

**HAVAI KONVEYÖR HATLARINA
ÖZGÜ ZİNCİR BAKLA TASARIMI VE
MODELLEMESİ**

Semih Sezer BEKAR



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAVAI KONVEYÖR HATLARINA ÖZGÜ ZİNCİR BAKLA TASARIMI
VE MODELLEMESİ**

Semih Sezer BEKAR

Doç. Dr. Fatih KARPAT
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2017

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Semih Sezer BEKAR tarafından hazırlanan "HAVAİ KONVEYÖR HATLARINA ÖZGÜ ZİNCİR BAKLA TASARIMI VE MODELLEMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Fatih KARPAT

Başkan: Doç. Dr. Fatih KARPAT
U. Ü. Müh.-Mim. Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye: Prof. Dr. Nurettin YAVUZ
U. Ü. Müh.-Mim. Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin LEKESİZ
BTU, Doğa Bilimleri, Mimarlık ve
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ali BAYRAM

Enstitü Müdürü

11/7/2017

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

/ /

Semih Sezer BEKAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAVAI KONVEYÖR HATLARINA ÖZGÜ ZİNCİR BAKLA TASARIMI VE MODELLEMESİ

Semih Sezer BEKAR

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fatih KARPAT

Havai konveyör sistemleri, günümüzde, başta taşıt üreten firmalar olmak üzere endüstrideki diğer sektörler dahil olmak üzere çoğu fabrikada üretim hatlarının tümünde malzeme/ürün taşımada aktif olarak kullanılan en önemli taşıma sistemlerinden biridir. Seri üretim içerisinde bu hatların herhangi bir aşınma sonucu durması veya arıza yapması, üretimi aksatmakta ve önemli iş kaybı ile birlikte yüksek bakım maliyetlerine neden olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında konveyör hatları üzerinden veri alınarak, analizini ve bu analizler sonucunda hat yapısı ve ekipmanlarının optimizasyonunu sağlayan sanal analiz çalışmaları yapılmış ve nihai model üzerinde iyileştirmeler görülmüştür.

Öncelikli olarak konveyör hattının çalışma koşulları, rotası, yükleme durumu gibi parametrelere bağlı mevcut durum incelenmiş ve elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeden çıkan sonuçları da kullanarak hat elemanlarının mühendislik hesaplamaları, sonlu elemanlar analizleri ve deneysel çalışmaları yapılmıştır. Yenilenen havai konveyör hattı üzerinde tespit edilen kritik bölgelerde yapılan analiz sonucu oluşan modeller yerleştirilmiştir. Bu sistem sayesinde elde edilen sonuçlar ile doğrulama çalışması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Havai Konveyör, Sonlu Elemanlar, Optimizasyon

2017, viii + 62 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

CHAIN DESIGN AND MODELLING OF INCLINED POWER-FREE CONVEYORS

Semih Sezer BEKAR

Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Fatih KARPAT

Currently inclined power-free systems are the most important transport systems that provides transfer materials and products through manufactory lines using by companies not only produce vehicles but also other industrial products as well. During mass production, sometimes shackle abrasion occurs in the system and cause defect of serial line, even interruption of production. This problem causes waste of time and also huge maintenance costs.

Under this study, some virtual analysis have been done by obtaining data from inclined power-free systems and then outcomes of those analysis have been examined to determine eventual optimized model.

Primarily, running and loading conditions, route parameters of current system examined and results evaluated. Engineering calculations, finite element analysis and experimental studies have been done by using these results. Optimized models are located critical regions of system to decrease abrasion and increase fatigue performance of shackles. Then improvement of abrasion seen on virtual model.

Key Words: Shackle, Finite elements, Optimization

2017, viii + 62 pages.

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalışmamın hazırlanması sürecinde, bana yardım ve desteklerini esirgemeyen, yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Fatih KARPAT ‘a teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimimin tamamında ve tez yazım aşamasında, değerlendirme ve yönlendirmeleri ile desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Celalettin YÜCE ve Arş. Gör. Oğuz DOĞAN ‘a teşekkür ederim.

Bu çalışma 5140084 numaralı “Havai Konveyör Hatlarına Özgü Bir İyileştirme ve Bakım Modelinin Geliştirilmesi” adlı TÜBİTAK 1505 ÜNİVERSİTE-SANAYİ İŞBİRLİĞİ DESTEK PROGRAMI projesi kapsamında yapılan çalışmaların bir kısmını kapsadığından TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. yönetimine teşekkür ederim.

