", Sürekli transport sistemleri kitabında salınımlı ve titreşimli konveyörler araştırmasında titreşimli konveyör çeşitlerinde inceleme yapmıştır [3].

"Hüseyin Bayıroğlu., 2007", Computational dynamic analysis of unbalanced mass of vertical conveyer-elevator adlı çalışmada , dikey konveyörün hareket parametrelerinin değişimini mathematica yazılımında grafiksel olarak gösterilmiştir. Elde edilen sonuçları literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır [4].

"Hüseyin Bayıroğlu., 2011", Nonlinear analysis of unbalanced mass of vertical conveyer-elevator adlı çalışmada , dikey konveyörün hareket parametrelerinin değişimi için doğrusal olmayan analiz ve kararlılık durumu mathematica yazılımında grafiksel olarak gösterilmiştir [5].

"Hongyan Hao, Qingshan Ji., 2011", Vertical vibration conveyor vibration testing adlı çalışmada dökümhanede kullanılan kalıp kumunun iki farklı sensör sistemi kullanarak dikey titreşimli konveyörün titreşimini ve dönme titreşimini incelemişlerdir [6].

“Özgür KAPLAN., 2012”, Helezon konveyör tipi kurutucuda odun parçacıklarının kurutulmasının deneysel olarak incelenmesi adlı çalışmada Kızılçam ağacı (Pinus Brutia) odun parçacıklarının helezon konveyör tipi bir kurutucudaki kurutma koşullarının kuruma prosesine etkisi deneysel olarak inceleme yapmıştır [7].

“Yuejing Zhao, Fengshan Huang, Zhilin Zhao., 2013”, Dynamic analysis on vertical vibratory conveyor adlı çalışmada farklı tip malzeme kullanılarak sürtünmenin dikey titreşimli konveyör üzerinde etkisini incelemişlerdir [8].

“Kerem Yücesan., 2015”, Helezon konveyör içerisindeki malzeme akışının modellenmesi adlı çalışmada çeşitli eğim açılarındaki helezon konveyörler ile polipropilen malzeme aktarımı bilgisayar ortamında modellenmiş, alınan malzeme iletim kapasitesi değerleri test ölçümleri ve teorik değerler ile kıyaslanarak bilgisayar ortamında yapılan modellemenin sapmaları incelenme yapmıştır [9].

“Y. S. Hamed, M. Sayed, R. A. El-Awad., 2017”, On Controlling the nonlinear response of vibrational vertical conveyor under mixed excitation adlı çalışmada dikey titreşimli konveyörün titreşimli hareketini inceleyerek, doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerin bir birleşimi olarak hareket denklemlerini incelemişlerdir [10].

“David Zurovec, Jakub Hlosta, Daniel Gelnar, Jan Necas, Jiri Zegzulka., 2017”, The behavior of fly ash on the vibrating vertical conveyor adlı çalışmada üç farklı malzemenin mekanik ve fiziksel özeliklerinin dikey yönde titreşimli taşınması üzerinde verimliliğini incelemişlerdir [11].

“H. S. Bauomy, A. T. EL-Sayed., 2018”, Vibration performance of a vertical conveyor system under two simultaneous resonances adlı çalışmada dikey titreşimli konveyörün matematiksel çözümden tüm rezonanslar belirlendikten sonra bu sistemin iki eşzamanlı rezonans durumu analitik ve sayısal olarak incelemişlerdir [12].

"Onur Dedeoğlu., 2018", Helezon konveyör sistemlerinde oluk boşluğunun ve eğimin iletim kapasitesine etkisi adlı çalışmada bu oluk boşluğun ve eğimin etkisi, iki farklı boyuttaki malzemenin üzerinde hem deneysel olarak hem de bilgisayar ortamında modellenmesiyle incelenmiştir. Bu konuda yayınlanmış olan makaleler de incelenme yapmıştır [13].

"M.A. Martin Sturm., 2018", Design optimization of linear vibratory conveyors adlı çalışmada titreşimli konveyörlerin fonksiyonel ve performans optimizasyonunu ve uygulama ihtiyaçları referans alınarak zemine gelen titreşimin azaltılması ile bağlantılı olarak inceleme yapmıştır [14].

1.1. TEZİN AMACI

Bu çalışmada taşıma sistemlerinde kullanılan vibrasyonlu dikey helezon konveyörün dökme malzemeleri ve toz halde olan malzemelerin taşıma sırasında oluştukları ayrı ayrı ya da birlikte sistem üzerinde hem mekanik hem titreşim açısından önemli problemleri oluşturmaktadır. Konveyörün çalışma sistemi iki adet bulunan titreşim motorlarının eksantrik bloklarının eşit açıda ayarlanıp çalışmasında dikey yönde uyarma torku oluşur. Böylece yaylar üzerine yataklanan gövde dikey yönde dikey titreşim ve burulma titreşimi üretecektir. Bu durumunda sistemde dengesizlikten dolayı oluşabilecek kuvvetler yataklama elamanlarına zarar vererek ömrü azaltmaktadır. Ürün kapasitesi arttırmak amacıyla analiz edilmesi tasarım açısından önem taşımaktadır. Ayrıca ürünün soğuma süresi ile çıkan ürün kalitesi düşmektedir. Bir diğer sorun titreşim problemi ile makinanın çalışma hızı istenilen değerlere çıkamamaktadır. Makinenin doğal frekansının arttırılması ile ürün taşıma hızı arttırılması çalışmanın önceliğidir.

Makinanın kapasitesinin arttırılması ve tasarımda iyileştirmeler yaparak maliyetinin düşürülmesi de bu tezin başlıca amaçlarındandır. Bu tez çalışmasında izlenen yol öncelikle üretilen konveyörler hakkında literatür araştırması yapılacaktır. Tasarım için fabrikada bulunan konveyörün Solidworks programında katı model oluşturulacaktır. Makinenin iyileştirme çalışması için konveyöre üretim analizi ve termal analiz deneyi yapılacaktır. Çıkan deney sonuçlarını Rocky DEM programında kullanılarak titreşim analizi ve termal analiz yapılacaktır.

1.2. Hipotez

CFD (Computational Fluid Mechanics, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) metodlarının akışkanlar mekaniğine sağladığı yaklaşımda olduğu gibi, DEM (Discrete Element Method, Sonlu Elemanlar Metodu) metodları da dökme yükmelerin (tanecikli malzemelerin) karmaşık akışlarının modellenmesi ve analizinde kullanılır. Sonlu elemanlar metodu, bilgisayar teknolojisinin gelişimi ile beraber yazılımlar içerisinde kullanılmaya başlanmış; tasarlanan modelin CAD çiziminin yapılması ve sonrasında yazılım içerisinde oluşturulan taneciklerin özellik, boyut ve yüzey etkileşimlerinin modellenmesi ile granüllü malzeme akışının gerçeğine oldukça yakın çıktılar vererek simüle edilmesini sağlamıştır. DEM yazılımı aracılığı ile oluşturulan modellerde Yuejing Zhao (2013) 'nun tespit ettiği deneysel konveyör iletim kapasitelerine oldukça yakın veriler elde edilmiş ve buradan alınan güven ile titreşim frekansının, helis açısının ve diğer tasarım kriterlerinin değiştirilmesi ile helezonun iyileştirilmesi yöntemlerinin DEM yazılımı kullanılarak tespit edilebileceği gösterilmiştir.

1.3. Tezin Sanayiye ve Literatüre Katkıları

Bu tez çalışmasının literatüre ve sanayiye katkıları aşağıdaki maddeler ile özetlenebilir.

• Hâlihazırda üretilmekte olan vibrasyonlu dikey helezon konveyörün kapasitesinin arttırılması amacıyla yeni tasarım geliştirilmiştir. Yeni model tasarım için mukavemet, titreşim ve termal analizleri yapılmıştır.

• Asimetrik yapıya sahip olan helezon için tasarım sırasında dengeleme yapılmıştır.

• Yapılan bu tez çalışması ile sanayimizde üretilmekte olan mevcut vibrasyonlu dikey helezon konveyör tasarımının ürün kapasitesi arttırılmıştır. Yeni tasarımın doğal frekansı mevcut duruma göre artmıştır. Yaşanan titreşim sıkıntısı ortadan kalkmış daha az maliyetli tasarım seçilmiştir.

• Bu tezden yararlanılarak, test verileri ile birlikte rastlantısal titreşimin sayısal analizleri yapılabilir. Böylece makina üzerinde çalışan bir yapının tüm etkileri görülebilir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Makine Elemanları

Vibrasyonlu dikey helezon konveyör taşıma prensibi, yatay titreşimli konveyörlerle aynıdır, ancak ürün, dikey bir merkez borunun etrafına spiral olarak sarılmış bir yolda taşınır. Konveyör çok çeşitli operasyonlar için uygundur. Bunlar arasında kuru, ıslak, ılık, yağlı ve donmuş özelliklere sahip ürünler de bulunmaktadır. Konveyör aynı zamanda soğutma, ısıtma, yayma veya birleştirme sistemi ile de taşıma yapabilmektedir. Vibrasyonlu dikey helezon konveyöre ait resim Şekil 1'de gösterilmiştir. Konveyör; Helezon gövde, vibrasyon motoru ve yataklama bölümü olarak üç kısımdan oluşmaktadır [15].



Şekil 1. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör [12]

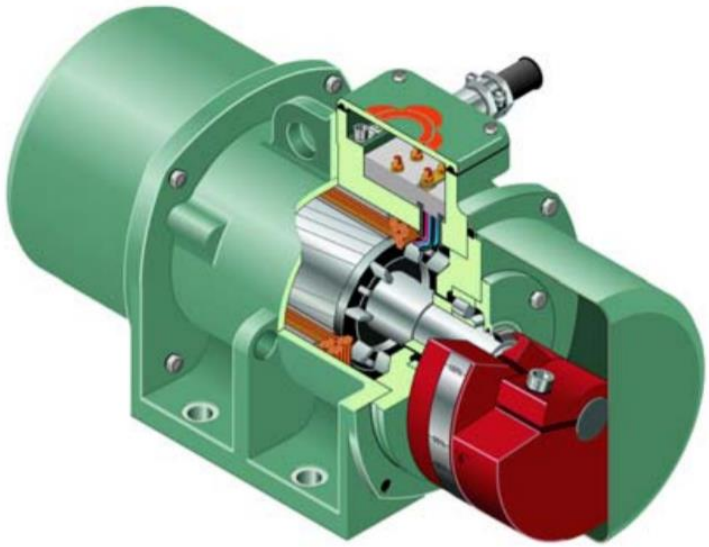
Helezon gövdenin malzemesi paslanmaz çelikten imal edilmiş AISI 304 veya AISI 316'dır. Konveyörün taşıma yolu uzunluğu 500 ile 7000 mm arasında üretebilmektedir. Helezon çapı ise 300 ile 1500 mm arasında üretebilmektedir. Vibrasyon motoru konveyörün titreşim kaynağı olarak iki adet kullanılmaktadır. Kullanılan vibrasyon motorunun iki yanında bulunan eksantrik ağırlıklar sayesinde titreşim üretilir. Eksantrik ağırlıklar iki adedi sabit, iki adedi ayarlı olmak üzere eşit açıda ayarlanıp çalışma esnasında dikey yönde uyarma torku oluşturur. Böylece yaylar üzerinde desteklenen tüm gövde sürekli titreşir. Besleme bölümüne göre gövdedeki malzeme yukarı veya aşağı olmak üzere iki farklı yolda taşınabilir. Yataklama elamanı olarak 8 adet baskı yayı kullanılmaktadır. Günümüzde çeşitli titreşim konveyörü üreticileri mevcuttur. Vibrasyonlu dikey helezon konveyörün üretim gereksinime göre açık veya kapalı yapı halinde de üretimleri de bulunmaktadır [16].



Şekil 2. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Tasarımları [16]

2.1.1. Vibarasyon Motoru

Vibrasyon Motoru; motorun iki yanında bulunan eksantrik çekiçler sayesinde titreşim sağlayan motor türüdür. 2 adedi sabit 2 adedi ayarlı olmak üzere bir vibrasyon motorunda toplam 4 adet eksantrik ağırlık bulunur. Vibrasyon kuvveti, ayarlı ağırlıkların konumları değiştirilmek suretiyle, artırılır veya azaltılır. Sabit ve ayarlı ağırlıklar arasındaki açı arttıkça vibrasyon kuvveti azalır. Şekil 3'te de gösterilen vibrasyon motorunun her iki yanındaki ağırlıkların konumu aynı (paralel) olmalıdır. Farklı yönde olacak şekilde ayar yapılırsa yani her iki taraftaki ağırlıkların konumu paralel olmazsa vibrasyon motoru mili, vibrasyon motoru bağlantı cıvataları veya vibrasyon motorunun bağlandığı şasi zarar görür [17].

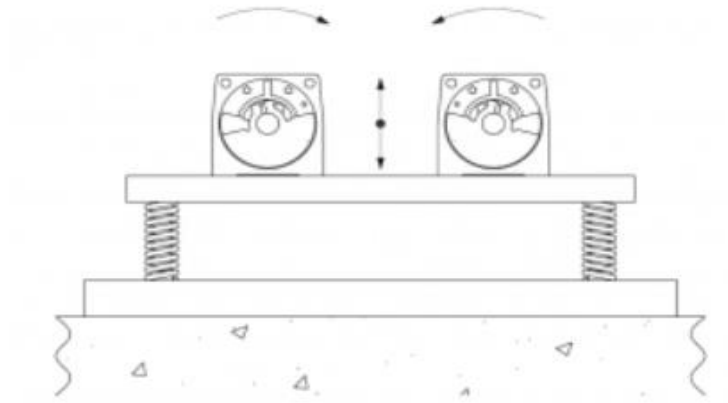


Şekil 3. Vibrasyon Motoru İç Yapısının Görüntüsü [14]

Vibrasyon motorlarları, vibrasyon tesisatlarının tahriği için öngörülmüştür ve uygundur. Elekler, depolama siloları, un fabrikaları, yem fabrikaları, filtre tesisleri, vibrasyonlu boşaltma kanalları, hububat ve ziraat makineleri, kum kireç kömür gibi maddelerin gevşetme dağıtma işlemleri gibi titreşimli hareketin gerektirdiği tüm alanlarda kullanılır.

2.1.1.2. Vibrasyon Motorlarında Doğrusal Hareket

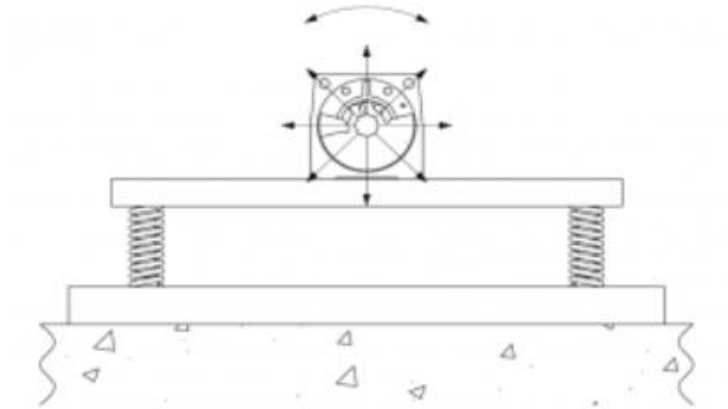
Aynı elektro-mekanik özelliklere sahip iki vibratör, eksenleri aynı düzlemde olacak şekilde ve dönüş yönleri birbirine göre zıt olarak monte edilip çalıştırıldığında bağlantı düzlemine dik, dalgalı, ileri-geri yönde bir titreşim hareketi elde edilir. Doğrusal hareket ile çalışması istenen bir sistemde, vibratörlerin montaj düzlemi ve titreşecek mekanizmanın ağırlık merkezinden geçen kuvvet hattının yatay düzlem ile yaptığı kesişme açısı 'i' vibratör montajında dikkate alınmalıdır [18].



Şekil 4. Vibrasyon Motorlarında Doğrusal Hareket [18]

2.1.1.3. Vibrasyon motorlarında Dairesel Hareket

Tek bir vibrasyon motoru, sistemin ağırlık merkezi ile kendi ağırlık merkezi çakışacak şekilde monte edildiğinde 360 º yönlü tam bir dairesel hareket elde edilir. Vibrasyon motoru sistemin ağırlık merkezinin dışına yerleştirildiğinde ise elips şeklinde bir hareket elde edilir [18].



Şekil 4.1. Vibrasyon Motorlarında Dairesel Hareket [18]

2.2. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Avantajları

•Yüksek taşıma kapasitesine sahiptir.

• Dikey taşıma ve yerden tasarruf sağlamaktadır.

• Düşük enerji tüketimi sağlar.

• Az bakım gerektiren sürekli çalışma sağlar.

• Temizlemesi kolay, hijyenik tasarım sağlamaktadır.

• Farklı sıcaklık talepleri için termal transfer sistemi uygulamaları sağlamaktadır.

• Sızdırmazlık talepleri için kapalı ve açık yapı sistemi uygulamaları sağlamaktadır.



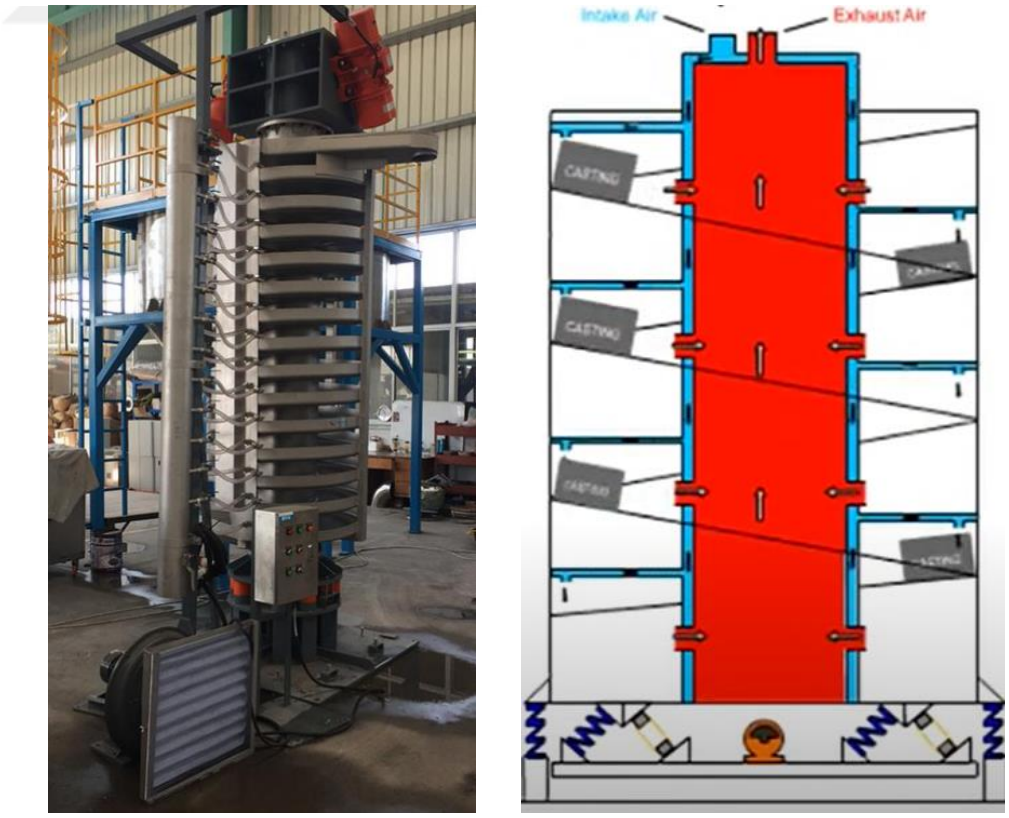
Şekil 5. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Kullanım Alanı [19]

2.3. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Sınıflandırılması

Şekil 2'de gösterildiği gibi temel titreşimli konveyörlerin tasarımları genellikle aşağıdaki bileşenleri ve özellikleri içerir. Titreşimli spiral konveyörler, dökme malzemeleri taşımak için birçok endüstri için standart ekipmandır. Plastik granülleri, kauçuk granülleri, kimyasal ve farmasötik ara ürünleri, metal tuzları, kaynak tozu, cam yığını, katalizörler, aşındırıcılar ve külün yanı sıra süt tozu, kahve tozu, çay, fındık, besin maddeleri ve tahılları taşıyabilir, kurutabilir ve soğutabilir. Konveyörün kullanımı ve bakımı kolaydır.

