T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BANTLI KONVEYÖRLERDE SEHİM VE EĞİM FAKTÖRÜNÜN TEORİK VE NUMERİK OLARAK İNCELENMESİ

Enes SEZER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Berna BOLAT

Eş Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ

Ocak, 2023

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BANTLI KONVEYÖRLERDE SEHİM VE EĞİM FAKTÖRÜNÜN TEORİK VE NUMERİK OLARAK İNCELENMESİ

Enes SEZER tarafından hazırlanan tez çalışması 26.01.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Berna BOLAT	Dr. Öğr. Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi	Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman	Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Berna BOLAT, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Erdem BOĞOÇLU, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Cevat Erdem İMRAK, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Berna BOLAT ve eş danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Bantlı Konveyörlerde Sehim ve Eğim Faktörünün Teorik ve Numerik Olarak İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Enes SEZER

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün FBA-2022-3847 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Aileme

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanma süresince bana rehberlik edip yol gösteren danışmanım sn. Dr. Öğretim Üyesi Berna BOLAT'a ve eş danışmanım sn. Dr. Öğretim Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ'a bana ayırmış oldukları vakit ve tüm emekleri için sonsuz minnet duyduğumu belirtir, teşekkürlerimi sunarım.

Enes SEZER

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ x

KISALTMA LİSTESİ xii

ŞEKİL LİSTESİ xiii

TABLO LİSTESİ xvi

ÖZET xvii

ABSTRACT xix

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti……..……...1

1.2 Tezin Amacı……..……..……..2

1.3 Hipotez……..……..……..2

2 BANTLI KONVEYÖRLER 3

2.1 Bantlı Konveyörlerin Üstünlükleri……..……..4

2.2 Bantlı Konveyörlerin Elemanları……..……8

2.2.1 Konveyör Bandı ……..……8

2.2.2 Makaralar……..……9

2.2.3 Tamburlar……..……..……10

2.2.4 Gerdirme Düzeneği……..……11

2.2.5 Şasi……..……12

2.3 Bantlı Konveyörlerle İlgili Önemli Kavramlar……..……..……..……12

2.3.1 Kapasite…..……..12

2.3.2 Sehim……12

2.3.3 Bant Gerilmesi……13

2.3.4 Makara Aralığı……..……13

2.3.5 Malzeme Geri Kaçması……..……14

3 TEORİK HESAPLAMALAR 15

3.1 Teorik Kapasitenin Hesaplanması……..……15

3.2 Gücün Hesabı……..……..……16

3.3 Bant Gerilmelerinin Hesabı……..……17

3.4 Sehimin Teorik Hesabı……19

4 KONVEYÖRÜN TASARIMI 21

4.1 Makaraların Tasarımı……22
4.2 Tamburların Tasarımı……23
4.3 Bandın Tasarımı……24
4.4 Gerdirme Düzeneğinin Tasarımı……25
4.5 Motor ve Redüktör Bağlantısının Tasarımı……26
4.6 Konveyör Şasisinin Tasarımı……28
4.7 Tasarımdaki Vidalı Bağlantılar……30
4.8 Tasarımın Montajı……31

5 TEORİK HESAPLAMANIN UYGULANMASI 32

5.1 Düz Konveyörün hesaplamaları……32
5.1.1 Düz Konveyörün Kapasitesinin Hesaplanması……32
5.1.2 Düz Konveyörün Motor Gücünün Hesaplanması……33
5.1.3 Düz Konveyörün Bant Gerilmelerinin Hesaplanması……34
5.1.4 Düz Konveyörde Sehimin Teorik Olarak Hesaplanması……35
5.2 5° Eğimli Konveyörün Hesaplamaları……35
5.2.1 5° Eğimli Konveyörün Kapasitesinin Hesaplanması……35
5.2.2 5° Eğimli Konveyörün Motor Gücünün Hesaplanması……36
5.2.3 5° Eğimli Konveyörün Bant Gerilmelerinin Hesaplanması……36
5.2.4 5° Eğimli Konveyörde Sehimin Teorik Olarak Hesaplanması……38
5.3 10° Eğimli Konveyörün Hesaplamaları……38
5.3.1 10° Eğimli Konveyörün Kapasitesinin Hesaplanması……38
5.3.2 10° Eğimli Konveyörün Motor Gücünün Hesaplanması……38
5.3.3 10° Eğimli Konveyörün Bant Gerilmelerinin Hesaplanması……39
5.3.4 10° Eğimli Konveyörde Sehimin Teorik Olarak Hesaplanması……40
5.4 15° Eğimli Konveyörün Hesaplamaları……40
5.4.1 15° Eğimli Konveyörün Kapasitesinin Hesaplanması……40
5.4.2 15° Eğimli Konveyörün Motor Gücünün Hesaplanması……41
5.4.3 15° Eğimli Konveyörün Bant Gerilmelerinin Hesaplanması……41
5.4.4 15° Eğimli Konveyörde Sehimin Teorik Olarak Hesaplanması……43
5.5 20° Eğimli Konveyörün Hesaplamaları……43
5.5.1 20° Eğimli Konveyörün Kapasitesinin Hesaplanması……43

5.5.2 20° Eğimli Konveyörün Motor Gücünün Hesaplanması……43
5.5.3 20° Eğimli Konveyörün Bant Gerilmelerinin Hesaplanması……44
5.5.4 20° Eğimli Konveyörde Sehimin Teorik Olarak Hesaplanması…45
5.6 Teorik Olarak Hesaplanan Parametrelerin Özetlenmesi……45

6 AYRIK ELEMANLAR METODU (DEM) MODELİ 47
6.1 DEM Modelinin Oluşturulması……48
6.1.1 Bant Geometrisinin Tanımlanması ……48
6.1.2 Konveyöre Malzeme Yüklenişinin Tanımlanması ……50
6.1.3 Yığma Malzemenin Özelliklerinin Tanımlanması……50
6.1.4 DEM Simülasyonunun Uygulanması……51
6.2 DEM Analizinden Sonuç Verilerinin Elde Edilmesi ……53
6.2.1 Makara Aralıklarının İzlenmesi……53
6.2.2 Normal Kuvvet Verilerinin Elde Edilişi……54
6.2.3 Kütle Verilerinin Elde Edilişi ve Tasarıma Özel Eğim Faktörü(k).55

7 SONLU ELEMANLAR METODU (FEM) MODELİ 58
7.1 FEM Modelinin Oluşturulması……59
7.1.1 Bant Geometrisinin Modellenmesi ……59
7.1.2 Analiz Tipinin Belirlenmesi……60
7.1.3 Doğrusal Olmayan (non-lineer) Malzeme Davranışı……60
7.1.4 Bant Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması……61
7.1.5 Kuvvetlerin uygulanması……62
7.2 FEM Analizi Sonuçlarının Elde Edilmesi……64
7.2.1 İterasyon İçin Ortalama Numerik Sehimin Dışa Aktarımı ……64
7.2.2 Tüm Makara Aralıkları İçin Numerik Sehimlerinin Elde Edilmesi.65

8 FEM/DEM VERİ AKTARIMI VE İTERASYONU 66
8.1 FEM ve DEM Arası Veri Aktarımı …… 66
8.2 İterasyon Döngüsü ……67

9 TARTIŞMA 70
9.1 Numerik Normal Kuvvetler……70
9.2 Teorik ve Numerik Sehim ……75
9.3 Teorik ve Numerik Konveyör Kapasiteleri……79
9.3 Konveyör Tasarımına Özel Eğim Faktörü (k) ……82

10 SONUÇ VE ÖNERİLER 85

KAYNAKÇA 87

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 89

SİMGE LİSTESİ

T_b	Alt Bandın Ağırlıktan Kaynaklı Düşey Taşıma Direnci
T_{yr}	Alt Banttaki Sürtünme Direnci
B	Bant Genişliği
f	Bant Sehimi
q	Bant Üzerindeki Toplam Yükün Birim Metre Başına Ağırlığı
ρ	Bant Yoğunluğu
G_B	Birim Metre Başına Bant Ağırlığı
W_b	Birim Metre Başına Bant Ağırlığı
E_x	Boyuna Elastisite Modülü
G_D	Dönüş Makarasının Ağırlığı
L_D	Dönüş Makarasının Aralığı
P_3	Düşey Malzeme İletimi İçin Gerekli Güç
H	Düşey Taşıma Mesafesi
k	Eğim Faktörü
E_x	Enine Elastisite Modülü
$L_{eş}$	Eşdeğer Konveyör Uzunluğu
T_E	Etkin Bant Gerilmesi
T_1	Gergin Koldaki Bant Gerilmesi
T_2	Gevşek Koldaki Bant Gerilmesi
G_1	Hareketli Parçaların Birim Metre Başına Ağırlığı
θ	Konveyör Eğim Açısı
Q	Konveyör Kapasitesi
L	Konveyör Uzunluğu
P_1	Konveyörün Boşta Çalışması İçin Gerekli Güç
P_m	Konveyörün Gerekli Motor Gücü
v	Konveyörün Hızı
T_0	Konveyörün Üst Bandındaki Gerilme
$Ø$	Mil Çapı
G_{12}	Rijitlik Modülü
α	Tambur ve Bant Arası Sarım Açısı

μ	Tambur ve Bant Arası Sürtünme Katsayısı
G_T	Taşıyıcı Makaranın Ağırlığı
L_T	Taşıyıcı Makaranın Aralığı
P_2	Yatay Malzeme İletimi İçin Gerekli Güç
g	Yerçekimi İvmesi
φ	Yığma Malzemenin Statik Şevk Açısı
γ	Yığma Malzemenin Yoğunluğu

KISALTMA LİSTESİ

APDL	ANSYS Parametric Design Language
BG	Beygir Gücü
CAD	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
DEM	Discrete Element Method (Ayrık Elemanlar Metodu)
FEM	Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Metodu)
HV	Vickers Hardness
ISO	International Organization for Standardization

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Kömür taşıyan bir bantlı konveyör örneği……..……..5

Şekil 2.2 Yüksek kapasitede çalışan bir bantlı konveyör örneği……..…..6

Şekil 2.3 Eğimli bir arazi üzerinde koruyuculu bir bantlı konveyör örneği…..…6

Şekil 2.4 Doğal ortamda bir bantlı konveyör örneği……..……..……7

Şekil 2.5 Bir konveyör bandının kısımları……..……..……8

Şekil 2.6 Konveyör bantlarının karkas tipine göre sınıflandırılması……9

Şekil 2.7 Bantlı konveyörlerde makaraların kullanım şekilleri……..…....10

Şekil 2.8 Bantlı konveyörlerde bazı gerdirme düzeneği uygulamaları……11

Şekil 2.9 Bantlı konveyörlerde meydana gelen bant sehimi..……..…13

Şekil 2.10 Bantlı konveyörlerde makara aralığı…..……..14

Şekil 3.1 Yukarı yönlü çalışan sağdan tahrikli bir konveyörde bant gerilmeleri..18

Şekil 3.2 Sehim hesabında dikkate alınması gereken makara aralığı a) düz konveyör, b) θ eğim açılı konveyör……..……20

Şekil 4.1 Makaranın tasarımı ve boyutları……..……..……22

Şekil 4.2 Makaranın oluşturulan katı modeli……..……..……22

Şekil 4.3 Bantlı konveyörün makara aralıkları……..……..……..…23

Şekil 4.4 Tamburun tasarım ve boyutları……..……..……..…23

Şekil 4.5 Tamburun oluşturulan katı modeli……..……..……23

Şekil 4.6 Tasarımda kullanılan konveyör bandı a) üstten görünüm b) önden görünüm……..……24

Şekil 4.7 Gerdirme düzeneğinin tasarımı……..……..……25

Şekil 4.8 Gerdirme düzeneğinin montaj görüntüsü ……..……26

Şekil 4.9 Kılavuzda tarif edilen moment kolu bağlantısı ……..……27

Şekil 4.10 Moment kolu bağlantısının oluşturulan katı modeli ve cıvata bağlantıları a) yandan görünüm b) önden görünüm……..27

Şekil 4.11 Motor ve redüktörün konveyöre bağlantısının moment kolu ile yapılması a) önden görünüm, b) yandan görünüm……..……..…28

Şekil 4.12 Konveyör şasisinin montajı a) üstten görünüm b) önden görünüm.…29

Şekil 4.13 Oluşturulan konveyör tasarımının perspektif görüntüsü…….……..31

Şekil 5.1 Düz konveyörde bant gerilmeleri…….……..……..…35

Şekil 5.2 5° eğimli konveyörde bant gerilmeleri……..……37

Şekil 5.3 10° eğimli konveyörde bant gerilmeleri……..……40

Şekil 5.4 15° eğimli konveyörde bant gerilmeleri……..……..…42

Şekil 5.5 20° eğimli konveyörde bant gerilmeleri……..……..…45

Şekil 6.1 DEM analizinin akış şeması……..……..……...47

Şekil 6.2 Konveyör tasarımında makara aralıklarının numaralandırılması…….48

Şekil 6.3 5° eğimli konveyör için oluşturulan DEM modelinde kullanılan bant yüzeyi geometrileri a) başlangıçta kullanılan düz geometri, b) ileriki simülasyonlarda kullanılan sehimli geometri ……..…..49

Şekil 6.4 DEM modelinde tekli küre olarak oluşturulan kum tanesi……..…..50

Şekil 6.5 Oluşturulan DEM modeli…….……..…51

Şekil 6.6 10° eğimli konveyörün son iterasyonu sonucu elde edilen sehimli DEM analizi görüntüsü…….…….…52

Şekil 6.7 Tüm makara aralıklarının ayrı ayrı izlenmesi……..…...54

Şekil 6.8 DEM sonucu elde edilen normal kuvvetin son üç bant makara aralığı için ortalamasının alınması …….……55

Şekil 6.9 DEM sonucu elde edilen toplam kütle değerinin son üç makara aralığı için ortalamasının alınması ……..……....56

Şekil 6.10 Bir makara aralığı verileri ile konveyör kapasitesinin bulunması.……56

Şekil 7.1 FEM analizinin akış şeması ……..……..……..…58

Şekil 7.2 FEM modeli için bant geometrisinin oluşturulması a) Makaralar ve makara aralığı b) FEM modelinde kullanılan bant geometrisi …..…..59

Şekil 7.3 Malzemenin gerilme-uzama eğrisi a) lineer malzeme davranışı b) non lineer malzeme davranışı 60

Şekil 7.4 Ortotropik malzeme özelliğinde enine ve boyuna elastisite modülleri.61

Şekil 7.5 Yığma malzemenin bant üzerinde dağılımı.....63

Şekil 7.6 Oluşturulan iki adımlı FEM modeli a) birinci adım b) ikinci adım.....64

Şekil 7.7 Geometrinin dışa aktarılabilmesi için oluşturulan proje şematiği.....65

Şekil 7.8 Dışa aktarılan sehimli bir makara aralığı geometrisi.....65

Şekil 8.1 DEM ve FEM arası veri aktarımı 66

Şekil 8.2 İterasyon boyunca sehim değerinin artması.....68

Şekil 8.3 DEM ve FEM arası veri aktarımının iterasyon döngüsünün şematiği...69

Şekil 9.1 Konveyörlerde dördüncü makara aralığında başlangıç ve iterasyon sonu sonuçlarının kıyaslanması a) düz konveyör b) 5° eğimli konveyör c)10° eğimli konveyör d)15° eğimli konveyör e)20° eğimli konveyör 73

Şekil 9.2 Numerik normal kuvvetlerin iterasyona bağlı değişimi 74

Şekil 9.3 Teorik ve numerik sehim değerlerinin kıyaslanması 76

Şekil 9.4 İterasyon sonucu elde edilen her makara aralığındaki numerik bant sehimleri a) düz konveyör b) 5° eğimli konveyör c) 10° eğimli konveyör d) 15° eğimli konveyör e) 20° eğimli konveyör.....78

Şekil 9.5 Numerik bant sehimlerinin iterasyona bağlı değişimi 79

Şekil 9.6 Numerik konveyör kapasitelerinin iterasyona bağlı değişimi 80

Şekil 9.7 Kütle miktarının eğime bağlı olarak değişimi a)üçüncü makara aralığı b) dördüncü makara aralığı e) beşinci makara aralığı.....81

Şekil 9.8 Teorik ve numerik konveyör kapasitelerinin kıyaslanması 83

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Teorik kapasitenin hesabında kullanılan eğim faktörü (k)……..…16

Tablo 4.1 Tasarımda şasinin boyutları……28

Tablo 4.2 Konveyörün tasarımında kullanılan cıvata bağlantıları ……..……30

Tablo 5.1 Kumun bazı yığma malzeme özellikleri…….……32

Tablo 5.2 Bulunan teorik sonuçlarının özetlenmesi ……..……..46

Tablo 6.1 Bant geometrisinin sürtünme özellikleri……..……49

Tablo 6.2 DEM modeli için tanımlanan yığma malzeme özellikleri……51

Tablo 7.1 FEM modelinde bant için tanımlanan malzeme özellikleri……..…62

Tablo 9.1 Her konveyör açısı için her iterasyonda numerik normal kuvvet sonuçları ve son üç makara aralığının ortalaması ……71

Tablo 9.2 Teorik ve numerik sehimin kıyaslanması ve sehim yüzdeleri……75

Tablo 9.3 Numerik konveyör kapasitelerinin elde edilmesi ……..……..82

Tablo 9.4 Tasarıma özel eğim faktörünün (k) elde edilmesi ve teorik eğim faktörü ile kıyaslanması……..83

ÖZET

Bantlı Konveyörlerde Sehim ve Eğim Faktörünün Teorik ve Numerik Olarak İncelenmesi

Enes SEZER

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Berna BOLAT

Eş-Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ

Bantlı konveyörlerde yığma malzemenin davranışının incelendiği Ayrık Elemanlar Metodu (DEM) analizlerinde genellikle bant profili düz kabul edilmektedir. Oysaki gerçek bir bantlı konveyörde yığma malzemenin taşındığı bant yüzeyi, malzeme ağırlığı nedeniyle oluşan sehimden kaynaklı olarak eğriseldir. Gerçekçi bir numerik analiz yapılabilmesi için bu çalışmada Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) ile DEM arasında veri aktarımı bir iterasyon döngüsü şeklinde tekrarlanmıştır. Düz bir bant profili yerine sehimli bir bant profilinin kullanıldığı bu yaklaşımın bant sehimi, konveyör kapasitesi ve eğim faktörü (k) üzerindeki etkisi farklı konveyör açıları için incelenmiş, bu parametreler için teorik ve numerik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Numerik sehimin ve yığma malzemeden kaynaklı normal kuvvetin iterasyon boyunca ciddi ölçüde artış gösterdiği tespit edilmiş, iterasyon sonucunda her açı için kararlı bir sehim profili elde edilmesi mümkün olmuştur. Bunun yanında numerik konveyör kapasiteleri iterasyon boyunca yalnızca 15°den yüksek açılarda artış göstermektedir. Dolayısıyla yüksek açılarda sehimin kapasiteyi arttırdığı sonucuna varılmıştır. Numerik olarak bulunan kapasite

değerleri yardımıyla konveyörün tasarımına ait eğim faktörü elde edilmiştir. Bu tasarıma özel eğim faktörü değeri, endüstride yaygın olarak kullanılan genel eğim (teorik) faktörü değerleriyle kıyaslanmıştır. Numerik olarak elde edilen konveyör kapasitelerinin ve eğim faktörünün, teorik yöntemdeki değerlerden daha düşük olduğu bulunmuştur. Çalışmada düz bir bant profili yerine sehimli bir bant profilinin DEM simülasyonu yapıldığında sonuçlarda anlamlı bir değişim görülmüş, iterasyon döngüsü sonucu kararlı durum için sonuçların elde edilmesi mümkün olmuştur. Dolayısıyla bant sehimi, yüksek açılar için konveyör kapasitesi ve tasarıma özel eğim faktörünün tespitinde bu yaklaşımın kullanılması gerçekçi bir numerik analiz yapılabilmesi için oldukça önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Ayrık Elemanlar Metodu, Sonlu Elemanlar Metodu, FEM DEM eşleşmesi, bantlı konveyör, konveyör kapasitesi

ABSTRACT

Theorical and Numerical Investigation of the Belt Sag and Angle Factor in Belt Conveyors

Enes SEZER

Department of Mechanical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Berna BOLAT

Co-supervisor: Assist. Prof. Dr. Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ

In the Discrete Element Method (DEM) simulations of belt conveyors where the bulk material behavior is investigated, the belt profile is considered as straight. However, in a real belt conveyor, the belt profile carrying the bulk material is curved because of the belt sag, which occurs due to the weight of the bulk material. In this study, the data transfer between Finite Element Method (FEM) and DEM is repeated iteratively, to provide a realistic numerical analysis. The effects of this approach, where the belt profile featuring the sag is used instead of the straight belt profile, is investigated on the belt sag, conveyor capacities and inclination coefficient (k). And the numerical results of these parameters are compared with their theoretical counterparts. It is found that, the numerical belt sag and normal forces due to the weight of the bulk material drastically increase through iterations. And it was possible to acquire the converged belt sag profile for each angle. Besides, conveyor capacities only higher than 15° conveyor angles increase through the iterations. Thus, it is concluded that the belt sag increases the conveyor capacity in high conveyor angles. The design-specific inclination

coefficient (k) is obtained via using the numerical conveyor capacities. This design-specific coefficient values are compared with the theoretical inclination coefficient (k) values which are used for various types of conveyors in general in the industry. It is found that the numerical conveyor capacities and inclination coefficient is lower than their theoretical counterparts. A meaningful change in the results is observed when the DEM simulation of the belt geometry featuring the sag instead of a straight belt profile, and it was possible to obtain the converged results. Thus, this approach should be employed to acquire the belt sag, conveyor capacities in high conveyor angles and design-specific inclination coefficient to provide a realistic numerical analysis.

Keywords: Discrete Element Method (DEM), Finite Element Method (FEM), FEM DEM coupling, belt conveyor, conveyor capacity

1 GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Yığma malzemelerin taşınmasında kullanılan Bantlı konveyörler sunmuş olduğu esneklik, dayanıklılık ve hesaplılık gibi üstünlükleriyle, endüstride en çok kullanılmakta olan konveyör çeşididir. Bantlı konveyörlerde en çok dikkat edilmesi gereken hususlardan birisi bandın taşıdığı yük nedeniyle belirli oranda çökmesi olarak ortaya çıkan bant sehimidir. Malzemenin aşırı dökülmesini engellemek amacıyla bu sehim değerinin, makara aralığının %3'ünü aşmaması gerekmektedir [1]. Dolayısıyla sehim, bir bantlı konveyör tasarımında dikkat edilmesi gereken tasarım kriterlerinin başında gelmektedir.

Cundall tarafından geliştirilen ayrık Elemanlar Metodu [2] (Discrete Element Method) (DEM), görece yeni bir yöntem olup yığma malzemelerin bulunduğu sistemlerde taneciklerin etkileşimini hesaplayarak malzemenin davranışının incelemektedir. Yöntem bu yönüyle bantlı konveyörlerin test edilmesinin sanal ortamda bir eşdeğeri olarak kullanılabilmektedir. Bantlı konveyörlerde DEM'in uygulandığı çalışmalar çokça bulunmaktadır. Bu çalışmaların ekseriyetinde DEM'in deneysel sonuçlar ile kıyaslaması yapılmış ve yöntemin gerçeğe oldukça yakın sonuçlar verdiği ifade edilmiştir [3-9].

Bantlı konveyörlerde DEM'in uygulandığı konulardan birisi de bant sehiminin araştırılmasıdır. Bant sehiminin bulunabilmesi için bant geometrisindeki deformasyonun bulunması gerekmekte, bu nedenle Sonlu Elemanlar Yöntemi 'ne (Finite Element Method) (FEM) başvurulmaktadır. Yapılan son çalışmalarda DEM ve FEM arasında veri alışverişi ile iki yöntemin eşleştirilmesi sağlanmış, bu yaklaşımın deneysel verilerle örtüşen doğru sonuçlar verdiği ve bunun yanında analitik yaklaşımların sehimi daha yüksek bulduğu ifade edilmiştir [10-14].

DEM ve FEM arasındaki veri alışverişi birden çok kez tekrarlanabilmektedir. DEM verisinin FEM'e aktarımıyla elde edilen sehim geometrisi tekrar DEM'e aktarılmakta ve sehim içeren yeni bant geometrisinin simülasyonu gerçekleştirilmekte ve bu süreç tekrarlanabilmektedir [13,14]. Wheeler ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada DEM ve FEM arasındaki veri alışverişi bir iterasyon döngüsü içerisinde tekrar edilmiş ve sehim incelenmiştir [13]. Buna karşın bantlı konveyör alanında bu özel yaklaşım henüz kapsayıcı şekilde çalışılmamıştır ve yöntemin geliştirilmesi ve anlaşılması için yüksek bir potansiyel bulunmaktadır. Bu tekrarlı veri alışverişinin davranışı ve etkisinin araştırılması DEM ve FEM'in birlikte kullanıldığı uygulamaların gelişmesine katkı sunacaktır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada bantlı konveyörde Ayrık Elemanlar Metodu'nun (DEM) uygulanmasında gerçekçi bir yaklaşım için sehimli bir bant profilinin simülasyonunun yapılması amaçlanmış. Bu nedenle Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ile Ayrık Elemanlar Yöntemi (DEM) arasındaki veri aktarımı bir iterasyon döngüsü şeklinde tekrar edilmiştir. Bu yaklaşımın konveyör tasarımında büyük önem taşıyan bant sehimi, konveyör kapasitesi ve eğim faktörü (k) parametreleri üzerindeki etkisi 0°, 5°, 10°, 15°, 20° açıları için incelenmiştir. Böylece yöntemin doğruluğu ve farklı açılar için numerik yaklaşımdaki faydasının araştırılması amaçlanmış, teorik sonuçlarla kıyaslama yapılmıştır.

1.2 Hipotez

Bir bantlı konveyörde çalışma sırasında malzemenin taşınması, düz bir bant yüzeyi üzerinde değil, malzeme ağırlığından kaynaklı sehim içeren eğri bir yüzey üzerinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle numerik çalışmalarda DEM analizinin FEM'den elde edilen sehimli bant geometrisi ile tekrar yapılması ile gerçeğe uygun bir simülasyon gerçekleştirilebilecektir. Dolayısıyla düz bir bant profili yerine sehimli bir bant profilinin simülasyonu yapıldığında sehim, kapasite ve eğim faktörü (k) sonuçlarında bu bağlamda anlamlı bir değişim gözlemlenmeli ve gerçekçi bir simülasyon yapılabildiği için daha doğru sonuçlar elde edilmelidir.

2
BANTLI KONVEYÖRLER

Maddelerin taşınması, insanlığın varlığından beri süregelen bir problem olmuştur. Başta tamamen insan gücüne dayalı taşıma, yerini tekerleğin icadıyla birlikte basit makinelere bırakmıştır. Sanayi devrimiyle birlikte insan kontrolünde forkliftler geliştirilmiş. Sonraları ise taşıma amacını insandan bağımsız gerçekleştirebilen konveyörler geliştirilmiştir. Konveyörlerin amacı maddeleri bir yerden bir yere taşımak olmasının yanında, birbirinden çok farklı konstrüksiyona sahip konveyörler karşımıza çıkmaktadır.

Konveyör sözcüğü Latince kaynaklı olup “conviare” sözcüğünden gelmektedir, kelime anlamı olarak “bir şeyin bir noktadan başka bir noktaya taşınması” olarak belirtilmiştir [15]. İsminden de anlaşılacağı üzere konveyörler, maddenin bir noktadan başka bir yere taşınmasına yönelik geliştirilmiş taşıma sistemleridir. Tüm konveyörler işbu amaç için kullanılmakta olup birbirinden oldukça farklı konstrüksiyonda konveyörler karşımıza çıkabilmektedir [16].

Konveyörlerin birçok avantajı bulunmakla birlikte başta insan faktörünü ortadan kaldırması ile insan hatalarını, ergonomi problemlerini sıfıra indirmiş, güvenlik kaygısı ortadan kalkmıştır. Bunun dışında taşıma maliyetleri azaltılmış, iş akışı hızlanmıştır [17]. Konveyörler konstrüksiyon tipine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilmektedirler [18].

- Bantlı Konveyörler
- Zinciri Konveyörler
- Helezon Konveyörler
- Masuralı Konveyörler
- Titreşimli Konveyörler
- Pnömatik Konveyörler
- Hidrolik Konveyörler

Konstrüksiyon açısından sınıflandırıldığında konveyörler görüldüğü gibi çok geniş bir mühendislik alanını kapsamaktadır. Bu çalışmada kapsama alanı gereği bantlı konveyörler üzerinde durulacaktır.

Bantlı konveyörler, yığma malzemelerin taşınmasında kullanılan, dayanıklılık, verimlilik, çeşitlilik bakımından oldukça üstün olan ve bu nedenle oldukça yaygın olarak kullanılan bir konveyör çeşididir [19,20]. Uzun mesafeli, eğimin görece az olduğu, yüksek debili ve sürekli taşımalarda bantlı konveyörler sıklıkla tercih edilmekte, farklı türlerde yığma malzemelerin taşınmasına olanak sağlamaktadır [21].