Eğitim kariyerimde bu basamakları çıkmamda büyük emeği olan aileme ve değerli hocalarıma teşekkür ederim

21/04/2017

Semih Sezer BEKAR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Transport Tekniği ve Teorisi	3
2.2. Konveyör Hatları ve Tipleri	6
2.2.1 Zincirli Konveyör	8
2.2.2 Rulolu Konveyör	8
2.2.3 Bantlı Konveyör	9
2.2.4 Bakla Zincirli Konveyör	9
2.2.5 Slat Konveyör	10
2.2.6 Flex Konveyör	10
2.2.7 Teleskobik Konveyör	11
2.3. Havai Konveyörler	11
2.3.1. Havai Konveyör Sistemleri Avantajları ve Dezavantajları	21
2.3.1.1 Avantajları	21
2.3.1.2 Dezavantajları	22
2.4 Optimizasyon Teknikleri	22
2.4.1 Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması	24
2.5. Sonlu Elemanlar Metodu	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1. Mevcut Konveyör Hattı İncelemesi	27
3.2. Konveyör Zincir Bakla Modellemesi	31
3.2.1. Lazer Tarama	31
3.2.2. Nokta Bulutu Oluşturulması	32
3.2.3. Nihai 3 Boyutlu Model Çizimi	34
3.3. Mevcut Durum Sonlu Elemanlar Metodu Uygulaması	36
3.3.1. Sanal Modelde Gerilme Sonuçları	39
3.3.2. Gerilme Sonuçlarına Göre Optimize Tasarım Yapılması	40
3.3.3. Deney Tasarımı Sonuçları	41
3.3.4. Şekil Optimizasyonu Sonuçları ve Nihai Tasarım	44

3.3.5. Optimizasyon Fonksiyonlarının Tanımlanması	45
3.3.5.1. Kısıt Fonksiyonunun Tanımlanması.....	45
3.3.5.2. Amaç Fonksiyonunun Tanımlanması.....	45
3.3.6. Nihai Tasarımın Doğrulanması.....	47
4. BULGULAR	49
4.1. Modelleme Bulguları.....	49
4.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İlgili Bulgular.....	51
4.3. Optimizasyon ile İlgili Bulgular.....	52
4.3.1. Deney Tasarımı Sonuçları.....	53
5. SONUÇ	57
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Malzeme İletim Denklemi (C. E. İMRAK, 1999)	5
Şekil 2.2. Zincirli Konveyör	8
Şekil 2.3. Rulolu Konveyör	8
Şekil 2.4. Bantlı Konveyör	9
Şekil 2.5. Bakla Zincirli Konveyör	9
Şekil 2.6. Slat Konveyör	10
Şekil 2.7. Flex Konveyör	10
Şekil 2.8. Teleskobik Konveyör	11
Şekil 2.9. TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası Gövde Üretim Hattı	18
Şekil 2.10. TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası Boya Üretim Hattı	19
Şekil 2.11. Havai Konveyör Sistemi	20
Şekil 2.12. Havai Konveyör Sistemi Kullanım Alanları	20
Şekil 2.13. Havai Konveyör Sistemi Kullanım Alanları	21
Şekil 3.1. Güç & Serbest Hattı Bileşenleri	28
Şekil 3.2. Konveyör Hattı Araç Taşıma Kancaları	28
Şekil 3.3. Kapı Montaj Hattına Geçiş	29
Şekil 3.4. Kapı Montaj Hattı	30
Şekil 3.5. Eğimli Havai Konveyör Hat Yerleşimi	30
Şekil 3.6. Lazer Tarama Yöntemi	32
Şekil 3.7. Lazer Tarama Yöntemi ile Oluşturulmuş Nokta Bulutu (İzometrik)	33
Şekil 3.8. Lazer Tarama Yöntemi ile Oluşturulmuş Nokta Bulutu (Üstten)	33
Şekil 3.9. Lazer Tarama Yöntemi ile Oluşturulmuş Nokta Bulutu (Yandan)	33
Şekil 3.10. Nokta bulutu datasının 3 boyutlu hale çevrilmiş hali	34
Şekil 3.11. 3 Boyutlu Model – Fiziksel Parça Sapma (Yandan Görünüş)	34
Şekil 3.12. 3 Boyutlu Model – Fiziksel Parça Sapma (Üstten Görünüş)	35
Şekil 3.13. 3 Boyutlu Model – Fiziksel Parça Sapmalar	35
Şekil 3.14. 3 Boyutlu Model – Fiziksel Parça Sapmalar	36
Şekil 3.15. Sonlu elemanlar için 3 boyutlu geometrinin hazırlanması	37
Şekil 3.16. 3 boyutlu geometrinin analiz için sonlu elemanlara ayrılması	37
Şekil 3.17. Çekme Kuvvetinin Modele Uygulanması	38
Şekil 3.18. Sonlu Elemanlar Analiz Sonucu	39
Şekil 3.19. Sonlu Elemanlar Analiz Sonucuna Göre Yapılan Yeni Tasarım	40
Şekil 3.20 Sonlu Elemanlar Analiz Sonucuna Göre Yapılan Yeni Tasarım Parametreleri	41
Şekil 3.21. Gerilme Cevap Yüzeyi Üç Boyutlu Grafiği	43