2.3.1. Hava Soğutmalı Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör

Hava soğutmalı vibrasyonlu dikey helezon konveyör, genellikle plastik üretim hatlarında yüksek sıcaklıktaki malzemelerin soğutulması ve kurutulması için uygun olan merkezi kolonundaki deliklerden malzemeyi kurutmak ve soğutmak için hava üfleyicisini kullanır. Üretim hacmi firmalara göre değişen 500-4000kg/saat sahip titreşimli konveyör tasarlanabilir. Malzeme akışı ne kadar uzun olursa, helezon yapısı nedeniyle soğutma etkisi o kadar iyi olacaktır [20].



Şekil 6. Hava Soğutmalı Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör [20]

2.3.2. Elektrik Isıtmalı Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör

Elektrikli ısıtmalı vibrasyonlu dikey helezon konveyör, malzemeleri ısıtmak için yüksek ısı ileten bir yağ kullanır ve nominal kurutma kapasitesi 500-4000 kg/saat'tir. Titreşim helezonun maksimum yüzey sıcaklığı 200 derecenin üzerine çıkabilir. Ultra yüksek sıcaklıkta ısıtma ve kurutma gereksinimleri olan malzemeler için uygundur. Elektrikli ısıtmalı vibrasyonlu dikey helezon konveyörün, ceketin içindeki yağı ısıtmak için doğrudan enerji verilen, elektrikli bir ısı ileten yağ ceketi vardır. Isı ileten yağ, malzeme parçacıklarını kurutmak için titreşen helezona eşit şekilde ısıtır. Isıyı eşit şekilde yayabilir. Helezon konveyör, farklı malzeme üretimini karşılamak için paslanmaz çelik kapak veya silikon kaplama gibi müşterinin gereksinimlerine göre dış yalıtım katmanı ile donatılabilir [20].



Şekil 7. Elektrik Isıtmalı Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör [20]

2.3.3. Buhar Ceketli Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör

Buhar ceketli vibrasyonlu dikey helezon konveyör, mühendislikte plastik üretiminde kullanılan malzemelerin sürekli taşınması, ısıtılması ve kurutulması için tasarlanmıştır. Kurutucu malzemeleri ısıtmak için buhar kullanır ve 500-4000 kg/saat kurutma kapasitesine sahiptir. Buhar ceketli vibrasyonlu dikey helezon konveyör kurutucu, helezonun altında, malzemenin titreşim taşıma sürecinde sürekli yuvarlanmasını sağlayan bir buhar ceketine sahiptir. Sürekli olarak eşit şekilde ısıtılır. Isıtma sıcaklığı ayarlanabilir ve kurutma indeksi stabil ve kontrol edilebilir. Opsiyonel bir elektrikli buhar jeneratörü ile konfigüre edilebilir. Isı yükü 24-50 Kw olup buhar basıncı ayarlanabilmektedir [20].

Kalıp damgalama ile oluşturulan buhar ceketi, deformasyon olmadan 6 kg basınca dayanabilir ve titreşen helezonun yüzey sıcaklığı 150^0'ye kadar ulaşabilir. Malzeme kaldırma makinesi, yüksek mukavemetli kompozit buhar hortumu nedeniyle yüksek sıcaklık ve yüksek voltaj direncine sahiptir. Makine uzun süreli kullanımlarda çatlama veya hava sızıntısı olmadan titreyebilir. Enerji kaybını taşıyacak sıcak hava olmadığı için geleneksel sıcak havayla kurutmanın enerji tüketiminden %50 daha düşüktür [20].



Şekil 8. Buhar Ceketli Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör [20]

2.3.4. Su Soğutmalı Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör

Su soğutmalı vibrasyonlu dikey helezon konveyör, malzemelerin hızlı soğutulması, kurutulması ve kaldırılması için tasarlanmıştır. Nominal verimi 500-4000kg/saat'dir ve yüksek sıcaklığa duyarlı malzemelerin soğutularak taşınması için uygundur. Helezonun alt kısmında, ekipmanın soğutma etkisini güçlendirmek için soğutma suyu ile doldurulmuş çift katmanlı ceketlerle tasarlanmıştır. Ceket konveyörü, uzun süreli titreşim koşullarında çatlamayacak yüksek performanslı bir kompozit buhar hortumu kullanır. Yüksek hassasiyetli filtre ile yapılandırılmış su giriş borusu, hassasiyeti sayesinde (0.5-1um) ceketin pisliklerinin çökmesini önleyebilir. Malzeme konveyörü, yoğuşma önleyici cihaz ile ekipmanın yüksek nem altında yoğuşmasını etkili bir şekilde önleyebilir [20].



Şekil 9. Su Soğutmalı Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör [20]

2.4. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör ile İletilen Malzemelerin Özelikleri

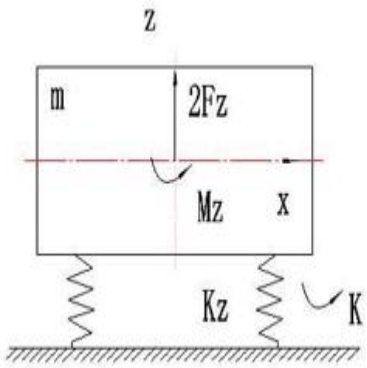
Malzeme bir yerden diğer yere aktarılırken onun yuvarlanabilme ve birbiri üzerinden kayabilme özelliğini bilmek, çalışma prensibinde çok önemli bir adımdır. Yuvarlanabilen ve birbiri üzerinden kayabilen tanecikli malzemeler Şekil 10'da gösterilen malzemeler konveyörde kolay taşınırlar. Herhangi bir konveyörün tasarımında en önemli olan şeylerden biri malzemenin akış şekli ve akış sırasında göstereceği etkilerdir. Malzemelerin taşınmasında iletim kapasitesi (debi), "ton/zaman" veya "kilogram/saniye" olarak ifade edilir. Vibrasyonlu dikey helezon konveyörler ile David ZUROVEC'in çalışmasında da malzemenin akışkanlığı arttıkça, malzemeyi taşımak için gerekli olan gücün düştüğünü göstermektedir. Fakat tanecikli malzemeler için akışkanlık kolayca tanımlanamadığından malzemeyi sınıflandırırken dikkat edilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda malzeme taşınması sürtünmeye dayalı gerçekleştiği için taşınma işlemi boyunca malzemelerin bir kısmı zarar görebilir. Biz bu çalışmamızda tozaltı kaynak tozu kullanacağız.



Şekil 10. İletilen Malzemelerin Özelikleri [11]

2.5. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Matematiksel Olarak Modellenmesi

Konveyörün vibrasyon motoru ve yataklama kısmını kapsayan bölüm için matematiksel model ifade edilecektir.

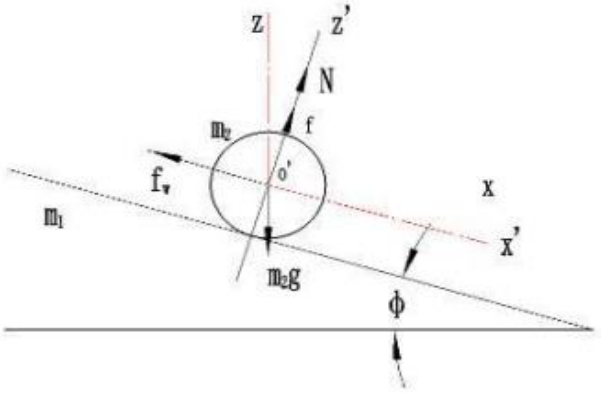


Şekil 11. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Matematiksel modeli [8]

2.6. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Hareket Denklemi

Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün amacı malzemeleri taşımaktır. Konveyörde titreşimi oluşturan iki adet vibrasyon motoru bulunmaktadır. Motorun iki yanında bulunan eksantrik çekiçler sayesinde titreşim sağlayan motor türüdür. 2 adedi sabit 2 adedi ayarlı olmak üzere bir vibrasyon motorunda toplam 4 adet eksantrik ağırlık bulunur.

Konveyörün hareket denkleminde titreşim motorunun iki yanında bulunan eksantrik çekiçleri aynı açıda ayarlanıp çalışmasının sonucunda dikey yönde uyarma torku oluşur. Böylece yaylar üzerine yataklanan gövde dikey yönde doğrusal titreşim ve burulma titreşimi üretecektir. Sistemdeki malzemeyi ileri ve geri hareket yapmasını sağlayacaktır. Sisteme konulan malzemede helezon boyunca hareket eder [8].



Şekil 12. Malzemenin Kuvvet Analizi Konumunun Şematik Gösterimi [8]

Malzemenin kuvvet analizi Şekil 12'de gösterilmiştir. Malzeme kütlesini konsantre kütle olarak kabul edilir. Aynı zaman malzemenin taşıma olduğu sırasında sürtünme kuvveti mevcuttur. Küçük bir alanda taşıma olduğu için sistem eğik düzlem kabul edilmiştir. Malzemelerin helisel düzleme göre hareketleri, neredeyse eğik düzlem boyunca hareket ve eğik düzleme dikey hareket olarak kabul edilir. Malzemeler bazen eğik düzlem boyunca hareket eder, bazen eğik düzlemi atlar. Böylece konveyör sisteminin hareket denklemini aşağıdaki denklemler ile ifade edebiliriz.

$$\ddot{z}_1 + 2\varepsilon\mu_1\dot{z}_1 + \omega_1^2 z_1 + \varepsilon\alpha_1 z_1^3 = \varepsilon f_1(cos\Omega t + sin\Omega t) + \varepsilon z_1 f_2(cos\Omega_1 t + sin\Omega_1 t) + R_1 \quad (1)$$

$$\ddot{z}_2 + 2\varepsilon\mu_2\dot{z}_2 + \omega_2^2 z_2 + \varepsilon\alpha_2 z_2^3 = \varepsilon f_1(cos\Omega t + sin\Omega t) + \varepsilon z_2 f_2(cos\Omega_1 t + sin\Omega_1 t) + R_2 \quad (2)$$

Denklemde; $[R_1 = -\varepsilon G_1\dot{z}_1\ ,\ R_2 = -\varepsilon G_2\dot{z}_2]$ negatif hız geri besleme kontrolleri, $[\mu_1, \mu_2]$ konveyörün sönümleme katsayıları, $[\alpha_1\ ,\ \alpha_2]$ konveyörün doğrusal olmayan katsayıları, $[f_1\ ,\ f_2]$ sistemin uyarma zorlama genlikleri, $[\Omega\ ,\ \Omega_1]$ sistemin garici ve paremetrik uyarma frekansları, $[\ \omega_1\ ,\ \omega_2]$ sistemin doğal frekansları, sistemin pertürbasyon parametresi $0\ < \varepsilon << 1$.

2.7. Pertürbasyon Analizi

Bu bölümde elde edilen boyutsuz hareket denklemlerimizin yaklaşık çözümü elde etmek için perturbasyon yöntemlerinden olan çok ölçekli metot kullanılmıştır. Aşağıda hareket denklemleri (1) ve (2) 'de gösterilen şekildedir.

$$\ddot{z}_1 + 2\varepsilon\mu_1\dot{z}_1 + \omega_1^2 z_1 + \varepsilon\alpha_1 z_1^3 = \varepsilon f_1(cos\Omega t + sin\Omega t) + \varepsilon z_1 f_2(cos\Omega_1 t + sin\Omega_1 t) + R_1 \quad (1)$$

$$\ddot{z}_2 + 2\varepsilon\mu_2\dot{z}_2 + \omega_2^2 z_2 + \varepsilon\alpha_2 z_2^3 = \varepsilon f_1(cos\Omega t + sin\Omega t) + \varepsilon z_2 f_2(cos\Omega_1 t + sin\Omega_1 t) + R_2 \quad (2)$$

$$z_1(t;\varepsilon) = z_{10}(T_0, T_1) + \varepsilon z_{11}(T_0, T_1) + O(\varepsilon^2) \quad (3)$$

$$z_2(t;\varepsilon) = z_{20}(T_0, T_1) + \varepsilon z_{21}(T_0, T_1) + O(\varepsilon^2) \quad (4)$$

Denklem (1) ve (2)'ye göre zamana bağlı türevler yeni zaman ölçeklerine göre denklem (5)'de tanımlanmıştır.

$$\frac{d}{dt} = D_0 + \varepsilon D_1 + .. \text{ ve } \frac{d^2}{dt^2} = D_0^2 + 2\varepsilon D_0 D_1 + .. \quad (5)$$

Birinci dereceden yaklaşım için iki zaman ölçeği sunuyoruz. Burada $T_n = \varepsilon^n t$ ve türevi $D_n = \partial/\partial T_n$, (n=0, 1)

ε^0 mertebesine göre denklem (6a) ve (6b)'de tanımlanmıştır.

$$(D_0^2 + \omega_1^2) z_{10} = 0 \quad (6a)$$

$$((D_0^2 + \omega_2^2) z_{20} = 0 \quad (6b)$$

ε^1 mertebesine göre denklem (6a) ve (6b)'de tanımlanmıştır.

$$(D_0^2 + \omega_1^2) z_{11} = -2D_0 D_1 z_{10} - 2\mu_1 D_0 z_{10} - \alpha_1 z_{10}^3 + f_1(cos\Omega t + sin\Omega t) + z_{10} f_2(cos\Omega_1 t + sin\Omega_1 t) - G_1 D_0 z_{10} \quad (7a)$$

$$(D_0^2 + \omega_2^2) z_{21} = -2D_0 D_1 z_{20} - 2\mu_2 D_0 z_{20} - \alpha_2 z_{20}^3 + f_1(cos\Omega t + sin\Omega t) + z_{20} f_2(cos\Omega_1 t + sin\Omega_1 t) - G_2 D_0 z_{20} \quad (7b)$$

Genel çözümleri denklem (8a) ve (8b) şekilde gösterilmiştir.

$$z_{10} = A_1(T_1)\exp(i\omega_1 T_0) + cc. \quad (8a)$$

$$z_{20} = A_2(T_1)\exp(i\omega_2 T_0) + cc. \quad (8b)$$

A_m , (m=1, 2) karmaşık fonksiyondur. T1, cc önceki terimlerin karmaşık eşleniğini temsil eder.

$$z_{11} = \left[\frac{\alpha_1 A_1^3}{8\omega_1^2}\right] exp(3i\omega_1 T_0) + \left[\frac{f_1}{2(\omega_1^2-\Omega^2)}\right] exp(i\Omega T_0) + \left[\frac{f_1}{2i(\omega_1^2-\Omega^2)}\right] exp(i\Omega T_0) +$$

$$\left[\frac{f_2 A_1}{2(\omega_1^2-(\Omega_1+\omega_1)^2)}\right] exp(i(\Omega_1+\omega_1)T_0) + \left[\frac{f_2 A_1}{2i(\omega_1^2-(\Omega_1+\omega_1)^2)}\right] exp(i(\Omega_1+\omega_1)T_0) +$$

$$\left[\frac{f_2 A_1}{2(\omega_1^2-(\Omega_1-\omega_1)^2)}\right] exp(i(\Omega_1-\omega_1)T_0) + \left[\frac{f_2 A_1}{2i(\omega_1^2-(\Omega_1-\omega_1)^2)}\right] exp(i(\Omega_1-\omega_1)T_0) + c.c \quad (9a)$$

$$z_{21} = \left[\frac{\alpha_2 A_2^3}{8\omega_2^2}\right] exp(3i\omega_2 T_0) + \left[\frac{f_1}{2(\omega_2^2-\Omega^2)}\right] exp(i\Omega T_0) + \left[\frac{f_1}{2i(\omega_2^2-\Omega^2)}\right] exp(i\Omega T_0) +$$

$$\left[\frac{f_2 A_1}{2(\omega_2^2-(\Omega_1+\omega_2)^2)}\right] exp(i(\Omega_1+\omega_2)T_0) + \left[\frac{f_2 A_1}{2i(\omega_2^2-(\Omega_1+\omega_2)^2)}\right] exp(i(\Omega_1+\omega_2)T_0) +$$

$$\left[\frac{f_2 A_1}{2(\omega_2^2-(\Omega_1-\omega_2)^2)}\right] exp(i(\Omega_1-\omega_2)T_0) + \left[\frac{f_2 A_1}{2i(\omega_2^2-(\Omega_1-\omega_2)^2)}\right] exp(i(\Omega_1-\omega_2)T_0) + c.c \quad (9b)$$

Denklem (9a) ve (9b) yeniden yazdığımızda;

$$z_{11} = K_1\exp(3i\omega_1 T_0) + K_2\, exp(i\Omega T_0) + K_3\, exp(i(\Omega_1+\omega_1)T_0) + K_4\, exp(i(\Omega_1-\omega_1)T_0) + cc \quad (10a)$$

$$z_{21} = H_1\exp(3i\omega_2 T_0) + H_2\, exp(i\Omega T_0) + H_3\, exp(i(\Omega_1+\omega_2)T_0) + H_4\, exp(i(\Omega_1-\omega_2)T_0) + cc \quad (10b)$$

K_i, $(i = 1, \ldots, 4)$ ve H_i, $(i = 1, \ldots, 4)$ karmaşık bir fonksiyondur.

Yukarıda türetilen çözümlerden birçok rezonans durumu çıkarılabilir. Bildirilen rezonans vakaları şu şekilde sınıflandırılır; Birincil rezonans olarak $\Omega \cong \omega_1$, $\Omega \cong \omega_2$, harmonik rezonans olarak $\Omega_1 \cong 2\omega_1$, $\Omega_1 \cong 2\omega_2$ tanımlanmıştır. Aynı zamanda rezonansların herhangi bir komniyasyonunu eş zamanlı rezonans olarakta kabul edilebilir.