Bantlı konveyörlerin maden ocaklarında, dökümhanelerde, santrallerde, şantiyelerde, kimya sanayisinde ve genel olarak yığma malzemenin iletimi söz konusu olduğu çeşitli uygulamalarda kullanımı söz konusudur [21]. Modern anlamda bantlı konveyör kullanımına ilk olarak 19.yüzyılda başlanmış, 1892 yılında Thomas Robins tarafından konveyör bandını geliştirilip maden ocaklarında kömür taşıması için kullanılmıştır. 1913 yılında Henry Ford, bantlı bir konveyör sistemini otomotiv montaj hattına uygulamıştır [22].

Bantlı konveyörler, sürekli olarak geliştirilmektedir. Yüksek kapasite ve uzun mesafe talebi bantlı konveyörlerde geliştirilmenin önünü açan isteklerden birisidir. Otomatikleşmenin artırılması, çevreye ve çalışma şartlarına daha uyumlu bir konveyör tasarımı da bantlı konveyörlerde üzerinde çalışılan gelişime açık alanlardan bazılarıdır [20].

2.1 Bantlı Konveyörlerin Üstünlükleri

Bantlı konveyörler muhtelif üstünlüklerinden ötürü, malzeme iletiminde oldukça yaygın olarak tercih edilen konveyör çeşididir. Gerekli şartlar sağlandığında bantlı bir konveyörün tercih edilmesi büyük avantaj sağlamaktadır. Bunların başlıcası bantlı konveyörlerin yüksek dayanıklılığa, verimliliğe ve çeşitliliğe sahip olmasıdır [20]. Bunların dışında bantlı konveyörün üstünlüklerinden bazıları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

● Geniş bir taşınabilir malzeme çeşitliliği skalasına sahiptir. Küçük tozlu parçalardan Şekil 2.1'deki gibi büyük maden cevherlerine kadar büyüklük açısından oldukça farklılık gösteren malzemeleri taşıyabiliyor olması, bantlı konveyörlerin esnekliğine bir örnektir. Ayrıca bant, korozyona karşı oldukça dayanıklıdır ve taşınan malzemelerde olabildiğince az hasar alarak uzun süre arıza vermeden çalışabilme imkânı sunmaktadır [1].



Şekil 2.1 Kömür taşıyan bir bantlı konveyör örneği [1]

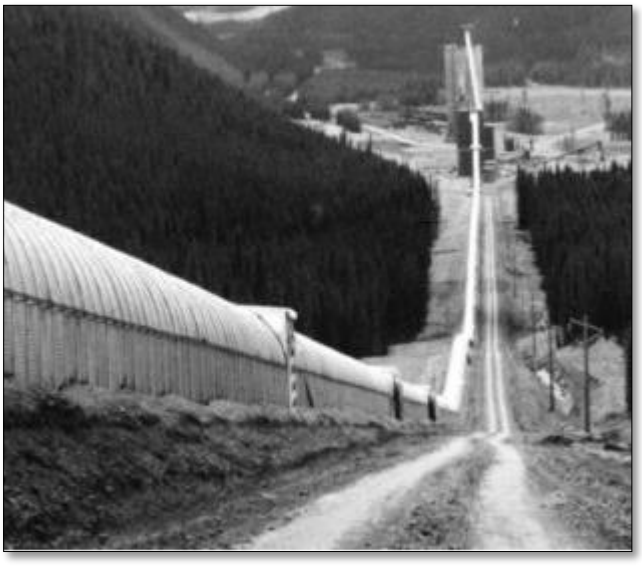
● Yüksek kapasitede malzeme iletimini oldukça düşük maliyetle gerçekleştirebilmektedir, bunun nedenlerinden birisi yükleme ve boşaltma işlemlerinin tamamen otomatik olarak yapılabilmesine imkân sağlamasıdır. Oldukça yüksek veya düşük kapasitelerde geniş bir kapasite skalasında çalışma imkânı vardır [1].

Şekil 2.2'de yüksek kapasite çalışan bir bantlı konveyör örneği görülmektedir, arzu edilen kapasite değeri yüksek olabildiği gibi, arzu edildiği ölçüde düşük kapasitede de iletim gerçekleştirilebilmektedir, bu esneklik bantlı konveyörlerde önemli üstünlüklerden birisidir.



Şekil 2.2 Yüksek kapasitede çalışan bir bantlı konveyör örneği [1]

● Bulunduğu şartlara ve ortama kolaylıkla uyumlu hale getirilebilmektedir. Düz olmayan, çeşitli engeller bulunan arazilerde de bir bantlı konveyör sistemi kolaylıkla ortama uyumlu şekilde kurulabilmektedir. Buna bir örnek olarak şartların olumsuz olduğu tozlu, rüzgârlı ortamlarda Şekil 2.3'teki gibi koruyucu ile dış ortam ile teması azaltılabilir, bu yönüyle bakıldığında tüm bunların düşük maliyet ile yapılabiliyor oluşu bantlı konveyörleri tercih etmek için önemli nedenlerden birisidir. Kolaylıkla malzeme iletimi gerçekleştirilebilir [1].



Şekil 2.3 Eğimli bir arazi üzerinde koruyuculu bir bantlı konveyör örneği [1]

● Bantlı konveyörler dayanıklı bir konstrüksiyona sahip olup, uzun süre arıza yapmadan çalışabildiği için, oldukça az sıklıkla bakım gerektirmektedir. Ayrıca bakım ve tamir işlemleri konveyörün bulunduğu ortamda kolayca yapılabilmektedir [1]. Gerektiği durumda malzeme değişimi kolaylıkla yapılabilmesi de bantlı konveyörün üstünlüklerinden birisidir [20]. Ayrıca konveyörün hattında değişiklik kolayca yapılabilmektedir. Örneğin maden ocakları gibi bant hattının sık sık yeniden düzenlenmesi gereken ortamlarda bantlı konveyörlerin tercih edilmesi maliyet açısından yüksek avantaj sağlamaktadır. Ayrıca arızalar kısa sürede onarılabildiği için işçi maliyeti de düşük olmaktadır [20].

● genel olarak insan faktörünün oldukça az bulunduğu sistemlerdir, dolayısıyla insan faktörüne bağlı kazalara daha az rastlanmakladır [20].

● Bantlı konveyörler çevreye zararı oldukça düşük konveyör sistemleridir ve çevreye neredeyse hiç olumsuz etki bırakmadan çalışabilmektedir. Elektrik motoruyla tahrik edilen bantlı konveyörlerde, zararlı gaz emisyonları bulunmamaktadır. Ayrıca sessiz çalışabilmeleri de çevre açısından bir başka avantajdır. Bantlı konveyörler çevreyi kirletmeden, ortama uygun şekilde montajlanabilmektedir, Şekil 2.4 buna bir örnektir [1].



Şekil 2.4 Doğal ortamda bir bantlı konveyör örneği [1]

● Bantlı konveyörlerde yüksek eğimli taşıma gerçekleştirilebilir. Yığma malzemenin çeşitli özellikleri ve sürtünme katsayısına bağlı olarak maksimum eğim açısı değişiklik göstermekle birlikte genellikle 10-30 derece arası bir eğimli taşıma yapılabilmesi söz konusudur [1].

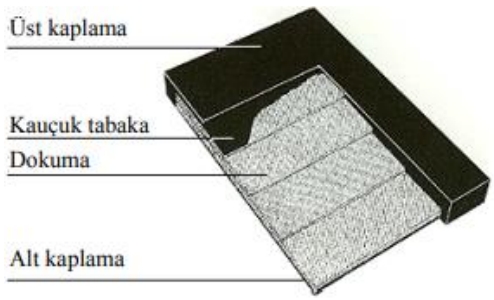
2.2 Bantlı Konveyörlerin Elemanları

Bantlı konveyörler bant, tambur, makara, rulmanlı yatak, redüktör, motor, makara ve tambur mili, gerdirme düzeneği ve şasi parçalarından oluşan bir mekanik sistemdir. Bu elemanların özellikleri ve işlevi bu bölümde anlatılmıştır.

2.2.1 Konveyör Bandı

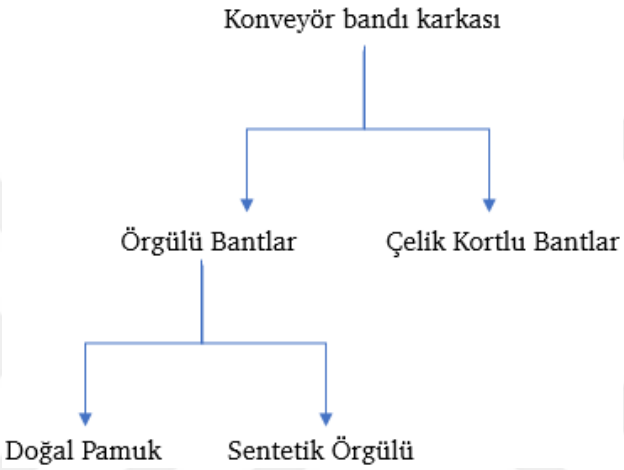
Bir bantlı konveyörde en yüksek maliyetli ve önemli parça, konveyör bandıdır [20]. Bölüm 2.1'de bahsedildiği üzere bantlı konveyörler oldukça çeşitlilik gösteren malzemeleri taşıyabilmektedir. Aşındırıcı veya yüksek sıcaklığa sahip malzemelerin taşındığı durumlarla karşılaşılabilmektedir. Konveyör bandının maruz kalabileceği bu gibi zorlayıcı şartlar nedeniyle bir konveyör bandında dayanıklılık, aranan önemli özelliklerden birisidir [21].

Konveyör bantları Şekil 2.5'te görüldüğü gibi birden çok katmandan oluşan bir yapıdadır. Burada gösterilen kaplama ile yüksek sürtünme katsayılı yüzey, yüksek korozyon dayanımı, kolay temizlenebilirlik, yük ve darbe dayanımını ve renklendirme sağlanmaktadır. Kauçuk kaplama ise karkası muhtelif darbelerden korumak için karkası saracak şekilde yerleştirilmektedir.



Şekil 2.5 Bir konveyör bandının kısımları [21]

Karkas ise banda gelen yükleri taşıyan, bir bant içerisindeki en önemli güçlendirme birimidir [20]. Şekil 2.5'te gösterilmiş olan dokuma tabakalarının bütününe karkas denmektedir [21]. Bant gerginliklerini taşıyacak dayanıma sahip olması, boyuna ve enine dayanım ve esnekliğe sahip olması, yüksek sıcaklıkta çalışabilmesi ve mümkün olabildiğince hafif olması bir karkastan beklenen özelliklerdendir. Karkaslar genellikle Şekil 2.6'daki gibi bir veya daha fazla dokuma kumaştan veya çelik korttan meydana gelmektedir [20,21].

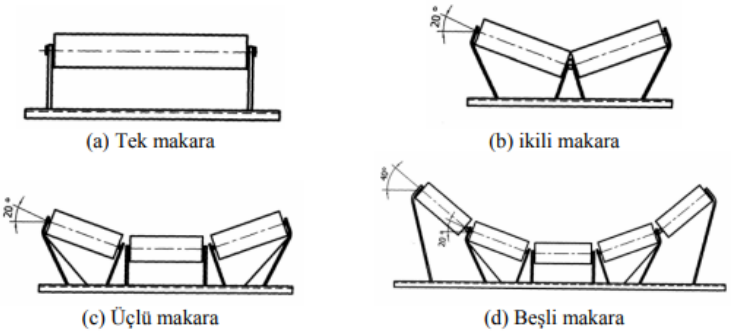


Şekil 2.6 Konveyör bantlarının karkas tipine göre sınıflandırılması

2.2.2 Makaralar

Makaralar bandın tambura sarılan bölgesi dışındaki kısımların altında bulunan, bandın yük karşısında çökmesini kısıtlamak için kullanılan hareketli parçalardır. Makaraların bandı düşey yönde desteklemesi ve bunu yaparken olabildiğince az sürtünme oluşturması istenmektedir. Bu nedenle makaralar hareketli olarak tasarlanmıştır, bant ilerledikçe buna paralel şekilde dönme hareketi yaparak sürtünmeyi en aza indirgemektedir. Dönme işlemini yapabilmesi için her makarada bir veya iki rulmanlı düzenek bulunmakta ve bunun sayesinde makara mili ile makara arasında sürtünmenin olabildiğince aza indirgenmesi sağlanmaktadır.

Makaralar, bandı düşey olarak desteklediğinden, eksenel yükü makara miline iletmektedirler. Makara mili ise şasiye sabitlenmiş olup, işbu eksenel yükü şasiye iletmektedir. Makaranın çapının büyük olması sehim miktarını azaltacaktır, ancak makaranın sehime olan asıl etkisi iki makara arasındaki mesafe olan makara aralığına bağlıdır. Şekil 2.7'de gösterildiği gibi birden fazla makaralı bantlı konveyörler de mevcuttur. Makara sayısı bant yüzeyi profilini etkilemektedir.



Şekil 2.7 Bantlı konveyörlerde makaraların kullanım şekilleri [21]

2.2.3 Tamburlar

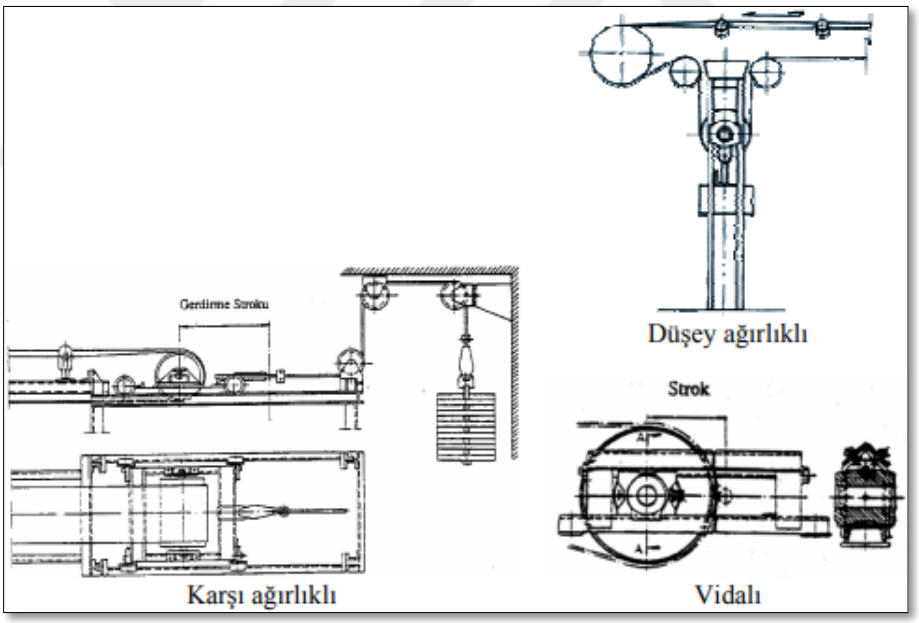
Tamburlar, genel olarak tahrik tamburu ve yardımcı tambur olarak incelenebilmektedir. Bunlardan tahrik tamburu, tambur mili aracılığıyla elektrik motorunun redüktöre iletmiş olduğu momenti banda aktarılmasıyla tahrik işlemini gerçekleştirir. Tamburun banda momenti aktarması, sürtünme kuvveti aracılığıyla gerçekleşmektedir. Bu nedenle tambur yüzeylerinin sürtünmeli olmasında büyük fayda vardır. Sürtünmeyi etkisini artırmanın diğer bir yolu da tambur sarım açısının artırılmasıdır. Bu açının artırılması için fazladan makara kullanılarak yüksek sarım açılı bir sistem kurulabilir veyahut birden fazla tahrik tamburu kullanımıyla da sarım açısı artırılabilmektedir.

Tamburun kısımlarından olan tambur mili, tambur ile güç kaynağı arasındaki moment iletimini sağlamaktadır. Tambur milinin yüksek moment iletiminden dolayı yüksek gerilmeye maruz kaldığı söylenebilir, bu nedenle tasarımda dikkat edilmesi gereken noktalardan birisidir. Tamburlar genellikle redüktöre bağlı olup, elektrik motorundan elde edilen gücü banda iletirler ancak bunun dışında Tamburun kendinden motorlu olduğu uygulamalar da mevcuttur.

2.2.4 Gerdirme Düzeneği

Gerdirme düzeneği bir bantlı konveyörde sağlıklı bir tahrik işleminin gerçekleşebilmesi için kullanılan oldukça önemli bir konveyör kısmıdır. Tahrik işlemi tamburun banda sürtünme ile bağlanması sonucu gerçekleşmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere tambur ile bandın birbirine sıkı bir şekilde bağlanması gerekmektedir. Tamamen gevşek bir bant-tambur düzeneğinde sürtünme olmayacağı için hareket de olmayacaktır. Bu nedenle gerdirme düzeneği bir bantlı konveyörde oldukça önem arz etmektedir.

Bölüm 3.3'te detaylı şekilde anlatılacak olan germe kuvvetlerinde etkin bant kuvvetinin sağlanabilmesi için, gerdirme işleminin gerçekleşmesi gerekmektedir [21]. Gerdirme işlemi için Şekil 2.8'de gösterildiği vidalı gerdirme ve ağırlıklı gerdirme gibi çeşitli çözümler bulunmaktadır.



Şekil 2.8 Bantlı konveyörlerde bazı gerdirme düzeneği uygulamaları [21]

2.2.5 Şasi

Şasi, bantlı konveyörün iskeletini oluşturan, parçaların istenilen konumda istenen ölçüde sabit kalmasını sağlayan, tüm sistemin ağırlığını taşıyan ve tasarımı oldukça çeşitlilik gösteren bir bantlı konveyör elemanıdır. Şasinin tasarımı büyük oranda konveyörde bulunan elemanlara, gerdirme sistemine ve çalışma şartlarına bağlıdır. Bu nedenle şasinin tasarıma uygun olarak üretildiği, en az standartlaştırılmış eleman olduğu söylenebilir. İyi bir şasi tasarımı, konveyörün düzgün çalışması için elzemdir, özellikle kritik bölgelerde dayanıma dikkat edilmeli, konveyörün çalışma şartlarına uygun dayanımlı bir konstrüksiyon tercih edilmelidir.

2.3 Bantlı Konveyörlerle İlgili Önemli Kavramlar

Bu bölümde çalışmada sıkça değinilen, çalışmada ve genel olarak bantlı konveyörlerde büyük öneme sahip bazı kavramlar ve bunların açıklaması verilecektir. Böylece çalışmanın anlatımı daha açık bir hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca bantlı konveyör hakkında daha geniş bir kavram açıklaması da sunulmuş olacaktır.

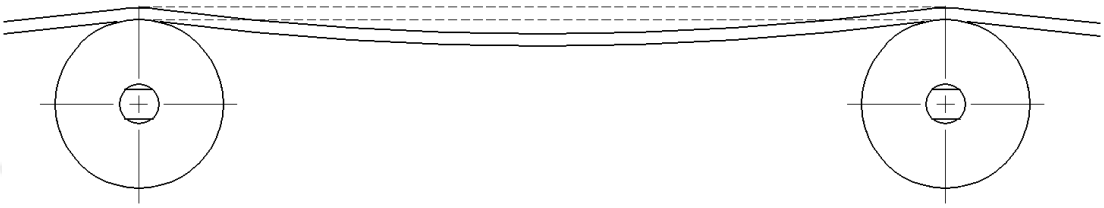
2.3.1 Kapasite

Kapasite, bir konveyörün birim zamanda taşıdığı madde miktarını ifade etmektedir. Konveyör kapasitesini etkileyen faktörlerden birisi konveyör eğimidir, konveyör eğimi arttıkça konveyör kapasitesi azalmaktadır. Bunun nedeni eğim arttıkça malzemenin birbiri üzerinde geri kayması ve buna bağlı olarak debinin azalmasıdır [1]. Konveyör kapasitesi, taşınan yığma malzemenin özelliklerine, bant genişliğine ve konveyör hızına bağlıdır.

2.3.2 Sehim

Bantlı bir konveyörde sehim, taşınan malzemenin yüküne ve bandın ağırlığına bağlı olarak bant yüzeyinin maruz kaldığı toplam yükün, yerçekimi doğrultusunda bant üzerinde oluşturmuş olduğu istenmeyen deformasyon miktarıdır. İdeal bir konveyörde sehim olabildiğince az olmalıdır. Sehimin makara aralığının %3'ünden yüksek olması durumunda malzeme dökülmesi gözlemlenmekte ve bu nedenle konveyörün çalışmasını olumsuz etkileyen bir faktör oluşmaktadır [1].

Dolayısıyla konveyör tasarımında en kritik faktörlerden birisi sehimdir. Sehim taşınan malzemenin ağırlığına, bant gerilmesine, makara aralığına, bant ağırlığına ve dayanım özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Sehimin arzu edilen kritik değerlerde tutulması, tasarım sırasında makara aralığının seçilmesiyle büyük oranda sağlanabilmektedir. Şekil 2.9'da bir bantlı konveyörde meydana gelen sehim örneği gösterilmiştir.



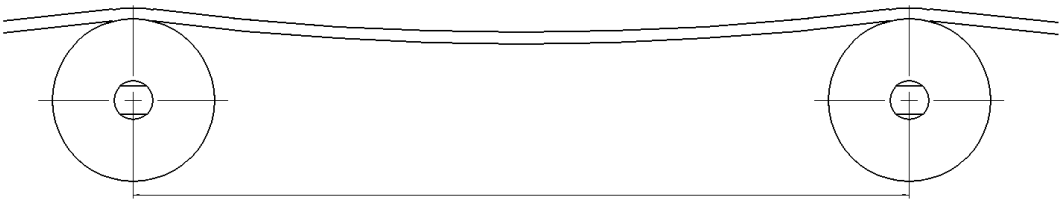
Şekil 2.9 Bantlı konveyörlerde meydana gelen bant sehimi

2.3.3 Bant Gerilmesi

Bant gerilmesi, üst bandın hareketi sırasında sürekli sahip olduğu gerilme değeridir. Bu gerilme, tahrik tamburundaki bant gerilmelerinden farklı bir değer olup, yardımcı tamburdaki bant kuvvetine eşittir. Bunun nedeni, bu iki kuvvetin farkının hareketi sağlayan etkin germe kuvvetine eşit olması, etkin kuvvet dışında kalan değerin ise bant gerilmesine eşit olmasıdır. Bant gerilmesi tahrik tamburunun bandı kavraması ve kayma olmadan çalışması için gerekli ve önemlidir, ayrıca sehimi doğrudan etkileyen faktörlerden birisidir.

2.3.4 Makara Aralığı

Makara aralığı, Şekil 2.10'da gösterildiği gibi konveyörün üst bölümündeki makaraların merkezleri arasındaki uzaklığı ifade etmekte ve genellikle bir uzunluk birimiyle tarif edilmektedir. Makara aralığı bir bantlı konveyörde dikkat edilmesi gereken en önemli tasarım parametrelerinden birisidir. Bunun başlıca nedeni makara aralığının, konveyör sehimini etkileyen başlıca faktörlerden birisi olmasıdır. Dolayısıyla makara aralığının yüksek olması maliyet açısından avantajlı iken, bant dayanımı açısından dezavantajlıdır. Bu nedenle optimum bir tasarımda makara aralığı, maksimum sehim miktarını aşmayacak şekilde seçilir.



Şekil 2.10 Bantlı konveyörlerde makara aralığı

2.3.5 Malzeme Geri Kaçması

Malzeme geri kaçması bir konveyörde malzeme iletimi sırasında, birbiri üzerine binen malzeme tanelerinden üsttekilerin, alttakiler üzerinde iletim yönüne ters olacak şekilde hareket etmesidir. Konveyör eğimi arttıkça malzeme geri kaçması artmaktadır [1]. Bunun başlıca nedeni yerçekiminin eğimli konveyör malzemesini kayacak şekilde etkilemesidir. Malzeme iletimi sırasında malzeme-bant arası sürtünme katsayısı ve malzeme-malzeme arası sürtünme katsayısı farklılık gösterebilmektedir ve bu da malzeme kaçmasının gözlemlenme nedenlerinden birisidir. Buna bir örnek olarak bazı durumlarda malzeme birbiri üzerinde kaymasına rağmen bant ile temas eden malzeme kısmı kaymadan ilerlemektedir.

3
TEORİK HESAPLAMALAR

Teorik hesaplamalar, tasarımı belirli bir konveyörün çeşitli eşitlikler yardımıyla parametrelerinin bulunmasını kapsamaktadır. Hesaplamaların yapılmasının bir nedeni, DEM için gerekli bant gerilmesi gibi oldukça önemli parametrelerin bulunmasıdır. Ayrıca teorik olarak bulunan sehim ve debilerin numerik değerlerle karşılaştırılacaktır.

3.1 Teorik Kapasitenin Hesaplanması

Projede bant genişliği, konveyör uzunluğu gibi bazı tasarım parametreleri önceden belirlenmiş olup, bunlara hesaplamalarda da dikkat edilecektir. İlk adım olarak düz konveyörün kapasitesi belirtilen çalışma şartları için belirlenecektir. Bu kapasite Eşitlik 3.1. kullanılarak bulunacaktır ve burada B, bant genişliği, γ, yığma malzemenin yoğunluğu ve φ, bu malzemenin yığın açısıdır. Ayrıca burada elde edilen düz konveyör kapasitesi, numerik olarak bulunacak kapasitenin simülasyonunda oluk debisi olarak tayin edilecektir. Bu nedenle düz konveyör kapasitesinin doğru hesaplanması oldukça önemlidir.

Farklı eğimli konveyörlerin teorik kapasitesi ise, bulunan düz konveyör kapasitesi yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bunun için genel bir eğim faktörü (k) kullanılmaktadır. Bu eğim faktörü endüstriyel hesaplamalarda kullanılmakta ve tasarıma özel olmayıp, genel bir eğim faktörü tablosu üzerinden seçilmektedir. Hesaplama kısmında kullanılacak eğim faktörü değerleri her bir eğim açısı için Tablo 3.1'de verilmiştir. Burada seçilen k değerinin, Eşitlik 3.2. kullanılarak düz konveyör kapasitesi değeriyle çarpılması sonucu eğimli konveyör kapasitesi bulunur.

$$Q_{(düz)} = B^2.576.\gamma.\nu.\tan(0{,}35.\varphi) \tag{3.1}$$

$$Q_{(eğimli)} = k.Q_{(düz)} \tag{3.2}$$

Tablo 3.1 Teorik kapasitenin hesabında kullanılan eğim faktörü (k) [23]

Konveyör Açısı	Eğim Faktörü (K)
0°	1,00
5°	0,98
10°	0,95
15°	0,90
20°	0,81

3.2 Gücün Hesabı

Konveyör gücünün hesaplanabilmesi için Eşitlik 3.3. kullanılarak bulunan G_1, hareketli parçaların birim metre başına toplam ağırlığını ifade etmektedir. Bu değer konveyörün boşta çalışması için gerekli güç olan P1'in hesabında ise Eşitlik 3.4'teki gibi eşdeğer konveyör uzunluğu ve parçalar arası sürtünme katsayısı ile çarpılmaktadır. Burada kullanılan eşdeğer konveyör uzunluğu ise sürtünme kayıplarının göz önüne alınması ve bu nedenle konveyör uzunluğuna 15-45m uzunluk eklenmesiyle bulunmaktadır [23,24].

$$G_1 = 2.G_B + \frac{G_T}{L_T} + \frac{G_D}{L_D} \tag{3.3}$$

$$P_1 = \frac{f_1.G_1.L_{eş}}{75} \tag{3.4}$$

P2, yatay malzeme iletimi ve P3, düşey malzeme iletimi için gerekli gücü ifade etmektedir. Burada P2 hesabı için Eşitlik 3.5.'teki gibi eşdeğer konveyör uzunluğu, P3 hesabı için ise Eşitlik 3.6.'teki gibi taşıma yüksekliği kullanılmaktadır.

$$P_2 = \frac{f_2 . Q . L_{eş}}{270} \tag{3.5}$$

$$P_3 = \frac{Q . H}{270} \tag{3.6}$$

$$\Delta P = P_1 + P_2 + P_3 \tag{3.7}$$

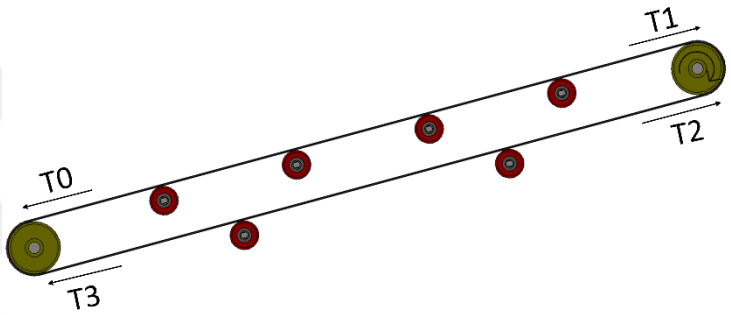
İhtiyaç duyulan toplam motor gücü ideal bir ortamda Eşitlik 3.7.'de ifade edilen ΔP olması gerekirken, gerçek bir konveyörde muhtelif kayıplardan ötürü bu değerin artırılması ve verimin hesaba katılması gerekmektedir. Kirlilik gibi durumlardan ötürü %60-%80, ilk hareket kolaylığı için ise %10-%40 güç artışı uygulanmakta ve motor verimi için 0,80-0,97 arası bir değer önerilmektedir [23]. Bu çalışmada %70 kirlilik için ve %15 ilk çalışma için güç artışı belirlenmiş, motor verimi ise 0,9 olarak kabul edilmiştir. Dolayısıyla nihai motor gücü P_m Eşitlik 3.8 kullanılarak BG cinsinden hesaplanacaktır.

$$P_m = \frac{1{,}7.1{,}15 . \Delta P}{0{,}9} \tag{3.8}$$

3.3 Bant Gerilmelerinin Hesabı

Bant gerilmelerinin bulunması konveyör hesaplamalarında oldukça önemli bir yere sahiptir, bunun nedeni üst banttaki gerilmenin bant sehimini doğrudan etkileyen bir faktör olmasıdır. Ayrıca teorik olarak hesaplanacak olan üst bant gerilmesi sonrasında Bölüm 7'de açıklanan FEM modeline uygulanacaktır.