Şekil 3.22. Kütle Cevap Yüzeyi Üç Boyutlu Grafiği	44
Şekil 3.23 Şekil optimizasyonunda geometrik ölçülere sahip yeni geometri	47
Şekil 3.24. Nihai Tasarım Gerilme Sonuçları	48
Şekil 4.1. Lazer Tarama Yöntemi ile Oluşturulmuş Nokta Bulutu (İzometrik)	49
Şekil 4.2. Nokta Bulutunun Üç boyutlu Yüzey Haline Getirilmesi	50
Şekil 4.3. Üç Boyutlu Model – Fiziksel Parça Arası Geometrik Sapmalar	50
Şekil 4.4. Üç boyutlu geometrinin analiz için sonlu elemanlara ayrılması	51
Şekil 4.5. Sonlu Elemanlar Analiz Sonucu	52
Şekil 4.6. Sonlu Elemanlar Analiz Sonucuna Göre Yapılan Yeni Tasarım	53
Şekil 4.7. Sonlu Elemanlar Analiz Sonucuna Göre Yapılan Yeni Tasarım Parametreleri	53
Şekil 4.8. Şekil optimizasyonunda geometrik ölçülere sahip yeni geometri	55
Şekil 4.9. Nihai Tasarım Gerilme Sonuçları	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Transport makinalarının karakteristikleri (İmrak 1999)	6
Çizelge 2.2. Optimizasyon Sınıflandırması (Kaymaz 2003)	24
Çizelge 3.1. Üç Boyutlu Model – Fiziksel Parça Geometrik Sapma Tablosu	35
Çizelge 3.2. Üç boyutlu model analiz girdileri	38
Çizelge 3.3. Deneysel Tasarım Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları	41
Çizelge 3.4. Sonlu Elemanlar ve Denklem Sonuçlarının Karşılaştırılması	44
Çizelge 3.5. Şekil Optimizasyonu Sonuçları	46
Çizelge 4.1. Üç Boyutlu Model – Fiziksel Parça Sapma Tablosu	51
Çizelge 4.2. Deneysel Tasarım Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları	54
Çizelge 4.3. Şekil Optimizasyonu Sonuçları	54

1. GİRİŞ

Bu çalışma 5140084 numaralı “Havai Konveyör Hatlarına Özgü Bir İyileştirme ve Bakım Modelinin Geliştirilmesi” adlı TÜBİTAK 1505 ÜNİVERSİTE-SANAYİ İŞBİRLİĞİ DESTEK PROGRAMI projesi kapsamında TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. üretim montaj hattında bulunan araç taşıma sistemlerinde yapılan çalışmaların bir kısmını kapsamaktadır.

Seri üretimin vazgeçilmez ana ekipmanlarından olan konveyörler; üretim zamanının kısaltılması ve insan gücünün yetmeyeceği yükleri bir konumdan diğerine iletmek amacıyla kullanılan seri üretim transport elemanıdır. Bu konveyörlerin kullanımı, otomotiv sektöründe seri üretim yapan fabrikalarda kullanılması belli şartlardan ötürü zorunlu olmuştur. Bu zorunluluk üretim süreçleri gereği hat boyunca ürünün ilerlemesi gerektiğinden kaynaklanmaktadır. Konveyörler bu aşamalarda ürünün ağırlığı, büyüklüğü ve/veya hassaslığı gereği bu iletim işlemini otomatik olarak, insan eli değmeden gerçekleştirme fonksiyonuna sahiptir. Bu iletim sırasında havai konveyör hatları hat bileşenlerinden ve taşıma yükünü karşılayan zincir baklalarından ve bu baklaları birbirine bağlayan pim elemanlarından oluşmaktadır. Üretim süreçleri gereği bazen bu hattın çalışma sıcaklığı ve yükü ani veya belli zaman dilimlerinde değişmektedir. Havai konveyör zincir hattı çalışma şekli kimi zaman boşluklu, kimi zaman gergin biçimde yük taşımaktadır. Bu göreceli hareket, kaçınılmaz olarak, pim ve baklanın birbirine sürtmesine ve dolayısıyla aşınmaya sebep olmaktadır.