2.8. Kararlılık Metodu

2.8.1. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Sistemin 1. Modu

Ele alınan sistemin kararlılığı eş zamanlı birincil rezonans $\Omega \cong \omega_1$ ve harmonik rezonans $\Omega_1 \cong 2\omega_1$ ilkesi dikkate alınarak araştırımıştır. Öyle ki iki parametrenin denklemi σ_1 ve σ_2 olmak üzere aşağıdaki denklem (11)' de gösterilmiştir.

$$\Omega = \omega_1 + \varepsilon\sigma_1 \text{ ve } \Omega_1 - \omega_1 = \omega_1 + \varepsilon\sigma_3 \tag{11}$$

Bu durumda sistemin en kötü durumunu temsil eder. Fakat denklem (11) ile denklem (7a) 'deki terimlerin ortadan kaldırılması birinci dereceden yaklaşım için denklem (12)' de çözülebilirlik koşullarına yol açatığını ifade edebiliriz.

$$(2i\omega_1 D_1 A_1 = -2i\omega_1\mu_1 A_1 - 3\alpha_1 A_1^2\overline{A_1} - i\omega_1 G_1 A_1 + \left(\frac{1-i}{2}\right) f_1 \exp(i\sigma_1 \mathrm{T}_1) + \left(\frac{1-i}{2}\right) f_2\, \overline{A_1} \exp(i\sigma_3 \mathrm{T}_1) \tag{12}$$

Denklem (12)'nin çözümlerini analiz ettiğimizde, $A_1(T_1, T_2)$ ve $A_2(T_1, T_2)$ denklem (13)' de polar formda ifade edebiliriz.

$$A_1(T_1, T_2) = \frac{a_1}{2} e^{i\varphi_1} \ , \overline{A_1}(T_1, T_2) = \frac{a_1}{2} e^{-i\varphi_1} \tag{13}$$

Burada a_1 ve φ_1, birinci modun hareketinin sabit durum genliği ve fazıdır. Denklem (12) ve denklem (13) gerçek, sanal deneklerimini eşitleyerek, vibrasyonlu dikey konveyörün tepkisini birinci modlarının genlik ve faz modülasyonunu tanımlayan aşağıdaki denklem (14a) ve (14b) elde ederiz.

$$\dot{a_1} = \mu_1 a_1 + \frac{G_1 a_1}{2} - \frac{f_1}{2\omega_1} cos\theta_1 + \frac{f_1}{2\omega_1} sin\theta_1 - \frac{f_2 a_1}{4\omega_1} cos\theta_2 + \frac{f_1 a_1}{4\omega_1} sin\theta_2 \tag{14a}$$

$$a_1\dot{\varphi_1} = \frac{3a_1 a_1^3}{8\omega_1} - \frac{f_1}{2\omega_1} cos\theta_1 - \frac{f_1}{2\omega_1} sin\theta_1 - \frac{f_2 a_1}{4\omega_1} cos\theta_2 - \frac{f_1 a_1}{4\omega_1} sin\theta_2 \tag{14b}$$

$$\theta_1 = \sigma_1 T_1 - \varphi_1 \text{ ve } \theta_2 = \sigma_3 T_1 - 2\varphi_1 \quad (15)$$

Denklem (15) sistemini oluşturan durağan çözümlere sahip olmak için aşağıdaki koşulların sağlanması gerekir.

$$\dot{a_1} = \dot{\theta_1} = \dot{\theta_2} = 0 \quad (16a)$$

$$\dot{\varphi_1} = \sigma_1 = \frac{\sigma_3}{2} = \sigma \quad (16b)$$

Denklem (16) nedeniyle, Aşağıdaki denklemlerin kararlı hal çözümleri denklem (17) tarafından verilmiştir.

$$\mu_1 a_1 + \frac{G_1 a_1}{2} - \frac{f_1}{2\omega_1} cos\theta_1 + \frac{f_1}{2\omega_1} sin\theta_1 - \frac{f_2 a_1}{4\omega_1} cos\theta_2 + \frac{f_1 a_1}{4\omega_1} sin\theta_2 = 0 \quad (17a)$$

$$a_1\sigma_1 - \frac{3a_1 a_1^3}{8\omega_1} + \frac{f_1}{2\omega_1} cos\theta_1 + \frac{f_1}{2\omega_1} sin\theta_1 + \frac{f_2 a_1}{4\omega_1} cos\theta_2 + \frac{f_1 a_1}{4\omega_1} sin\theta_2 = 0 \quad (17b)$$

Sabit noktalar için elde edilen cebirsel denklemlerin çözümü denklem (18)'de verilmiştir.

$$\sigma_1^2 + \left(-\frac{3\alpha_1 a_1^2}{4\omega_1}\right)\sigma_1 + \left(\mu_1^2 + \mu_1 G_1 + \frac{G_1^2}{4} + \frac{9a_1^2 a_1^4}{64\omega_1^2} - \frac{f_1^2}{2a_1^2\omega_1^2} - \frac{f_1^2}{8\omega_1^2} - \frac{f_1 f_2}{2\alpha_1\omega_1^2}\right) = 0 \quad (18)$$

2.8.2. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Sistemin 2. Modu

Ele alınan sistemin kararlılığı eş zamanlı birincil rezonans $\Omega \cong \omega_2$ ve harmonik rezonans $\Omega_1 \cong 2\omega_2$ ilkesi dikkate alınarak araştırımıştır. Öyle ki iki parametrenin denklemi σ_3 ve σ_4 olmak üzere aşağıdaki denklem (19)' de gösterilmiştir.

$$\Omega = \omega_2 + \varepsilon\sigma_2 \text{ ve } \Omega_1 - \omega_2 = \omega_2 + \varepsilon\sigma_4 \tag{19}$$

Bu durumda sistemin en kötü durumunu temsil eder. Fakat denklem (19) ile denklem (7a) 'deki terimlerin ortadan kaldırılması birinci dereceden yaklaşım için denklem (20)' de çözülebilirlik koşullarına yol açtığını ifade edebiliriz.

$$(2i\omega_2 D_1 A_2 = -2i\omega_2\mu_2 A_2 - 3\alpha_2 A_2^2\overline{A_2} - i\omega_2 G_2 A_2 + \left(\frac{1-i}{2}\right) f_1 \exp(i\sigma_2 \mathrm{T}_1) + \left(\frac{1-i}{2}\right) f_2\, \overline{A_1} \exp(i\sigma_4 \mathrm{T}_1) \tag{20}$$

Birinci modun kararlılığı ile aynı işlemin 2. mod için Denklem (20)'ye uygulanması sonucunda frekans denklemi aşağıdaki şekilde denklem (21)'de ifade edilmiştir.

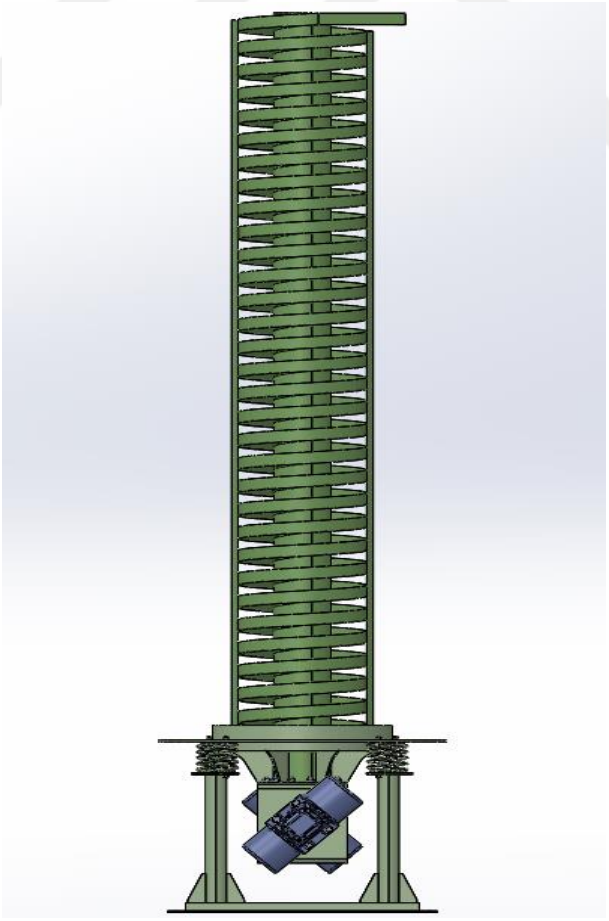
$$\sigma_2^2 + \left(-\frac{3\alpha_2 a_2^2}{4\omega_2}\right)\sigma_2 + \left(\mu_2^2 + \mu_2 G_2 + \frac{G_2^2}{4} + \frac{9a_2^2 a_2^4}{64\omega_2^2} - \frac{f_1^2}{2a_2^2\omega_2^2} - \frac{f_2^2}{8\omega_2^2} - \frac{f_1 f_2}{2\alpha_2\omega_2^2}\right) = 0 \tag{21}$$

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Konveyörün Tasarımı

Titreşimli dikey helezon konveyörler sektörde taşıma sistemlerinde anılırlar. Ürün hacimlerine ve çeşitlerine göre firmaların modelleri oluşturulmaktadır. İlgili sektörde üretim yapan firmaların başlıca amaçları; konveyör makinasının kapasitenin arttırılması ve yüksek devir hızlarında güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamaktır. Titreşimli dikey helezon konveyörün en önemli makina elemanı da helezondur. Helezon asimetrik yapıda olduğu için dengesiz kütle dağılımından dolayı açısal hız verildiğinde merkezkaç kuvvetlerinin oluşmasına neden olacaktır. Aynı zaman da helezon tava boyutları ve şekilleri uygulamaya yönelik olarak değişebilir.

Bu tezde geliştirilen konveyör modeli Manisa ilimizde faaliyet gösteren firmaya aittir. Konveyörün tasarımında Solidworks programı kullanılmıştır. Tasarlanan yeni modeller için hesaplamalı analizleri ile birlikte optimum tasarım elde edilmeye çalışılmaktadır.



Şekil 13. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Tasarımı

3.2. Helezon Tasarımı

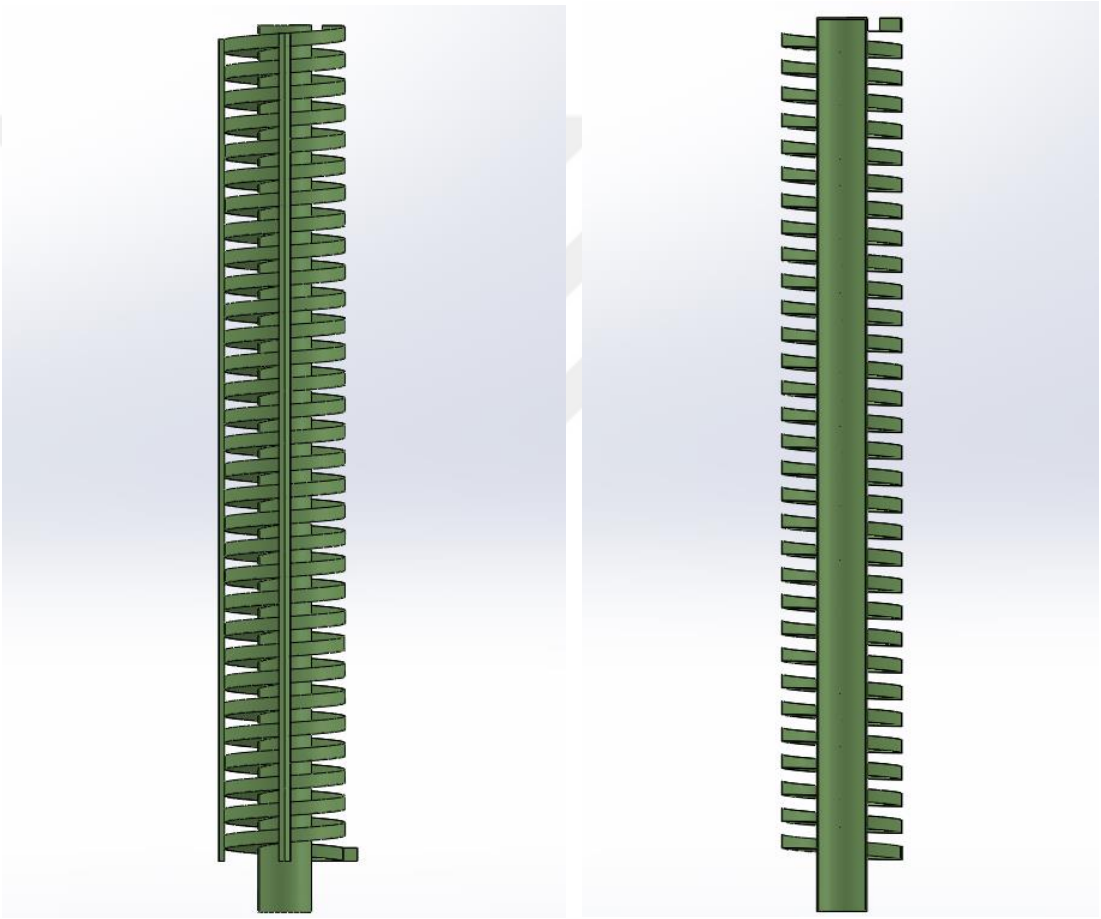
Helezon tasarımı için ilk olarak fabrikadaki mevcut helezon modeli ve Dynamic Analysis On Vertical Vibratory Conveyor çalışmasındaki helezon modeline ait çalışmalar yapılmıştır. Konveyörü açık veya kapalı şekilde üretilebiliyordu. Açık helezon yapısına sahip olan kullanıldı. İki helezon mesafesi 50 mm aralıklı ve helezonun ortasına yerleştirilen merkezi boru desteği üzerine kaynaklı çelik bir yapıdır ve taşıma yolunun toplam uzunluğu 6 metredir. Helezon gövdesinin malzemesi 304 paslanmaz çeliktir. Fabrikamızdaki konveyörde helezon çapı 700 mm, helezon mil çapı 320 mm ve helezon açısı 5^0 'dir. Yuejing Zhao'nun çalışmasında konveyör helezon çapı 540 mm, helezon mil çapı 320 mm ve helezon açısı 3^0 'dir. Diğer tasarımlarda konveyörün yüksek devirlerde çalışabilmesi için kütle azaltma hedefiyle tasarım 1, 2, ve 3 olarak geliştirilmiştir. Kütlenin azaltılmasına bağlı olarak da maliyet azalacaktır. Tasarımlara ait helezon çapı, helis açısı ve kütle Tablo 1'de paylaşılmıştır.

Tablo 1. Tasarımların Helis Açısı ve Titreşim Frekansı Bilgileri

Konveyör	Fabrikadaki Tasarım	Yuejing Zhao [8]	Mevcut Tasarım 1	Mevcut Tasarım 2	Mevcut Tasarım 3
Helis Açısı [ϕ]	5^0	3^0	10^0	10^0	10^0
Titreşim Frekansı [Hz]	16	10	20	20	20
Helezon Çapı [mm]	700	540	540	620	700
Kütle [kg]	1768	1618	1618	1689	1768

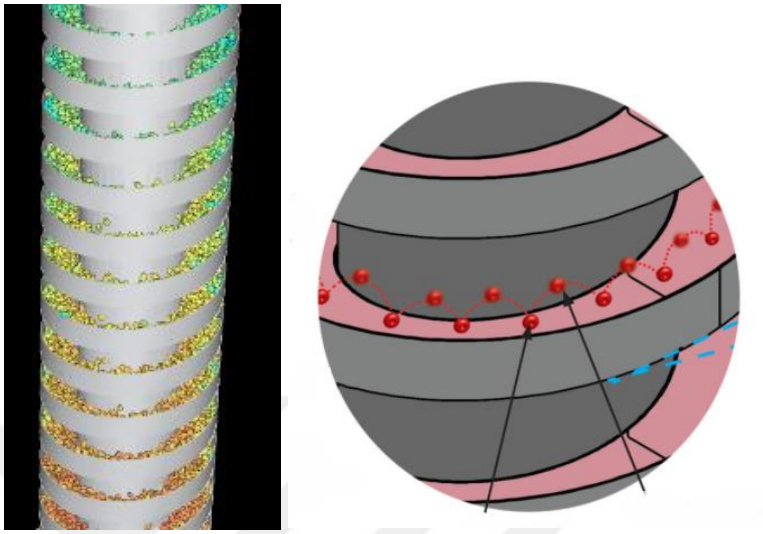
Helezon tasarımı önerileri için mevcut titreşim sorunu dikkate alınarak yapılmıştır. Tasarımlar helezon çapı ve titreşim frekansı değerlerine göre yapılmıştır. Konveyörün malzeme akış hızı ve malzemenin erken soğuması için tasarımlar yapılması bu tezin amacıdır. Her model için elde edilen malzeme yer değişim değerleri tezin sonuç bölümünde verilecektir.

Tasarım 1’de helis açısını ve titreşim frekansını arttırarak, helezon çapının düşürerek kütle azaltma ile makinedeki malzeme akışının hızlanmasını ve malzemenin soğuma derecesi arttırması ön görülmüştür. Tasarım 2’de helis açısını ve titreşim frekansını arttırarak ve helezon çapını düşürerek kütle azaltma ile makinedeki malzeme akışının hızlanmasını ve malzemenin soğuma derecesi arttırması ön görülmüştür. Tasarım 3’de helis açısını ve titreşim frekansını arttırarak makinedeki malzeme akışının hızlanmasını ve malzemenin soğuma derecesi arttırması ön görülmüştür. Aynı zamanda tasarımlar sonucunda maliyet azalmasıda ön görülmüştür.



Şekil 14. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Helezon Tasarımı

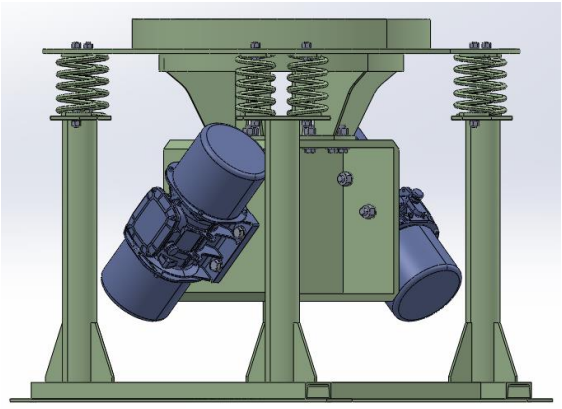
Helezon açısındaki değişiklikler konveyördeki malzeame akışında malzemenin öteleme hareketinde önem taşımaktadır. Şekil 15'de konveyördeki malzeme akışı gösterilmektedir.



Şekil 15. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Malzeme Akışı

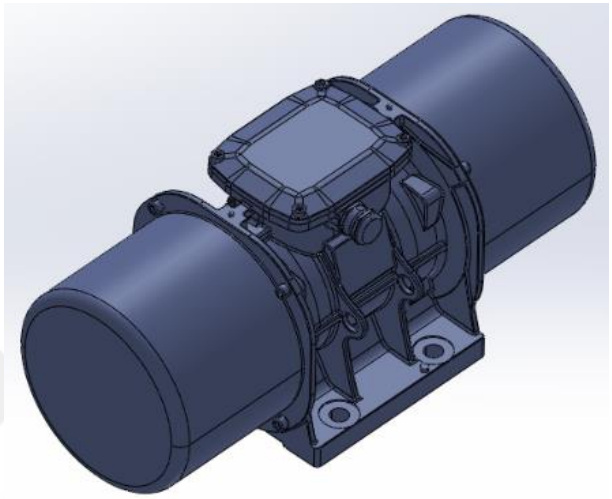
3.3. Helezon Yataklama Tasarımı

Yataklama elemanı konveyör de titreşimden oluşan kuvveti destekleyendir. Yataklama elamanı olarak 8 adet baskı yayı kullanılmaktadır. Yayların dış çap 97,5 mm, kalınlığı 5 mm, hatvesi 35,70 mm ve boyu 187,5 mm'dir. Burada yayları 10 mm kalınlığında malzemenin giriş sacına ve 100 mm çapında borulara bağlanmıştır. Borular zemin ile bağlantı sağlamaktadır.