T_1 ve T_2 kuvvetleri, Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, tahrik tamburunu çevreleyen sırasıyla üst ve alt banttaki gerilmeleri ifade etmektedir. Sağa doğru çalışan, sağdan tahrikli konveyörde T_1 değeri T_2 değerinden yüksek olmaktadır. Bu iki gerilme de konveyörün bant gerilmesini ifade etmemekte ancak bu gerilmenin bulunmasında önemli bir rol oynamaktadır. İşbu T_1 ve T_2 gerilmeleri Eşitlik 3.9 yardımıyla bulunur, bu bir Euler eşitliğidir ve burada α bandın tambura sarım açısını, μ ise ikisi arasındaki sürtünme katsayısını temsil etmektedir. Burada görüldüğü üzere sarım açısının bant gerilmelerinde etkisi büyüktür.



Şekil 3.1 Yukarı yönlü çalışan sağdan tahrikli bir konveyörde bant gerilmeleri

Etkin bant gerilmesi T_E, tahrik makarasını çevreleyen üst ve alt banttaki iki gerilme arasındaki farkı, dolayısıyla etkin net kuvveti ifade etmektedir. İşbu kuvvet, konveyör bant gerilmesinden farklı bir değer olup, konveyörün hareketini sağlayan kuvvettir. Etkin gerilmenin bulunması için Eşitlik 3.10 kullanılmaktadır. Bu eşitlik konveyör hızı ve gücüne bağlıdır, dolayısıyla bu değerler yardımıyla konveyördeki etkin güç hesaplanır. Bu eşitliklerden elde edilenler yardımıyla T_1 ve T_2 değerleri hesaplanabilmektedir.

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu.\alpha} \tag{3.9}$$

$$T_E = \frac{75.P}{v} = T_1 - T_2 \tag{3.10}$$

Bant gerilmesi ise T_0 ile gösterilmekte olup aynı zamanda T3'e eşittir. Bu değer sağdan tahrikli konveyörlerde T_2 değerine yakın olmakla birlikte, farklı bir değerdir. Bulunacak olan T_0 değeri sehim hesabında ve FEM modelinde kullanılacak olan bant gerilmesidir. Bu gerilmenin bulunması için farklı yollar mevcuttur [1,24].

Bu çalışmada Eşitlik 3.11 yardımıyla bant gerilmesi hesaplanacaktır. Burada T_{yr} alt banttaki sürtünme direnci, T_b ise bu alt bandın ağırlığından kaynaklı düşey taşıma direncidir. Yukarı yönlü sağdan tahrikli konveyörlerde T_b negatif olmaktadır, çünkü alt bant geri dönüşünü sola ve aşağı doğru yapmakta ve bundan dolayı T_0 gerilmesinde küçük bir gevşemeye neden olmaktadır. Bu değerlerin bulunmasında Eşitlik 3.12 ve Eşitlik 3.13 kullanılmakta ve burada W_b bandın metre başına ağırlığı, L konveyör uzunluğu ve H ise düşey mesafedir. Tüm bu hesaplamalar sonucunda elde edile nihai T_0 değeri sehim hesabında kullanılacak olan konveyörün bant gerilmesidir.

$$T_0 = T_2 + T_{yr} - T_b \tag{3.11}$$

$$T_{yr} = 0{,}015.L.W_b \tag{3.12}$$

$$T_b = H.W_b \tag{3.13}$$

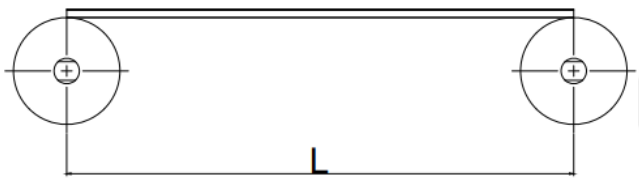
3.4 Sehimin Hesabı

Düz konveyörün bant sehimi Eşitlik 3.14 yardımıyla bulunabilmektedir. Burada q, bant üzerindeki toplam yükün birim metre başına gelen ağırlığını ifade eder, konveyörde bu ağırlık, bant ağırlığı ve taşınan malzeme ağırlığının toplamıdır. L, konveyör uzunluğu ve T_0, üst banttaki bant gerilmesidir. İşbu eşitlik sayesinde elde edilen sehim değeri metre cinsinden bulunur, ancak çalışmada birimler milimetreye dönüştürülerek ifade edilecektir

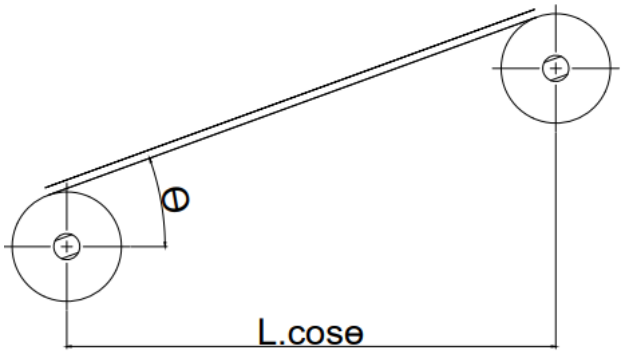
$$f_{(düz)} = \frac{q.L^2}{8.T_0} \tag{3.14}$$

Farklı eğimlerde sehim hesabında dikkat edilmesi gereken nokta, konveyör eğimi dolayısıyla makara aralığının Şekil 3.2'deki gibi açıyla orantılı şekilde azalıyor olmasıdır. Bunun nedeni makara aralığının izdüşüm uzunluğunun yani $\cos(\theta)$ ile çarpılmış miktarının, sehimi etkileyen mesafe olmasıdır. Bu nedenle farklı eğimlerdeki konveyörlerin sehim hesabı için çalışmada Eşitlik 3.15. kullanılmıştır. Ayrıca teorik hesaplamalarda farklı eğimlerde konveyör kapasiteleri azalmaktadır, dolayısıyla gerekli motor gücü ve buna bağlı olarak T_0 üst bant gerilmesi azalmaktadır. Buna rağmen makara aralığı faktörü üstel bir katsayı içerdiği için, belirleyici faktörün makara aralığı olduğu söylenebilir.

$$f_{(eğimli)} = \frac{q.(L.cos\theta)^2}{8.T_0} \tag{3.15}$$



(a)



(b)

Şekil 3.2 Sehim hesabında dikkate alınması gereken makara aralığı a) düz konveyör, b) θ eğim açılı konveyör

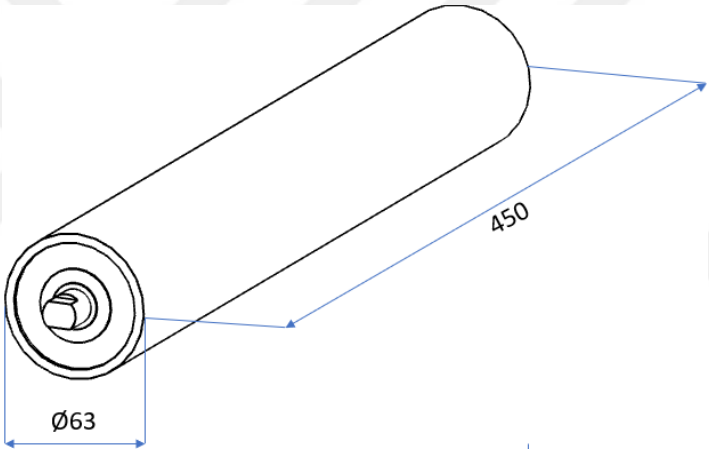
4
KONVEYÖRÜN TASARIMI

Projede konveyörün çalışma şartları, bant özellikleri, şasi boyutları, tambur çapları gibi tasarım parametreleri belirtilmiştir, buna göre bu bölümde bantlı bir konveyörün, arzu edilen şartlara uygun tasarımı gerçekleştirilecektir. Bu çalışmada 0°, 5°, 10°, 15° ve 20° eğimli konveyörler incelenecektir. Her konveyörün çalışma şartları aynıdır, ancak eğime bağlı değişen parametreler Bölüm 5'te hesaplanacaktır. İşbu parametreler konveyörün konsept tasarımını etkilememektedir, dolayısıyla bu bölümde yalnızca düz konveyörün tasarımı yapılacaktır. Diğer konveyörlerin tasarımı konveyör eğimi hariç aynıdır, bu nedenle düz konveyörün tasarımının yapılması yeterlidir.

Tasarıma öncelikle parça bazında yaklaşmakta fayda vardır, çünkü bazı parçaların boyutları önceden belirlenmiştir, buna göre konveyör çerçevesinin en son tasarlanması doğru bir yaklaşım olacaktır. Makara özelliklerinin ve makara aralığının belirlenmesi sehime olan doğrudan etkisi dolayısıyla bir konveyör tasarımında en önemli kısımlardan birisidir. Sonrasında ise tambur özelliklerine uygun bir tambur tasarımı yapılacaktır, burada tamburun yataklanması da önemli bir tasarım kriteridir. Bandın özelliklerinin belirlenmesi de bir konveyör tasarımda önemlidir. Bu kısımda birim metre başına denk gelen bant ağırlığı da hesaplanacaktır. Bandın tambur ile tahriğinin kayma olmadan gerçekleşebilmesi için bantlı konveyörlerde gerdirme düzeneği kullanılmaktadır. Tasarımda özel bir gerdirme düzeneği kullanılacağı için, işbu düzeneğin tasarımı da bu bölümde detaylı olarak incelenmiştir. Motor ve redüktörün konveyöre bağlantısı ise genellikle konveyör şasisine yapılmakta olup, bu bölümde tasarımı detaylı şekilde anlatılacaktır. Tüm bu parçaların tasarımından sonra, projede belirtilen kıstaslara uygun şekilde bir konveyör şasisinin tasarımının gerçekleşmesi, tasarımda yapılacak olan en son adımdır.

4.1 Makaraların Tasarımı

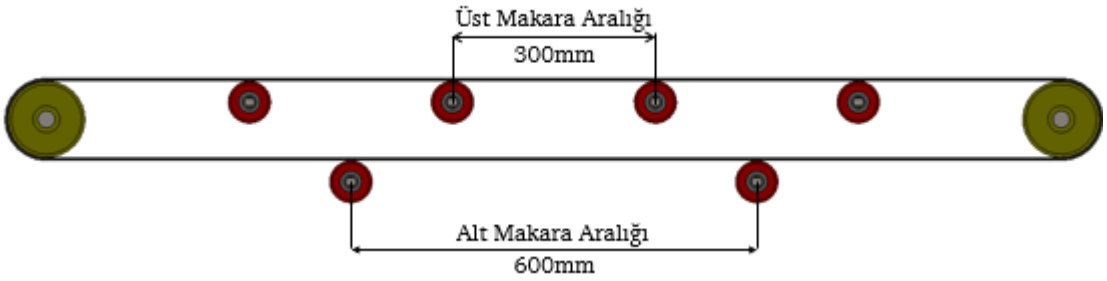
Konveyörde kullanılacak makaralar eşdeğer olup, her birinin çapı 63mm olarak belirlenmiştir Buna bağlı olarak makaranın birim ağırlığı 2,6daN olarak ifade edilmiştir. Üst bantta taşıyıcı makara aralığı 300 mm olmak üzere dört makara, alt bantta dönüş makara aralığı 600 mm olmak üzere iki makara bulunmaktadır, alt bantta iki makara olduğu için, işbu makaralar ile en yakın tamburlar arasındaki mesafeler ise her ikisi için de 450mm'dir. Dönüş makaralarında taşıma gerçekleşmediğinden burada makara sayısının daha az olması bir sorun teşkil etmemektedir. Makaranın belirlenen boyutları ve katı modeli sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de, bant üzerindeki konumları ise Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Makaranın tasarımı ve boyutları



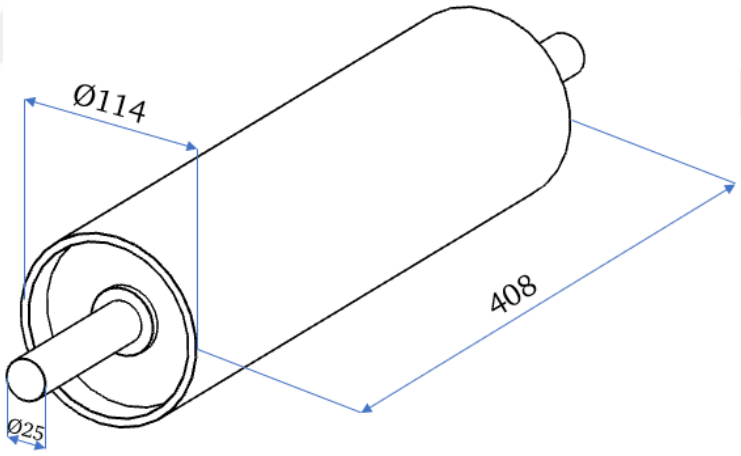
Şekil 4.2 Makaranın oluşturulan katı modeli



Şekil 4.3 Bantlı konveyörün makara aralıkları

4.2 Tamburların Tasarımı

Tamburun ve tambur milinin çapları ve uzunlukları proje bağlamında önceden belirlenmiştir. Tambur Ø114mm alüminyum tırtıklı yüzey olarak, tambur mili ise Ø25mm CK45 mil kaplamalı olarak tasarlanmıştır. Tamburun uzunluğu bant genişliğine eşit olarak Şekil 4.4'te gösterildiği gibi 408mm olarak belirlenmiştir. Tamburun oluşturulan katı modeli Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Tamburların yataklanması ise UCF205 rulmanlı yatak ile gerçekleştirilecektir.



Şekil 4.4 Tamburun tasarım ve boyutları



Şekil 4.5 Tamburun oluşturulan katı modeli

4.3 Bandın Tasarımı

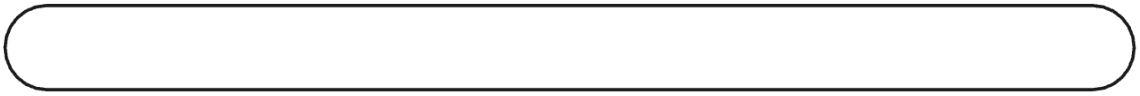
Projede bant sonsuz boyu 3000mm olarak, bant kalınlığı ise 4,6mm olarak belirlenmiştir. Bandın yapısı, içi poliamidli üstü kauçuk bant olup hammaddesi polipropilen olarak belirlenmiştir. Bandın dayanım özellikleri ise FEM modelinin anlatıldığı kısımda Tablo 7.1'de gösterilmiştir.

Bant malzemesinin yoğunluğu 1400 kg/m^3 olup, 1,5m uzunluğundaki konveyörün yalnızca üst kısmı için toplam bant hacmi 0,0028 m^3 ve buna bağlı olarak 1,5 m banda karşılık gelen toplam bant ağırlığı 3,94 kg'dır. Buradan hareketle birim metre başına bant ağırlığı ise 2,627 kg/m olarak bulunabilir.

Tasarım için oluşturulan bandın katı model görüntüsü Şekil 4.6'daki gibidir. Burada bant genişliği 408mm'dir. Burada gösterilen katı model, bandın tambura sarıldığındaki görüntüsünü ifade etmektedir.



(a)



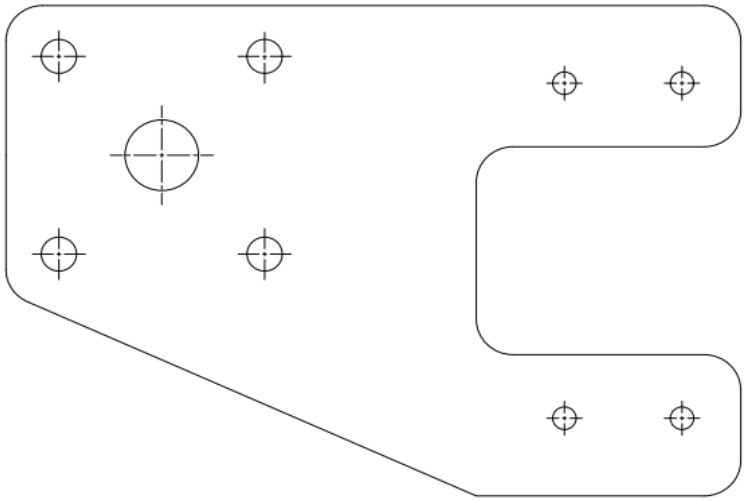
(b)

Şekil 4.6 Tasarımda kullanılan konveyör bandı a) üstten görünüm b) önden görünüm

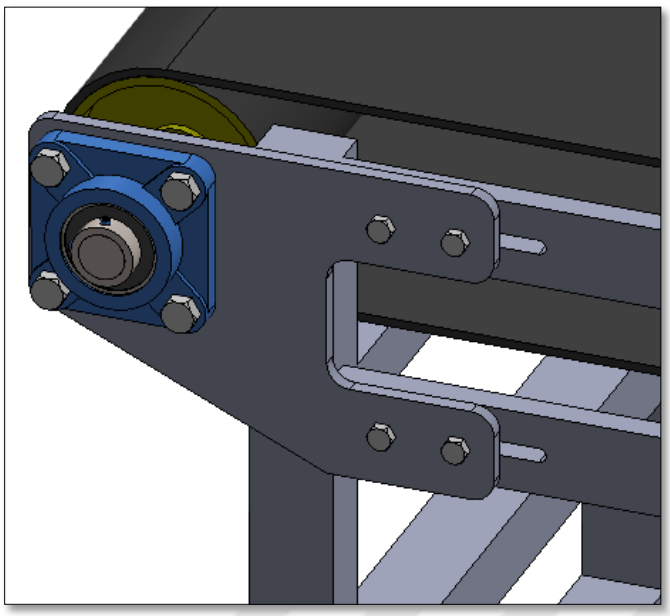
4.4 Gerdirme Düzeneğinin Tasarımı

Bantlı konveyörlerde tambur ile bandın kavramasının düzgün bir şekilde yapılabilmesi ve gerekli etkin bant gücünün elde edilebilmesi için gerdirme işlemi yapılır [21]. Konveyörler için çeşitli gerdirme düzenekleri geliştirilmiş olup, bu çalışmada konveyör şasisine sürgülü bir vida düzeneği bulunan bir gerdirme düzeneği oluşturulmuştur.

Bu çalışmada gerdirme için özel bir tasarım yapılması uygun görülmüştür. Bu özel tasarım ile tamburlar, şasiye arzu edilen uzaklıkta bağlanabilecektir. Bunun için şasi üzerinde sürgülü bir delik açılmış, gerdirme düzeneğinde ise üstte iki altta iki olmak üzere dörder adet metrik 8 vida girişi oluşturulmuştur. Bu vida bağlantısı, sürgü ile istenilen gerdirme düzeneğine getirilerek, bağlantının gerçekleştirilmesiyle sabitlenebilecektir ve böylece gerdirme işlemi yapılmış olacaktır. Gerdirme düzeneğinde ayrıca tambur millerinin rulmanlı yatakları bulunacaktır. Bu nedence UCF205 yataklı rulmana uygun dörder metrik 12 vida deliği ve birer mil boşluğu açılmıştır. Tüm bu delikler ve işbu özel parçanın tasarımı Şekil 4.7'de gösterildiği gibi olmuştur. Gerdirme düzeneği montajı Şekil 4.8'de gösterilmiştir, şekilde görüldüğü gibi gerdirme düzeneği ile hem gerdirme işlemi gerçekleşmekte hem de tambur milinin yataklanması ile konveyör şasisi ile montajı yapılmaktadır. Ayrıca Şekil 4.11'de görüleceği üzere gerdirme düzenine motor redüktörü sabitlenecektir.



Şekil 4.7 Gerdirme düzeneğinin tasarımı

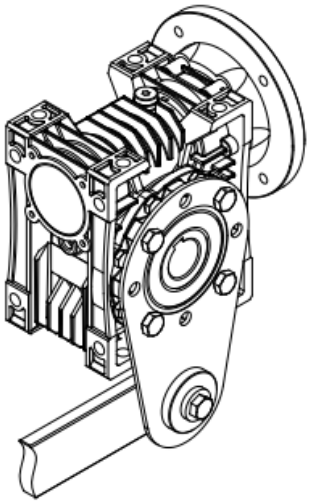


Şekil 4.8 Gerdirme düzeneğinin montaj görüntüsü

4.5 Motor ve Redüktör Bağlantısının Tasarımı

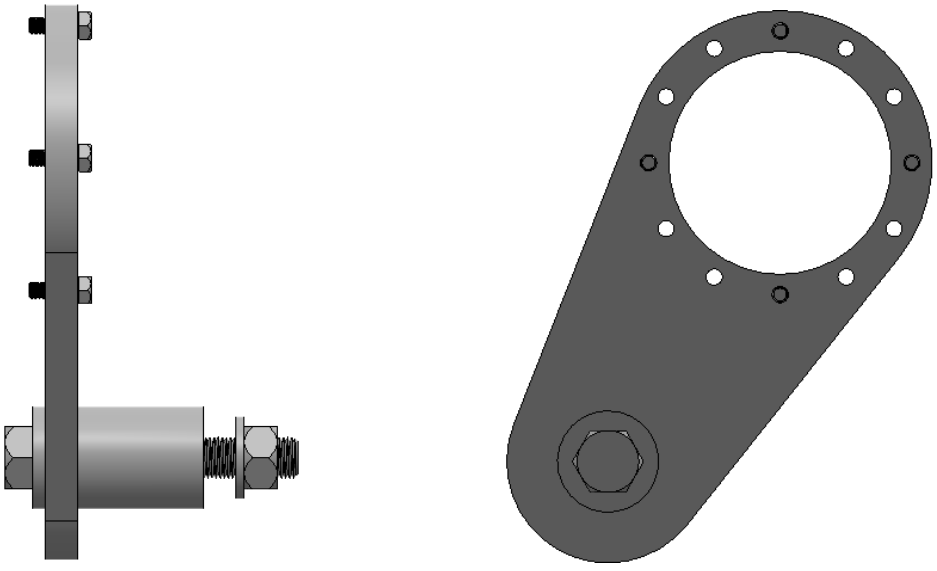
Tasarımda diğer dikkat edilmesi gereken önemli bir konu da motor bağlantısıdır. Bantlı konveyörlerde motor tahrik tamburuna bağlanmaktadır. Motor devrinin düşürülüp konveyör için arzu edilen devir değerine indirgemek için redüktörler kullanılır. İşbu tasarımda da belirtilen özelliklere uygun motorlu bir redüktör tercih edilmiştir. Burada en önemli husus, redüktörün şasiye sabitlenmesidir. Bunun için genellikle vidalı bağlantılar kullanılmaktadır.

Bu bağlantı şekli şasiye doğrudan çoklu vida bağlantısıyla olabildiği gibi, redüktörün dönmesini engelleyecek, Şekil 4.9'daki gibi bir moment kolu bağlantısı da olabilir, böyle olduğunda redüktör ve motorun ağırlığı, tambur mili ile taşınmaktadır. İşbu tasarımda da bu tür bir bağlantı tercih edilmiştir. Bu bağlantı şeklinin tasarım ve büyüklükleri kullanılan redüktör kataloğundan hazır olarak alınmıştır [25].



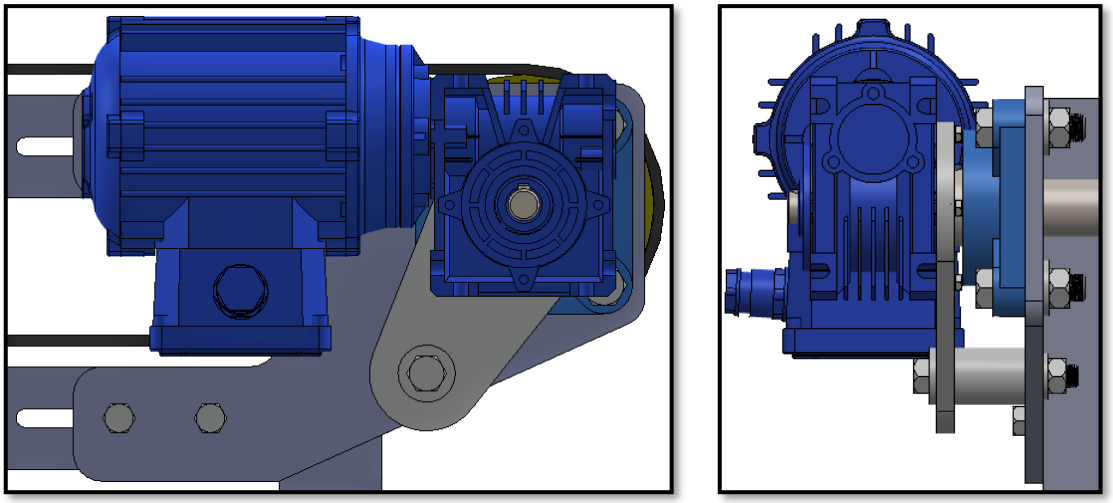
Şekil 4.9 Kılavuzda tarif edilen moment kolu bağlantısı [25]

Moment kolu ile redüktör arasında dörder adet metrik 4 vida, bulunmaktadır ve vidalar redüktöre bağlanmıştır. Moment kolunu konveyöre bağlayan kısımda ise m10 vida kullanılmıştır ve Şekil 4.10'da gösterildiği gibidir, bu görselde boşluk bulunan kısımda gerdirme düzeneği olacaktır. Böylelikle redüktör gerdirme düzeni vasıtasıyla konveyör şasisine Şekil 4.11'de gösterildiği gibi bağlanmış olacaktır.



(a) (b)

Şekil 4.10 Moment kolu bağlantısının oluşturulan katı modeli ve cıvata bağlantıları a) yandan görünüm b) önden görünüm



(a) (b)

Şekil 4.11 motor ve redüktörün konveyöre bağlantısının moment kolu ile yapılması a) önden görünüm b) yandan görünüm

4.6 Konveyör Şasisinin Tasarımı

Konveyör şasisi için projede belirtilen boyutlar Tablo 4.1'de gösterilmiştir ve bu değerlerin dikkate alınması, ayrıca bu bölüm boyunca tasarlanan parçaların montajının sağlıklı bir şekilde yapılabileceği bir konveyör şasisinin tasarlanması gerekmektedir.

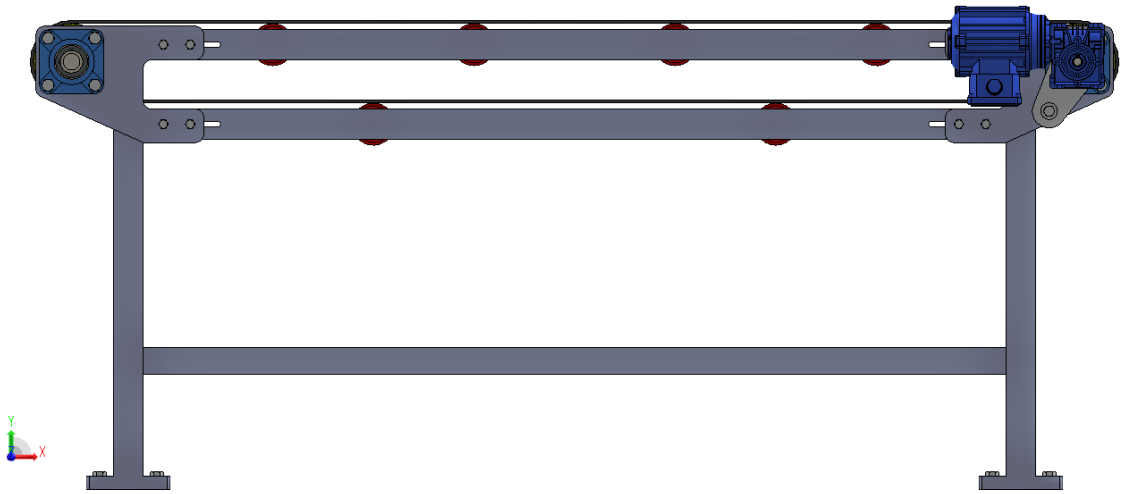
Tablo 4.1 Tasarımda şasinin boyutları

Özellik	**Değer**
Konveyör Eni (Dıştan Dışa)	500 mm
Konveyör Eni (İçten İçe)	408 mm (bant genişliği)
Konveyör Başlangıç Yüksekliği	700 mm
Konveyör Bitiş Yüksekliği	700 mm (düz konveyör için)
Konveyörün Toplam Uzunluğu	1500 mm

Kaynak konstrüksiyon olarak tasarlanan konveyör şasisi, dört ayaklı olup her biri zemine ikişer adet m12 cıvata ile bağlanacaktır. Ayrıca daha dayanıklı bir tasarım için konveyör ayakları arasında destek profilleri olacak şekilde tasarlanmıştır. Üst ve alt bant makaralarını taşımak için ayrı ayrı ikişer kol bulunması uygun görülmüştür, bu kollar arasında maliyeti düşürmek adına boşluk bulunmaktadır. Bu kollara Bölüm 4.1'de tasarlanan makara millerine uygun yuva delikleri açılmıştır. Ayrıca gerdirme düzeneği için m8 cıvata yuvası sürgülü şekilde 100 mm'lik kanal oluşturacak şekilde her bir kolda ikişer adet olmak üzere toplamda 8 adet açılmıştır. Konveyör şasisinin ve tüm konveyör parçalarının montajı Şekil 4.12'deki gibidir.