Günümüzde seri üretim yapan bütün kuruluşlar, sürdürülebilir ve tanımlanan kalite seviyesinde ürün çıkarmak için üretim toleranslarını ve zamanını olabildiğince düşük tutup verimli üretim gerçekleştirmek için, üretim ekipmanlarını seçerken uzun ömürlü olmasına dikkat etmektedir. Uzun ömürlü malzeme ve ekipman kullanımı maliyeti yüksek yatırımlar gerektirdiğinden, bu kuruluşlar, daha ucuz ve optimize edilmiş ekipmanlar kullanma yoluna giderek üretim maliyetlerini düşürmeye çalışmaktadır.

Yapılan araştırmalara göre, ucuz malzemenin kullanım şartlarına uygun tasarlanmış geometri ile üretilip, gerekirse dayanım artırma amaçlı ısıtma işlem uygulanması konvansiyonel geometrik profillere göre % 40 ‘a kadar kullanım ömrünü uzatmaktadır.

Bu durum üretim ve bakım maliyetlerini düşürmesinin yanında kalite seviyesi yüksek üretim ve ürün sürecini sağlamaktadır.

Yapılan bu çalışmada havai konveyör hattı zincir baklasının mevcut durum analizi, sonlu elemanlar analizi ve optimizasyon yapılmıştır.

Çalışmanın kaynak araştırması bölümünde; araç üretiminde transport tekniği ve uluslararası standartlar, konveyör hatları ve uygulama alanları, havai konveyör hatları ve tipleri, havai konveyör hat elemanları, havai konveyör kullanım alanları, zincir baklaları profilleri, havai konveyör hattı fiziksel özellikleri, optimizasyon teknikleri konuları anlatılmıştır.

Araştırmanın Materyal ve Yöntem kısmında çalışma konusu olan havai konveyör hatları zincir baklalarının yapısının incelenmesi ve modellenmesi, mevcut hat yapısının krokisi ve çalışma şartları açıklanmıştır. 3 boyutlu modellemeye elde edilen veri, optimizasyon aşamasına girdi olarak sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Ayrıca iterasyon ile optimize tasarım geometrisi elde edilmiştir.

Çalışmanın Bulgular kısmında öncelikle modelleme bulguları sonrasında sonlu elemanlar aşamasındaki bulgular incelenmiş, son olarak optimizasyon safhasında elde edilen veriler yorumlanmış ve geometrinin nasıl değişeceğine karar verilmiştir.

Sonuç kısmında ise yapılan optimizasyon çalışması ile elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çalışmanın bu kısmında otomotiv sektöründe transport tekniği ve uluslararası standartları, konveyör hatları ve uygulama alanları, havai konveyör hatları ve tipleri, havai konveyör hat elemanları, havai konveyör kullanım alanları, zincir baklaları profilleri, havai konveyör hattı fiziksel özellikleri, optimizasyon teknikleri konuları anlatılmıştır.

2.1. Transport Tekniği ve Teorisi

Taşıdığı cisimleri, konum değişikliği sağlayarak bir noktadan diğer noktaya ileten makineleri inceleyen bilim dalına transport tekniği denir. Günümüzde artan rekabet ve teknolojik gelişim ile birlikte; imalatçıların daha hızlı, kaliteli ve düşük maliyetle üretim yapma zorunluluğu önemi geçmişe göre artmıştır. Üreticilerin bu kısıtlar ile ayakta kalabilmesi için; üretim yapılabilirliği ile birlikte, değişik müşteri taleplerini karşılayabilecek değişiklikleri hızlı, hatasız ve düşük maliyetle yapmaları gerekmektedir. Bu değişiklikler makine konumunun ve malzeme taşıma sisteminin baştan dizayn edilmesi sonucunu doğurabilmektedir (Groover 2008).