Şekil 16. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Yataklama Tasarımı

Helezonun montelendiği şasede 15 mm saçtan kaynaklı bir yapı mevcuttur. Burada iki adet vibrasyon motoru 45^0 açı ile bağlanmaktadır. Birbirinin tersi olacak şekilde bağlantılır. Yapıda 5 mm kalınlığında bayraklar kullanılarak helezonun bağlı olduğu şaseyi güçlendirilmiştir. 6 metrelik helezon dengesizlik sağlamamaktadır. Aynı zamanda yaylara bağlı olan borularda da bayrak elemanı kullanılmıştır. Burada yayların esneme hareketinden oluşacak dengesizliği kaldırması adınadır.

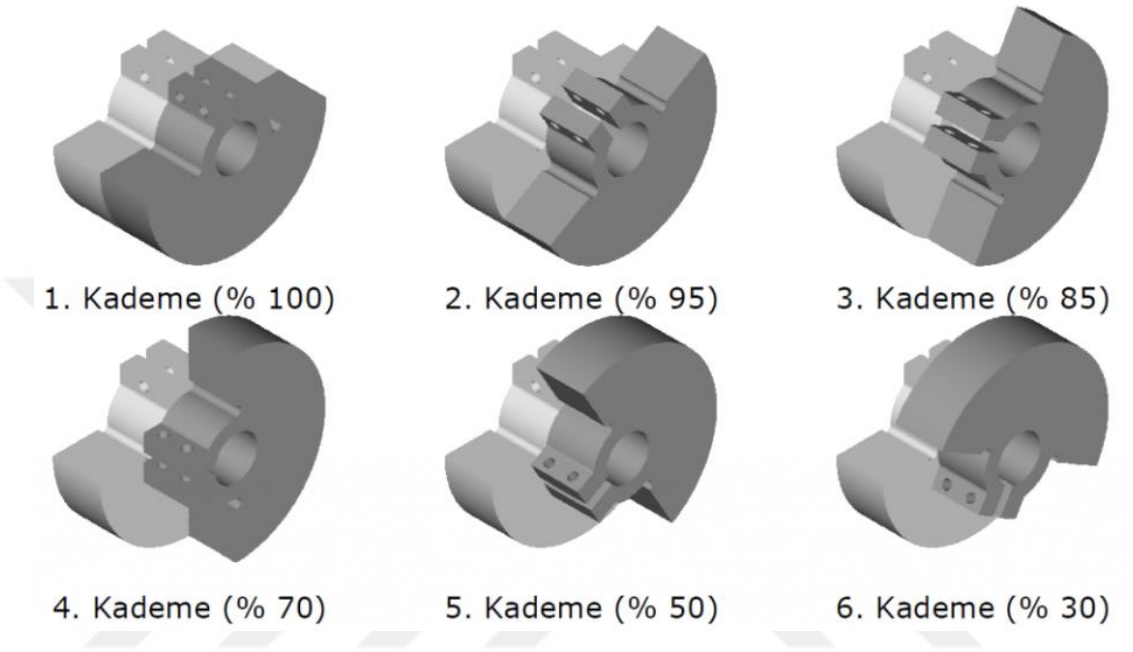


Şekil 17. Vibrasyon Motoru Tasarımı

3.4. Vibrasyon Motoru Seçimi

Kullanılan vibrasyon motorunun iki yanında bulunan eksantrik ağırlıklar sayesinde titreşim yüretilir. Eksantrik ağırlıklar iki adedi sabit, iki adedi ayarlı olmak üzere eşit açıda ayarlanıp vibrasyon kuvveti oluşturur. Şekil 18'de gösterilen ayarlı ağırlıkların vibrasyon kuvvetini değiştirmek üzere açıları artırılır veya azaltılır. Sabit ve ayarlı ağırlıklar arasındaki açı arttıkça vibrasyon kuvveti azalır. Vibrasyon motorunun her iki yanındaki çekiçlerin konumu aynı (paralel) olmalıdır. Farklı yönde olacak şekilde ayar yapılırsa yani her iki taraftaki çekiçlerin konumu aynı (paralel) olmazsa vibrasyon motoru mili, vibrasyon motoru bağlantı civataları veya vibrasyon motorunun bağlandığı şasi zarar görebilir [21].

Vibrasyon motoru konveyörün titreşim kaynağı olarak iki adet kullanılır. Vibrasyon motorunun çalışma esnasında dikey yönde uyarma torku oluşturur. Böylece yaylar üzerinde desteklenen tüm gövde sürekli titreşir. Konveyörde bulunan malzemenin vibrasyon motoru sayesinde doğrusal olmak üzere ötleme hareket yaparak helezon boyunca yukarı taşınır.



Şekil 18. Eksantrik Ağırlıkların Açı Değeleri [21]

Vibrasyon motoru seçilirken Tablo 2'den kullanım alanına göre malzeme cinsi ve devir sayısı belirlenir. Bu devir sayısına karşılık gelen bir vibrasyon motoru kataloğu üzerinden seçilir. Seçilen motorun merkez kaç kuvveti (FC) ve ağırlık değerlerine bakılır. Burada dikkat edilmesi gereken; dairesel yöntem seçildiyse bir vibratörün, doğrusal yöntem seçildiyse iki vibratörün ağırlığı sisteme eklenmelidir. Sonuç olarak vibrasyon motorunun merkez kaç kuvvetinin, toplam sistem ağırlığına bölünmesiyle ivme (a) değeri bulunur. Bulunan değer Tablo 2'deki değerle karşılaştırılır. Eğer uygun aralıktaysa seçim doğrudur. Bu aralık dışında ise yeni bir motor seçilerek işlemler tekrarlanır.

Tablo 2. Vibrasyon Motor Seçim Tablosu [21]

Uygulama Alanı	Titreşek malzemenin		Vibrasyon Frekansı	Vibrasyon Metotları		İvme
	Özgül Ağırlığı	Boyutu	n (dev/dak)	Doğrusal	Dairesel	a
Ayırma, taşıma, eleme, ayarlama, konumlama, sınıflandırma, besleme	Büyük	İnce	1500-3000	√		4-9
		Orta	1000-1500	√		4-6
		Kaba	750-1000	√		3,5-4,5
	Küçük	İnce	1500	√		5-7
		Orta	1000	√		4-5,5
		Kaba	750-1000	√		3,5-5,5
Değirmen endüstrisi	B/K	İ/O/K	600-750	√		2-4
Akışkan yatakları	B/K	İ/O/K	750-1000	√		2-4
Titreşim yatakları	B/K	İ/O/K	1500-3000		√	0,7-2
Filtre temizleme	B/K	İ/O/K	1500-3000		√	2-3
Gevşetme, boşaltma	B/K	İ/O/K	1500-3000		√	*
Sıkıştırma	B/K	İ/O/K	1500-6000	√	√	2-5
Beton sıkıştırma	B/K	İ/O/K	3000-9000	√	√	0,9-1,4
Suni Eskitme	B/K	İ/O/K	400-9000	√	√	0,5-24

Bu çalışmada OLI vibrasyon motorları firmasının kataloğundan MVE 3000/1 modeli seçildi. Tablo 3'de motorun değerlerine göre sisteme uyumluluğu kontrol edildi.

Tablo 3. OLI Vibrasyon Motoru Kataloğu [22]

MODEL	Mekanik Özellikleri						Elektrik Özellikleri			
	Statik Moment		Merkezkaç Kuvveti (FC)		Ağırlık		Motor Gücü		Akım	
	Kgcm		Kg		Kg		kW		A	
	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz
MVE 3000/1	540.33	379.71	3017	3053	155.4	137.8	2,20	2,40	2,95	3,22

Seçilen Oli vibrasyon motorunun ağırlığı $m_{motor} = 155{,}4\ kg$ 'dır. Fabrikamızda bulunan konveyörün değerlerine göre solidworksde tasarım yapıldığında konveyörün toplam ağırlığı $m_{sistem} = 1384{,}14\ kg$ 'dır. Vibrasyon motorlarında bulunan eksantrik ağırlıklar sayesinde oluşan merkezkaç kuvveti dönen bir referans çerçevesinde bakıldığında tüm nesneler üzerinde etkili gibi görünen bir eylemsizlik kuvvetidir. Oli vibrasyon motorunun merkezkaç kuvveti $FC = 3017\ kg$'dır. Seçilen vibrasyon motorunun teyit etmek için denklem (22) ve (23)'de kullanılmıştır.

$$m_{toplam} = m_{sistem} + (m_{motor} \times 2) \tag{22}$$

$$m_{toplam} = 1384{,}14 + (155{,}4 \times 2) \qquad m_{toplam} = 1694{,}94\ kg$$

$$a = \frac{FC}{m_{toplam}} \times motor\ adedi \tag{23}$$

$$a = \frac{3017}{1694{,}94} \times 2 \qquad a = 3{,}56$$

Denklem (23)'de ki ivme değerine göre bizim motoru kullanma amacımız taşıma olduğu için Tablo 2. ile karşılaştırdığımız zaman vibrasyon motorunu kullanabiliriz.

3.5. Hesaplamalı Analiz Modeli

Helezona ait titreşimi incelemek için analiz modeli kullanılmıştır. Denklemlere ait sayısal çözümü elde etmek için ticari bir yazılım olan Rocky Dem programından yararlanılmıştır.

3.5.1. Rocky Dem

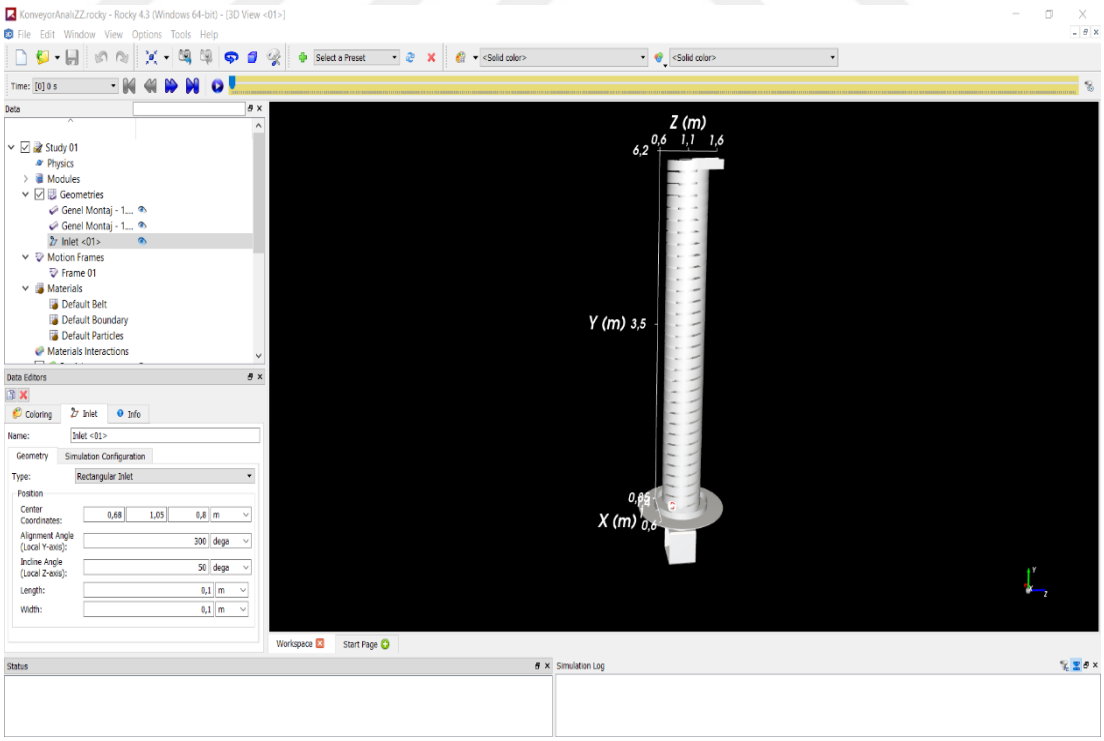
Rocky DEM, analiz programı, çeşitli operasyon ve proses koşullarında dökme malzemelerin ekipmanlarıyla nasıl etkileşimde bulunacağı konusunda mühendislere önemli bilgiler verir. Rocky Dem konveyörler, değirmenler, mikserler ve diğer malzeme taşıma sistemleri uygulamaları için karmaşık parçacık şekilleri ve boyut dağılımlarına göre dökme ve granül malzemelerin akış davranışını doğru bir şekilde simüle eden bir 3D Ayrık Eleman Modelleme (DEM) parçacık simülasyon yazılımıdır. Ayrık Eleman Modelleme, yığın katıların davranışını tahmin etmek için tekil parçacıklar ve sınırlar arasındaki etkileşimi modelleyen sayısal bir tekniktir [23].

Bu yöntem, hareketli sınırları kolayca modelleyebilir ve parçacık akışı dinamiklerini daha iyi anlamak için kullanılır. Rocky DEM'i diğer Dem kodlarından ayıran özelikleri; Multi-GPU çözücüsü içermesi, gerçekten küresel olmayan parçacık şekilleri modellemesi, parçacık kırılmasını simüle etme yeteneği, çarpışma istatistikleri, akışkan ve akış modellemesi, 3D yüzey aşınma modellenmesi, termal modelleme ve ANSYS simülasyon yazılımıyla tamamen entegre olmasıdır. Rocky Dem kömür, maden, kaya, toprak, toz, tablet, toprak, lif ve daha farklı malzemelerin davranışının simülasyonunu ve analizini hızlı ve doğru bir şekilde gerçekleştirir. Simülasyon malzemelerin çeşitli işlem ve proses koşulları sırasında ekipmanlarıyla nasıl etkileşime girecekleri konusunda bilgi sağlayarak, ekipmanların tasarımını ve geliştirilmesini sağlar [24].

3.5.2. Ayrık Eleman Modeli

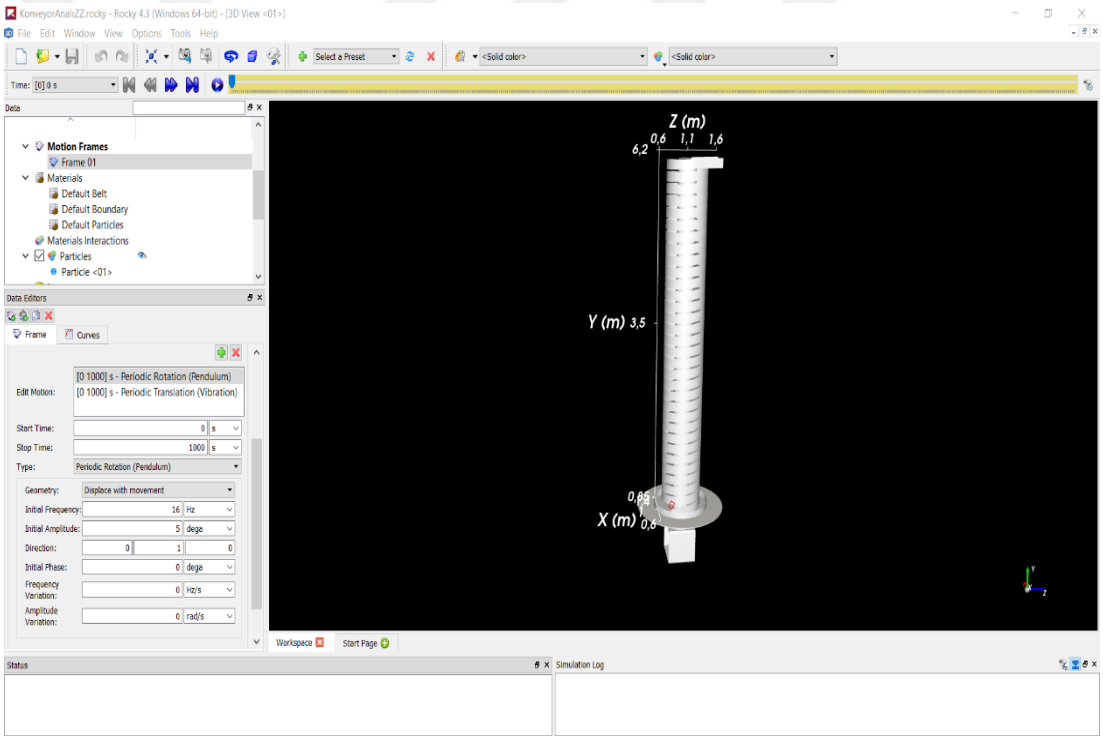
Modeli oluşturabilmemiz için konveyörün solidworks programında 3D çizimi yapılmıştır. Rocky Dem programında kullanabilmemiz için solidworks programından STL formatına dönüştürerek Şekil 19'da gösterilen geometry bölümünde Rocky Dem programı içerisinde gösterilmiştir.

Geometry bölümünde gösterilen konveyör koordinat sisteminde karşımızda gözükmektedir. Karşımıza gelen model de yapacağımız analiz değerlerine göre Physics bölümünden yer çekimi, momentum ve termal değerlerini aktif edebiliyoruz. Termal olarak analizde yapacağımız için termal bölümünü aktif ettikten sonra fluke termal kamera ile konveyörün sıcaklık ölçümlerini yaptığımızda elde ettiğimiz değerleri geometry bölümünden girişlerini yapıyoruz. Aynı zaman da malzeme girişini geometry bölümünden belirtiyoruz. Burada belirlememiz için inlet bölümünden istenilen konuma göre malzeme girişinin koordinatları girilir. Ayrıca inlet bölümünden malzemenin giriş şeklinide belirtebiliyoruz biz burada malzemeyi geniş dağıtma şansınızda olabilir dar bir alandan giriş yapmasını da sağlayabilirsiniz. Girilen koordinatlara ve inletin boyutuna göre malzeme giriş bölümü tamamlanmıştır.



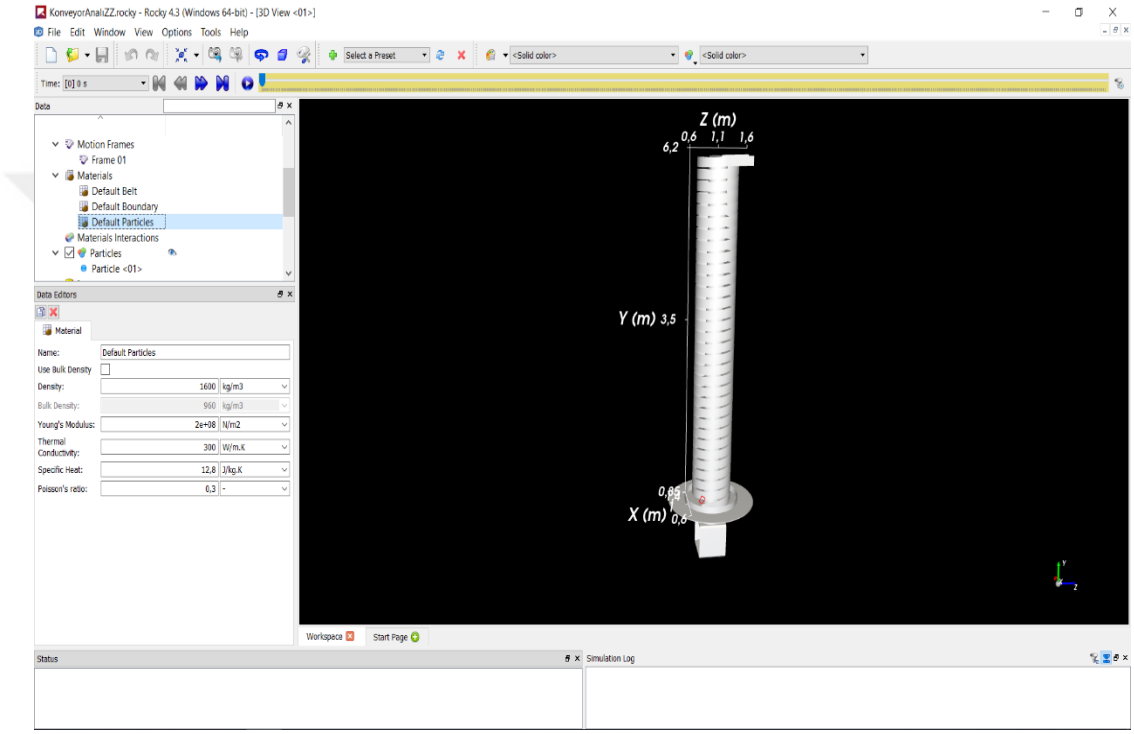
Şekil 19. Rocky Dem Geometry Bölümü

Konveyöre hareket veren paremetlerini Şekil 20'de gösterilen Motion Frames bölümünden girilmiştir. Konveyör titreşim ile çalıştığı için malzemeyi vibrasyon motorlarından ve helezonun bağlı olduğu şaseden gelecek titreşim hareket ettirecektir. Burada iki farklı titreşim komutu kullanılmıştır. Birincisi yataklara gelen titreşimin helezonun helis yapısından kaynaklı helezonu periyodik dönme hareketi yapmasını sağlamaktadır. İkincisi helezonun periyodik dönme hareketi sırasında malzemelerin öteleme hareketi ile helezon boyunca dikey ve yatay yönde ilerlemesini sağlamaktadır. Kullanılan titreşim değerlerinde kullanılacak olan vibrasyon motorunun devir/dk olan karşılık değeri Hz olarak ve giriş genliğini helis açısını kullanaraktan derece olarak belirlenen değerleri girilmiştir. İki titreşim paremetresinde de aynı titreşim değerleri kullanılmıştır.