(a)



(b)

Şekil 4.12 Konveyör şasisinin montajı a) üstten görünüm b) önden görünüm

Çalışmadaki tüm konveyörler sağdan tahrikli olacaktır bu nedenle motor ve redüktörün bağlı bulunduğu gerdirme düzeneği parçası şasinin sağ ön kısmına montajlanacaktır.

4.7 Tasarımdaki Vidalı Bağlantılar

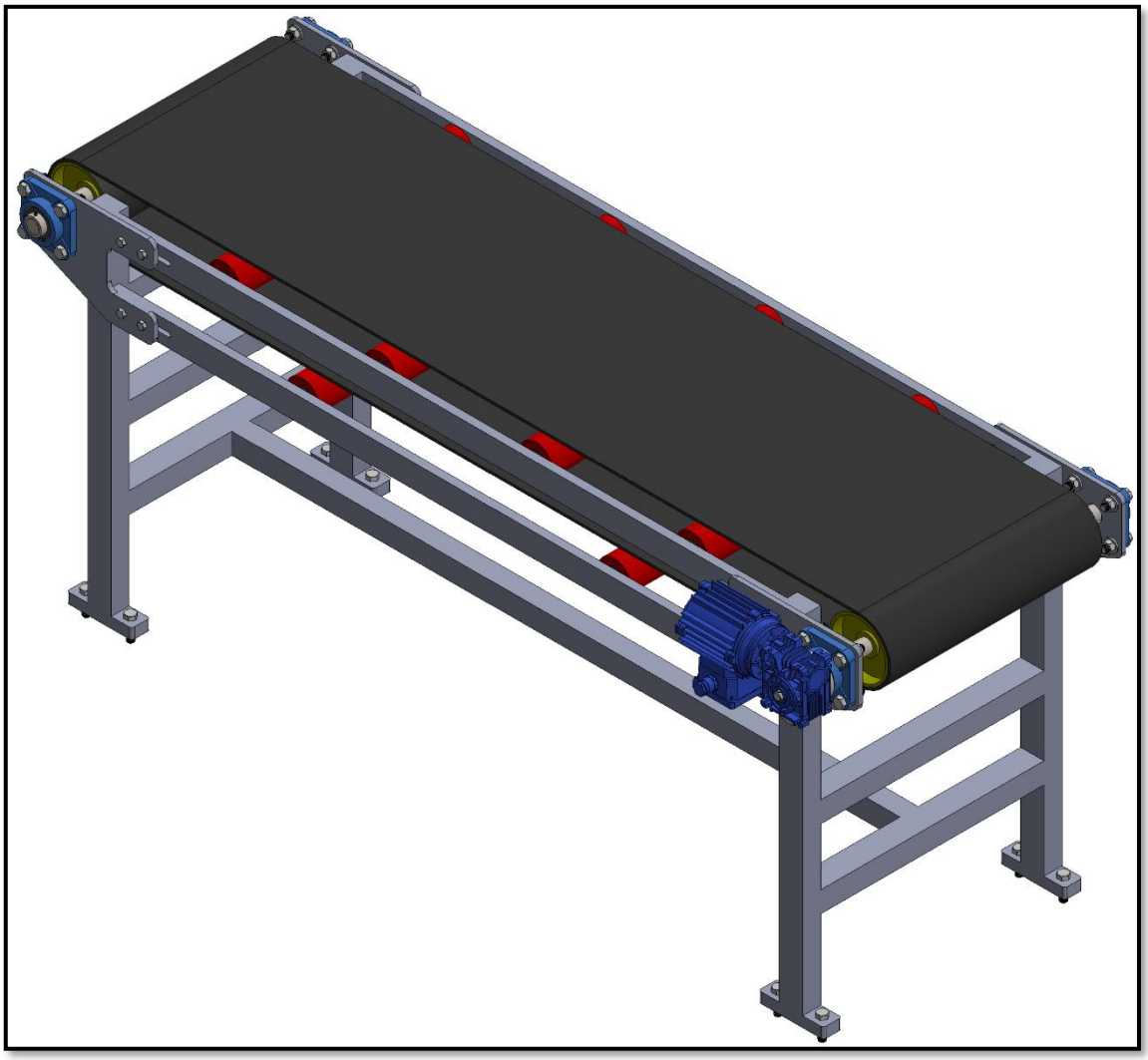
Konveyör şasisi ve gerdirme düzeneğinde kullanılan tüm cıvata, rondela ve somunlar standartlarıyla birlikte Tablo 4.2'de gösterilmektedir. Burada görüleceği üzere tasarımda toplamda 45 adet cıvata bulunmaktadır. Moment kolu motor bağlantısı ve şasi ayaklarında somun ve rondela kullanılmamış olup, vidalı delik ile bağlantı gerçekleştirilmiştir, bu nedenle bu kısımlar boş bırakılmıştır.

Tablo 4.2 Konveyörün tasarımında kullanılan cıvata bağlantıları

Kullanıldığı Yer	Anma Çapı	Cıvata Boyu	Somun	Rondela	Cıvata Standart Gösterimi	Sayısı
Gerdirme Düzeneği	M8	35mm	Altı Köşe Somun TS EN ISO 4032 M8 - 6	Düz Rondela ISO 7091 - 9 - 100HV	Altı Köşe Başlı Cıvata ISO 4017 M8x35 -8,8A	16
UCF205 Rulmanlı Yatak	M12	40mm	Altı Köşe Somun TS EN ISO 4032 M12 - 6	Düz Rondela ISO 7091 - 13,5 - 100HV	Altı Köşe Başlı Cıvata ISO 4017 M12x40 -8,8A	16
Moment Kolu Şasi Bağlantısı	M10	65mm	Altı Köşe Somun TS EN ISO 4032 M10 - 6	Düz Rondela ISO 7091 - 11 - 100HV	Altı Köşe Başlı Cıvata ISO 4017 M10x65 -8,8A	1
Moment Kolu Motor Bağlantısı	M4	12mm	-	-	Altı Köşe Başlı Cıvata ISO 4017 M4x12 -8,8A	4
Şasi Ayakları	M12	40mm	-	-	Altı Köşe Başlı Cıvata ISO 4017 M12x40 -8,8A	8

4.8 Tasarımın Montajı

Bu bölümde bahsedilen tüm parçaların katı modellerinin oluşturulması ve montajı SolidWorks™ yazılımıyla yapılmıştır. Konveyörün belirtilen tüm parçaları ile montajının perspektif görüntüsü Şekil 4.13'te verilmiştir. Düz konveyörün tasarımı burada gösterildiği haliyle tamamlanmıştır. Farklı eğim açılı konveyörlerin tasarımı da eğimleri hariç bu bölümde oluşturulan tasarımın aynısı olacaktır, dolayısıyla yalnızca düz konveyörün tasarımının yapılması yeterli olmuştur.



Şekil 4.13 Oluşturulan konveyör tasarımının perspektif görüntüsü

5
TEORİK HESAPLAMANIN UYGULANMASI

Bu bölümde, tüm bantlı konveyör açıları için Bölüm 3'te belirtilen hesaplama yöntemleri uygulanacak ve çeşitli konveyör parametrelerinin hesaplamaları gerçekleştirilecektir. Elde edilen tüm önemli sonuçlar bölüm sonunda bir tablo olarak verilecektir.

Bölümde öncelikle konveyör kapasiteleri hesaplanacak, sonrasında ise gerekli motor gücü BG cinsinden belirlenecektir. Elde edilen motor gücüne bağlı olarak etkin bant çekme kuvveti, sonrasında ise üst banttaki bant gerilmesi hesaplanacaktır. Son olarak bant sehim değerleri elde edilecektir.

5.1 Düz Konveyörün hesaplamaları

5.1.1 Düz Konveyörün Kapasitesinin Hesaplanması

Düz konveyör kapasitesinin hesaplanması teorik hesaplamaların en önemli kısmını oluşturmaktadır. Düz konveyör kapasitesi yardımıyla diğer eğimli konveyörlerin kapasitesi hesaplanabilecektir. Düz konveyörün kapasitesi Eşitlik 3.1 yardımıyla bulunacaktır. Burada kullanılacak olan gerekli kum özellikleri Tablo 5.1'deki gibidir

Tablo 5.1 Kumun bazı yığma malzeme özellikleri [23]

Özellik	**Değer**
Yoğunluk (t/m^3)	1,4
Maksimum Eğim Açısı (°)	20-30
Yığın Açısı (°)	34

$$Q_{(düz)} = 0{,}408^2 . 576.1{,}4.1. \tan(0{,}35.34) = 28{,}29 ton/saat \qquad (5.1)$$

5.1.2 Düz Konveyörün Motor Gücünün Hesaplanması

Gücün hesaplanabilmesi için öncelikle hareketli elemanların birim metre başına ağırlığı G_1 hesaplanacaktır, burada kullanılacak olan bandın ağırlığı Bölüm 4.3, makara ağırlık ve aralıkları ise Bölüm 4.1'da anlatıldığı gibi alınmıştır.

$$G_1 = 2.2{,}627 + \frac{2{,}600}{0{,}3} + \frac{2{,}600}{0{,}6} = 18{,}254 kg/m \tag{5.2}$$

Eşdeğer konveyör uzunluğu $L_{eş}$ ise 1,5m bant uzunluğuna 15-45m ilave edilmesi ile elde edilir. Bu çalışmada ilave edilecek değer 20m olarak seçilmiştir.

$$L_{eş} = 1{,}5 + 20 = 21{,}5m \tag{5.3}$$

P1, P2 ve P3 sırasıyla konveyörü boşta çalıştırmak için gerekli güç, yatay iletim için gerekli güç ve düşey iletim için gerekli güçtür ve bu değerlerin toplanması ile toplam ideal motor gücü bulunmuştur. Konveyör kayıpları Bölüm 3.2'de anlatıldığı gibi uygulanarak nihai motor gücü hesaplanmıştır.

$$P_1 = \frac{0{,}03.18{,}25.21{,}5.1}{75} = 0{,}157\ BG \tag{5.4}$$

$$P_2 = \frac{0{,}03.28{,}29.21{,}5}{270} = 0{,}067\ BG \tag{5.5}$$

$$P_3 = \frac{28{,}29.0}{270} = 0\ BG \tag{5.6}$$

$$\Delta P = 0{,}157 + 0{,}067 = 0{,}224\ BG \tag{5.7}$$

$$P_m = \frac{1{,}7.1{,}15.0{,}224}{0{,}9} = 0{,}48\ BG \tag{5.8}$$

5.1.3 Düz Konveyörün Bant Gerilmelerinin Hesaplanması

Bulunan motor gücü yardımıyla etkin bant gerilmesi ve Euler eşitliği kullanılarak hareket tamburundaki T_1 ve T_2 gerilmeleri hesaplanmıştır.

$$T_E = \frac{75.0{,}48}{1} = 36\ daN \tag{5.9}$$

$$T_1 - T_2 = 36\ \ daN \tag{5.10}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{0{,}3.\pi} = 2{,}566 \tag{5.11}$$

$$T_2 = 22{,}988\ daN, \quad T_1 = 58{,}988\ daN \tag{5.12}$$

Üst banttaki konveyör bant gerilmesi T_0, T_{yr} alt makara sürtünmesi kaybı ve T_b, düşey malzeme iletimi kazancı yardımıyla hesaplanmıştır.

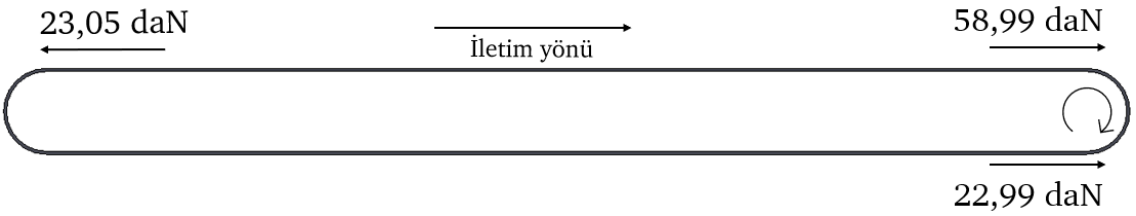
$$T_{yr} = 0{,}015.1{,}5.2{,}627 = 0{,}059\ \ daN \tag{5.13}$$

$$T_b = 0.2{,}627 = 0\ \ daN \tag{5.14}$$

$$T_0 = 22{,}988 + 0{,}059 - 0 = 23{,}047\ daN \tag{5.15}$$

Bu bölümde hesaplanan T_1, T_2 ve T_0 bant gerilmeleri Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Burada görüleceği üzere konveyörün iletim yönü ve tahrik şekli, bant gerilmelerini

belirlemede önemlidir. Burada görülen T_0=23,05daN değeri, konveyörün sehim hesabında kullanılacak olan bant gerilmesidir.



Şekil 5.1 Düz konveyörde bant gerilmeleri

5.1.4 Düz Konveyörde Sehimin Teorik Olarak Hesaplanması

Yük ağırlığı, makara aralığı ve T_0 bant gerilmesi yardımıyla düz konveyör için teorik sehim miktarı hesaplanmıştır. Burada sehim, milimetre olarak da ifade edilmiştir.

$$f = \frac{(7{,}850 + 2{,}627).\,0{,}300^2}{8.\,(23{,}047)} = 0{,}005m \tag{5.16}$$

$$f = 5{,}114mm \tag{5.17}$$

5.2 5° Eğimli Konveyörün Hesaplamaları

5.2.1 5° Eğimli Konveyörün Kapasitesinin Hesaplanması

Eğim faktörü (k) Tablo 3.1 yardımıyla 5° eğim için 0,98 olarak seçilmiştir. Bölüm 5.1.1'de hesaplanan düz konveyör debisi yardımıyla 5° eğimli konveyörün debisi hesaplanmıştır.

$$Q_{(eğimli)} = 0{,}98.28{,}29 = 27{,}72ton/saat \tag{5.18}$$

5.2.2 5° Eğimli Konveyörün Motor Gücünün Hesaplanması

Bölüm 5.1.2'de hesaplanan, hareketli parçaların ağırlığı G_1 ve eşdeğer konveyör uzunluğu 5° eğimli konveyör için de aynıdır, bu nedenle P1 değeri düz konveyörün boşta çalıştırmak için gerekli güç değerine eşittir. Düşey mesafe konveyör uzunluğu ve açısı yardımıyla bulunmuştur.

$$P_1 = \frac{0{,}03.18{,}25.21{,}5.1}{75} = 0{,}157\ BG \tag{5.19}$$

$$P_2 = \frac{0{,}03.27{,}72.21{,}5}{270} = 0{,}066\ BG \tag{5.20}$$

$$P_3 = \frac{27{,}72.1{,}5.\sin(5)}{270} = 0{,}013\ BG \tag{5.21}$$

$$\Delta P = 0{,}157 + 0{,}066 + 0{,}013 = 0{,}236\ BG \tag{5.22}$$

Kayıp değerleri Bölüm 3.2'de belirtilen değerlere eşittir.

$$P_m = \frac{1{,}7.1{,}15.0{,}236}{0{,}9} = 0{,}50\ BG \tag{5.23}$$

5.2.3 5° Eğimli Konveyörün Bant Gerilmelerinin Hesaplanması

$$T_E = \frac{75.0{,}50}{1} = 37{,}5\ \ daN \tag{5.24}$$

$$T_1 - T_2 = 37{,}5\ \ daN \tag{5.25}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{0,3.\pi} = 2,566 \tag{5.26}$$

$$T_2 = 23,946\ daN, \quad T_1 = 61,446\ daN \tag{5.27}$$

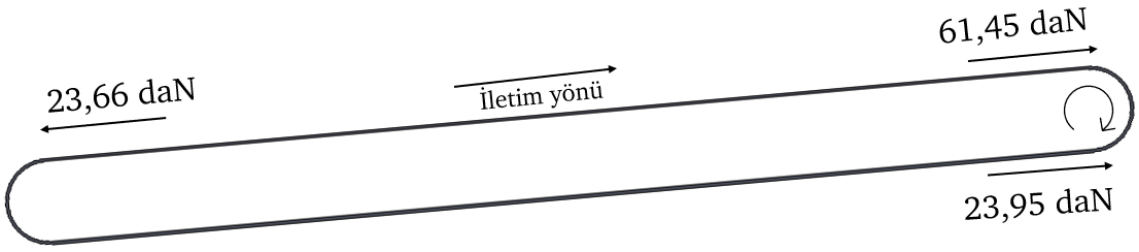
Konveyör sağdan tahrikli ve sağa doğru iletim yapmakta olduğu için T_b direnci, T_0 gerilmesinde gevşemeye neden olacaktır, bu nedenle negatif olarak alınmıştır.

$$T_{yr} = 0,015.1,5.2,627 = 0,059\ daN \tag{5.28}$$

$$T_b = 1,5.\sin(5)\,.\,2,627 = 0,343\ daN \tag{5.29}$$

$$T_0 = 23,946 + 0,059 - 0,343 = 23,662\ daN \tag{5.30}$$

Bu bölümde hesaplanan T_1, T_2 ve T_0 bant gerilmeleri Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Burada görülen T_0=23,66daN değeri, konveyörün sehim hesabında kullanılacak olan bant gerilmesidir.



Şekil 5.2 5° eğimli konveyörde bant gerilmeleri

5.2.4 5° Eğimli Konveyörde Sehimin Teorik Olarak Hesaplanması

Eğimli konveyörlerde sehim hesabı için Eşitlik 3.15 kullanılacaktır, Şekil 3.2'de görüleceği üzere, makara aralığı değeri eğimli konveyörlerde daha küçük alınmaktadır.

$$f = \frac{(7{,}70 + 2{,}627).(0{,}300.\cos(5))^2}{8.(23{,}662)} \tag{5.31}$$

$$f = 4{,}873\ mm \tag{5.32}$$

5.3 10° Eğimli Konveyörün Hesaplamaları

5.3.1 10° Eğimli Konveyörün Kapasitesinin Hesaplanması

Eğim faktörü (k) Tablo 3.1 yardımıyla 10° eğim açısı için 0,95 olarak seçilmiştir. Bölüm 5.1.1'de hesaplanan düz konveyör debisi yardımıyla 10° eğimli konveyörün debisi hesaplanmıştır.

$$Q_{(eğimli)} = 0{,}95.28{,}29 = 26{,}87 ton/saat \tag{5.33}$$

5.3.2 10° Eğimli Konveyörün Motor Gücünün Hesaplanması

Bölüm 5.1.2'de hesaplanan, hareketli parçaların ağırlığı G_1 ve eşdeğer konveyör uzunluğu 10° eğimli konveyör için de aynıdır, bu nedenle P1 değeri düz konveyörün boşta çalıştırmak için gerekli güç değerine eşittir. Düşey mesafe konveyör uzunluğu ve açısı yardımıyla bulunmuştur.

$$P_1 = \frac{0{,}03.18{,}25.21{,}5.1}{75} = 0{,}157\ BG \tag{5.34}$$

$$P_2 = \frac{0{,}03.26{,}87.21{,}5}{270} = 0{,}064\ BG \tag{5.35}$$

$$P_3 = \frac{26{,}87.1{,}5.\sin(10)}{270} = 0{,}026\ BG \tag{5.36}$$

$$\Delta P = 0{,}157 + 0{,}064 + 0{,}026 = 0{,}247\ BG \tag{5.37}$$

Motor gücünde uygulanan kayıp faktörleri Bölüm 3.2'de belirtildiği uygulanmıştır.

$$P_m = \frac{1{,}7.1{,}15.0{,}247}{0{,}9} = 0{,}53\ BG \tag{5.38}$$

5.3.3 10° Eğimli Konveyörün Bant Gerilmelerinin Hesaplanması

$$T_E = \frac{75.0{,}53}{1} = 39{,}75\ daN \tag{5.39}$$

$$T_1 - T_2 = 39{,}75\ \ daN \tag{5.40}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{0{,}3.\pi} = 2{,}566 \tag{5.41}$$

$$T_2 = 25{,}383\ daN, \quad T_1 = 65{,}133\ daN \tag{5.42}$$

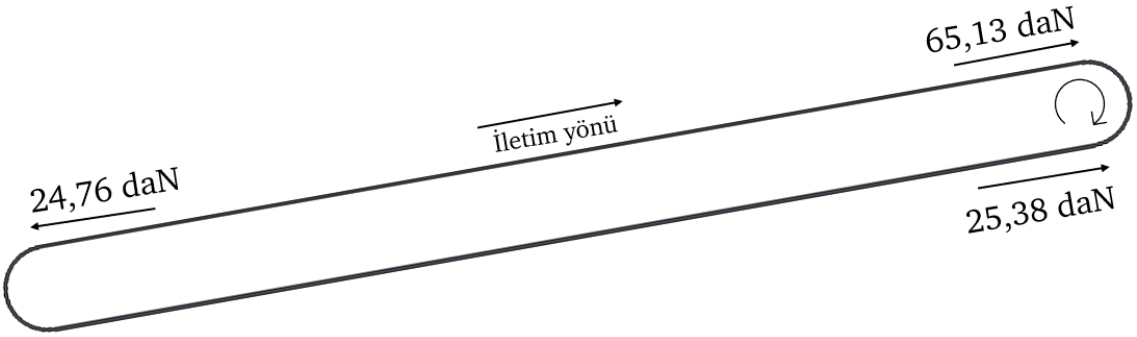
Konveyör sağdan tahrikli ve sağa doğru iletim yapmakta olduğu için T_b gücü T_0 gerilmesinde gevşemeye neden olacaktır, bu nedenle negatif olarak alınmıştır.

$$T_{yr} = 0{,}015.1{,}5.2{,}627 = 0{,}059\ \ daN \tag{5.43}$$

$$T_b = 1{,}5.\sin(10)\,.\,2{,}627 = 0{,}684\ \ daN \tag{5.44}$$

$$T_0 = 25{,}383 + 0{,}059 - 0{,}684 = 24{,}758\ daN \tag{5.45}$$

Bu bölümde hesaplanan T_1, T_2 ve T_0 bant gerilmeleri Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Burada görülen T_0=24,76daN değeri, konveyörün sehim hesabında kullanılacak olan bant gerilmesidir.



Şekil 5.3 10° eğimli konveyörde bant gerilmeleri

5.3.4 10° Eğimli Konveyörde Sehimin Teorik Olarak Hesaplanması

$$f = \frac{(7{,}464 + 2{,}627).(0{,}300.\cos(10))^2}{8.(24{,}758)} \tag{5.46}$$

$$f = 4{,}447\ mm \tag{5.47}$$

5.4 15° Eğimli Konveyörün Hesaplamaları

5.4.1 15° Eğimli Konveyörün Kapasitesinin Hesaplanması

Eğim faktörü (k) Tablo 3.1 yardımıyla 15° eğim açısı için 0,90 olarak seçilmiştir. Bölüm 5.1.1'de hesaplanan düz konveyör debisi yardımıyla 15° eğimli konveyörün debisi hesaplanmıştır.

$$Q_{(eğimli)} = 0{,}90.28{,}29 = 25{,}46 ton/saat \tag{5.48}$$

5.4.2 15° Eğimli Konveyörün Motor Gücünün Hesaplanması

Bölüm 5.1.2'de hesaplanan, hareketli parçaların ağırlığı G_1 ve eşdeğer konveyör uzunluğu 15° eğimli konveyör için de aynıdır, bu nedenle P1 değeri düz konveyörün boşta çalıştırmak için gerekli güç değerine eşittir. Düşey mesafe konveyör uzunluğu ve açısı yardımıyla bulunmuştur.

$$P_1 = \frac{0{,}03.18{,}25.21{,}5.1}{75} = 0{,}157\ BG \tag{5.49}$$

$$P_2 = \frac{0{,}03.25{,}46.21{,}5}{270} = 0{,}061\ BG \tag{5.50}$$

$$P_3 = \frac{25{,}46.0{,}39}{270} = 0{,}037\ BG \tag{5.51}$$

$$\Delta P = 0{,}157 + 0{,}061 + 0{,}037 = 0{,}255 \tag{5.52}$$

Motor gücünde uygulanan kayıp faktörleri Bölüm 3.2'de belirtildiği uygulanmıştır

$$P_m = \frac{1{,}7.1{,}15.0{,}255}{0{,}9} = 0{,}55\ BG \tag{5.53}$$

5.4.3 15° Eğimli Konveyörün Bant Gerilmelerinin Hesaplanması

$$T_E = \frac{75.0{,}55}{1} = 40{,}50\ \ daN \tag{5.54}$$

$$T_1 - T_2 = 40{,}50\ daN$$

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{0,3.\pi} = 2,566 \tag{5.55}$$

$$T_2 = 25,862\ daN, \quad T_1 = 66,362\ daN \tag{5.56}$$

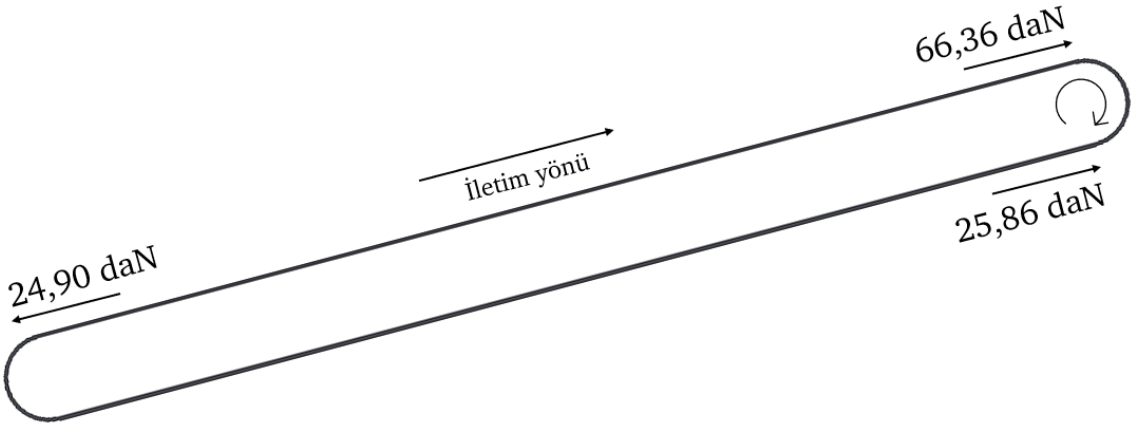
Konveyör sağdan tahrikli ve sağa doğru iletim yapmakta olduğu için T_b gücü T_0 gerilmesinde gevşemeye neden olacaktır, bu nedenle negatif olarak alınmıştır.

$$T_{yr} = 0,015.1,5.2,627 = 0,059\ daN \tag{5.57}$$

$$T_b = 1,5.\sin(15)\,.\,2,627 = 1,020\ daN \tag{5.58}$$

$$T_0 = 25,862 + 0,059 - 1,020 = 24,901\ daN \tag{5.59}$$

Bu bölümde hesaplanan T_1, T_2 ve T_0 bant gerilmeleri Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Burada görülen T_0=24,90daN değeri, konveyörün sehim hesabında kullanılacak olan bant gerilmesidir.