Taşıma, kelime anlamı itibariyle; bir yükün iki nokta arasında en kısa yoldan, en güvenilir şekilde ve minimum enerji harcayarak transfer edilmesi anlamına gelmektedir. Transport tekniği ise bir amaca ulaşmak için malzemelerin iletilmesini, hazırlanmasını ve depolanmasına olanak veren ekipmanların, yöntemlerin, hizmetlerin ve işlemlerin bir dizilimidir.

Endüstriyel iletim sistemleri, üretim sistemlerinin temel öğelerinden biridir. Üretim sistemi içerisinde parçaların; güvenli, verimli, düşük maliyetle, belirlenen zamanda, uygun bir şekilde (doğru parçanın belirlenen miktarlarda doğru istasyonlara iletilmesi) ve herhangi bir tamir gerektirecek hasar meydana gelmeden iletilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bir üretim sistemine uygun iletim sisteminin belirlenmesi ve seçilen sistemin hatasız çalışması önemlidir. Yanlış seçim sonucu meydana gelebilecek hataların

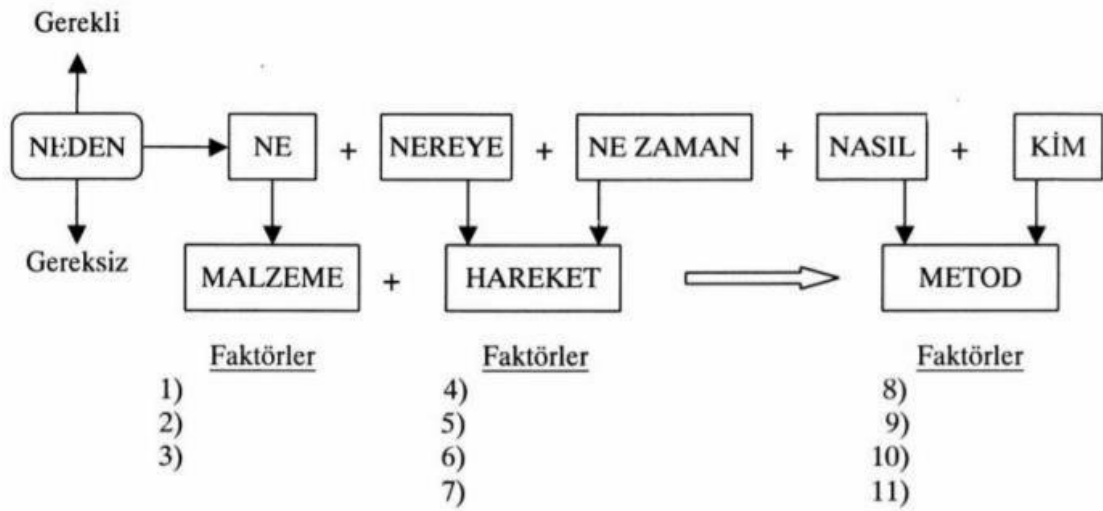
neticesinde üretim verimliliğinde düşüşün yanı sıra, iletilen malzemede oluşabilecek hasarlar nedeniyle hem maliyette artış hem de kalitede düşüşlerin görülmesi olasıdır [25]. Endüstriyel alanlarda üretim sürecinin otomatik olması, çalışan işçi sayısının azalması, güvenilirlik, kalite ve ekonomik yönlerden önem kazanmıştır. Endüstriyel iletim sistemleri bu otomasyon sürecine olumlu katkılarda bulunmakta ve iş akışını tesis içinde yönlendirmektedir. Endüstriyel anlamda toplam üretilebilirliği arttırmak için, üretimi destekleyen ve montajı kolaylaştıran transport aşamalarını ve diğer operasyonları, birbirinden bağımsız ve farklı işlemler olarak görmek yerine bir bütünlük sistemine adapte etmek gerekmektedir. Bir parça veya ekipman, operasyon sürecinde istenen konum ve zamanda bulunamıyorsa, montaj veya üretim işlemi için değersizdir. Bu bağlamda yer ve zamanın faydalı kullanımı, taşıma sistemlerinin verimliliğinde oldukça etkilidir (İmrak 1999).