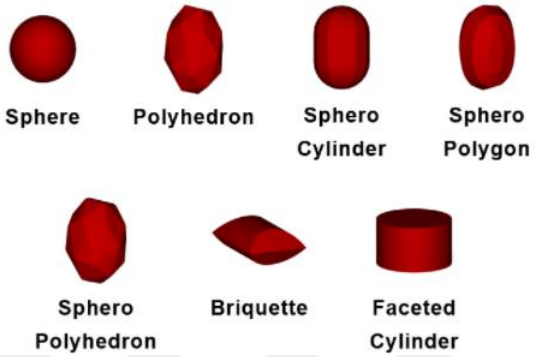
Şekil 20. Rocky Dem Motion Frames Bölümü

Konveyörde kullanılan malzemenin özelliklerini Şekil 21'de gösterilen Materials bölümünden önce konveyör için default boundary bölümünden malzeme cinsine göre verileri girişmiştir. Konveyör malzemesi AISI 304 paslanmaz malzemenin yoğunluk, young modulü, termal iletkenliği, öz ısısı ve poisson oranı verileri girilmiştir. Tozaltı kaynak tozu için default particles bölümünden malzemenin yoğunluk, young modulü, termal iletkenliği, öz ısısı ve poisson oranı verileri girilmiştir.



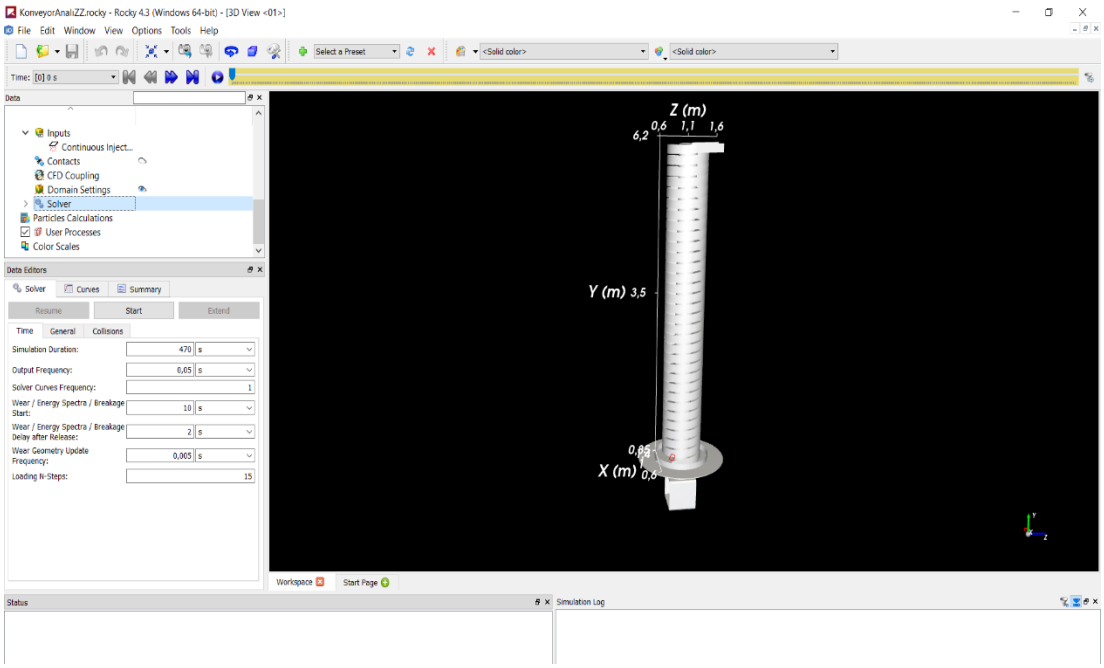
Şekil 21. Rocky Dem Materials Bölümü

Particle bölümünden malzeme boyut ve kullanılacak ağırlığının girişini belirleniyor. Şekil 22'de Malzemeyi Rocky Dem programında belirli malzemelerin tasarımını kendi kütüphanesinden toprak şeklinde olan yapısını sphero-polyhedron şekil yapısını seçtik ve malzeme boyutlarını belirledik. Aynı zamanda particles bölümünde ne kadar ağırlıkta malzeme kullanılacağı ve ne kadar süre içerisinde malzemeye akışı olması gerektiği değer girilir.



Şekil 22. Rocky Dem Kütüphane Materials [24]

Analizi başlatmak için Şekil 23'de gösterilen Solver bölümünden analizi ne kadar süre devam etmesi verileri girilmiştir. Rocky Dem solver bölümünde çok parçacıklı analizlerde kullanılmak üzere general bölümünden CPU veya GPU seçenekleri koymuştur. Bizim malzmemiz küçük ve tane sayımız fazlalığından kaynaklı GPU ile çözüm yapmasını belirledik.



Şekil 23. Rocky Dem Solver Bölümü

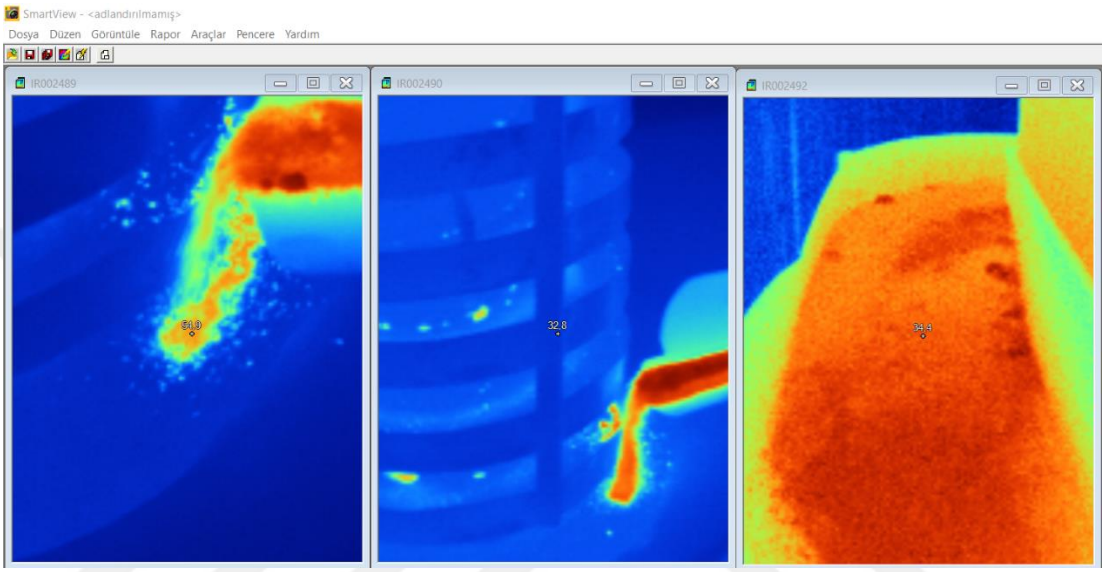
3.6. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Deneysel Çalışma ile Analiz Edilmesi

Ayrık eleman modeli analizinde kullanabilmemiz belirlenen sınır şartları fabrikada bulunan konveyörden çıkan deney sonuçlarından alınmıştır. Öncelikle konveyörde taşıması için tozaltı kaynak tozu malzemesi kullanılmıştır. Malzemenin yoğunluğu 1600kg/m^3, young modulü 2x10^8 N/mm^2 'dir. Deneyde kullanılan malzemenin toplam ağırlığı 30 kg tozaltı kaynak tozudur. Konveyörün helezon çapı 700 mm ve boyu 6000 mm'dir. Konveyörde titreşimi oluşturan 2,2 kW değerinde 980 devir/dk iki adet vibrasyon motoru bulunmaktadır. Şekil 24'de malzemeyi konveyöre giriş ve çıkış bölümü gösterilmiştir. Malzemeyi 6 metre yukarıya 450 saniye de yukarıya taşımaktadır.



Şekil 24. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörde Deney Resimleri

Tozaltı kaynak tozunu konveyörde taşıma amacı fırından çıkan ürünün konveyör sayesinde soğuma sağlanması ve taşıma işleminin kolay olmasından kaynaklıdır. Tozaltı kaynak tozunun termal iletkenliği 300 W/m.K, öz ısısı 12,8 J/kg.K'dir. Burada malzemenin giriş ve çıkış sıcaklıkları Şekil 11'de fluke termal kamera ölçülmüştür. Giriş sıcaklığı 55^0C olan malzeme, çıkış sıcaklığı 38^0C'dir. Konveyörün sıcaklığı ise 35^0C olarak ölçülmüştür.



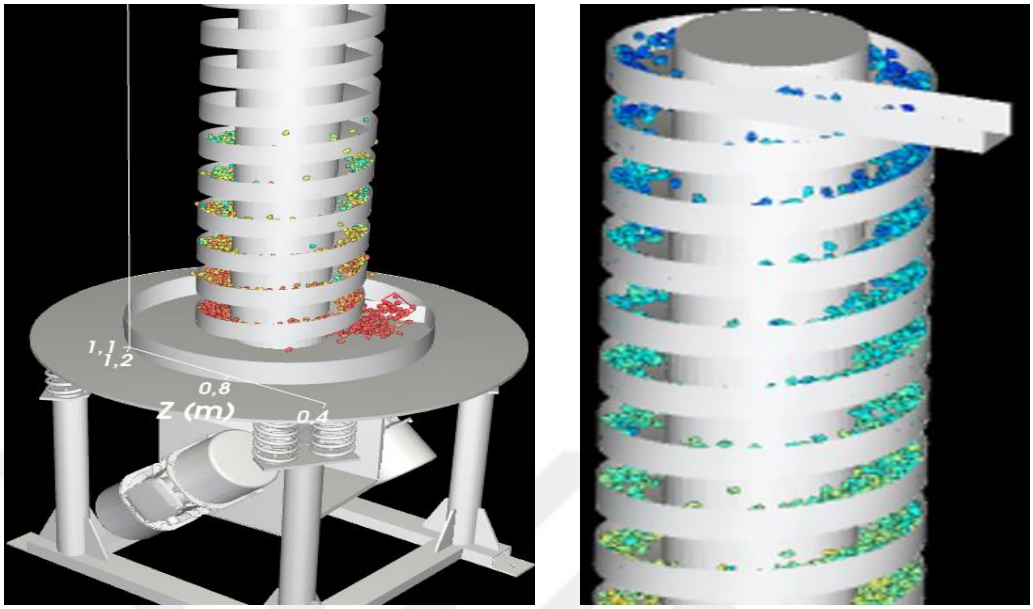
Şekil 25. Konveyörün termal kamera görüntüsü

Şekil 26'da konveyörün yataklama elemanı olarak kullanılan yay elemanın teste gönderilmesi sonucunda 10 mm basıldığında 57,50 kg yük uygulanmıştır. 20 mm basıldığında 116,90 kg yük uygulanmıştır. Sonucunda yay sabiti 5,90 kg/mm^2 olarak elde edilmiştir.



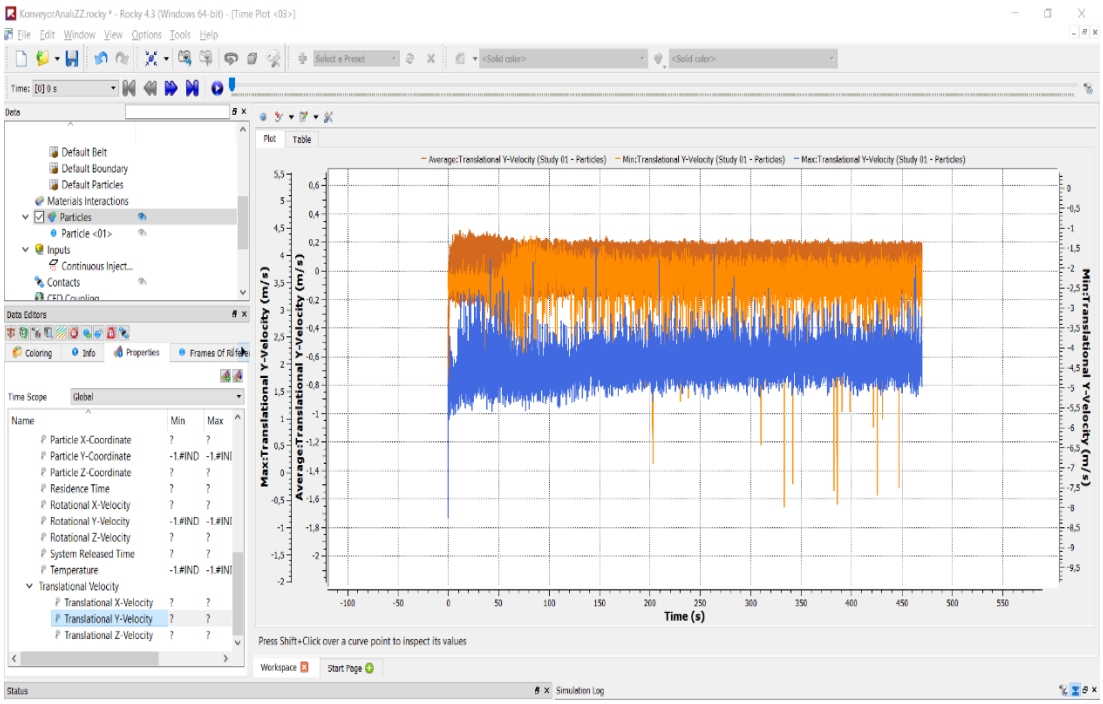
Şekil 26. Konveyörün yaylarının görüntüsü

Şekil 27'de gösterilen Rocky Dem programında malzemenin giriş ve çıkış bölümlerinden malzeme akışı görünmektedir.



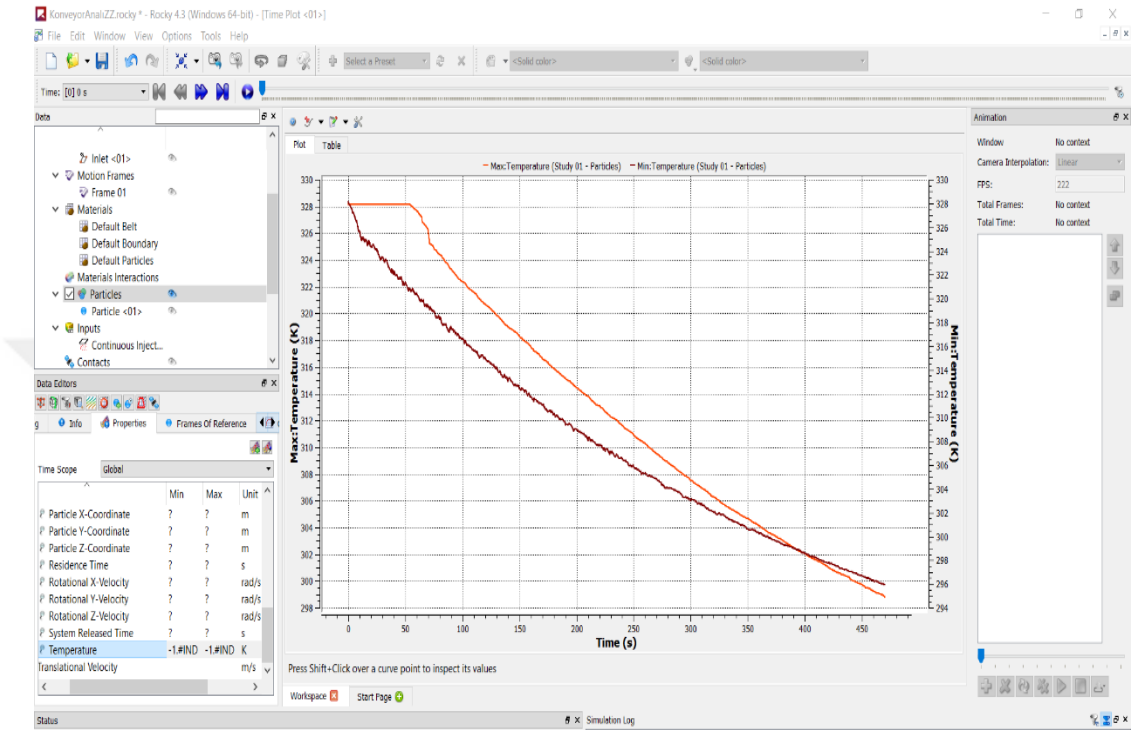
Şekil 27. Rocky Dem Malzeme Akışı

Rocky Dem simülasyon sonucunda iki farklı grafik incelemekteyiz. Burada bizim inceleyeceğimiz Şekil 28'de malzemenin öteleme hızı grafiği incelenmektedir.



Şekil 28. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helis Açısı 5^0, Titreşim Frekansını 16Hz Hız Sonucu

Fabrikada bulunan konveyör için helis açısı 5^0, helezon çapı 700 mm ve titreşim frekansını 16Hz olarak Rocky Dem analiz sonucunda malzemenin öteleme hızı 4,2 m/s'dir. Malzeme giriş bölümünden 6 metreye taşınma süresi 450 saniye gözükmektedir.