Şekil 5.4 15° eğimli konveyörde bant gerilmeleri

5.4.4 15° Eğimli Konveyörde Sehimin Teorik Olarak Hesaplanması

$$f = \frac{(7{,}072 + 2{,}627).(0{,}300.\cos(15))^2}{8.(24{,}901)} \tag{5.60}$$

$$f = 4{,}088\ mm \tag{5.61}$$

5.5 20° Eğimli Konveyörün Hesaplamaları

5.5.1 20° Eğimli Konveyörün Kapasitesinin Hesaplanması

Eğim faktörü (k) Tablo 3.1 yardımıyla 20° eğim açısı için 0,81 olarak seçilmiştir. Bölüm 5.1.1 'da hesaplanan düz konveyör debisi yardımıyla 20° eğimli konveyörün debisi hesaplanmıştır.

$$Q_{(eğimli)} = 0{,}81.28{,}29 = 22{,}91 ton/saat \tag{5.62}$$

5.5.2 20° Eğimli Konveyörün Motor Gücünün Hesaplanması

Bölüm 5.1.2'de hesaplanan, hareketli parçaların ağırlığı G_1 ve eşdeğer konveyör uzunluğu 20° eğimli konveyör için de aynıdır, bu nedenle P1 değeri düz konveyörün boşta çalıştırmak için gerekli güç değerine eşittir. Düşey mesafe konveyör uzunluğu ve açısı yardımıyla bulunmuştur.

$$P_1 = \frac{0{,}03.18{,}25.21{,}5.1}{75} = 0{,}157\ BG \tag{5.63}$$

$$P_2 = \frac{0{,}03.22{,}91.21{,}5}{270} = 0{,}054\ BG \tag{5.64}$$

$$P_3 = \frac{22{,}91.0{,}51}{270} = 0{,}043\ \ BG \tag{5.65}$$

$$P = 0{,}157 + 0{,}054 + 0{,}043 = 0{,}254\ \ BG \tag{5.66}$$

Motor gücünde uygulanan kayıp faktörleri Bölüm 3.2'de belirtildiği uygulanmıştır.

$$P_m = \frac{1{,}7.1{,}15.0{,}242}{0{,}9} = 0{,}55\ BG \tag{5.67}$$

5.5.3 20° Eğimli Konveyörün Bant Gerilmelerinin Hesaplanması

$$T_E = \frac{75.0{,}55}{1} = 41{,}25\ \ daN \tag{5.68}$$

$$T_1 - T_2 = 41{,}25\ \ daN \tag{5.69}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{0{,}3.\pi} = 2{,}566 \tag{5.70}$$

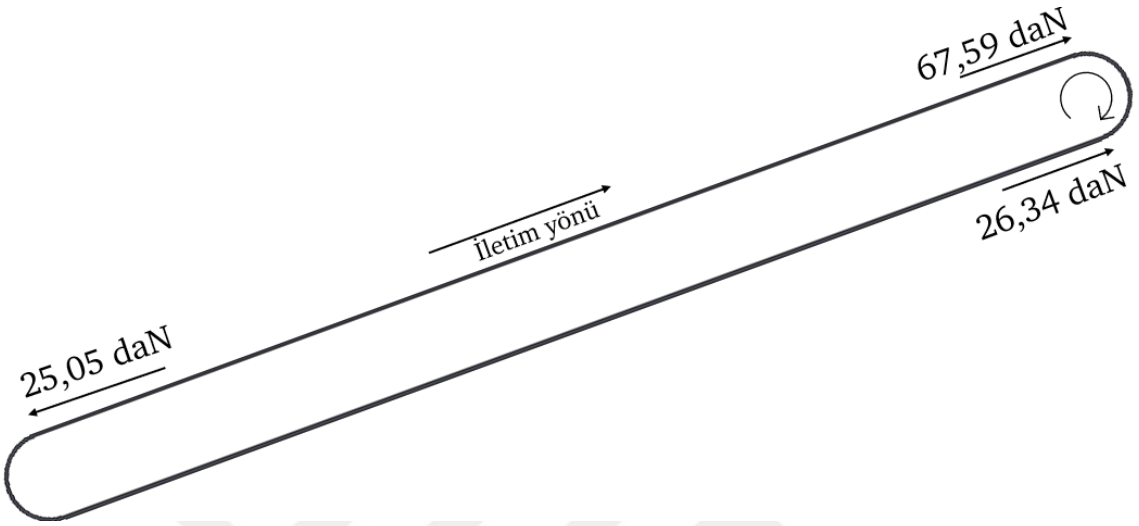
$$T_2 = 26{,}341\ daN, \quad T_1 = 67{,}591\ daN \tag{5.71}$$

$$T_{yr} = 0{,}015.1{,}5.2{,}627 = 0{,}059\ \ daN \tag{5.72}$$

$$T_b = 1{,}5.\sin(20)\,.\,2{,}627 = 1{,}347\ \ daN \tag{5.73}$$

$$T_0 = 26{,}341 + 0{,}059 - 1{,}347 = 25{,}053\ daN \tag{5.74}$$

Bu bölümde hesaplanan T_1, T_2 ve T_0 bant gerilmeleri Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Burada görülen T_0=24,90daN değeri, konveyörün sehim hesabında kullanılacak olan bant gerilmesidir.



Şekil 5.5 20° eğimli konveyörde bant gerilmeleri

5.5.4 20° Eğimli Konveyörde Sehimin Teorik Olarak Hesaplanması

$$f = \frac{(6{,}364 + 2{,}627).(0{,}300.\cos(20))^2}{8.(25{,}053)} \tag{5.75}$$

$$f = 3{,}565\ mm \tag{5.76}$$

5.6 Teorik Olarak Hesaplanan Parametrelerin Özetlenmesi

Bu bölümde teorik olarak hesaplanan tüm önemli parametreler Tablo 5.2'de gösterildiği gibidir. Burada T_0 ve düz konveyör kapasitesi değerleri sırasıyla FEM ve DEM modellerine de uygulanacaktır. Ayrıca bulunan sehim değerleri Bölüm 9.2'de numerik ortalama sehim değerleri ile kıyaslanacaktır.

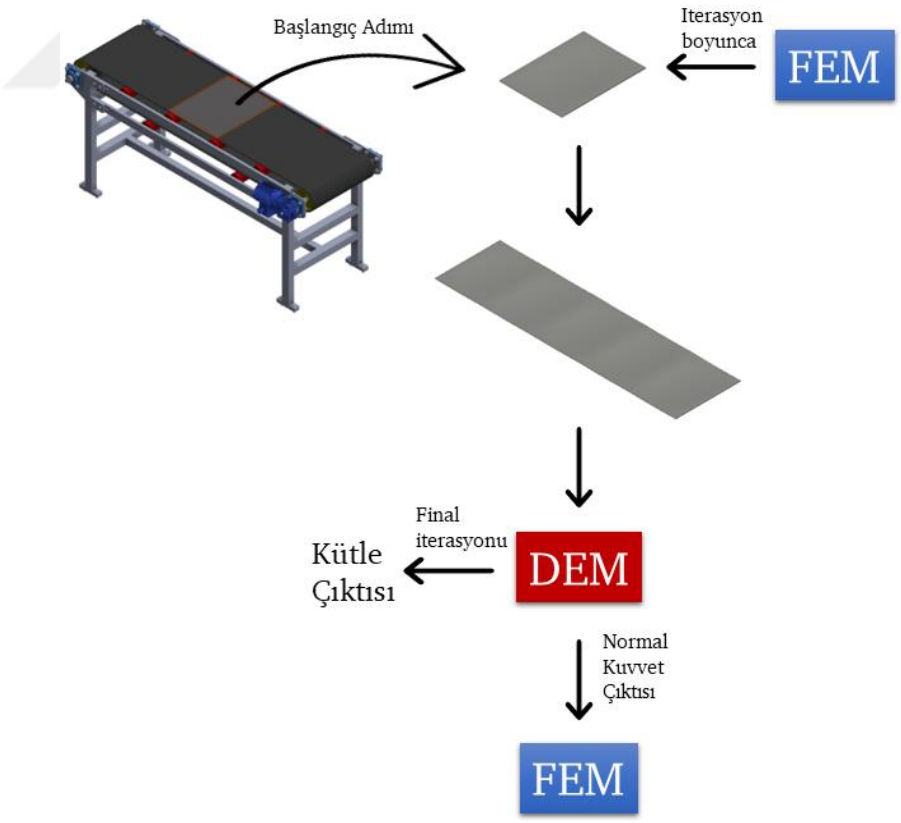
Tablo 5.2 Bulunan teorik sonuçlarının özetlenmesi

Konveyör Açısı	Kapasite (Ton/Sa)	P_m (BG)	T_1 (daN)	T_2 (daN)	T_0 (daN)	Sehim (mm)
0°	28,29	0,48	58,99	22,99	23,05	5,114
5°	27,72	0,50	61,45	23,95	23,66	4,873
10°	26,87	0,53	65,13	25,38	24,76	4,447
15°	25,46	0,55	66,36	25,86	24,90	4,088
20°	22,91	0,55	67,59	26,34	25,05	3,565

6
AYRIK ELEMANLAR METODU (DEM) MODELİ

Bu bölümde Ayrık Elemanlar Metodu'nun (DEM) çalışmadaki uygulanma basamakları ve burada oluşturulan DEM modelinin detaylı bir şekilde anlatılması amaçlanmaktadır. Ayrıca DEM'de elde edilen sehim ve kapasite için gerekli verilerin yorumlanma yöntemi incelenecektir.

DEM analizinin akış şeması Şekil 6.1'de gösterildiği gibi olacaktır. DEM analizinden sehim için normal kuvvet verisi, konveyör kapasitesi için ise kütle verisi elde edilmesi amaçlanmaktadır. Burada görüleceği üzere normal kuvvet verisi sonrasında FEM'e aktarılacaktır, ayrıca şekilde görüldüğü üzere çalışmanın ilerleyen adımlarında FEM'den elde edilmiş verinin DEM analizine aktarılması da söz konusudur.



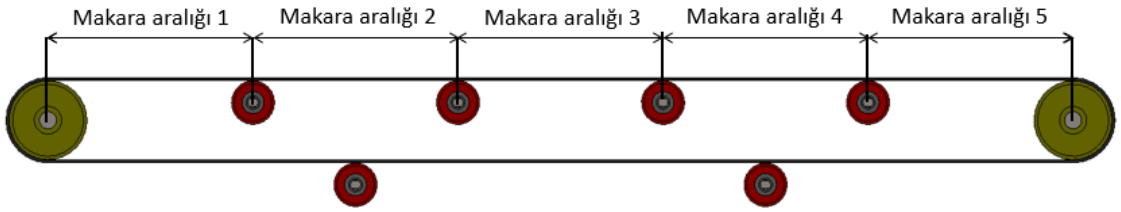
Şekil 6.1 DEM analizinin akış şeması

6.1 DEM Modelinin Oluşturulması

Bu çalışmada, DEM simülasyonu için Altair EDEM™ yazılımı kullanılmıştır. Bu bölümde DEM modelinin oluşturulma basamakları ve burada tanımlanan parametreler detaylı olarak anlatılacaktır.

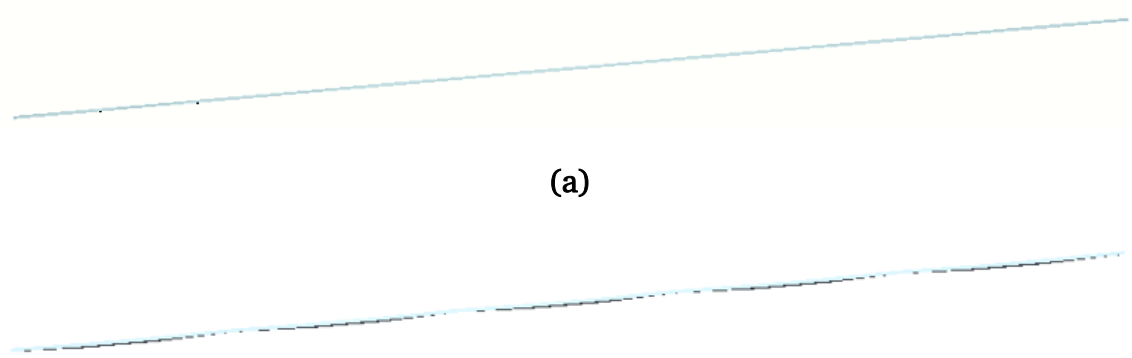
6.1.1 Bant Geometrisinin Tanımlanması

DEM modelinin oluşturulmasında öncelikle bant geometrisinin tanımlanması ile başlanılmıştır. Tasarımdaki konveyörün üst kısımda Şekil 6.2'deki gibi iki tambur, dört makara ve dolayısıyla toplamda beş adet makara aralığı bulunmaktadır. DEM modeli için yalnızca bu makara aralıklarının dahil olduğu bant geometrisi kullanılmıştır. Konveyörde kum taşıma işlemi yalnızca üst bant ile gerçekleştirilecektir, bu nedenle sadece üst bandın kullanılması DEM analizlerinden elde edilmesi beklenen nihai sonuçlar için yeterli olacaktır. Ayrıca geometrinin olabildiğince basitleştirilmesi analiz süresinin kısalmasını, sonuçların yorumlanmasını ve FEM'e veri aktarımını kolaylaştırılması açısından faydalı olacaktır.



Şekil 6.2 Konveyör tasarımında makara aralıklarının numaralandırılması

Bant geometrisi yalnızca ilk DEM simülasyonlarında düz iken, çalışmanın ilerleyen adımlarında sehim deformasyonunu içermiştir. Bu geometrilerin farklılığı ve DEM modeli için oluşturulan bant geometrisi örneği Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Oluşturulan DEM modeline elde edilen farklı bant profillerinin uygulanması yeterli olmuştur.



(a)

(b)

Şekil 6.3 5° eğimli konveyör için oluşturulan DEM modelinde kullanılan bant yüzeyi geometrileri a) başlangıçta kullanılan düz geometri b) ileriki simülasyonlarda kullanılan sehimli geometri

Bandın dayanım özellikleri FEM modelinde kullanılan özellikler ile aynı olacaktır ve Tablo 7.1 'de verilmiştir. Ayrıca bant ile kum arasındaki etkileşimde sürtünme ilgili özelliklerinin de tanımlanması gerekmektedir, bu özellikler Tablo 6.1'deki gibi tanımlanmıştır.

Banda hareket özelliğinin atanması gerekmektedir, bu ise konveyör hareketi özelliği olan "conveyor translation" ile yapılacaktır. Burada bandın iletim hızı, tasarımda önceden belirlenmiş konveyör hızı olan 1m/s olarak ayarlanacaktır.

Tablo 6.1 Bant geometrisinin sürtünme özellikleri [23]

Özellik	**Değer**
Çarpışma İade Katsayısı	0,5
Durağan Sürtünme Katsayısı	0,45
Yuvarlanma Sürtünme Katsayısı	0,15

6.1.2 Konveyöre Malzeme Yüklenişinin Tanımlanması

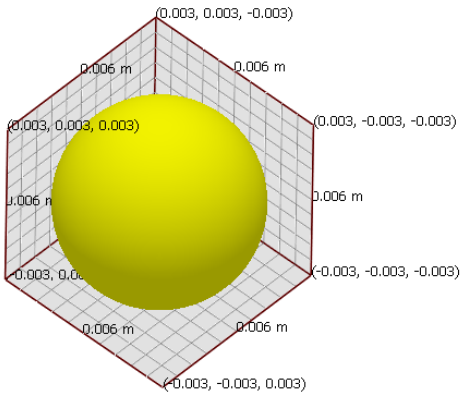
Altair EDEM yazılımında bant yüzeyine arzu edilen konumda uzaklıkta ve büyüklükte oluk eklenebilmektedir. Her konveyör açısı için oluğun büyüklüğü aynı olacak şekilde belirlenmiş, ancak farklı açılar için oluklar farklı şekilde konumlandırılmıştır.

DEM modelinde oluk debisi 7,85 kg/s olarak tanımlanmıştır. Bu değer Bölüm 5.1.1'de ton/saat olarak hesaplanan teorik düz konveyör kapasitesinin kg/s cinsinden eşdeğeridir. Numerik yöntemde eğim faktörü (k) kullanılmamaktadır, bu nedenle farklı eğimlerde debi farkının DEM simülasyonunda tanımlanan sürtünme özelliklerine bağlı olarak gerçekleşmesi beklenmektedir.

Simülasyon boyunca oluktan dökülecek toplam kum miktarı ise tüm konveyörler için 15 kg olarak belirlenmiştir. Bu değer keyfi olarak seçilmiş olup, simülasyona ve sonuçlara tek etkisi simülasyon süresini belirlemek olmuştur.

6.1.3 Yığma Malzemenin Özelliklerinin Tanımlanması

Çalışmada yığma malzeme olarak kum taşınmaktadır. DEM simülasyonu için kum taneleri Şekil 6.4'teki gibi yarıçapı 0,003m olan tekli küreler olarak modellenmiştir. Kum tanelerinin birbiri arasındaki sürtünme katsayısının da belirlenmesi gerekmektedir. Tüm yığma malzeme değerleri Tablo 6.2'de özetlendiği gibi tanımlanmıştır.



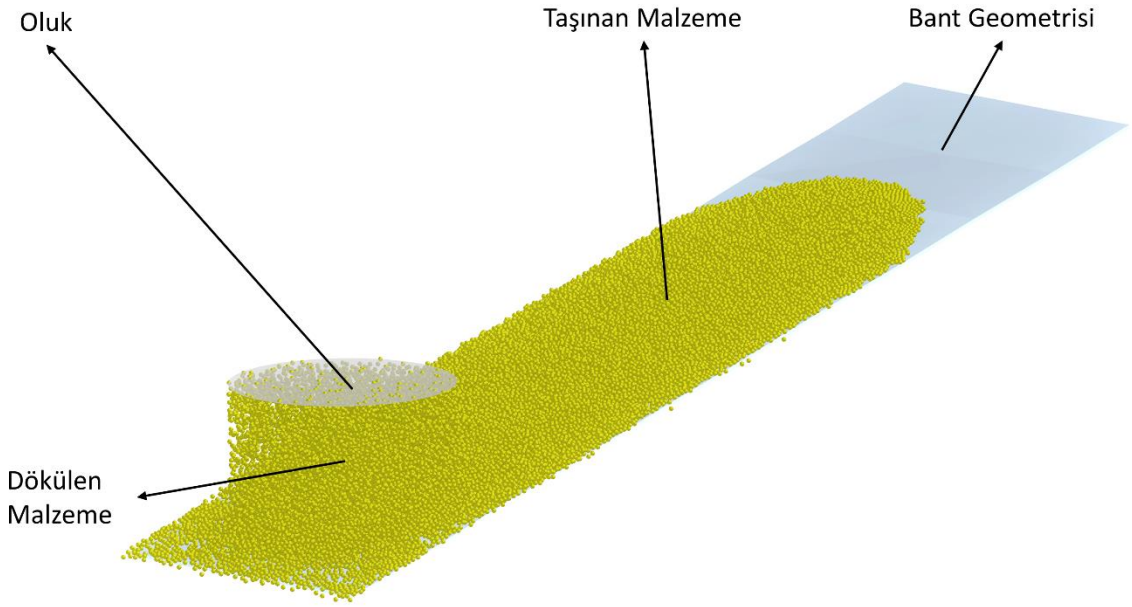
Şekil 6.4 DEM modelinde tekli küre olarak oluşturulan kum tanesi

Tablo 6.2 DEM modeli için tanımlanan yığma malzeme özellikleri [23]

Özellik	**Değer**
Parça Yarıçapı(m)	0,003
Poisson Oranı	0,3
Yoğunluk(kg/m^3)	1400
Rijitlik Modülü (Pa)	7,692.10^6

6.1.4 DEM Simülasyonunun Uygulanması

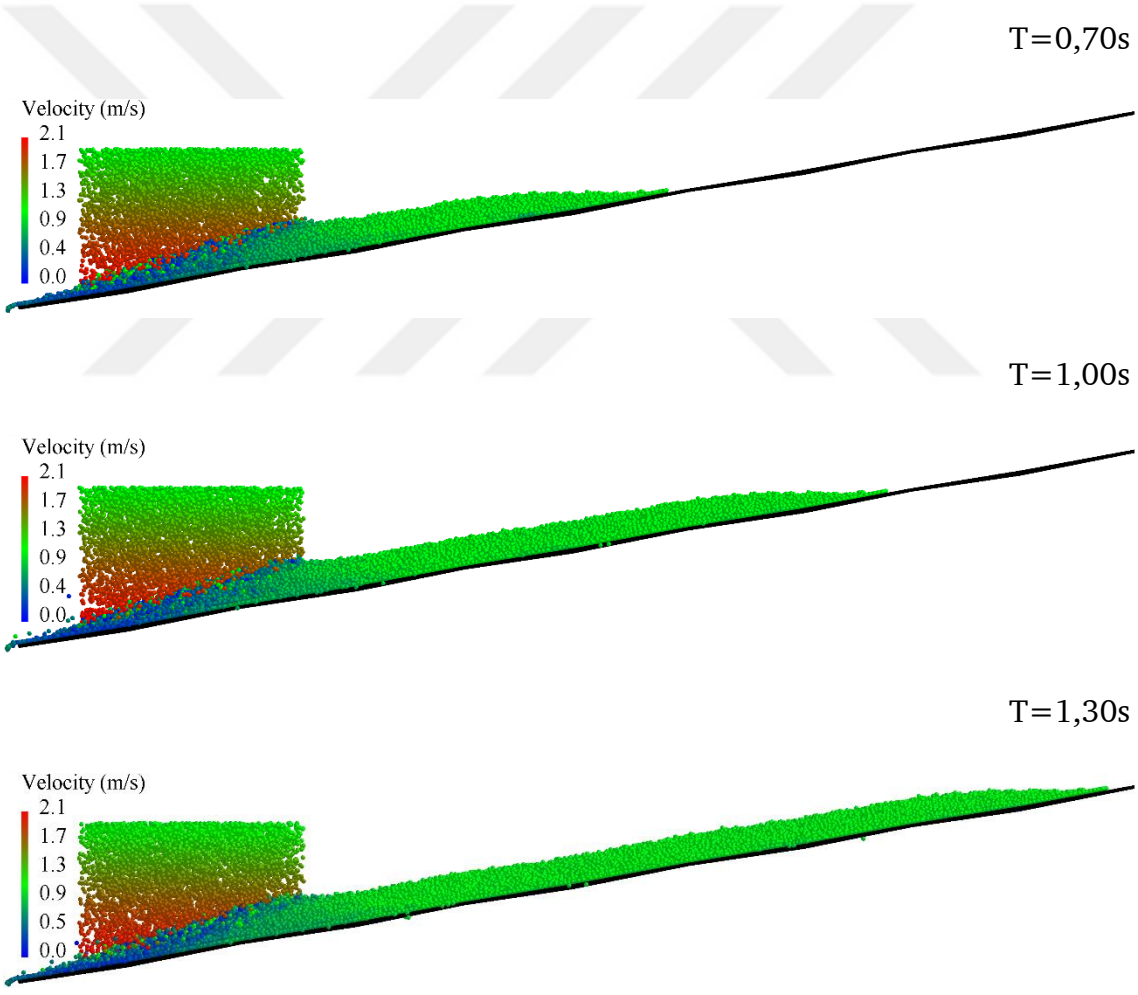
Bölümde anlatıldığı şekliyle oluşturulan DEM modeli Şekil 6.5'te gösterilmiştir. Burada oluşturulan DEM modeli kullanılarak tüm konveyörler için simülasyonlar gerçekleştirilecektir. Bunun için farklı eğimlerdeki konveyörlerin bant geometrilerinin modele uygulanması ve buna bağlı olarak oluk konumunun güncellenmesi yeterli olmuştur.



Şekil 6.5 Oluşturulan DEM modeli

Toplam DEM simülasyonu sürelerinin 20° eğimli konveyör için 4,5 saniye, diğer tüm konveyörler için 4 saniye olduğu görülmüştür. Toplam simülasyon süresi, oluktan malzemenin dökülmeye başlaması ile iletilen son yığma malzeme tanesinin konveyörden ayrıldığı an arasında geçen süredir ve konveyör hızına bağlı olduğu gibi ayrıca dökülen toplam malzeme miktarına da doğrudan bağlıdır. Bu nedenle simülasyon süresi evrensel bir sonuç vermemektedir.

Şekil 6.6'da 10° eğimli konveyörün DEM simülasyonunun belirli saniyelerdeki görüntüsü verilmiştir. Burada renklendirme tanecik hızına bağlı olarak yapılmış olup konveyörün iletim hızının 1m/s olduğu görülmektedir.



Şekil 6.6 10° eğimli konveyörün son iterasyonu sonucu elde edilen sehimli DEM analizi görüntüsü

6.2 DEM Analizinden Sonuç Verilerinin Elde Edilmesi

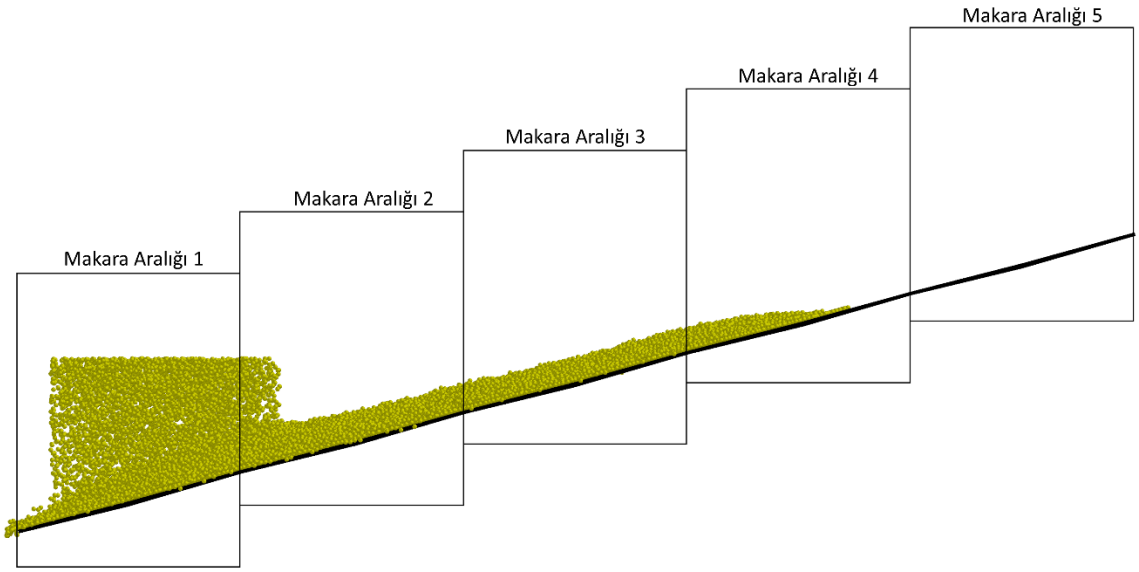
EDEM, simülasyon sonunda elde edilen veriyi çeşitli yollarla sunmaktadır. Bunlardan başlıca olanı, simülasyon boyunca her bir yığma malzeme parçasının bütün hareketlerinin saniyeye bağlı olarak izlenebilmesidir. Bu özellik sayesinde arzu edilen saniye için tüm parçaların anlık konumu ve davranışı görsel olarak incelenebilmektedir. Bunların yanında çok daha detaylı bir sonuç olarak simülasyon verileri çeşitli grafik çıktıları ile sunulmaktadır. Bu veri-zaman grafikleri parça-parça ilişkisi ve parça-yüzey ilişkisi gibi verilerin simülasyonun çıktılarını sunmaktadır. DEM'de elde edilen bu sonuç grafikleri oldukça karmaşık olup bir yorumlama stratejisine ihtiyaç duymaktadır. Örneğin sadece maksimum değerin bulunması yeterli olmayıp, gerekli durumlarda kritik olduğu düşünülen bölgede ortalama değerin aranması gerekebilmektedir.

DEM simülasyonlarında oluk konumları farklılık göstermesine rağmen tüm konveyörlerde oluktan dökülen malzeme birinci ve ikinci makara aralıklarındaki bantlara dökülmüştür. Bu makara aralıklarındaki normal kuvvet ve kütle verileri büyük oranda oluk yüksekliğine bağlı olarak değişmekte ve bu nedenle evrensel bir sonuç ortaya koymamaktadır. Dolayısıyla numerik kapasite ve ortalama sehimin bulunmasında yalnızca son üç makara aralığı dikkate alınacaktır. Bunun dışında yalnızca çalışmanın son basamağında her makara aralığındaki numerik sehim bulunurken tüm makara aralıklarındaki normal kuvvet değerleri kullanılacaktır.

6.2.1 Makara Aralıklarının İzlenmesi

DEM simülasyonundan kapasite için kütle, sehim için normal kuvvet verisinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Malzeme geri kaçması nedeniyle her makara aralığındaki sonuçlar farklılık göstermektedir. Dolayısıyla verilerin her bir makara aralığı için ayrı ayrı elde edilmesi bir bantlı konveyör için uygun bir yaklaşımdır. Her bir makara aralığının incelenmesi için Şekil 6.7'de gösterildiği gibi "Grid Bin Group" olarak adlandırılan, yalnızca belirlenen bölge içerisindeki sonuçları elde etmeyi sağlayan EDEM özelliği kullanılmıştır. Bu sayede beş ayrı makara aralığı birbirinden bağımsız şekilde incelenmiştir.