Teknoloji ile geliştirilen robotlar, otomatik yataklı aparatlar ve bilgisayar denetimli iletim sistemleri iş gücünden büyük ölçüde tasarruf etmeyi sağlayan araçlardır. Üretimdeki süreç tipi, doğrusal malzeme hareketlerinin getireceği avantajlardan yararlanarak taşıma faaliyetlerini daha düzgün bir şekilde ve maliyetle gerçekleştirebilmek için, yüksek miktarda iş gücü kullanarak yapılan iletimler yerini bu tür otomatik iletim (konveyör) sistemlerine bırakmak durumundadır (Uner ve ark. 2005).

Endüstriyel taşıma sistemlerinin seçiminde yükün cinsi, taşıma şekli (yatay, dikey, eğimli, dönebilen, vb.), ağırlığı, iletim mesafesi, istasyon sayısı, tahrik sistemi tipi, çalışma toleransları ve üretim/montaj kolaylığı gibi temel parametrelere dikkat edilmesi gerekmektedir (Fonseca ve ark. 2004).

Transport tekniği alanındaki gelişmeler fazla kar sağlama gibi yeni ihtiyaçların doğmasının yolunu açmıştır. Fabrika içindeki taşıma fonksiyonlarının daha iyi bir şekilde seçilmesi, en doğru maliyetin bulunması, iletim fonksiyonu, alt yetki ve sorumluluklarının belirtilmesi ve günlük faaliyetler içinde bulunan diğer fonksiyonlarla taşıma fonksiyonları arasındaki ilişkilerin açıklanması gerekir. Fabrikanın sadece içinde değil, etrafında ve dışındaki faaliyetler ve müşterilerle ilgili faaliyetler bu kapsamın içindedir. Dolayısıyla bugün inceleyeceğimiz bir problem, ileri sistemler olacak ve

burada amaç kolay ve ekonomik bir çözüm bulmaktır. Eğer iletim kaynakları, üretim prosesleri ve müşteriye varışlar sınırlı olursa çözüme yaklaşım daha da basitleşir. Bir işletme başka bir işletmeden aldığı malzemede hammadde özellikleri, ambalajlama metodu, yükleme ve iletim metotları, kendi işletmesindeki boşaltma, ambarlama ve işletmede kullanım yerlerine iletimlerini birlikte incelemek zorundadır. Bu konu ürünün müşteriye ulaşmasına kadar devam eder. O halde malzeme iletiminin kendine öz birtakım denklemlerle çözme problemi vardır. Genel olarak malzeme iletimi denklemi Şekil 2,1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Malzeme İletim Denklemi (C. E. İMRAK, 1999)

Bir üretim tesisinde, iletim için kullanılacak ekipmanın pek çok taşıma faaliyetlerini yerine getirecek nitelikte seçilmesi lazımdır. Transport makinaları; üretim planlamasına uygun, yerden tasarruf sağlayacak şekilde seçilmeli ve sabit bir yerde kalmamalıdır. Taşımada en ucuz iletim, malzemenin yoğunluğundan faydalanılarak yapılan iletimdir. Bu sebeple, hareketli hallerde enerji ile çalışan ekipman seçilmelidir. Bir işletmede yeni bir ekipmanın satın alınmadan önce işletmede mevcut olan ekipmanın kapasitesinin tam olarak kullanıldığı kontrol edilmelidir.

Bir ekipman çalışma şekli seçilirken, belirli karakteristiklerin tespit edilmesi ve ekipmanın seçiminde bundan yararlanılması gerekmektedir. Bu karakteristikler; yön, frekans, geçitler, kaldırma seviyesi ve alan konularından oluşmaktadır (Çizelge 2.1)

TAŞIMA TEÇHİZATI		YÖN					FREKANS			GEÇİŞLER			KALDIRMA SEVİYESİ				ALAN			
		AŞAĞIYA	YUKARIYA	MEĞİLLİ	YATAY	SÜREKLİ	SEYREK	ARALIKLI	SABİT	ARALIKLI SABİT	OLMAYAN	ÜST SEVİYE	ÇALIŞMA	DÖŞEME	DÖŞEME ALTI	BİR NOKTADA	SINIRLI	GEÇİTTE	SINIRLANDIRILMIŞ	
1	Bantlı Konveyör																			
2	Mafsallı Konveyör																			
3	Zincirli Konveyör																			
4	Rulolu Konveyör																			
5	Kepçeli Konveyör																			
6	Monoray																			
7	Devridaim Konveyör																			
8	Fork-Lift																			
9	Elevatör																			
10	Köprülü Kren																			

Çizelge 2.1. Transport makinalarının karakteristikleri (İmrak 1999)

2.2. Konveyör Hatları ve Tipleri

American Materials Handling Society tarafından yapılan sınıflandırmaya göre iletim elemanları iletim işlemi tamamlandıktan sonra çalışmaya devam eden yani sürekli taşıyıcılar (konveyörler) ve taşıma işlemi tamamlandıktan sonra duran, sonraki işleme kadar çalışmayan kesikli taşıyıcılar (kaldırma makinaları) olmak üzere iki ana kısma ayrılırlar (Anonim 2005).