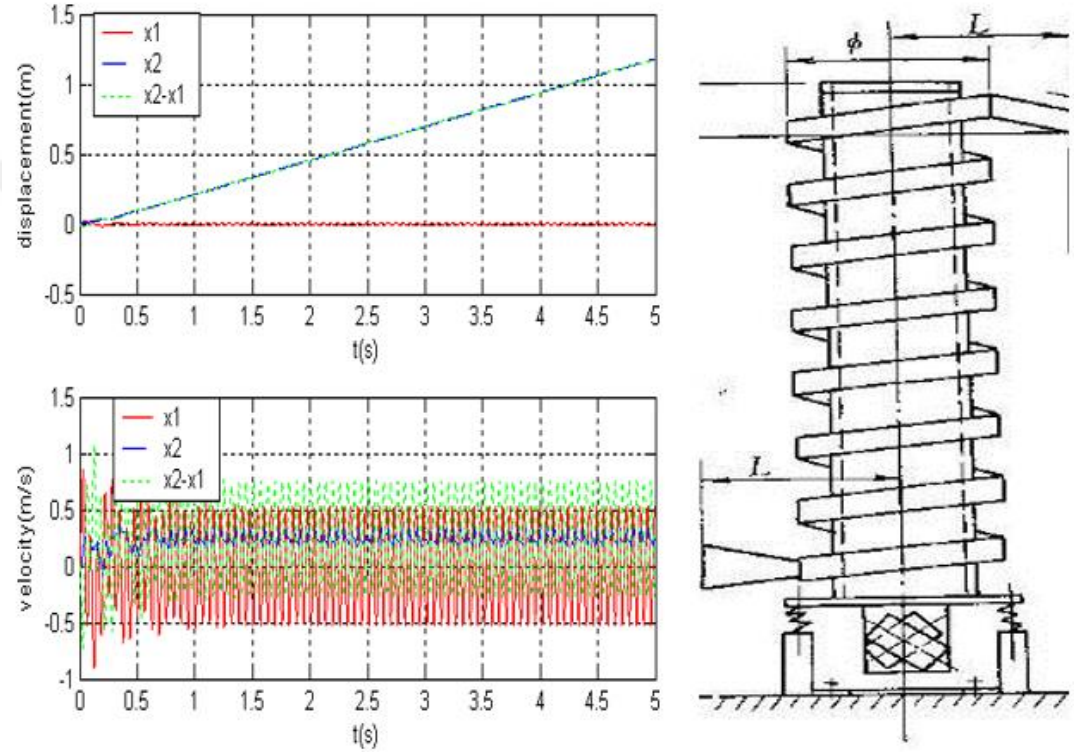


Şekil 29. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helis Açısı 5^0, Titreşim Frekansını 16Hz Sıcaklık Sonucu

Şekil 29'da malzemenin termal sıcaklığı grafiği incelenmektedir. Malzeme giriş sıcaklığı 55^0 C olarak verdiğimiz için, malzemenin konveyörden 6 metreye ulaştığı zamanki çıkış sıcaklığı 38^0 C gözükmektedir. Simülasyon sonuçları ile fabrikadaki bulunan konveyörün deneysel çalışmanın sonucuna göre benzer bir grafik eğimi izlese de biraz daha yüksek sonuçlar vermektedir. Bu duruma rağmen Rocky Dem sonuçları ile deneysel veriler arasında uyuşma olduğu söylenebilir.

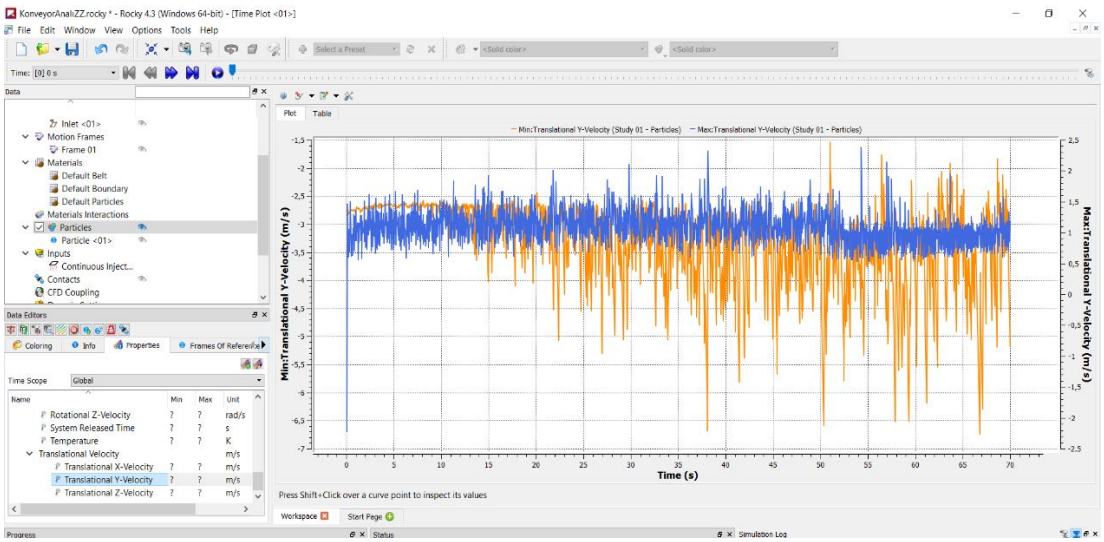
3.7. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Ayrık Eleman Modeli ile Analiz Edilmesi

Ayrık eleman modeli analizinde kullanabilmemiz Yuejing Zhao'nun Dynamic Analysis On Vertical Vibratory Conveyor çalışmasında belirlenen sınır şartları ön görülerek çalışmada öncelikle konveyörde taşıması için toz malzeme kullanılmıştır. Deneyde kullanılan malzemenin toplam ağırlığı 50 kg tozudur. Konveyörün, Helis açısı 3^0, helezon çapı 540 mm ve boyu 6000 mm'dir. Konveyörde titreşimi oluşturan 2,2 kW değerinde 600 devir/dk iki adet vibrasyon motoru bulunmaktadır.



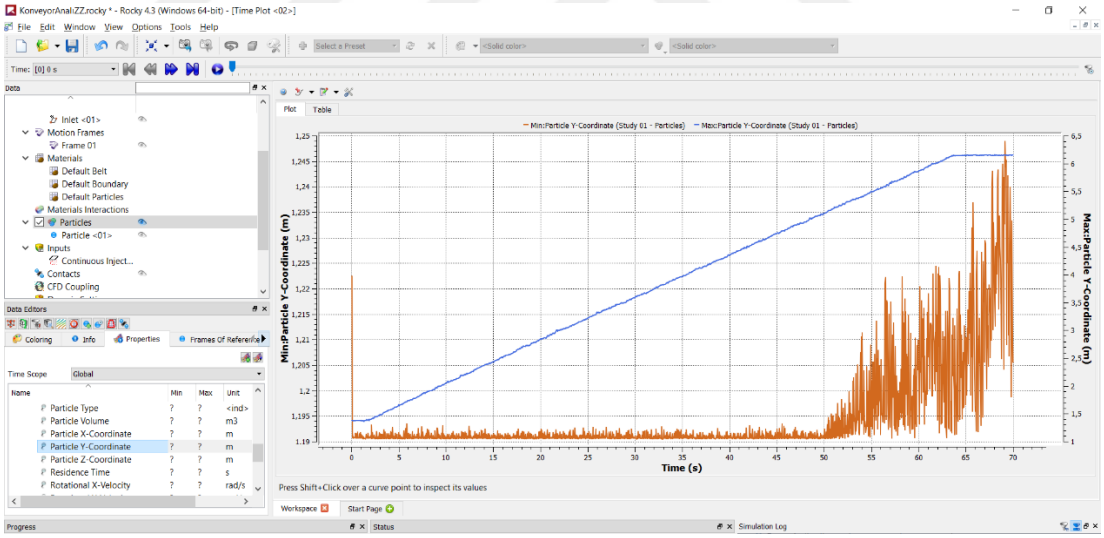
Şekil 30. Deneysel Çalışmanın Helis Açısı 3^0, Titreşim Frekansını 10Hz Hız Sonucu [8]

Yuejing Zhao'nun çalışmasının sonuçları Şekil 30'da gösterilmiştir. Çalışmasının sonucunda iki farklı grafik incelemekteyiz. Malzemenin taşınma süresi ve malzemenin öteleme hızıdır. Konveyörde malzemeyi 5 saniye sonunda 1,2 metre yukarıya çıkmaktadır. Malzemenin öteleme hızı 0,5 ve 1 m/s arasındadır. Konveyör yapısı için helis açısı, malzeme karakteristiği yönünden malzemenin sürtünme katsayısına göre konveyörü tasarlamak ve malzeme seçmenin önemli olduğunu bu sebeple malzeme taşıma sürecini yönlendirebileceğini söylemiştir.



Şekil 31. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helis Açısı 3^0, Titreşim Frekansını 10Hz Hız Sonucu

Rocky Dem simülasyon sonucu Şekil 31' de malzemenin öteleme hızı grafiği incelenmektedir. Konveyör için helis açısı 3^0, helezon çapı 540 mm ve titreşim frekansını 10Hz olarak Rocky Dem analiz sonucunda malzemenin öteleme hızı 0,5 ve 1,0 m/s arasındir.



Şekil 32. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helis Açısı 3^0, Titreşim Frekansını 10Hz Malzeme İletim Sonucu

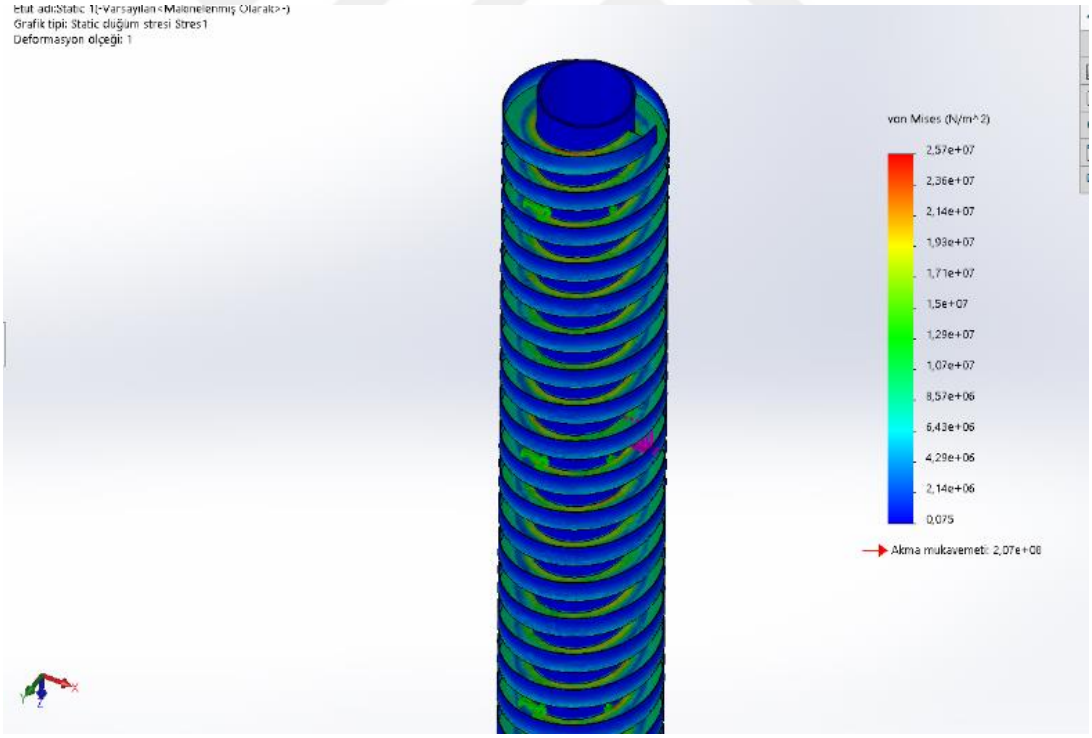
Şekil 32'de malzeme giriş bölümünden 5 saniye sonunda 1,6 metreye ulaşmıştır. Malzemenin 6 metreye konveyörün çıkış bölümüne ulaşma süresi 63 saniye gözükmektedir. Simülasyon sonuçları Yuejing Zhao'nun çalışmasının sonuçlarıyla benzer bir grafik eğimleri izlese de biraz daha yüksek sonuçlar vermektedir. Bu duruma rağmen Rocky Dem sonuçları ile deneysel veriler arasında uyuşma olduğu söylenebilir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

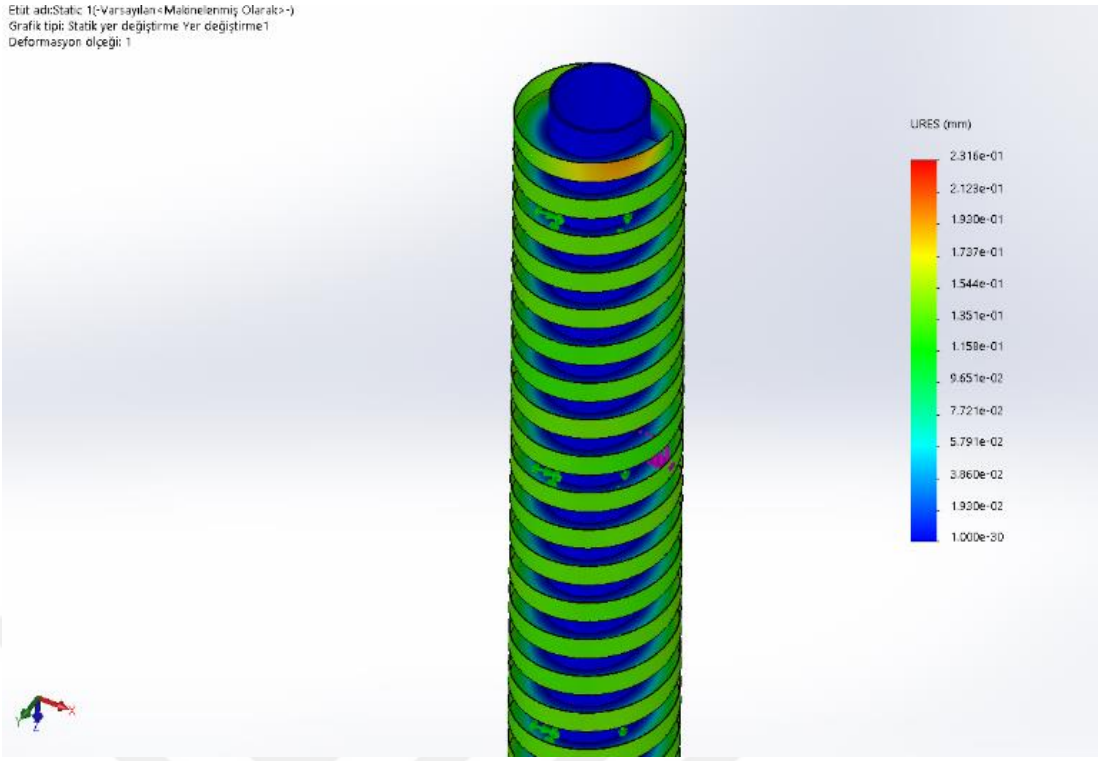
Hesaplamalı analizler Rocky Dem ve Solidworks programı ile yapılmıştır. Bu tezde geliştirilen fabrikadaki konveyörün tasarımına ait helezonun mukavemet analizi sonuçları elede edilmiştir. Tüm konveyör tasarımlarına ise titreşim analizi ve termal analizi sonuçları elde edilmiştir.

4.1. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Fabrikadaki Tasarıma Göre Mukavemet Sonuçları

Bu bölümde helezona maksimumdan daha fazla malzeme yüklendiği zamandaki durum incelenmiştir. Şekil 33'te verilen maksimum eşdeğer gerilmesi, üretici firmalar tarafından 4000kg/saat ürün hacmi olan konveyöre biz 5000 kg yükleme sonucunda helezon üzerinde maksimum 25,7 MPa eşdeğer gerilme görülmüştür. Parça malzemesinin akma gerilmesi değeri göz önüne alındığında güvenlik katsayısı 8,17'dir. Bu nedenle helezon güvenli durumdadır.



Şekil 33. Helezonun Eşdeğer Gerilmesi [N/mm^2]



Şekil 34. Helezonun Toplam Deformasyonu [mm]

Şekil 34'te verilen maksimum deformasyonu, helezonun malzeme giriş ve çıkış kısmında meydana gelmiştir. Maksimum deformasyon 0.2316mm gözükmektedir. Helezon yapraklarının kalınlığı 3mm olduğundan dolayı ve helezon borusuna kaynaklı yapı olmasından kaynaklı deformasyon olarak da sistem güvenlidir.

4.2. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyörün Farklı Tasarımlara Göre Simülasyon Sonuçları

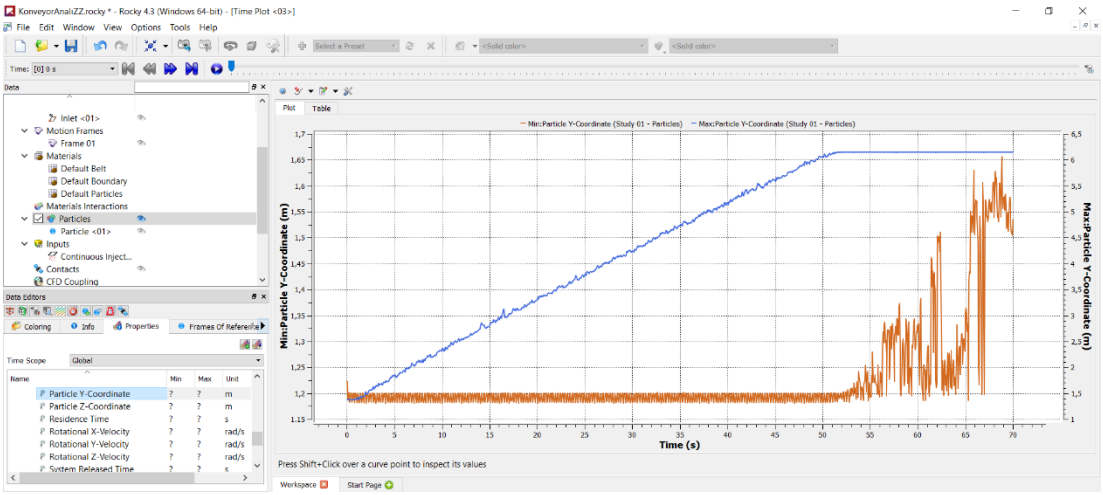
Bu bölümde, Rocky Dem programında yapılan simülasyon sonuçları verilecektir. Fabrikada bulunan konveyörün deney sonuçları ile Rocky Dem simülasyon sonuçlarının ve Dynamic Analysis On Vertical Vibratory Conveyor çalışmasının sonuçları ile Rocky Dem simülasyon sonuçlarının uyuşma elde edildikten sonrasında konveyör iyileştirme çalışması için Tablo'4 de de gösterilen 3 farklı tasarım ele alınmıştır.