İncelenecek bölgelerin boyutları makara aralıkları ile tam örtüşecek şekilde uzunluğu 300mm ve derinliği 408mm olarak belirlenmiştir. Yükseklikler ise bundan bağımsız olarak belirlenmiştir ve sonuçlara etkisi bulunmamaktadır. Bu bölgeler içerisinde ayrı ayrı elde edilen normal kuvvet ve kütle miktarı değerleri her bir makara aralığındaki değerleri tam olarak temsil etmektedir. Dolayısıyla bu değerlerin incelenmesi arzu edilen sonuçları vermesi açısından yeterli olacaktır.

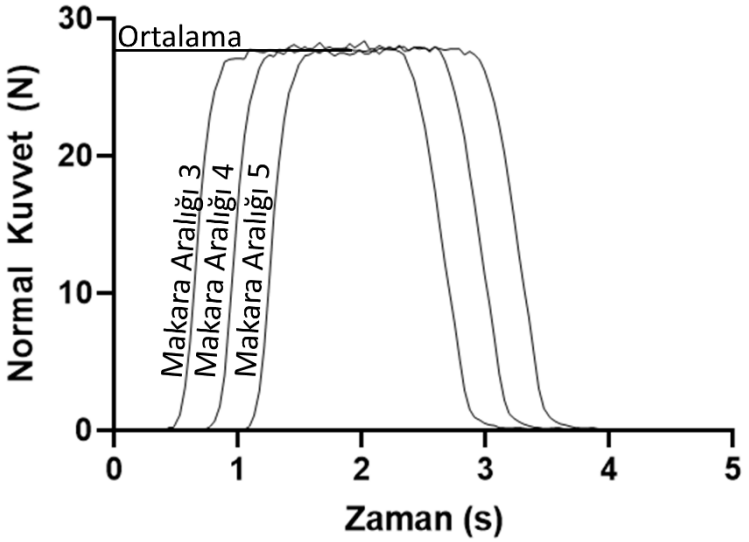


Şekil 6.7 Tüm makara aralıklarının ayrı ayrı izlenmesi

6.2.2 Normal Kuvvet Verilerinin Elde Edilişi

Sehim miktarını doğrudan etkileyen bir faktör olan "normal kuvvet" verisi numerik sehimin bulunmasında DEM'den elde edilmesi istenilen sonuçtur. Bu normal kuvvet yığma malzemenin bant yüzeyine uyguladığı kuvveti ifade etmektedir.

Çalışma boyunca her konveyör açısı için numerik ortalama sehimin bulunması amaçlanmaktadır. Her makara aralığında normal kuvvetler farklılık gösterdiği için ortalama bir normal kuvvet değeri bulunmalıdır. Üçüncü, dördüncü ve beşinci makara aralıklarındaki normal kuvvetlerin ortalaması Şekil 6.8'de gösterildiği gibi bulunması ve bu verinin FEM'e aktarılması ortalama sehimin bulunması için yeterli olmuştur.



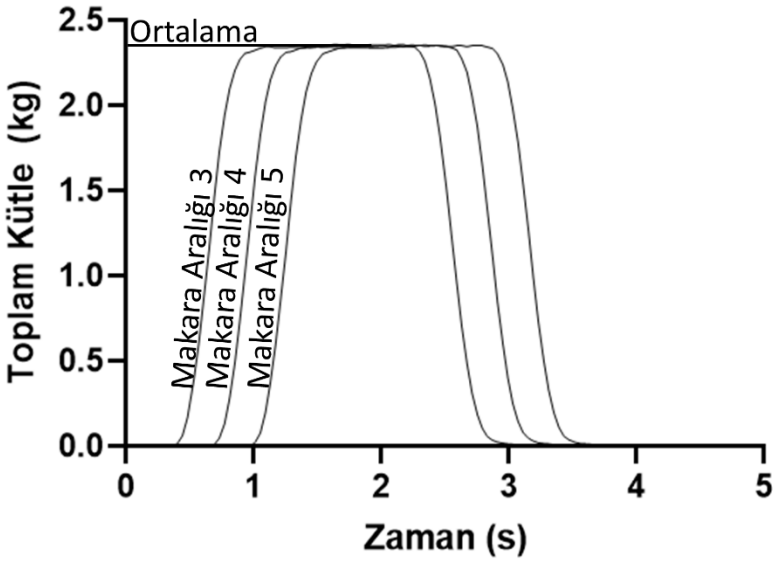
Şekil 6.8 DEM sonucu elde edilen normal kuvvetin son üç bant makara aralığı için ortalamasının alınması

Ayrıca çalışmanın son basamağı olarak tüm konveyör açıları için her bir makara aralığındaki numerik sehimin bulunması amaçlanmaktadır. Bu nedenle farklı bir yaklaşım olarak elde edilen normal kuvvet grafiklerinden her bir makara aralığındaki maksimum normal kuvvet değerleri tespit edilmiş ve FEM'e aktarılmıştır.

6.2.3 Kütle Verilerinin Elde Edilişi ve Tasarıma Özel Eğim Faktörü (k)

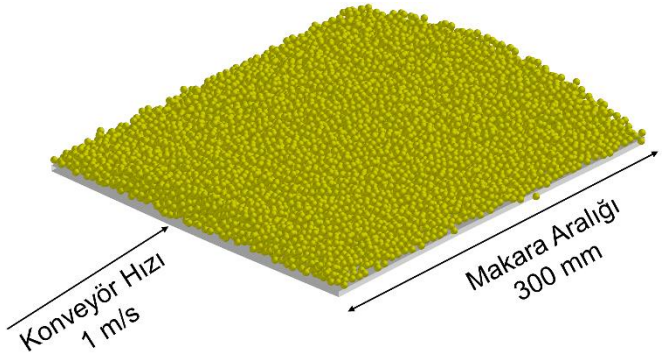
Çalışmada sehim dışında incelenen diğer parametre ise numerik konveyör kapasitesidir. DEM analizinde elde edilen kütle verisi kullanılarak kapasitenin bulunması birtakım yorumlama ve işlem süreçlerini gerektirmektedir.

Ortalama sehim için elde edilen normal kuvvetlerin yorumlanmasında uygulanan yaklaşıma benzer şekilde son üç makara aralığındaki kütle verisinin ortalaması Şekil 6.9'da görüldüğü gibi elde edilir. Bu değer konveyörün bir makara aralığında bulunan ortalama kütle miktarını ifade etmektedir. Bu veri kullanılarak konveyör kapasitesinin hesaplanması mümkündür.



Şekil 6.9 DEM sonucu elde edilen toplam kütle değerinin son üç makara aralığı için ortalamasının alınması

Konveyörün bir makara aralığının uzunluğu Şekil 6.10'da gösterildiği gibi 300mm'dir. Bulunan ortalama toplam kütle, makara aralığı uzunluğu ve konveyör hızı parametreleri kullanarak her açı için numerik konveyör kapasitesi hesabı Eşitlik 6.1'daki gibi yapılabilir. Burada kapasitenin birimi kg/s olarak elde edilmektedir.



Şekil 6.10 Bir makara aralığı verileri ile konveyör kapasitesinin bulunması

$$Numerik\ Kapasite\ \left(\frac{kg}{s}\right) = \frac{Makara\ aralığındaki\ kütle\ (kg)}{Makara\ aralığı\ uzunluğu\ (m)}.Konveyör\ hızı\ \left(\frac{m}{s}\right) \quad (6.1)$$

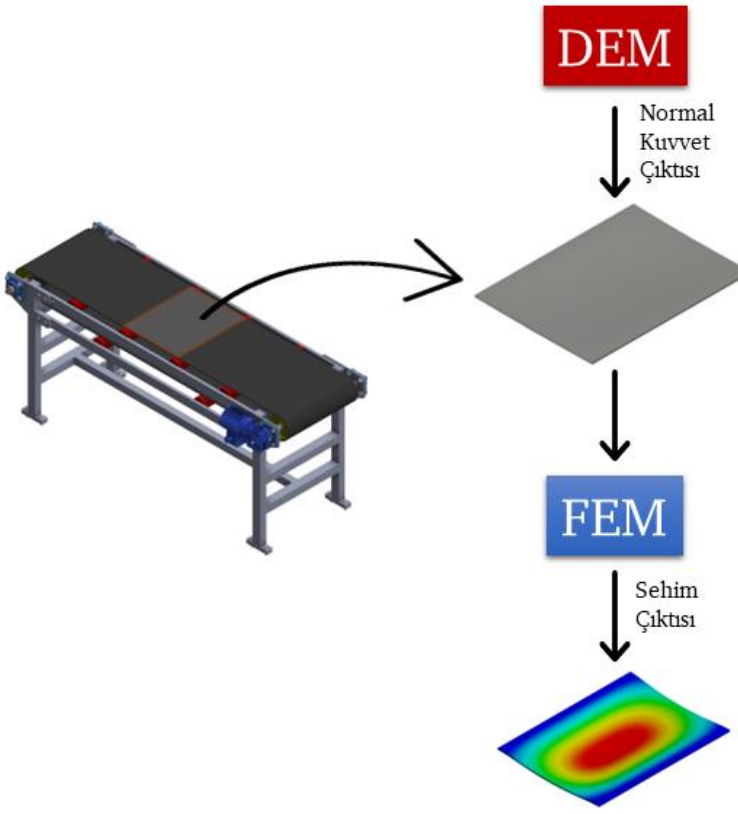
Teorik yöntemde eğimli konveyörlerin kapasiteleri eğim faktörü (k) uygulanarak bulunmuştu. Görüldüğü üzere numerik yöntemde ise konveyör kapasiteleri herhangi bir eğim faktörü gerekmeksizin elde edilebilmektedir. Burada teorik kapasitelerin bulunmasının tam tersi olan bir yaklaşımla çalışmadaki konveyör tasarımına özgü eğim faktörü değerleri bulunabilir. Bunun için numerik eğimli konveyör kapasitesinin, düz konveyör kapasitesine Eşitlik 6.2.'deki gibi bölünmesi yeterli olmuştur. Bu eşitlik her konveyör açısı için uygulanarak bulunan bu değerler ile konveyörün tasarıma özel eğim faktörü tablosu oluşturulacaktır.

$$Tasarıma\ Özel\ Eğim\ faktörü\ (k) = \frac{Eğimli\ konveyörün\ kapasitesi\ (numerik)}{Düz\ konveyörün\ kapasitesi\ (numerik)} \quad (6.2)$$

7
SONLU ELEMANLAR METODU (FEM) MODELİ

Sonlu elemanlar yöntemi (Finite Element Method) (FEM), malzemenin sonlu elemanlar olarak adlandırılan parçalara bölündüğü ve her bir elemanın davranışının hesaplanarak bütün malzemenin davranışının elde edilmesini sağlayan, bu yönüyle gerçekçi malzeme davranışını simülasyon ile elde edebilen bir mühendislik yöntemidir. İlk kez Courant tarafından kullanılmış olup, Turner tarafından ise geliştirilmiştir [26].

Bu çalışmada FEM simülasyonları için ANSYS™ 2019 kullanılmıştır ve yöntem ile yalnızca bant sehimlerinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. FEM analizinin akış şeması Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Burada görüleceği üzere DEM'den aktarılan veri kullanılarak, yalnızca sehim miktarı ve sehimli geometri elde edilmektedir.



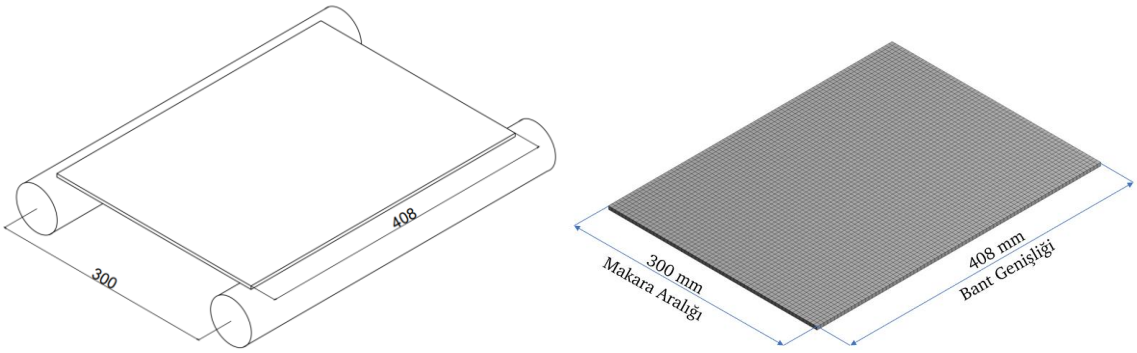
Şekil 7.1 FEM analizinin akış şeması

7.1 FEM Modelinin Oluşturulması

FEM modeli oluşturulurken konveyör bandının maruz kaldığı yüklerin gerçeğe uygun şekilde belirlenmesi doğru bir simülasyon yapılabilmesi için önemlidir. Bir bantlı konveyörde bant gerilmesi ile sehim arasında doğrudan ilişki bulunmaktadır. Böyle bir davranışın doğru bir şekilde modellenebilmesi FEM modellemesinin en zorlayıcı kısmı olmuştur.

7.1.1 Bant Geometrisinin Modellenmesi

Konveyörün üst kısmında beş adet makara aralığı bulunmaktadır. FEM modeli her bir makara aralığındaki sehim miktarını ayrı ayrı bulabilmek ve modeli basitleştirmek için yalnızca tek bir makara aralığı şeklinde oluşturulmuştur. Böylece uygulanan normal kuvvet verisi ile o makara aralığındaki sehim miktarının bulunabilmesi mümkün olmuştur. Modelde makara aralığının gösterimi ve oluşturulan bandın boyutları Şekil 7.2'de verilmiştir. Burada görüldüğü üzere bant geometrisinin uzunluğu 300 mm (makara boşluğuna eşit) ve genişliği 408 mm'dir (bant genişliğine eşit). Bant kalınlığı ise tasarımda belirtildiği gibi 4,6mm'dir.



(a) (b)

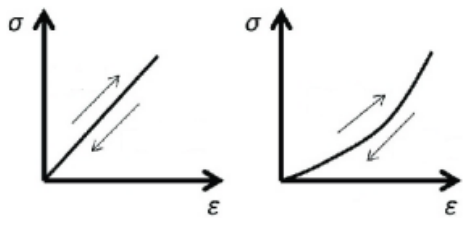
Şekil 7.2 FEM modeli için bant geometrisinin oluşturulması a) Makaralar ve makara aralığı b) FEM modelinde kullanılan bant geometrisi

7.1.2 Analiz Tipinin Belirlenmesi

ANSYS yazılımında statik, dinamik, termal, titreşim gibi çeşitli analiz tipleri bulunmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken, arzu edilen sonuç çıktısı ve incelenen parçanın bulunduğu şartlardır. Bu çalışmada kum taşıyan bantlı konveyörün yük kaynaklı olarak düşey deformasyonu olan sehiminin FEM analiziyle elde edilmesi araştırılacaktır, dolayısıyla bir yapı analizi yapılması gerekmektedir. Burada zamanla değişen ve zamanla değişmeyen yapı analizleri karşımıza çıkmaktadır. Bant üzerine yük uygulandığında bant sehimi anlık olarak meydana gelmektedir. Aynı şartlarda stabil şekilde çalışan bir konveyörde sehim değeri kayda değer ölçüde değişiklik göstermez [11,13]. Bu nedenden ötürü statik bir analiz bant sehimi elde etmek için yeterli olacaktır. Analiz tipi statik yapı analizi (static structural) olarak belirlenmiştir.

7.1.3 Doğrusal Olmayan (non-lineer) Malzeme Davranışı

Doğrusal olmayan (Non-lineer) malzemeler, çekme veya baskılama kuvvetinin etkisi malzemenin deformasyonuna bağlı olarak değişen malzemeleri ifade etmektedir [27]. Non-lineerlik gerilme-uzama (stress-strain) ilişkisi lineer olmadığında gözlemlenir [28], ve bu yaklaşımın büyük deformasyon gözlemlenen modellerde uygun olduğu belirtilmiştir [27]. Şekil 7.3'te görüldüğü üzere, lineer bir grafikte kuvvet arttıkça uzama miktarı da sürekli artmaktadır, non-lineer grafikte ise bu artışın doğrusal olmadığı ve eğriselleştiği görülmektedir. Bir konveyör bandının da non-lineer davranış gösterdiği düşünülebilir. Bant gerilmesi arttıkça bant uzamaktadır ancak bu uzama, kuvvet arttıkça zorlaşmaktadır. Bu yönüyle bandın non-lineer olarak modellenmesi gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmesi için uygun olacaktır.



(a) (b)

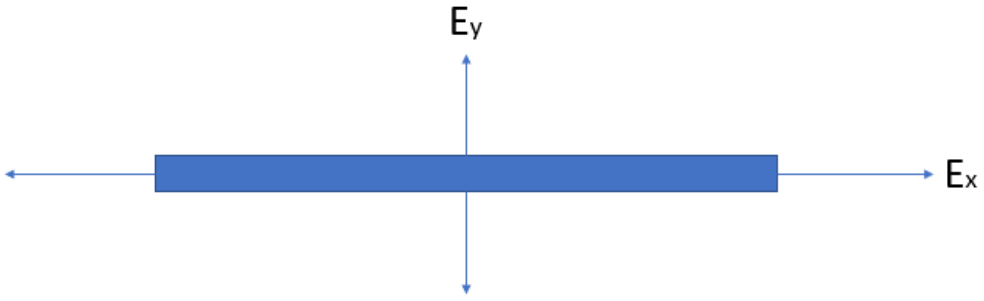
Şekil 7.3 Malzemenin gerilme-uzama eğrisi a) lineer malzeme davranışı b) non-lineer malzeme davranışı [29]

Non-lineer analiz, boyuna uygulanan çekme kuvvetin, bandın düşey direncini artırabildiği bir modeli simülasyona tabi tutmayı mümkün kılmıştır, bunun sayesinde bant gerilmesi arttıkça sehim miktarı azalacaktır ve bu davranış da başarılı şekilde modellenebilmiştir.

ANSYS yazılımında non-lineer analizin aktif edilebilmesi için, büyük yüklerin (large load) aktif edilmesi gerekmektedir, bu özellik tanımlandığında non-lineer analiz aktif olacaktır.

7.1.4 Bant Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması

Malzeme özelliklerinin doğru tanımlanması özellikle bantlı konveyörler için oldukça önemli ve dikkat gerektiren bir husustur. Bant malzemesi davranışı gereği bir ekseninde uygulanan bant gerilmesi, diğer eksenindeki düşey dayanımını etkilemektedir. Böyle bir davranışın modellenebilmesi için non-lineer yaklaşımın yanında malzeme özelliklerinin de özel olarak ortotropik (orthotropic) olarak tanımlanması gerekmektedir. Ortotropik malzeme özellikleri yatay ve düşey eksenlerinde farklı dayanım değerlerini belirtmektedir. Bantlı konveyörlerde sehim dikkate alındığında, yapılan diğer çalışmalarda da bant özelliklerinin ortotropik olarak tanımlandığı görülmüştür [11,13]. Dolayısıyla bu çalışmada da uygun bir modellemenin yapılabilmesi için malzeme özellikleri ortotropik olarak tanımlanmıştır. Ortotropik malzemenin farklı eksenlerindeki elastisite modülü Şekil 7.4'teki gibidir.



Şekil 7.4 Ortotropik malzeme özelliğinde enine ve boyuna elastisite modülleri

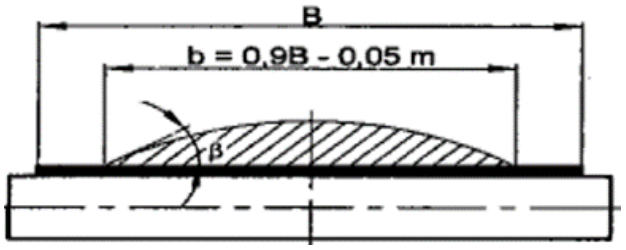
Konveyör bantlarında malzeme özellikleri değişkenlik gösterebilmekle birlikte genellikle Poisson oranının 0,49, boyuna ve enine elastisite modülünün ise sırasıyla 40 MPa ve 20 MPa olduğu belirtilmiştir [30]. Bu çalışmada FEM modelinde tanımlanan malzeme özellikleri Wheeler ve diğerlerinin yaptığı çalışmada kullanıp belirtmiş oldukları malzeme özellikleri olacaktır ve Tablo 7.1'de bu özellikler gösterilmiştir [11].

Tablo 7.1 FEM modelinde bant için tanımlanan malzeme özellikleri [11]

Özellik	**Değer**
Boyuna Elastisite Modülü, E_1 (MPa)	24,6
Enine Elastisite Modülü, E_2 (MPa)	19,1
Poisson Oranı	0,49
Rijitlik Modülü, G_{12} (MPa)	6,9
Bant Yoğunluğu, ρ (kg/m^3)	1400

7.1.5 Kuvvetlerin Uygulanması

Bantlı konveyörlerde yığma malzeme tüm bant yüzeyine eşit yayılmış olarak değil, Şekil 7.5'teki gibi bant genişliğinden yaklaşık %10 daha küçük olan bir bölgede taşınmaktadır. Bu durum deformasyon profilini çok büyük oranda etkileyeceğinden FEM modelinde dikkate alınması oldukça önemlidir. Bu çalışmada da bu alana dikkat edilmiş ve kum kuvveti yalnızca bu alana uygulanacak şekilde nodal kuvvet (nodal force) olarak belirlenmiştir.

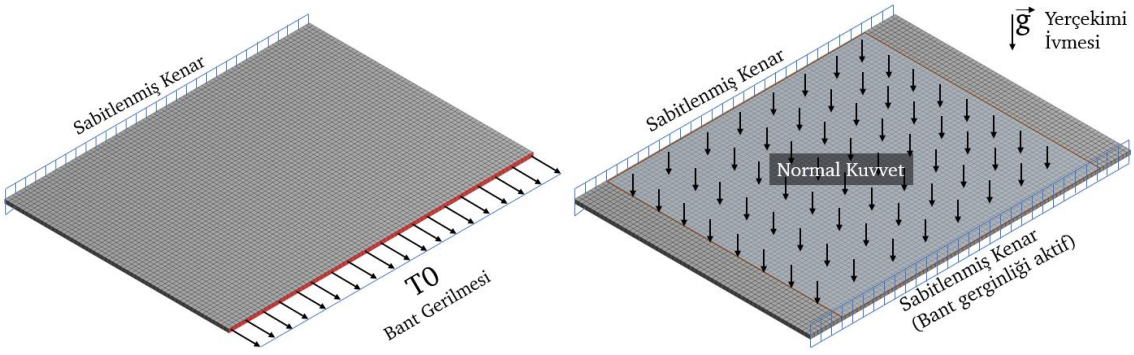


Şekil 7.5 Yığma malzemenin bant üzerinde dağılımı [23]

Bantlı konveyörlerin yüklerinin doğru şekilde modellenebilmesi için gerçek bir konveyör bandında yüklerin uygulanma şekli dikkate alınmalıdır. Pratikte önce bant gerginliği oluşmakta, sonrasında ise yığma malzemenin ağırlığı bant yüzeyini etkilemektedir. Bu yönüyle bakıldığında iki farklı adımdan oluşan yüklenme durumu söz konusudur. FEM modellemesinde buna dikkat edilmesi gerçekçi bir sonuç elde etmek için gereklidir. Bu nedenle, iki adımlı (two-steps) bir modelleme yapılacaktır.

Bant gerilmesinin uygulanabilmesi için bir bant kenarı sabitlenmiş iken diğer bant kenarı serbest olacak şekilde modellenmeli ve bant gerilmesi bu kenara uygulanmalıdır, böylece sabitlenen kenar sayesinde bant gerilebilecektir. Bu gergi kuvvetinin uygulandığı serbest kenar ikinci adımda kum kuvveti uygulanabilmesi için sabitlenecektir. Her adımda farklı şartları bulunması nedeniyle bu bant kenarına isim ataması yapılmıştır (named selection). Böylece bu isimlendirilmiş yüzeye APDL komutu [31] uygulanmıştır. Bu sayede birinci adımda çekme kuvveti uygulanan yüzeyin serbestlik derecesi ikinci adımda sıfırlanmış ve düşey yönde hareketi kısıtlanmıştır. Bu şekilde ikinci adımda kum kuvvetinin banda uygulanması mümkün olmuştur.

İkinci adım olarak, iki kenarı sabitlenmiş banda yerçekimi ve DEM analizinden elde edilen normal kuvvet değerleri uygulanacaktır. Analiz sonuçlarında sehim değeri düşey eksendeki deformasyon miktarı (y-directional deformation) olarak kabul edilmiş ve değerlendirilmiştir. FEM modelinde banda uygulanan yüklerin her iki adımı da Şekil 7.6'da gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 7.6 Oluşturulan iki adımlı FEM modeli a) birinci adım b) ikinci adım

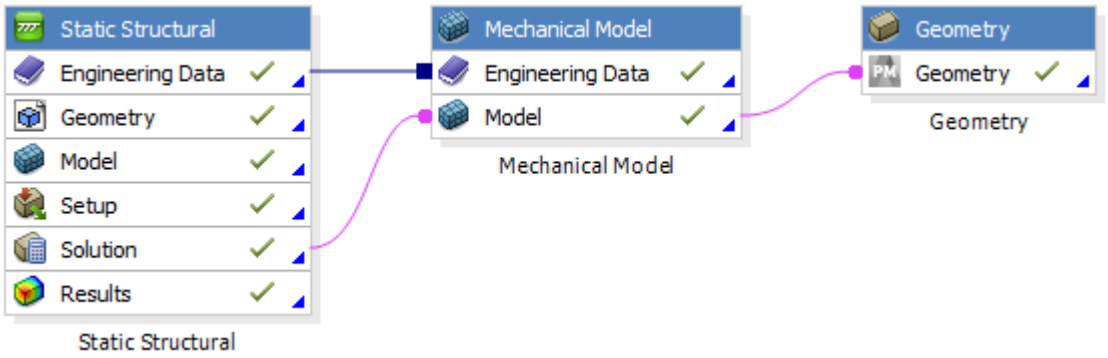
7.2 FEM Analizi Sonuçlarının Elde Edilmesi

Çalışmada makara aralıklarının mevcut şartlar için sahip olduğu sehim miktarı ve sehimli geometrisi FEM analizinden elde edilmesi arzu edilen veridir. Bu bölümde birbirinden farklılık gösteren iterasyon sürecindeki ortalama sehim ve çalışma sonunda elde edilen her makara aralığına özel sehim değerlerinin elde edilmesi anlatılacaktır.

7.2.1 İterasyon İçin Ortalama Numerik Sehimin Dışa Aktarımı

Çalışmada FEM ve DEM arasında Bölüm 8'de detaylı şekilde anlatılacağı üzere tekrarlı veri aktarımı ile bir iterasyon ilişkisi kurulacaktır. Dolayısıyla FEM analizinden elde edilen sehim içeren deforme geometrinin her bir iterasyonda bulunması gerekmektedir. Şekil 6.1'de gösterilen yöntem ile elde edilmiş olan iterasyon bazında ortalama normal kuvvet değeri FEM modeline uygulanacaktır. Böylece her bir konveyör için iterasyon başına ortalama sehim bulunacaktır. Elde edilen sehimli geometri ise ANSYS yazılımından dışa aktarılacaktır.

Sehimli geometrinin dışa aktarımı için Şekil 7.7'de görüleceği gibi proje şematiği oluşturulmuştur. ANSYS yazılımında simülasyon sonunda elde edilen analiz sonucu, mekanik model ve geometri olarak bağlanmış ve böylece Şekil 7.8'deki gibi sehimli geometrinin elde edilebilmesi mümkün olmuştur. Dışa aktarım için .step formatı tercih edilmiştir.



Şekil 7.7 Geometrinin dışa aktarılabilmesi için oluşturulan proje şematiği



Şekil 7.8 Dışa aktarılan sehimli bir makara aralığı geometrisi

7.2.2 Tüm Makara Aralıkları İçin Numerik Sehimlerinin Elde Edilmesi

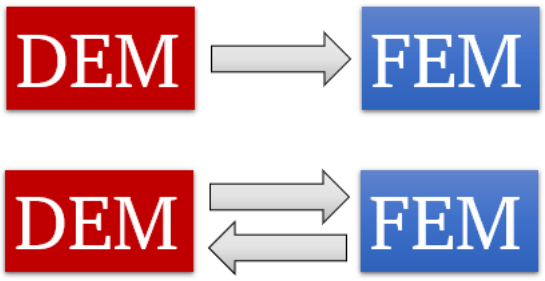
Bölüm 6.2.2'de bahsedilen iterasyon boyunca ortalama normal kuvvet ile elde edilen ortalama sehim değerinden farklı bir yaklaşımla her bir makara aralığındaki sehimin bulunması amaçlanmıştır. FEM ve DEM arasındaki veri aktarımının iterasyonu sonlandığında her bir makara aralığı için normal kuvvet verileri elde edilmiştir. Çalışmanın son basamağı olarak bu normal kuvvet değerleri oluşturulan FEM modeline uygulanacak ve tüm konveyörler için her bir makara aralığındaki numerik sehim miktarları elde edilecektir.