Konveyörler; üretim süreci içinde malzemeyi sabit bir hat üzerindeki iki nokta arasında yığılı/gruplar halinde veya tek/çift yönlü olarak ve sürekli taşıyabilen sabit veya taşınabilir araçlardır. Konveyörler, farklı özellik ve fonksiyondaki üretim süreçlerini bir akış seması üzerinde birleştirebilen, sistemin daha etkin ve verimli çalışmasını sağlayan bağlayıcı ve bütünleştirici sistemlerdir. İnsan vücudundaki kan damarları gibi tüm işletmeyi saran ve ihtiyaç duyulan malzemeyi; zamanında, gerekli olan yere ulaştıran araçlardır.

Literatürde birçok araştırmacı kullanım amacına en uygun ve yatırım maliyeti bakımından karşılanabilir konveyör sisteminin belirlenmesine yönelik araştırmada bulunmuştur. Fonseca ve ark. (2004) en uygun endüstriyel konveyör seçimi için 25 farklı parametre içerisinde belirlenen kriterlere göre 76 farklı konveyör tipi içerisinde en iyi eşleşeni bulmaya yönelik bilgisayar programı oluşturmuştur. Çalışmada öne çıkan kriterler ağırlık ve maliyet olmuştur.

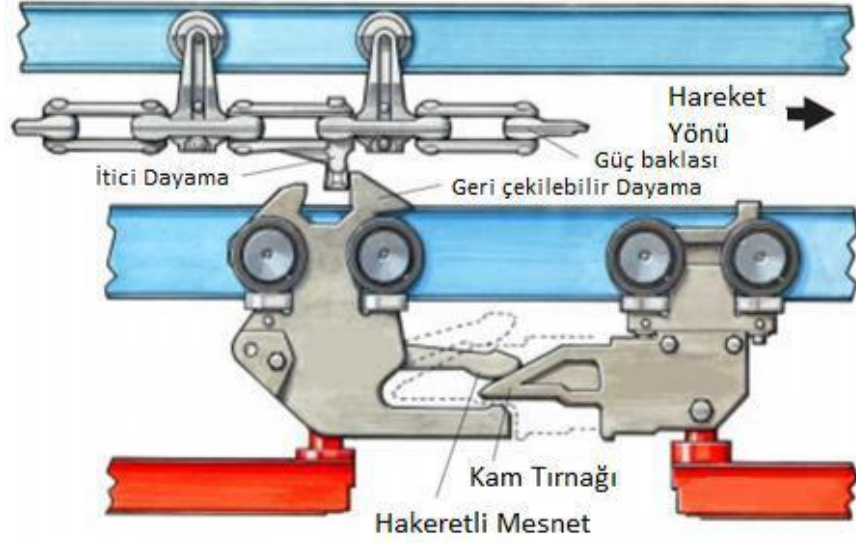
Kulak (2005), yük iletim ekipmanı seçiminde hem teknik hem de ekonomik kriterleri göz önünde bulunduran, performans kriterleriyle birlikte 40 iletim ekipman tipini içeren ve 142 kurallı bilgi tabanına sahip olan FUMAHES (Fuzzy Multi-Attribute MAterial Handling Equipment Selection) isimli karar destek sistemini sunmuştur.

Yurdakul ve ark.(2010) fabrika ortamında parça yük iletiminde uygun konveyör seçimi için iki aşamadan oluşan bir sistem geliştirilmişlerdir. En uygun sürekli taşıyıcı tipinin belirlenmesi için kullanıcıya 21 adet soru ve sürekli taşıyıcı modelinin seçimine yönelik de 12 adet soru bulunmaktadır. Bu sorulara verilen cevaplara göre, uygun sürekli taşıyıcıları satın alma maliyetlerine göre sıralı olarak listelemektedir.