Tablo 4. Tasarımların Kriterleri

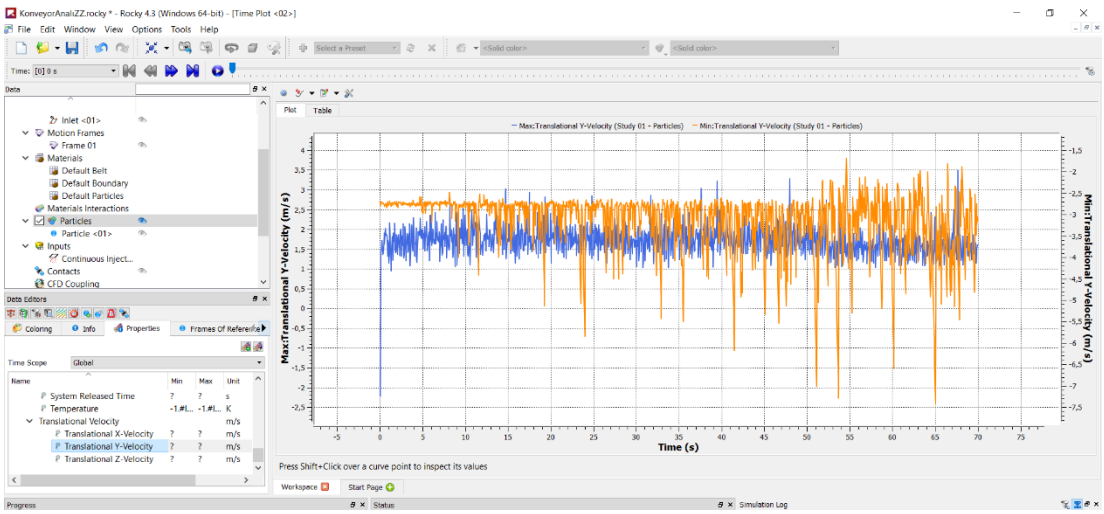
	Mevcut Tasarım 1	Mevcut Tasarım 2	Mevcut Tasarım 3
Helis Açısı [ϕ]	10^0	10^0	10^0
Titreşim Frekansı [Hz]	20	20	20
Helezon Çapı [mm]	540	620	700
Kütle [kg]	1618	1689	1718

4.2.1. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör 1. Tasarım

Tasarım 1'e baktığımızda helis açısı ve helezon çapı ile değişiklik yapılarak tasarım 1 de bulunan helis açısı 10^0, titreşim frekansını 20Hz ve helezon çapı 540 mm olarak simülasyon yapıldı. Burada kütlesel olarak helezonda 150 kg ağırlık kazanıldı. Şekil 35'de malzemenin 6 metreye taşınma süresi 50 saniye gözükmektedir.

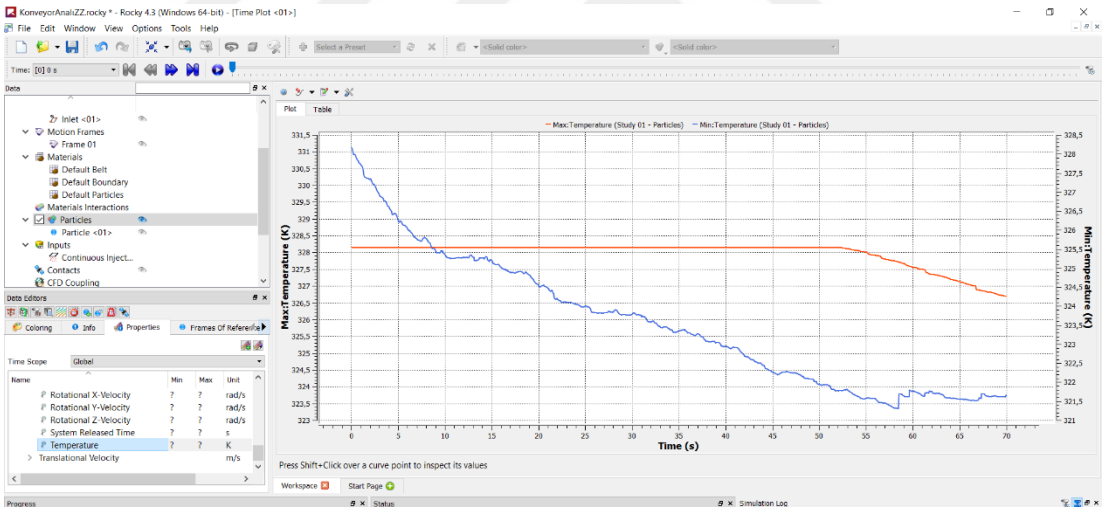


Şekil 35. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 540mm, Titreşim Frekansını 20Hz Yer Değiştirme Sonucu



Şekil 36. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 540mm, Titreşim Frekansını 20Hz Hız Sonucu

Şekil 36'da malzemenin hızı maksimum 3,5 m/s gözükse de ortalama hızı 2,7 m/s'dir. Helezon çapının küçülmesi malzemelerin hareket alanının kısıtlanmasından kaynaklı öteleme hareketinde malzeme hızının düşmesine sebep olmuştur.

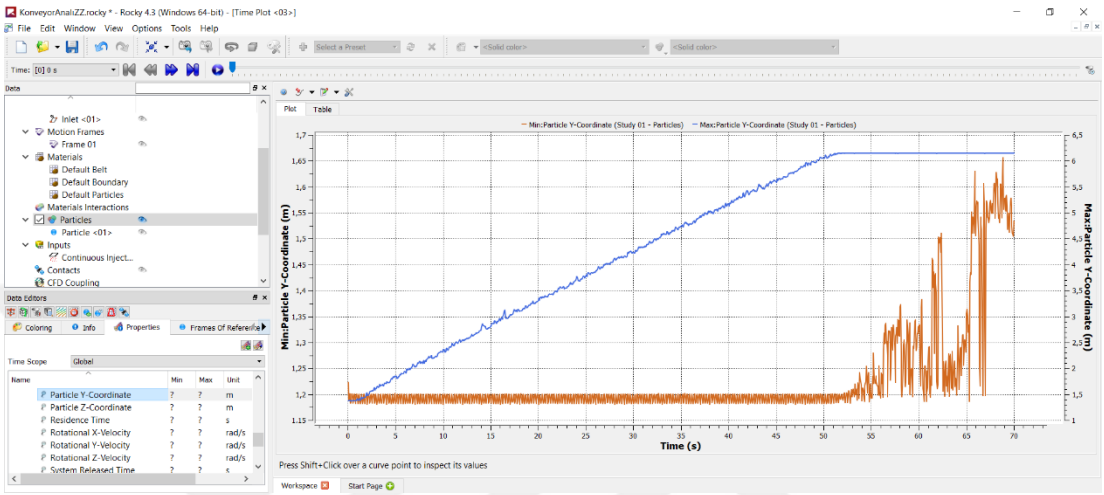


Şekil 37. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 540mm, Titreşim Frekansını 20Hz Sıcaklık Sonucu

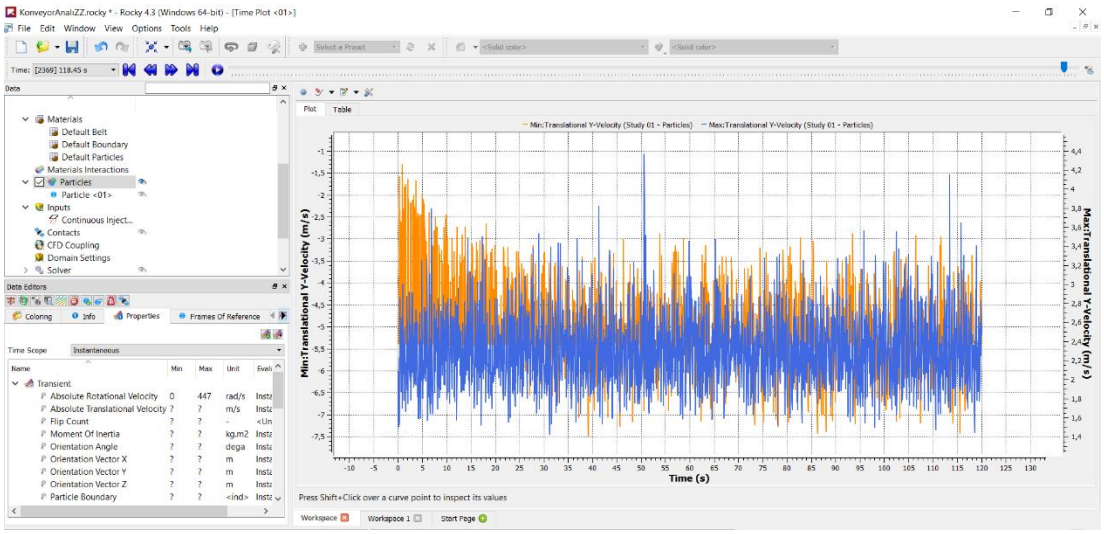
Şekil 37'de malzeme giriş sıcaklığı 55^0 C olarak verdiğimiz için, malzemenin konveyörden 6 metreye ulaştığı zamanki çıkış sıcaklığı 47^0 C gözükmektedir. Buradaki sonuçlar deneysel tasarımdan malzeme taşınma süresinde 400 saniyelik bir iyileştirme olsa da malzeme sıcaklığı sadece 8^0 C azalmıştır. Helezon çapının azalması malzemeleri yukarı çıkarmada çok hızlı olmuştur. Fakat malzemenin soğuma süresi uzamıştır.

4.2.2. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör 2. Tasarım

Tasarım 2'ye baktığımızda helis açısı, helezon çapı ve titreşim frekansı ile değişiklik yapılarak tasarım 2 de bulunan helis açısı 10^0, titreşim frekansını 20Hz ve helezon çapı 620 mm olarak simülasyon yapıldı. Burada kütlesel olarak helezonda 80 kg ağırlık kazanıldı. Şekil 38'de malzemenin 6 metreye taşınma süresi 120 saniye gözükmektedir.

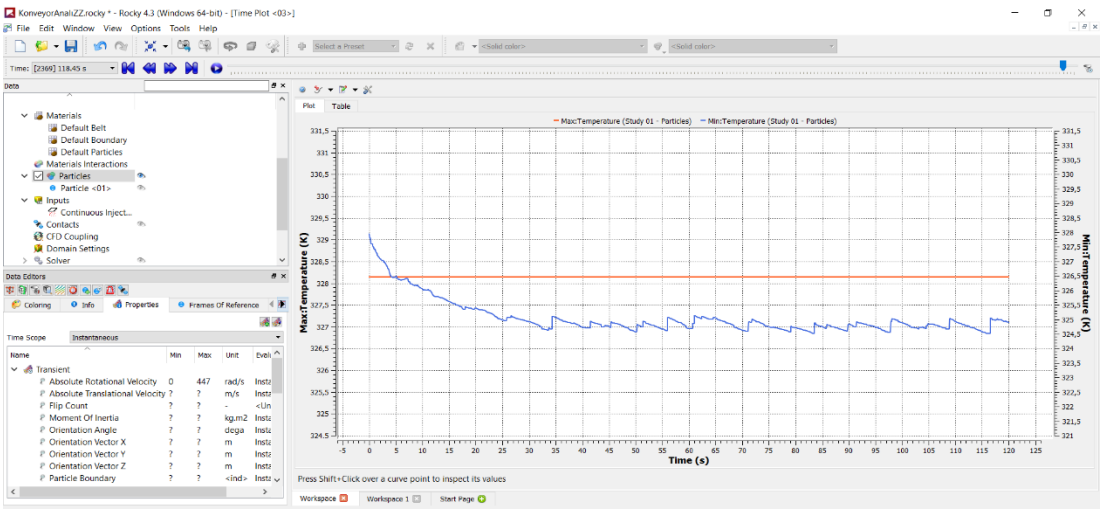


Şekil 38. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 620mm, Titreşim Frekansını 20Hz Yer Değiştirme Sonucu



Şekil 39. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 620mm, Titreşim Frekansını 20Hz Hız Sonucu

Şekil 39'da malzemenin hızı maksimum 4,3 m/s gözükse de ortalama hızı 3,4 m/s'dir. Helezon çapının küçülmesi malzemelerin hareket alanının kısıtlanmasından kaynaklı öteleme hareketinde malzeme hızının düşmesine sebep olmuştur.

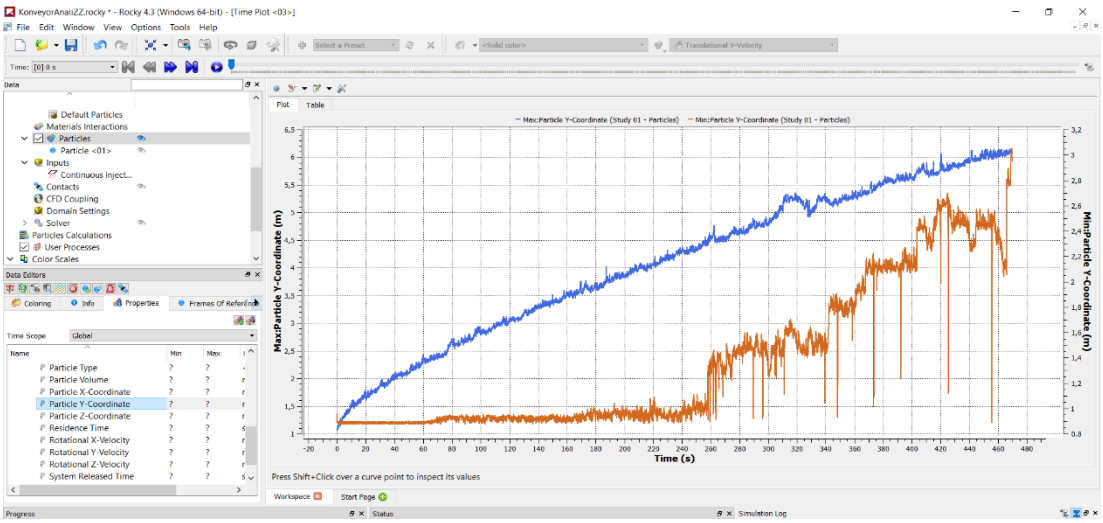


Şekil 40. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 620mm, Titreşim Frekansını 20Hz Sıcaklık Sonucu

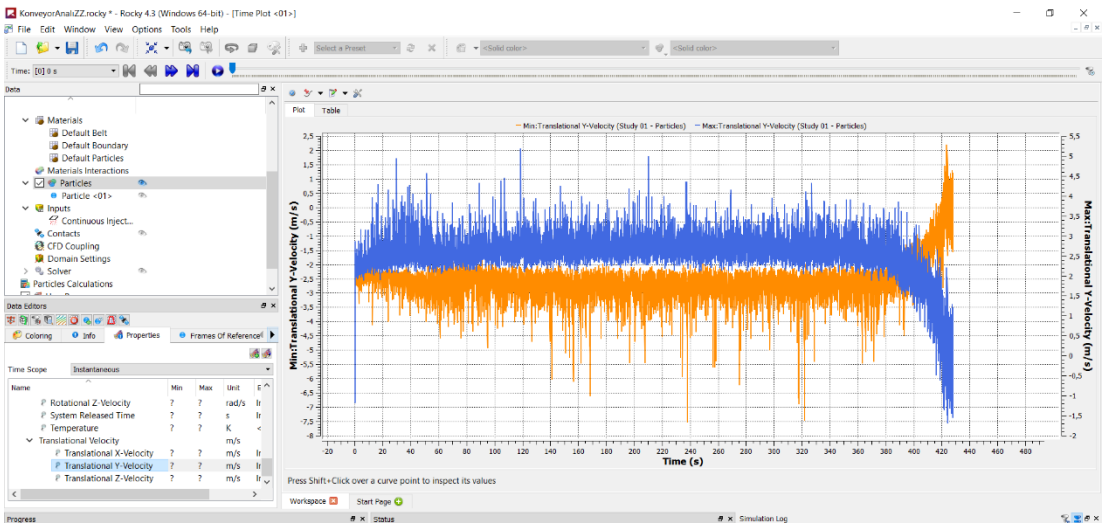
Şekil 40'da malzeme giriş sıcaklığı 55^0 C olarak verdiğimiz için, malzemenin konveyörden 6 metreye ulaştığı zamanki çıkış sıcaklığı 44^0 C gözükmektedir. Buradaki sonuçlar deneysel tasarımdan malzeme taşınma süresinde 330 saniyelik bir iyileştirme olsa da malzeme sıcaklığı 11^0 C azalmıştır. Helezon çapının azalması malzemeleri yukarı çıkarmada çok hızlı olmuştur.

4.2.3. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör 3. Tasarım

Tasarım 3'e baktığımızda helis açısı ve titreşim frekansı ile değişiklik yapılarak tasarım 3 de bulunan helis açısı 10^0, titreşim frekansını 20Hz ve helezon çapı 700mm olarak değerleri girildi. Burada kütlesel olarak helezonda kg kazanılmadı. Şekil 41'de malzemenin 6 metreye taşınma süresi 425 saniye gözükmektedir.

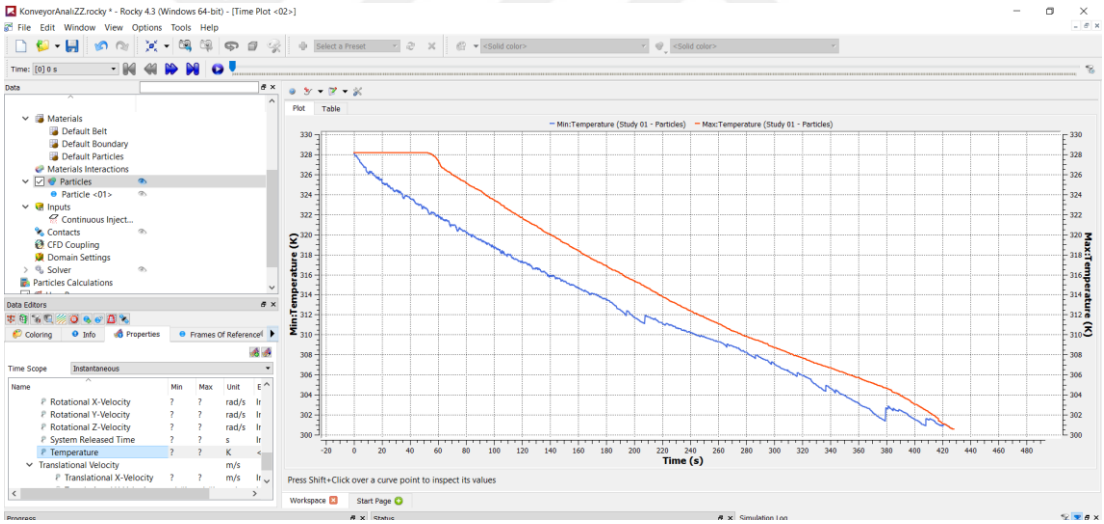


Şekil 41. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 700mm, Titreşim Frekansını 20Hz Yer Değiştirme Sonucu



Şekil 42. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 700mm, Titreşim Frekansını 20Hz Hız Sonucu

Şekil 42'de malzemenin hızı maksimum 5,2 m/s gözükse de ortalama hızı 4,5 m/s'dir. Helis açısının değişmesi ve tireşim frekansının artmasından kaynaklı malzemelerin öteleme hareketinde malzeme hızının artmasına sebep olmuştur

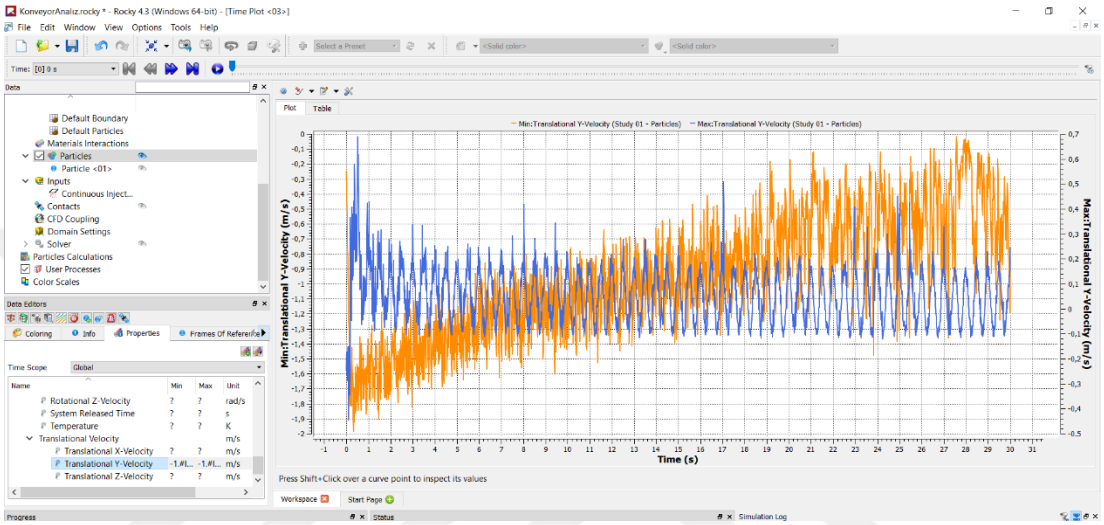


Şekil 43. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helezon çapı 700mm, Titreşim Frekansını 20Hz Sıcaklık Sonucu