8
FEM/DEM VERİ AKTARIMI VE İTERASYONU

Çalışmada farklı eğimlerdeki konveyörlerin numerik sehim ve kapasitelerinin DEM ve FEM kullanılarak bulunması amaçlanmıştır. İki farklı yöntemi birden kullanarak sonuç bulunacağı için bu iki yöntem arasında veri aktarımı söz konusudur. Çalışmada bu yöntemler arasındaki veri aktarımı tekrarlanmış ve bir iterasyon döngüsü oluşturulmuştur. Bu bölümde öncelikle yöntemlerin veri aktarımı, sonrasında ise iterasyon döngüsünün adımlarından detaylı olarak bahsedilecektir.

8.1 FEM ve DEM Arası Veri Aktarımı

DEM ve FEM arasında veri aktarımı Şekil 8.1'de gösterildiği gibi bir kez veya birden fazla kez yapılabilmektedir. Bantlı konveyörlerde bu yollarla bant deformasyonunun araştırıldığı çeşitli çalışmalar mevcuttur [10-14].



Şekil 8.1 DEM ve FEM arası veri aktarımı

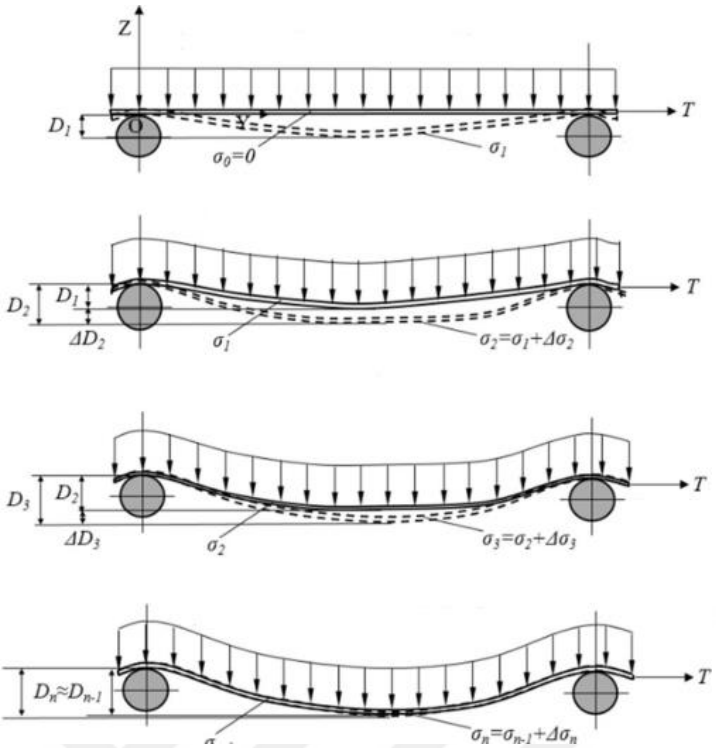
Veri aktarımı bir kez yapıldığında genellikle DEM sonuçları FEM modeline uygulanmakta ve deformasyon sonuçları elde edilmektedir. Burada her iki yöntemle de bir kez simülasyon yapılmakta olup, görece hızlı ve basit bir yöntem olduğu söylenebilmektedir. Bu yöntemin en zayıf noktası ise DEM modelindeki bant profilinin gerçeğe aykırı bir biçimde düz olmasıdır.

Birden fazla kez veri aktarımı yapıldığında ise her iki yöntemde de birden fazla kez simülasyon yapılması söz konusudur. Dolayısıyla daha karmaşık ve zaman alan bir yaklaşım olduğu söylenebilir. Ayrıca burada sehim içeren bant profili de DEM analizine dahil edilebilmektedir. Bu yönüyle gerçeğe daha yakın bir yaklaşımdır.

Bu çalışmada FEM ve DEM arasında veri aktarımı bir iterasyon döngüsü şekilde birden fazla kez tekrarlanacaktır. DEM'den elde edilen normal kuvvet verileri yorumlanarak FEM'e aktarılmıştır. FEM'den elde edilen sehim geometrisi ise .step formatında dışa aktarılacaktır. FEM modeli tek bir makara aralığından oluşmaktayken DEM modeli bütün bir bant yüzeyinden meydana gelmektedir. Bu nedenle burada tek makara aralığı şeklinde elde edilen deforme geometriler bütün bir bant yüzeyine dönüştürülmüştür

8.2 İterasyon Döngüsü

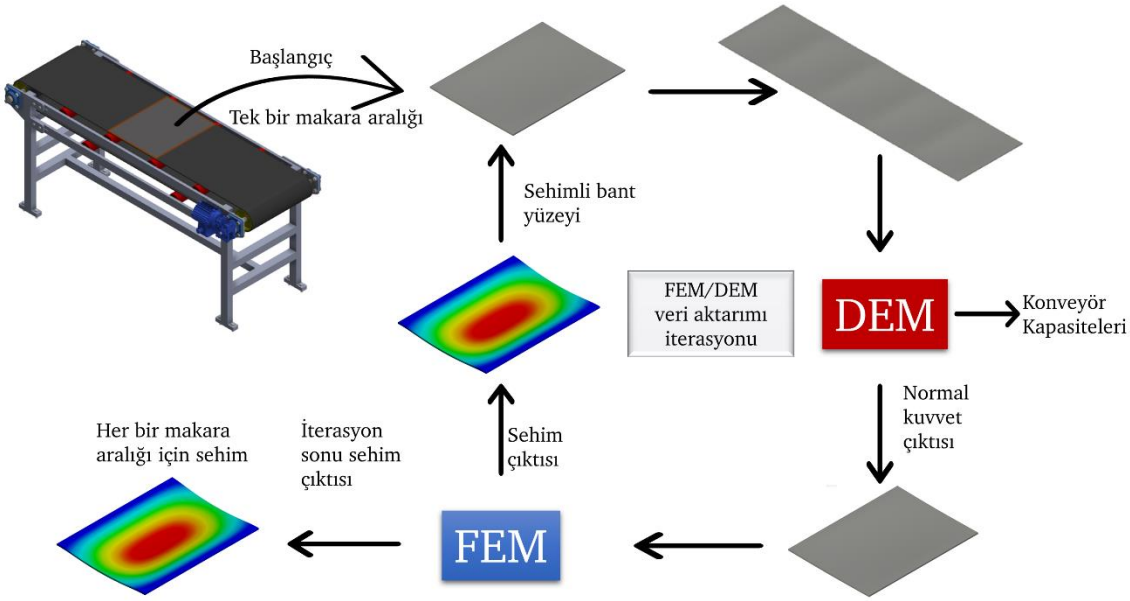
DEM ve FEM arasındaki veri aktarımının tekrarlanması ve her seferinde elde edilmiş yeni sehimli geometrinin DEM modeline uygulanması ile bir iterasyon döngüsü oluşturulmuştur. Burada her bir iterasyon DEM ile başlayıp, FEM'de sehimin elde edilmesiyle sonlanmıştır. Sehimli bant geometrisinin DEM analizinde sonuçlarda farklılık olacağı beklentisi ile İterasyon yapılmasının başlıca nedenidir. İterasyon yapılmasının başka bir nedeni de konveyörün gerçek sehimli bant profilini elde etmek, bu profil için DEM analizi ile nihai sonuçları her bir makara aralığı için bulmaktır. Şekil 8.2 bu iterasyon sürecinin sehim üzerindeki etkisini göstermektedir. Burada görüleceği üzere iterasyon adımı ilerledikçe sehim değeri artmakta ve bir noktada kararlı hale gelmektedir.



Şekil 8.2 İterasyon boyunca sehim değerinin artması [13]

Bu çalışmada ilk adımda sehim içermeyen düz bant profilleri DEM simülasyonuna tabi tutulmuştur. Elde edilen ilk normal kuvvet verileri sonrasında FEM modeline aktarılmıştır. Burada elde edilen sehimli bant profili DEM'e yeni bant profili olarak aktarılmış ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. İkinci DEM simülasyonunda elde edilen güncel normal kuvvet verisi tekrar FEM modeline aktarılmıştır. Bu işlemler bir iterasyon döngüsü şeklinde tekrar edilmiştir. Normal kuvvet değerlerindeki artış miktarı ihmal edilecek ölçüde azaldığında iterasyon sonlandırılmış ve kararlı hale ulaşıldığı kabul edilmiştir.

Bu işlemlerin şematiği Şekil 8.3'teki gibidir. Burada görüleceği üzere. Ayrıca konveyör kapasiteleri için gerekli kütle verisi her iterasyonda DEM simülasyonu sonucu elde edilmiştir.



Şekil 8.3 DEM ve FEM arası veri aktarımının iterasyon döngüsünün şematiği

9
TARTIŞMA

9.1 Numerik Normal Kuvvetler

Bir bantlı konveyörde malzemenin taşınması sırasında taşınan malzemenin ağırlığından kaynaklı olarak bant yüzeyine normal kuvvet uygulanmaktadır. Bu kuvvet bant sehimini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle normal kuvvetlerin elde edilmesi çalışma açısından büyük öneme sahiptir.

Tablo 9.1'de her makara aralığındaki tüm numerik normal kuvvetler her bir iterasyon için ayrı ayrı gösterilmiştir. Son dört makara aralığındaki normal kuvvetler her iterasyonda artış göstermiştir. Bunun dışında ilk makara aralığında düzenli bir artış yerine normal kuvvetlerin belirli bir değer aralığında artıp azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun başlıca nedeni oluktan malzemenin doğrudan bu makara aralığına dökülmesi ve buradaki normal kuvveti asıl belirleyen etmen olmasıdır. Tabloda aynı zamanda numerik normal kuvvetlerin son üç makara aralığındaki ortalaması da verilmiştir. Burada görüleceği üzere tüm ortalama normal kuvvetler artış göstermektedir.

Tablo 9.1'de görüleceği üzere elde edilen diğer bir sonuç ise konveyör açısının artmasıyla, bantlara uygulanan normal kuvvetin azalmasıdır. Bunun bir nedeni bant eğiminden kaynaklı olarak normal kuvvetin uygulandığı dik yüzeyin azalması, bir diğer nedeni de malzeme geri kaçmasından ötürü azalan konveyör kapasitesi ve buna bağlı olarak azalan kütle miktarıdır. Ancak birinci ve ikinci makara aralıklarında normal kuvvet ile eğim açısı arasında bir ilişki görülmemektedir. Bunun başlıca nedeni, bu makara aralıklarının malzemenin konveyöre döküldüğü ilk temas noktalarında bulunmalarından ötürüdür. Bu temas sonucu yüksek momentumlu parçalar, birinci ve ikinci bantlarda yüksek kuvvetler gözlemlenmesine sebep olmuştur.

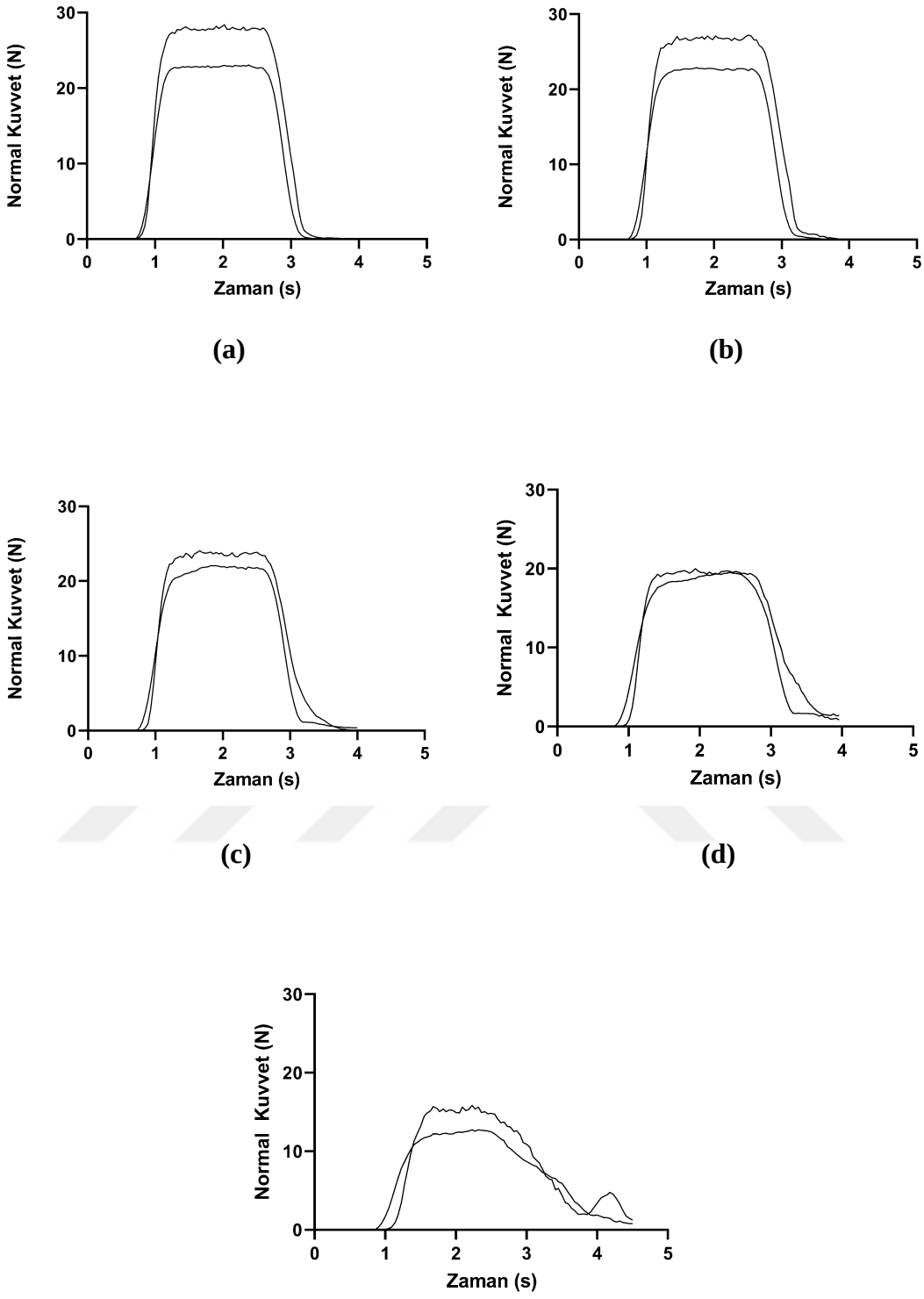
Tablo 9.1 Her konveyör açısı için her iterasyonda numerik normal kuvvet sonuçları ve son üç makara aralığının ortalaması

Konveyör Açısı	İterasyon	Normal Kuvvetler Makara Aralığı 1 (N)	Normal Kuvvetler Makara Aralığı 2 (N)	Normal Kuvvetler Makara Aralığı 3 (N)	Normal Kuvvetler Makara Aralığı 4 (N)	Normal Kuvvetler Makara Aralığı 5 (N)	Normal Kuvvetler (3,4,5'in ortalaması) (N)
0°	0	24,40	23,05	23,00	23,00	23,00	23,00
	1	28,00	26,85	23,55	25,45	25,35	25,45
	2	27,10	28,50	26,80	26,80	26,70	26,77
	3	28,00	29,05	27,45	27,30	27,25	27,33
	4	28,25	29,05	27,55	27,70	27,30	27,52
5°	0	25,30	23,50	22,66	22,66	22,76	22,70
	1	30,75	26,70	25,45	24,70	24,85	25,00
	2	30,15	27,15	25,95	25,65	25,45	25,70
	3	31,35	27,65	26,60	26,35	26,25	26,40
	4	31,60	27,75	26,70	26,40	26,15	26,42
10°	0	23,55	25,50	21,65	21,55	21,65	21,60
	1	26,30	28,60	23,90	22,90	22,80	23,20
	2	27,48	28,70	24,15	23,40	22,95	23,50
	3	26,60	28,70	24,25	23,40	23,00	23,55
	4	27,50	28,60	24,30	23,50	22,90	23,57

Tablo 9.1 Her konveyör açısı için her iterasyonda numerik normal kuvvet sonuçları ve son üç makara aralığının ortalaması (devamı)

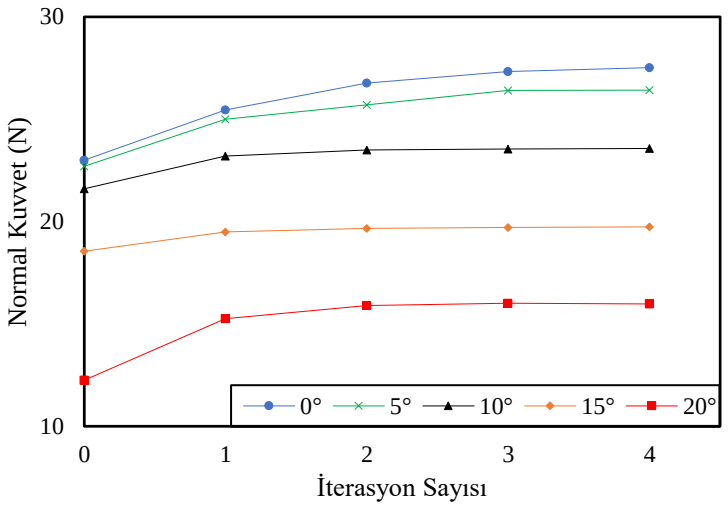
15°	0	32,30	23,00	18,54	18,54	18,56	18,55
	1	31,60	24,30	20,40	19,12	18,91	19,50
	2	31,60	24,75	20,65	19,34	19,05	19,67
	3	32,05	24,70	20,65	19,40	19,13	19,72
	4	31,90	24,75	20,65	19,48	19,08	19,74
20°	0	29,70	27,20	13,35	12,01	11,55	12,25
	1	29,10	30,45	17,09	14,76	13,91	15,25
	2	29,20	30,67	18,02	15,19	14,44	15,90
	3	30,00	30,65	18,30	15,36	14,38	16,01
	4	28,40	31,10	17,91	15,37	14,65	15,98

Şekil 9.1'de ise tüm konveyör açıları için dördüncü makara aralığındaki normal kuvvet değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Bu gösterimde dördüncü makara aralığının seçilmesinin başlıca nedeni son üç makara aralığının ortalamasına en yakın değere sahip olmasıdır. Burada tüm yüksek değerler son iterasyondaki normal kuvvet değerleri, düşük değerler ise başlangıçta elde edilen normal kuvvet değerleridir. Burada görüleceği üzere, iterasyon süreci sonucunda tüm konveyörler için normal kuvvetler ciddi oranda artmıştır. Ayrıca numerik normal kuvvetlerindeki bu artışın düşük açılarda daha yüksek oranda olduğu da gözlemlenmektedir.



Şekil 9.1 Konveyörlerde dördüncü makara aralığında başlangıç ve iterasyon sonu sonuçlarının kıyaslanması a) düz konveyör b) 5° eğimli konveyör c)10° eğimli konveyör d)15° eğimli konveyör e)20° eğimli konveyör

Şekil 9.2'de tüm konveyör açıları için her bir iterasyonda elde edilen normal kuvvet değerleri gösterilmiştir. Burada görüleceği üzere iterasyon boyunca normal kuvvetler sürekli bir şekilde artış göstermiştir. Bu artış miktarı sürekli azalarak dördüncü iterasyonda son bulmuştur ve kararlı bir duruma ulaşılmıştır. Bu nedenle bulunan sehim değeri için konveyörün kararlı bant yüzeyi profilinin elde edildiği kabul edilebilir. Bu noktada DEM analizinden elde edilecek normal kuvvet sonuçları, gerçeğe en yakın sonuçlar olacaktır.



Şekil 9.2 Numerik normal kuvvetlerin iterasyona bağlı değişimi

Çalışmada DEM analizinde düz bir bant profili yerine sehimli bir bant profilinde kullanıldığında normal kuvvette değişiklik olması beklenmekteydi. Şekil 9.1, Şekil 9.2 ve Tablo 9.1'de tüm konveyör açıları için elde edilen ilk kuvvet değeri ile iterasyon sonunda elde edilen kararlı kuvvet değeri arasındaki farkın oldukça büyük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar çalışmanın amacıyla örtüşmektedir.

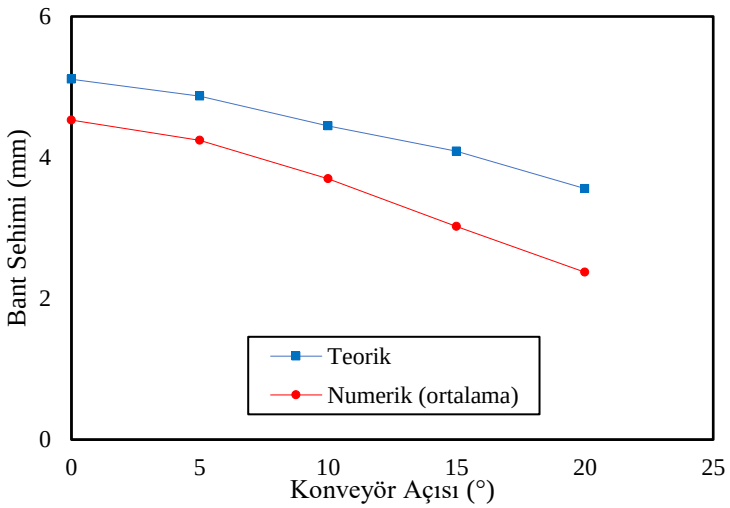
9.2 Teorik ve Numerik Sehim

Çalışmada bant sehimleri teorik ve numerik olarak bulunmuştur. Her bir makara aralığındaki normal kuvvet elde edildiği için her makara aralığındaki sehim miktarının numerik olarak bulunması mümkün olmuştur. Ancak teorik yöntemde bu mümkün değildir, dolayısıyla tüm konveyörü temsil eden genel bir teorik sehim değeri elde edilebilmiştir. Bu yüzden teorik sonuçlarla kıyaslama yapılabilmesi için numerik sonuçlardan son üç makara aralığının ortalaması Tablo 9.2'de gösterilmiştir. Her iki yöntemde de bant sehiminin makara aralığı uzunluğunun %2'sinden daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar %3'ü aşmadığı için konveyör tasarımını malzeme dökülmesi açısından emniyetlidir [1].

Tablo 9.2 Teorik ve numerik sehimin kıyaslanması ve sehim yüzdeleri

Konveyör Açısı	Sehim (Teorik)	% Sehim (Teorik)	Sehim (Numerik) (Ortalama)	% Sehim (Numerik) (Ortalama)
0°	5,11	1,70	4,531	1,51
5°	4,87	1,62	4,245	1,41
10°	4,45	1,48	3,698	1,23
15°	4,09	1,36	3,024	1,01
20°	3,56	1,18	2,374	0,79

Şekil 9.3'te teorik ve numerik sehim sonuçların karşılaştırılması gösterilmektedir. Burada gösterilen numerik sehim değeri son üç makara aralığının ortalamasıdır. Yöntemlerin sonuçlarında benzerlik görülse de tüm konveyör açıları için teorik sonuçlar ortalama numerik sonuçlardan daha yüksek bulunmuştur. Bu durum Wheeler ve diğerlerinin analitik model ile elde edilen değerleri daha yüksek bulduğu çalışma ile benzerlik göstermektedir [14].

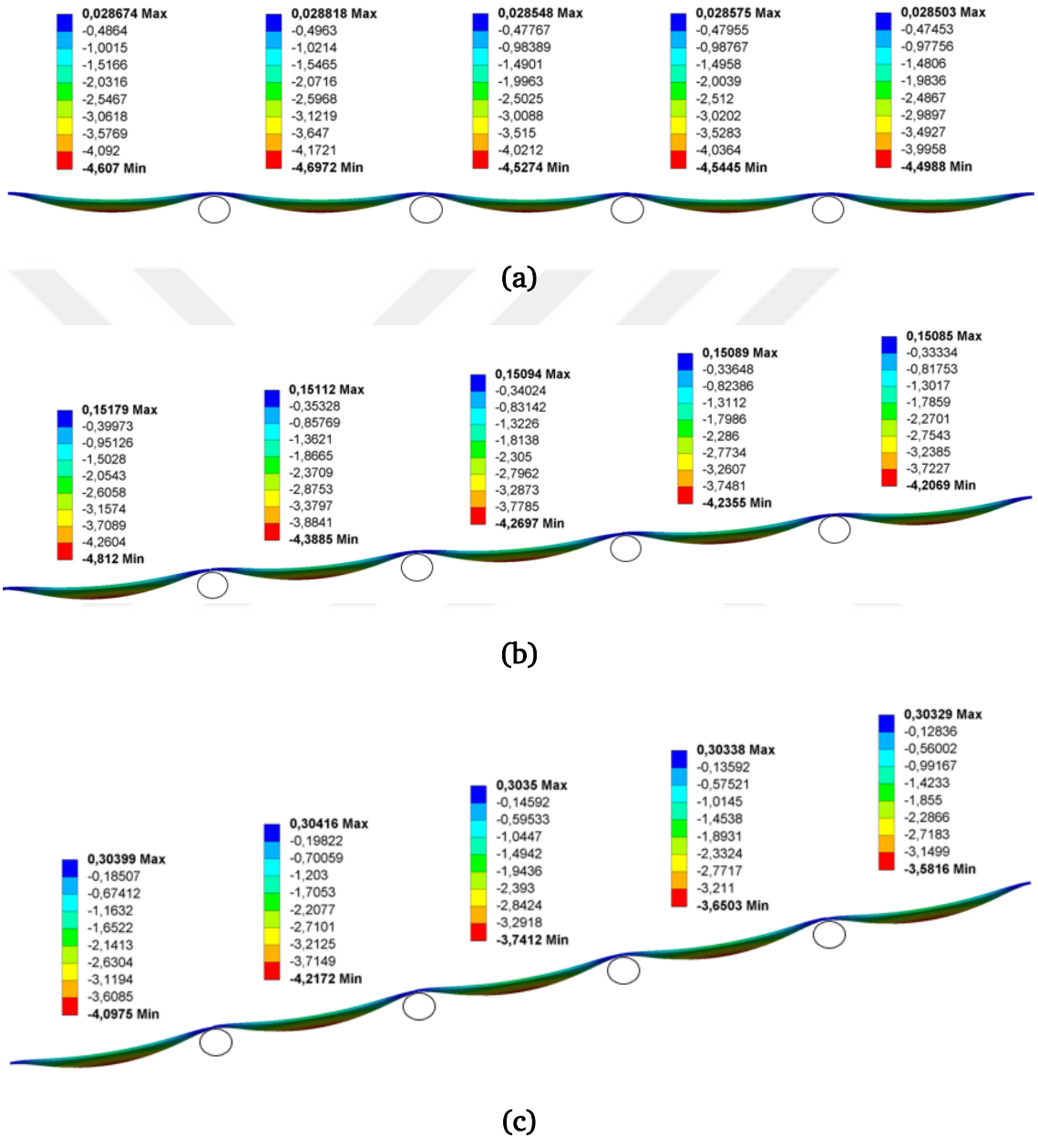


Şekil 9.3 Teorik ve numerik sehim değerlerinin kıyaslanması

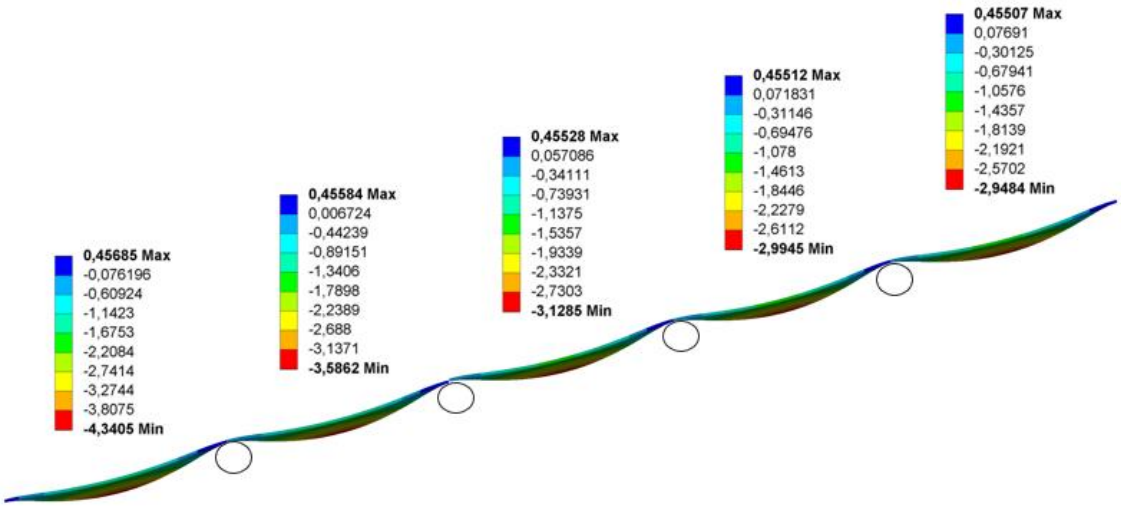
Şekil 9.4'te numerik yöntemle her makara aralığı için elde edilen nihai sehim değerleri tüm konveyör açıları için gösterilmektedir. Buradaki sehimler son iterasyonda DEM'de elde edilmiş nihai normal kuvvetlerin FEM modeline aktarılmasıyla elde edilmiştir. Numerik yöntemde her bir makara aralığındaki normal kuvvet değerleri bulunabildiği için sehimleri de makara aralığına özel olarak bulmak mümkün olmuştur. Eğimli konveyörlerde meydana gelen malzeme geri kaçması nedeniyle numerik sehimlerin son makara aralıklarında daha az olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla çalışmadaki eğimli konveyörlerde en az numerik sehim beşinci makara aralığındadır. Ayrıca şekilde görüleceği üzere birinci ve ikinci makara aralıkları en yüksek sehim miktarına sahiptir. Bunun nedeni bu makara aralıklarının oluktan dökülen malzeme ile ilk temas halinde bulunmasıdır.

En yüksek sehim değeri 4,82 mm olup 5° eğim açılı konveyörün ikinci makara aralığında gözlemlenmiştir. Bu değer 300 mm'lik makara aralığının %1,61'ine karşılık gelmektedir. Çalışmadaki tüm konveyörler içerisinde gözlemlenen en yüksek sehim yüzdesi budur. Bantlı konveyörlerde en fazla %3'e kadar sehim değerine izin verilmesi önerilmektedir [1]. Bu nedenle %1,61 sehim oranı bulunan 5° eğim açılı konveyör dahil, çalışmadaki tüm konveyörler sehim açısından güvenlidir ve makara aralığı malzemenin aşırı dökülmeden çalışabilmesi için emniyetlidir.

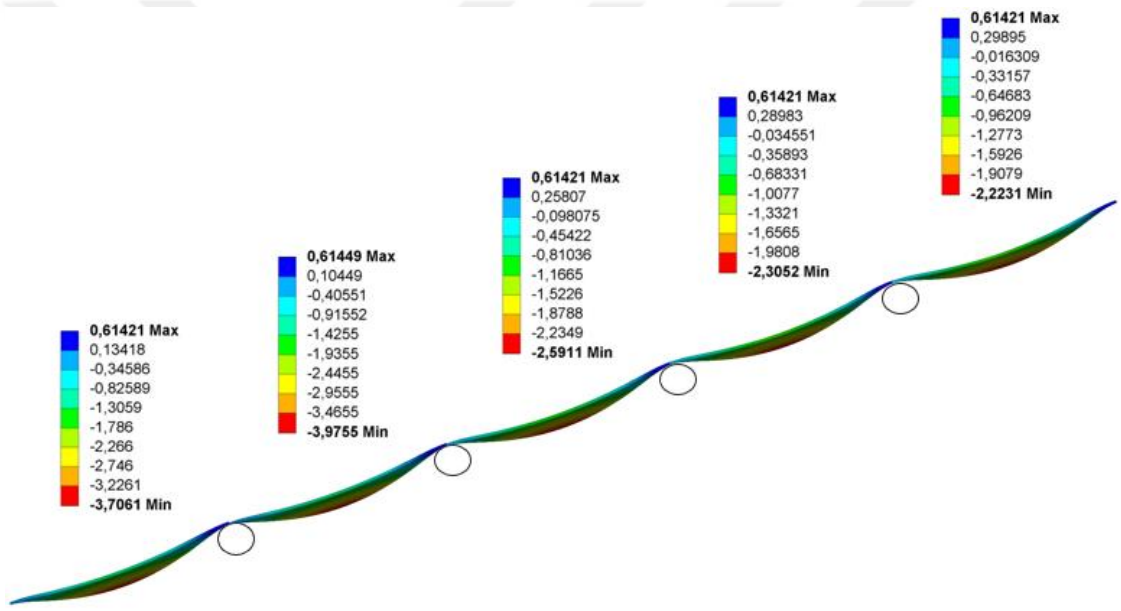
Numerik yönteminin Şekil 9.4'te görüldüğü üzere, her bir makara aralığı için sehim değeri bulmayı mümkün kılmakta ve oluk yüksekliğinin etkisini de sehim değerine yansıtabilmektedir. Bu özellik oluğun altındaki makara aralığında sehimin araştırıldığı uygulamalarda önem kazanmaktadır.



Şekil 9.4 İterasyon sonucu elde edilen her makara aralığındaki numerik bant sehimleri a) düz konveyör b) 5° eğimli konveyör c) 10° eğimli konveyör d) 15° eğimli konveyör e) 20° eğimli konveyör



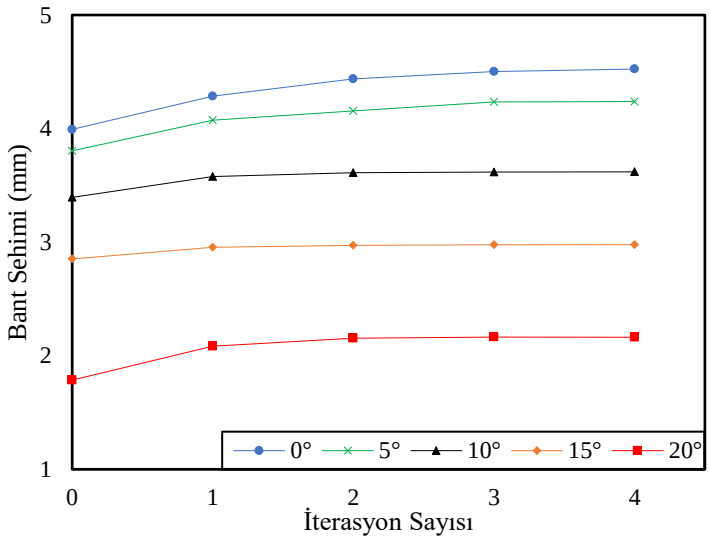
(d)



(e)

Şekil 9.4 İterasyon sonucu elde edilen her makara aralığındaki numerik bant sehimleri a) düz konveyör b) 5° eğimli konveyör c) 10° eğimli konveyör d) 15° eğimli konveyör e) 20° eğimli konveyör (devamı)

Çalışmanın amaçlarından birisi DEM ve FEM arasında tekrarlı veri aktarımı ile sehimli bir bant profilinin simülasyonu yapılmasının farklı açılardaki konveyörlerin sehimlerine olan etkilerinin incelenmesidir. Bu nedenle ortalama numerik sehim değerleri her iterasyon için elde edilmiş ve Şekil 9.5'te gösterilmiştir. İterasyon yapıldıkça sehimlerin de tıpkı normal kuvvetler gibi arttığı görülmektedir. Buradan görüleceği üzere tekrarlı veri aktarımı yapıldığında bant sehimlerde anlamlı bir artış görülmekte ve bu artış kararlı bir durum elde edilene kadar devam etmektedir. Bu sonuç FEM ve DEM arasında veri aktarımının tekrarlı bir şekilde iterasyon yöntemiyle yapılmasının, dolayısıyla düz bir bant profili yerine sehimli bir profilin simülasyonunun numerik sehimlerin elde edilmesindeki önemini vurgulamaktadır.

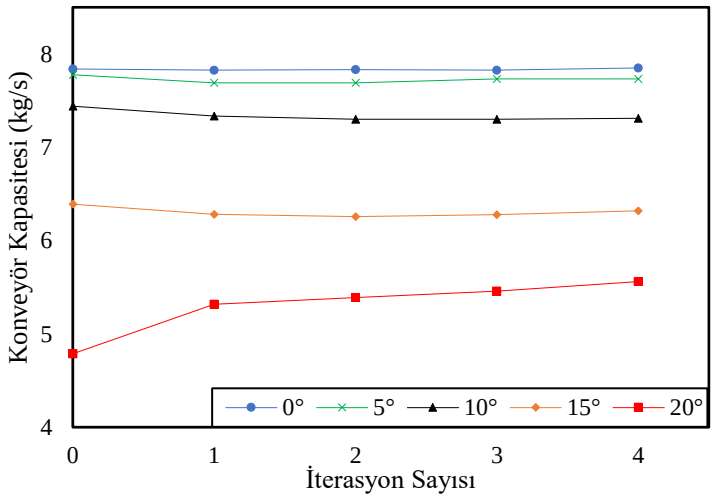


Şekil 9.5 Numerik bant sehimlerinin iterasyona bağlı değişimi

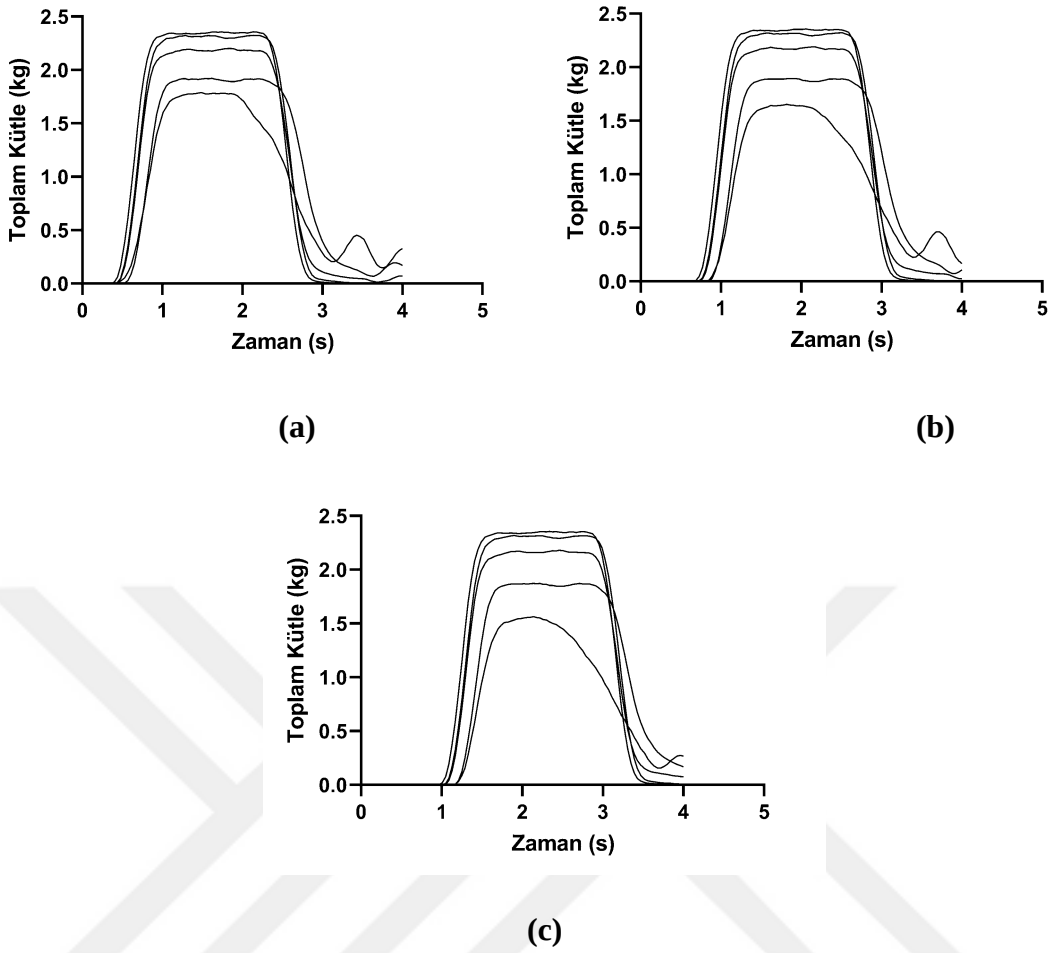
9.3 Teorik ve Numerik Konveyör Kapasiteleri

Çalışmada numerik konveyör kapasiteleri her iterasyon için Şekil 9.6'da gösterildiği gibi bulunmuştur. Burada görüleceği üzere 15° ve daha küçük açılar için konveyör kapasiteleri ihmal edilecek ölçüde az değişiklik göstermiştir ve burada düzenli bir artış veya azalış trendi bulunmamaktadır. Buradan anlaşılacağı üzere DEM ve FEM arasında tekrarlı veri aktarımının yani sehimli geometrinin

simülasyonunun düşük açılarda kapasite sonuçlarına bir etkisi bulunmamaktadır. Dolayısıyla düşük açılarda veri aktarımının tekrarlanmasının hatta FEM kullanılmasına gerek duyulmamaktadır. Örneğin, görseldeki iterasyon 0 sonuçları çalışmanın ilk basamağında yalnızca DEM simülasyonu kullanılarak elde edilmiş sonuçları ifade etmekte olup düşük açılarda diğer iterasyonda elde edilen sonuçlardan neredeyse hiç farklılık göstermemektedir. Tüm bunlardan farklı olarak çok yüksek bir konveyör açısına sahip olan 20° eğim açılı konveyörde kapasitenin iterasyona bağlı olarak büyük oranda ve düzenli bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. Bunun başlıca nedeni sehimli bir bant geometrisi kullanılmasının malzeme geri kaçmasının oldukça etkili olduğu çok yüksek konveyör açılarında bu etkiyi azaltması ve dolayısıyla konveyör kapasitesinde artışa sebep olmasıyla ilgilidir. Ayrıca bu malzeme geri kaçmasının etkisi de Şekil 9.7'de açık bir şekilde görülmektedir. Burada konveyör açısı arttıkça kapasite azalmaktadır.



Şekil 9.6 Numerik konveyör kapasitelerinin iterasyona bağlı değişimi



Şekil 9.7 Kütle miktarının eğime bağlı olarak değişimi a) üçüncü makara aralığı b) dördüncü makara aralığı e) beşinci makara aralığı

Konveyör kapasiteleri teorik ve numerik olarak elde edilmiş ve burada iterasyon sonunda elde edilen numerik kapasiteler teorik olarak bulunan değerler ile karşılaştırılmıştır. Birinci ve ikinci makara aralıkları oluktan dökülen malzeme ile ilk temas halinde olduğu için numerik yöntemde yalnızca üçüncü, dördüncü ve beşinci makara aralıkları dikkate alınmıştır Tablo 9.3'te bu makara aralıklarında bulunan kütle miktarını ve bunların ortalamasını göstermektedir. Numerik kapasiteler Bölüm 6.2.3'te anlatıldığı gibi bulunmuştur. Konveyör hızı 1m/s olduğu için bu ortalama kütle değerinin makara aralığı uzunluğuna bölünmesi yeterli olmuştur.

Tablo 9.3 Numerik konveyör kapasitelerinin elde edilmesi

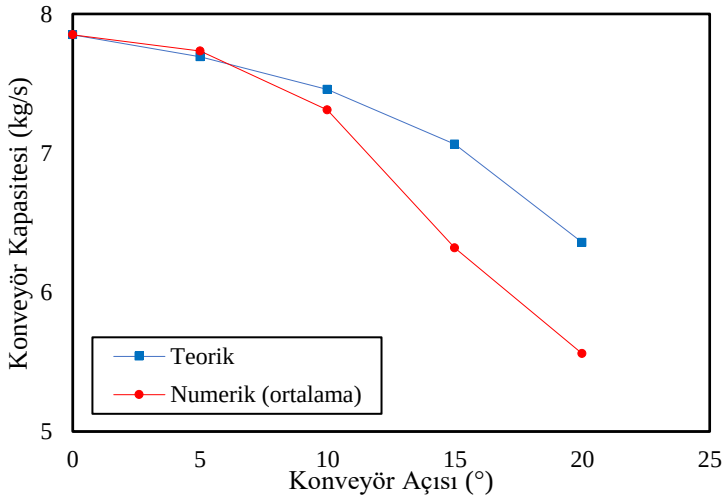
Konveyör Açısı	Makara Aralığı 3 Kütle (kg)	Makara Aralığı 4 Kütle (kg)	Makara Aralığı 5 Kütle (kg)	3-4-5 Ort. Kütle (kg)	Makara Aralığı (m)	Numerik Kapasite (Ort. kütle / mak. Aralığı) (kg/s)	Teorik Kapasite (kg/s)
0°	2,355	2,355	2,355	2,355	0,300	7,850	7,850
5°	2,320	2,320	2,320	2,320	0,300	7,733	7,693
10°	2,210	2,190	2,180	2,193	0,300	7,311	7,457
15°	1,921	1,894	1,872	1,896	0,300	6,319	7,065
20°	1,788	1,652	1,563	1,668	0,300	5,559	6,358

5° ve daha yüksek açılar için teorik kapasiteler numerik kapasitelerden daha yüksek bulunmuştur. Sonuçlardaki bu fark en çok 20° eğim açılı konveyördedir. Burada numerik kapasite 5,559 kg/s iken teorik kapasite 6,358 kg/s olarak bulunmuştur. Bunun dışında düz konveyörlerde her iki yöntemde de kapasite değerleri aynı bulunmuştur. Dolayısıyla iki yöntem düşük açılarda oldukça uyumludur

9.4 Konveyör Tasarımına Özel Eğim Faktörü (k)

Şekil 9.8'de görüleceği üzere teorik ve numerik kapasiteler konveyör açısı arttıkça farklılık göstermeye başlamıştır. Bu farklılığın başlıca sebebi teorik yöntemde eğimli konveyörlerin kapasitesini bulmak için kullanılan eğim faktörüdür (k). Burada kullanılan eğim faktörü değerleri teorik kapasite hesabında genel olarak kullanılan bir katsayıdır. Dolayısıyla teorik sonuçlarda gerçek sonuçlardan bir farklılık görülmesi beklenen bir sonuçtur. Bu nedenle çalışmada tasarıma özel eğim faktörü değerleri numerik kapasite yardımıyla Bölüm 6.2.3'te anlatıldığı gibi bulunmuştur. Burada iterasyonlar sonucu elde edilmiş nihai numerik kapasite değerleri kullanılmıştır. Bulunan tasarıma özel eğim faktörü teorik değerlerle karşılaştırılmalı şekilde Tablo 9.4'te verilmiştir.

Çalışmada elde edilen en yüksek eğim faktörü düz konveyör için 1,000 olarak, en düşük eğim faktörü ise 20° eğimli konveyör için 0,705 olarak bulunmuştur. Şekil 9.8'de görüleceği üzere, teorik olarak bulunan konveyör kapasiteleri, özellikle yüksek eğimlerde DEM sonuçlarından oldukça farklıdır.



Şekil 9.8 Teorik ve numerik konveyör kapasitelerinin kıyaslanması

Tablo 9.4 Tasarıma özel eğim faktörünün (k) elde edilmesi ve teorik eğim faktörü ile kıyaslanması

Konveyör Açısı	Teorik Kapasite (kg/s)	Teorik Eğim Faktörü (k)	Numerik Kapasite (kg/s)	(Tasarıma Özel) Numerik Eğim Faktörü (k)
0°	7,850	1,000	7,850	1,000
5°	7,693	0,980	7,733	0,985
10°	7,457	0,950	7,311	0,931
15°	7,065	0,900	6,319	0,805
20°	6,358	0,810	5,559	0,705

İki yöntem incelendiğinde teorik eğim faktörü, konveyörlerde teorik kapasite hesabında genel olarak kullanılan bir katsayıdır. Dolayısıyla bazı konveyörlerde teorik olarak bulunan değerin gerçek değerden farklılık göstermesi beklenen bir sonuçtur. Buna karşın numerik olarak elde edilen konveyör kapasitesi kum-kum ve kum-bant arasındaki sürtünmeye ve konveyörün çalışma şartlarına bağlıdır. Dolayısıyla eğimli konveyörlerde malzeme geri kaçması simülasyon sırasında sürtünmeye bağlı olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla numerik olarak elde edilen kapasitelerin ve buna bağlı olarak bulunan eğim faktörünün, bu konveyörün gerçek eğim faktörü olduğu tespit edilmiştir.

Tasarıma özel eğim faktörünün bulunmasında numerik yönteme başvurulduğunda dikkat edilmesi gereken işlemlerin başında kapasitenin doğru hesaplanması gelmektedir. Bunun nedeninin eğim faktörü ile kapasite arasında doğrudan ilişki bulunmasıdır. Bölüm 9.3'te açıklandığı üzere sehimli bir bant profilinin simülasyonunun gerçekleşebilmesi için FEM ve DEM arasındaki veri aktarımı tekrarlı bir şekilde yapıldığında yüksek konveyör açılarında kapasite değerlerinde artış bulunduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla tasarıma özel eğim faktörü bulunurken buna dikkat edilmesi oldukça önemlidir. Eğim faktörü değerleri tablosu yüksek açıları da kapsayacağı için DEM ile FEM'in ortak kullanımı tasarıma özel eğim faktörü sonuçlarını büyük ölçüde etkileyecektir.

10
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir bantlı konveyörün sehimli bir bant profilinin DEM analizine dahil edilerek gerçeğe uygun numerik simülasyonun yapılabilmesi için DEM ve FEM arasında veri aktarımı bir iterasyon döngüsü şeklinde tekrarlanmıştır. Düz bir bant profili yerine sehimli eğri bir bant profili kullanılmasının sehim ve kapasite sonuçlarını etkileyeceği beklentisi ile numerik sonuçlar her iterasyon için elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen numerik kapasiteler kullanılarak tasarıma özel eğim faktörü (k) tespit edilmiştir. Tüm bu sonuçlar teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. DEM ve FEM arası veri aktarımının tekrarlı bir şekilde yapılmasının bu sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir.

● Sehimli bir bant profilinin simülasyonu yapılması malzeme geri kaçmasının etkili olduğu 15° üstü konveyör açılarında kapasiteyi oldukça etkilemektedir. Ancak bu etki düşük açılarda meydana gelmemektedir.

● DEM sonucu elde edilen eğim faktörünün (k), teorik olarak kullanılan eğim faktöründen daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Bu farkın konveyör eğimi arttıkça daha da arttığı görülmüş olup bantlı konveyör tasarımına etkisi olarak, teorik kapasitenin daha yüksek hesaplanmasına neden olmaktadır.

● Yüksek konveyör açılarında bulunan eğim faktörü (k), tekrarlı veri aktarımının yapıldığı sehimli bant profilinin simülasyonu sonucu artış göstermekte ve bir noktada kararlı değere ulaşmaktadır. Dolayısıyla yüksek açıları da kapsayacak şekilde tasarıma özel eğim faktörünün tespit edilmesinde bu numerik yaklaşım uygulanmalıdır.

● FEM ve DEM arası veri aktarımı iterasyon döngüsü ile tekrarlandığında her bir makara aralığındaki normal kuvvetler ve bant sehimi büyük oranda artış göstermektedir. Dolayısıyla yığma malzemeli sistemlerde tekrarlı veri aktarımı yaklaşımının uygulanması oldukça önemlidir.

● Normal kuvvetler ve konveyör kapasiteleri sonuçları iterasyon sürecinde birbirlerinden farklı şekilde davranmışlardır. Bu yüzden normal kuvvetlerdeki artış kapasite artışından dolayı değil, tanecikler arası etkileşimden dolayıdır.

● Oluk konumu konveyörlerde farklılık gösterdiğinden, oluktan dökülen malzemenin temas ettiği makara aralıklarının kapsam dışında bırakılması doğru sonuçların elde edilebilmesi için gereklidir.

● Numerik yöntem her bir makara aralığındaki sehim değerlerinin ayrı ayrı bulunmasına olanak sağlamaktadır. Bu özellik oluk altındaki makara aralığının sehimi araştırıldığı durumlarda önem kazanmaktadır.

KAYNAKÇA

[1] Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA), “Belt Conveyors For Bulk Materials”, 5th edition, 2002.

[2] P. A. Cundall, O. D. L Strack, “A discrete numerical model for granular assemblies”, Geotechnique, volume 29, issue 1, pp-47-65, 1979.

[3] D. Ilic, C. A. Wheeler, “Transverse bulk solid behaviour during discharge from troughed belt conveyors”, Advanced Powder Technology, volume 28, issue 9, pp-2410-2430, 2017.

[4] J. Rozbroj, J. Nečas, D. Gelnar, J. Hlosta, J. Zegzulka, “Validation of movement over a belt conveyor drum”, Advances in Science and Technology Research Journal, volume 11, issue 2, pp-118-124, 2017.

[5] J. Rossow, C. J. Coetzee, “Discrete element modelling of a chevron patterned conveyor belt and a transfer chute”, Powder Technology, volume 391, pp-77-96, 2021.

[6] D.B. Hastie, P.W. Wypych, “Experimental validation of particle flow through conveyor transfer hoods via continuum and discrete element methods”, Mechanics of Materials, volume 42, issue 4, pp-383-394, 2010.

[7] M. Pezo, L. Pezo, A. P. Jovanović, A. Terzić, L. Andrić, B. Lončar, P. Kojić, “Discrete element model of particle transport and premixing action in modified screw conveyors”, Powder Technology, volume 336, pp-255-264, 2018.

[8] P.J. Owen, P.W. Cleary, “Prediction of screw conveyor performance using the Discrete Element Method (DEM)”, Powder Technology, volume 193, Issue 3, pp-274-288, 2019.

[9] N. Govender, P. W. Cleary, D.N. Wilke, J. Khinast, “The influence of faceted particle shapes on material dynamics in screw conveying”, Chemical Engineering Science, volume 243, 116654, 2021.

[10] Q. J. Zheng, M.H. Xu, K.W. Chu, R.H. Pan, A.B. Yu, “A coupled FEM/DEM model for pipe conveyor systems: Analysis of the contact forces on belt”, Powder Technology, volume 314, pp-480-489, 2017.

[11] J. Shen, C. Wheeler, J. O'Shea, D. Ilic, “Investigation of the dynamic deflection of conveyor belts via experimental and modelling methods”, Measurement, volume 127, pp-210-220, 2018.

[12] D. Ilic, C. Wheeler, “Measurement and simulation of the bulk solid load on a conveyor belt during transportation”, Powder Technology, volume 307, pp-190-202, 2017.

[13] J. Shen, C. Wheeler, D. Ilic, J. Chen, “Application of open source FEM and DEM simulations for dynamic belt deflection modelling”, Powder Technology, volume 357, pp-171-185, 2019.

[14] M. Dratt, A. Katterfeld, C. Wheeler, “Prediction of conveyor belt deflection by coupling of FEM and DEM simulations”, Bulk Solids Handling, 30, pp 380-384, 2010.

[15] Convey, www.oxfordlearnersdictionaries.com, 15.05.2022.

[16] Conveyor System, en.wikipedia.org/wiki/Conveyor_system, 15.05.2022.

[17] P.M. McGuire, “Conveyors: Application, Selection, and Integration”, CRC Press, 1st edition, 2009.

[18] C. O. Azeloğlu, “Çelik ve Plastik Zincirli Konveyörler ve Bunlarım Tasarım Kriterlerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006

[19] S. Moran, “Conveyors”, Process Plant Layout, pp-471–481, 2017.

[20] D.V.S Rao, “The Belt Conveyor: A Concise Basic Course ”, CRC Press, 1st edition, 2020.

[21] İ. Gerdemeli, “Sürekli Transport Sistemleri, Bantlı Konveyörün Konstrüksiyonu”, Bölüm 4, 2005.

[22] Conveyor Belt, en.wikipedia.org/wiki/Conveyor_belt, 15.05.2022.

[23] B. Bolat, B. A. Temiztaş, M. O. Karabulut, “Dökme malzeme taşıyan bir bantlı konveyörün teorik ve nümerik olarak analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2021.

[24] İ. Gerdemeli, “Sürekli Transport Sistemleri, Bantlı Konveyör Hesap Esasları Konstrüksiyonu”, Bölüm 5, 2005.

[25] Yılmaz Redüktör, “Sonsuz Vidalı Redüktör E Serisi Kullanım Kılavuzu”, s34-36.

[26] K.K. Gupta, J.L. Meek, “A Brief History Of The Beginning Of The Finite Element Method” International Journal for Numerical Methods in Engineering, volume 39, issue22, 1996.

[27] L. A. Mihai, A. Goriely, “How to characterize a nonlinear elastic material? A review on nonlinear constitutive parameters in isotropic finite elasticity”, Proc. R. Soc. A. volume 473, Issue 2207, 2017.

[28] G. A. Taylor, “A vertex based discretisation scheme applied to material non linearity within a multi-physics finite volume framework”, Ph.D Thesis, University of Greenwich, 1996.

[29] M. Dratt, A. Katterfeld, C. Wheeler, “Prediction of conveyor belt deflection by coupling of FEM and DEM simulations”, Bulk Solids Handling, 30, pp 380-384, 2010.

[30] C. Wheeler, “Predicting the main resistance of belt conveyors”, University of Newcastle, 2003.

[31] ANSYS Inc., “ANSYS Mechanical APDL Command Reference”, 13.0, s13 2010.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Makaleler

[1] B. Bolat, B. Aşçıoğlu Temiztaş, E. Sezer, "Farklı Eğimlerdeki Bantlı Konveyörlerde Kapasitenin Ayrık Elemanlar Metoduyla (DEM) İncelenmesi", Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, cilt 13, sayı 4, ss-709-714, 2023.

Konferans Bildirileri

[1] B. Bolat, B. Aşçıoğlu Temiztaş, E. Sezer, "Theoretical And Numerical Investigation Of The Belt Sag And Angle Factor In Belt Conveyors", 10th International Conference on Advanced Technologies (ICAT'22), 2022, s-166.