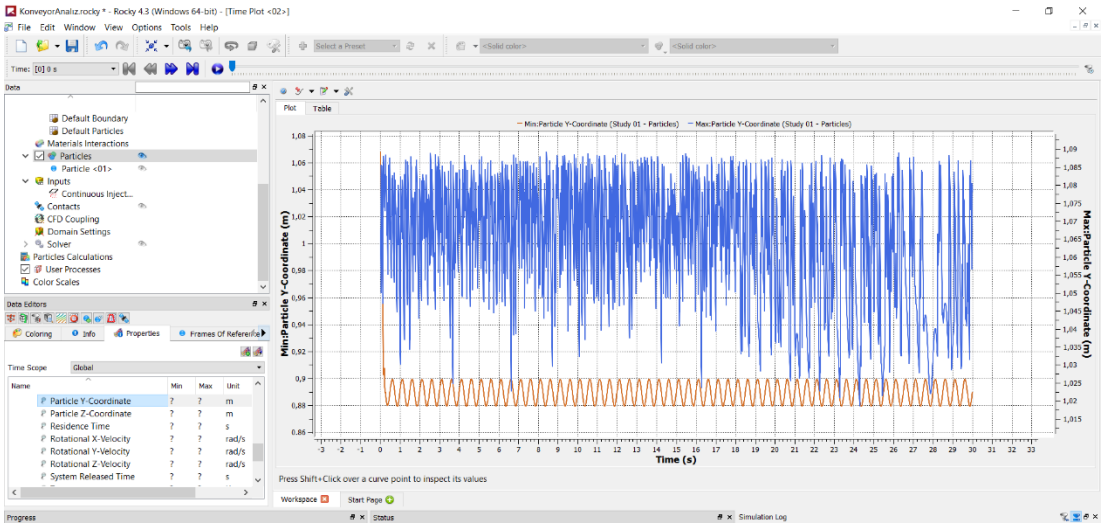
Şekil 43'de malzeme giriş sıcaklığı 55^0 C olarak verdiğimiz için, malzemenin konveyörden 6 metreye ulaştığı zamanki çıkış sıcaklığı 33^0 C gözükmektedir. Buradaki sonuçlar Aynı zamanda malzeme sıcaklığı 22^0 C soğumuştur. Titreşimin artmasından kaynaklı taşınan malzemenin soğuma hızı arttığı görülmektedir. Fakat Helezon çapının artması malzemenin taşınma hızı süresini arttırmıştır.

4.3. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Rezonans Simülasyon Sonuçları

Tasarımda helis açısı 5^0, titreşim frekansını 2Hz alarak oluşan sonuçta konveyörün rezonansa girdiği görülmüştür. Şekil 44'de malzemenin hızı 0,5 m/s olduğu gözükmektedir. Şekil 45'de malzemeleri dikey yönde hareket edemediği gözükmektedir.

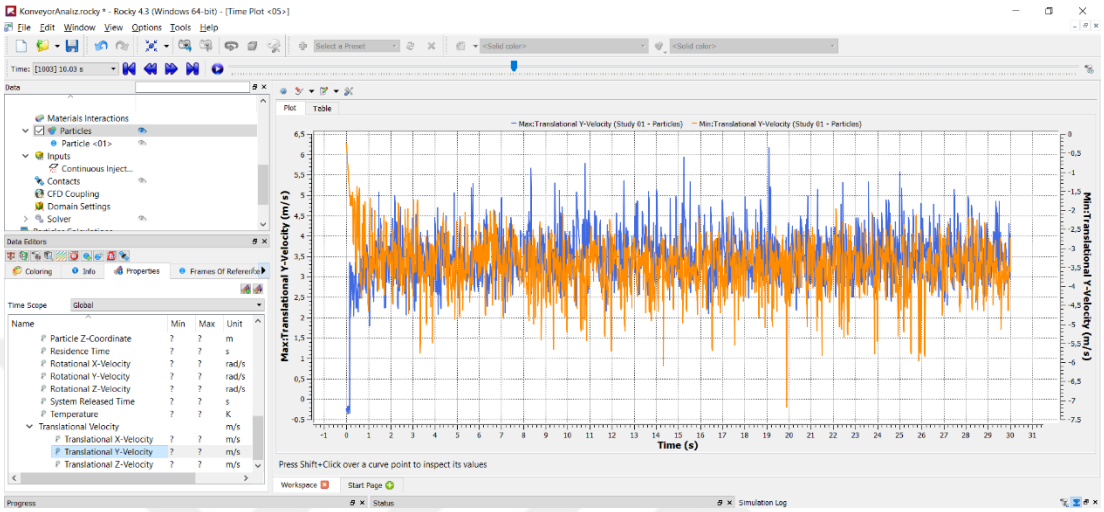


Şekil 44. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helis Açısı 5^0, Titreşim Frekansını 2Hz Hız Sonucu

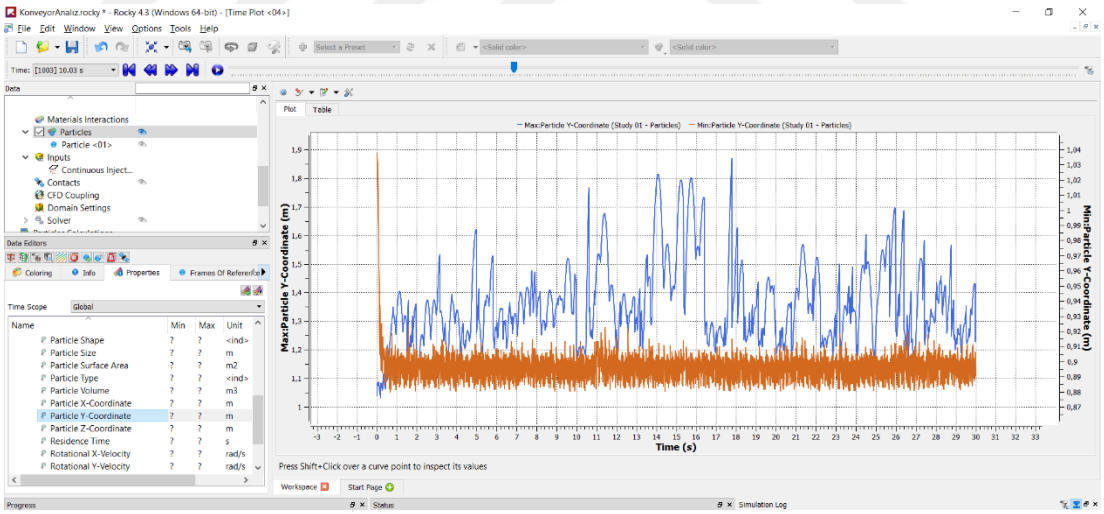


Şekil 45. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helis Açısı 5^0, Titreşim Frekansını 2Hz Yer Değiştirme Sonucu

Tasarımda helis açısı 5^0, titreşim frekansını 32Hz alarak oluşan sonuçta konveyörün rezonansa girdiği görülmüştür. Şekil 46'da malzemenin hızı 6 m/s olduğu gözükmektedir. Şekil 47'de malzemeleri dikey yönde hareket edemediği gözükmektedir.



Şekil 46. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helis Açısı 5^0, Titreşim Frekansını 32Hz Hız Sonucu



Şekil 47. Vibrasyonlu Dikey Helezon Konveyör Helis Açısı 5^0, Titreşim Frekansını 32Hz Yer Değiştirme Sonucu

4.4. Simülasyon Verilerinin Değerlendirilmesi

Tasarımları yapılan konveyörlerin Rocky Dem programı ile analiz sonuçlarının elde edilmesiyle 5 farklı sonuç elde edilmiştir. Bu sonuçları aşağıdaki tablolarda yorumlanmıştır.

Tablo 5. Konveyör Tasarımlarının Malzeme Hızları

	Helis Açısı [ϕ]	Titreşim Frekansı (Hz)	Helezon Çapı (mm)	En Yüksek Öteleme Hızı (m/s)	Ortalama Öteleme Hızı (m/s)	Açısal Hızı (rad/s)
Fabrika Tasarımı	5^0	16	700	4,2	3,7	500
Yuejing Tasarımı	3^0	10	540	2,5	1,4	240
Mevcut Tasarım 1	10^0	20	540	3,5	2,7	350
Mevcut Tasarım 2	10^0	20	620	4,3	3,4	447
Mevcut Tasarım 3	10^0	20	700	5,2	4,5	625

Tablo 5'de malzemenin hız verileri malzemenin çıkış bölümüne ulaşma sonucuna göre hız değerleri karşılaştırılmıştır. Tasarımların hız değerleri arasında titreşim frekansı değerine bağlı olarak öteleme hızı ve açısal hızı artmaktadır. Bunun nedeni titreşim motorlarından oluşan vibrasyon kuvvetinin artmasından kaynaklandır. Aynı zamanda helezon çapına göre öteleme hızı ve açısal hızı da artmaktadır. Helezon çapının büyümesine bağlı olarak malzemelerin birbirinden bağımsız şekilde hareket etmelerinden kaynaklandır.

Tablo 6. Konveyör Tasarımlarının Malzeme Termal Analizi

	Helis Açısı [ϕ]	Titreşim Frekansı (Hz)	Helezon Çapı (mm)	3 metre sonunda	4,5 metre sonunda	6 metre sonunda
Fabrika Tasarımı	5^0	16	700	48^0C	42^0C	38^0C
Yuejing Tasarımı	3^0	10	540	53^0C	52^0C	50^0C
Mevcut Tasarım 1	10^0	20	540	53^0C	51^0C	47^0C
Mevcut Tasarım 2	10^0	20	620	51^0C	48^0C	44^0C
Mevcut Tasarım 3	10^0	20	700	45^0C	39^0C	33^0C

Tablo 6'da malzemenin 3m, 4,5m ve 6 metreye ulaşma sonucuna göre malzemenin termal değerleri karşılaştırılmıştır. Tasarımların termal değerleri öncesinde malzemenin giriş sıcaklığı 55^0C olarak girildi. Tasarımlarda malzemenin sıcaklıkları titreşim frekansının artması ve helezon çapının azalmasına bağlı olarak malzemenin soğuma sürelerinde azalma görülmektedir. Bunun nedeni titreşim motorlarından oluşan vibrasyon kuvvetinin artmasından ve malzemenin ilerleyeceği yolun azalmasından kaynaklıdır.

Tablo 7. Konveyör Tasarımlarının Malzeme Yer Değiştirmesi

	Helis Açısı	Titreşim Frekansı (Hz)	Helezon Çapı (mm)	5 saniye	30 saniye	60 saniye
Fabrika Tasarımı	5^0	16	700	1,45 m	1,95 m	2,45 m
Yuejing Tasarımı	3^0	10	540	1,20 m	3,60 m	5,70 m
Mevcut Tasarım 1	10^0	20	540	1,80 m	4,20 m	6,00 m
Mevcut Tasarım 2	10^0	20	620	1,65 m	3,05 m	4,40 m
Mevcut Tasarım 3	10^0	20	700	1,50 m	2,00 m	2,50 m

Tablo 7'de malzemenin konveyördeki yer değiştirmesi konveyörün 5, 30 ve 60 saniye çalışmasının sonuçlarına göre malzemenin ilerleme sonuçları bulunmuştur. Tasarımlarda helezon çapının azalması değerine bağlı olarak malzemenin yer değiştirme sürelerinin hızlı olduğu görülmektedir. Bunun nedeni yine malzemenin ilerleyeceği yolun azalmasından ve malzemenin birbiriyle temaslarının fazla olmasından hızlı ilerlemektedir.

Tablo 8. Konveyör Tasarımlarının Konveyör Hızı ve Uygulanan Kuvvet

	Helis Açısı	Titreşim Frekansı (Hz)	Helezon Çapı (mm)	Konveyör Hızı (m/s)	Konveyör Kuvvet (N)
Fabrika Tasarımı	5^0	16	700	1,01	3715
Yuejing Tasarımı	3^0	10	540	0,62	2453
Mevcut Tasarım 1	10^0	20	540	1,26	2569
Mevcut Tasarım 2	10^0	20	620	1,26	3130
Mevcut Tasarım 3	10^0	20	700	1,26	3825

Tablo 8'de gösterilen tasarımların hız değerleri arasında titreşim frekansı değerine bağlı olarak konveyörün hızı artmaktadır. Konveyöre uygulanan kuvvetlerin malzemenin helezon çapının artmasına bağlı olarak helezon çapının artmasıyla malzemenin konveyöre uyguladığı kuvvette artmaktadır. Bunun nedeni malzemenin konveyörde bulunma süresi ve malzemenin etki ettiği alanın artmasından kaynaklı olarak konveyöre uygulanan kuvvetin arttığı görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, taşıma sistemlerinde kullanılan vibrasyonlu dikey helezon konveyörün dökme malzemeleri ve toz halde olan malzemelerin taşıma sırasında yaşanan sorunlara çözüm önerileri sunulmaktadır. Konveyörün mekanik analizleri sonlu elemanlar metodundaki hesaplamalı analiz programı olan Rocky Dem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mevcut durumda fabrikada çalışan makinanın üretim kapasitesini iyileştirme adına konveyör üzerinde çalışılarak makinanın üretim kapasite problemleri giderilmesi hedeflenmiştir. Gerçek deneylerin bilgisayar ortamında matematiksel verilere dayalı olarak modellenmesi her zaman bazı kabullerin yapılmasına dayalı olarak gerçekleştirilir. Oluşturulan modeller her ne kadar deneylere yakınsa da yapılan kabüller dolayısıyla gerçek verilerden az ya da çok tahmin yapılmasına sebep olur.

Öncelikle fabrikada bulunan konveyörün ve Yuejing Zhao'nun çalışmasından esinlenerek mevcut modelleri analiz edilerek makinanın titreşim frekansı, malzeme taşınma süresi ve malzemelerin termal dereceleri deneysel yöntemle bulunmuştur. Makinanın kapasitesinin arttırmalası, ürünlerin kalitesi ve maliyet düşürülmesi bu tezin başlıca amaçları olmuştur.

Bu tezde 3 farklı tasarım modeli oluşturulmuştur. Fabrikadaki konveyörün ölçüleri ele alınaraktan helezon çapının %11 ve %22 düşmesi ile helezonun kütlesel azalması malzemenin taşıma süresini yüksek oranda etkilediği fakat malzemenin termal analizinde soğuma derecesinin düşük kaldığı görülmüştür. Titreşim frekansının %25 arttırılmasında ise malzemenin taşıma süresine etkilidir. Frekansın %25 üzeri arttırıldığında malzemelerin dışarı taştığı görülmüştür. %100 artmasında ise malzemenin taşınamadığı belirlenmiştir.

Konveyör sistemleri üzerinde yapılan simülasyon ve deney çalışmasının dikkate alınması, hızla büyümekte olan titreşimle taşıma teknolojisi sektörü için faydalı olacaktır. Gelecekteki çalışmalarda, bu çalışama da yaptığımız tasarım çalışmalarını geliştirmeyi ve simülasyon olarak da yeni çalışmaların denenmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

[1] GEA Grup, GEA Vibration Spiral Elevator Ürün Bilgisi Teknik Dökümanı. Kurumsal Websitesi, 2021.

[2] Talabă, D,. and Roche, T., Spiral elevator modelling and analysis using adams software Product Engineering. 2004, 321–332.

[3] Gerdemeli, İ., Sürekli transport sistemleri kitabında salınımlı ve titreşimli konveyörler. 2005, 162-174.

[4] Bayıroğlu, H., Computational dynamic analysis of unbalanced mass of vertical conveyer-elevator. 2007, 712-716.

[5] Bayıroğlu, H., Nonlinear analysis of unbalanced mass of vertical conveyer-elevator. 2011, 66-70.

[6] Hongyan, H., Qingshan, J., Vertical vibration conveyor vibration testing. 2011, 872-876.

[7] Kaplan, Ö., Helezon konveyör tipi kurutucuda odun parçacıklarının kurutulmasının deneysel olarak incelenmesi. Kocaeli, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2011, 65 s. (Yüksek Lisans Tezi).

[8] Yuejing, Z,. Fengshan, H., Zhilin, Z., Dynamic analysis on vertical vibratory conveyor. 2013, 694-698.

[9] Yücesan, K., Helezon konveyör içerisindeki malzeme akışının modellenmesi. İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2015, 70 s. (Yüksek Lisans Tezi).

[10] Hamed, Y.S., Sayed, M., El-Awad, R.A., On Controlling the nonlinear response of vibrational vertical conveyor under mixed excitation. 2017, 6493-6509.

[11] Zurovec, D,. Gelnar D., Necas, J., Zegzulka, J., The behavior of fly ash on the vibrating vertical conveyor. 2017, 183-188.

[12] Bauomy, H. S., EL-Sayed, A. T., Vibration performance of a vertical conveyor system under two simultaneous resonances. 2018, 1349-1368.

[13] Dedeoğlu, O., Helezon konveyör sistemlerinde oluk boşluğunun ve eğimin iletim kapasitesine etkisi. İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2018, 76 s. (Yüksek Lisans Tezi).

[14] Sturm, M.A., Design Optimization of Linear Vibratory Conveyors. 2018, 115s.

[15] 3A Makina, SPIRA-FLOW Vibrating Spiral Elevator Ürün Bilgisi Teknik Dökümanı. Kurumsal Websitesi, 2021.

[16] General Kinematics, Vibrating Spiral Conveyor Ürün Bilgisi Teknik Dökümanı. Kurumsal Websitesi, 2021.

[17] Fredrıch Schwingtechnik, Vibrasyon Motorları Montaj ve İşletim Kılavuzu Ürün Bilgisi Teknik Dökümanı. Kurumsal Websitesi, 2021.

[18] EMTAŞ A.Ş., Vibrasyon Motoru İşletme ve Bakım Talimatı, Ürün Bilgisi Teknik Dökümanı. Kurumsal Websitesi, 2021.

[19] Polmak Plastik Kimya Makina, Vibrasyon Motoru Seçim ve Kılavuzu, Ürün Bilgisi Teknik Dökümanı. Kurumsal Websitesi, 2021.

[20] Jiangyin Plastiger Machinery Co., Ltd., Vibrating Sprial Elevator Ürün Bilgisi Teknik Dökümanı. Kurumsal Websitesi, 2021.

[21] Miksan Motor A.Ş., Vibrasyon Motoru Seçim ve Kılavuzu, Ürün Bilgisi Teknik Dökümanı. Kurumsal Websitesi, 2021.

[22] OLI Makine Sanayi, Vibrasyon Motoru Seçim ve Kılavuzu, Ürün Bilgisi Teknik Dökümanı. Kurumsal Websitesi, 2021.

[23] Engineering Simulation And Scientific Software, Newsletter EnginSoft Year Product Brochure, 2017.

[24] Rocky Discrete Element Method Package, Ürün Bilgisi Teknik Dökümanı. Kurumsal Websitesi, 2021.