Kullanım amacına göre değişik tasarımlara sahip olan konveyör sistemleri de kendi aralarında zincirli, rulolu, bantlı, yer konveyörleri ve havai konveyörler olmak üzere 5 temel sınıfa ayrılır. Bu sınıflandırmanın içerisinde otomotiv endüstrisindeki gereklilikler göz önünde bulundurulduğunda havai tip (askılı) konveyörler ön plana çıkmaktadır. Temel konveyör sistemleri aşağıda gösterilmiştir:

2.2.1. Zincirli Konveyör

Koli halinde ve paketlenmiş yükleri iletmede kullanılan, üretiminde elektrostatik toz boya kullanılmış çelik konstrüksiyon kullanılan konveyör tipidir (Şekil 2.2)



Şekil 2.2. Zincirli Konveyör

2.2.2. Rulolu Konveyör

Zincirli konveyöre benzer şekilde, koli halinde veya paketlenmiş bir halde bulunan malzemelerin iletilmesi için kullanılan, tahrik destekli veya tahrik desteksiz modelleri bulunan kauçuk veya pvc ile kaplanarak alüminyum veya elektrostatik toz boyalı çelik konstrüksiyonu ile üretilen edilen konveyör çeşididir (Şekil 2.3)



Şekil 2.3. Rulolu Konveyör

2.2.3. Bantlı Konveyör

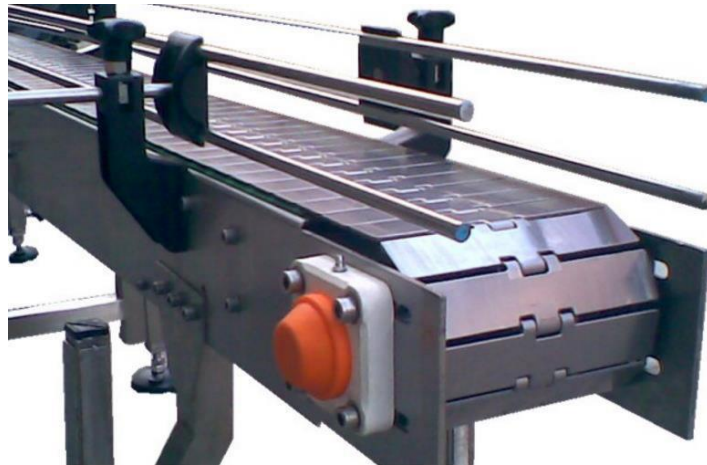
Herkes tarafından en çok bilinen ve en yaygın olarak kullanılan, paketli ve ambalajlı malzemelerden, dökme malzemeye kadar ürün taşıma potansiyeline sahip olan ve neredeyse her türlü konveyör iletim işi için tasarlanan konveyörlerdir. Yapımlarında diğerlerinden tek farkları poliüretan veya teflon kullanılarak yapılan konstrüksiyonlardır (Şekil 2.4)



Şekil 2.4. Bantlı Konveyör

2.2.4. Bakla Zincirli Konveyör

Her türlü kutulu ve ambalajlı ürünün taşınması için tasarlanmış olan bakla zincirli konveyörlerin yapımında kullanılan Acetal veya Inox baklalı zincirler ile hasır bantlar diğer konveyörlerden tek farklarıdır (Şekil 2.5)



Şekil 2.5. Bakla Zincirli Konveyör

2.2.5. Slat Konveyör

Slat konveyörlerin çalışma prensibi, özel olarak üretilen zincirler arasına bağlanmış olan paletler üzerinde ürün taşıma sistemine dayanmaktadır. (Şekil 2.6)



Şekil 2.6. Slat Konveyör

2.2.6. Flex Konveyör

Bu konveyörler, plastik veya çelik borular ile yapılan makaralardan üretilen makas gibi açma kapanma sistemi ile kutulu ürünlerin esnek boşaltımına olanak tanıyan konveyörlerdir (Şekil 2.7)



Şekil 2.7. Flex Konveyör

2.2.7. Teleskobik Konveyör

Özellikle kamyon ve tır gibi taşıma araçlarına yükleme yapmakta kullanılan bu konveyör tipleri, bantlı veya rulolu olmak üzere sabit doğrultuya sahip olan teleskobik olarak uzayabilen konveyörlerdir (Şekil 2.8)



Şekil 2.8. Teleskobik Konveyör

2.3. Havai Konveyörler

Araç üretiminde üretim zamanına bağlı olarak değişik konveyör sistemleri kullanılmaktadır. Bu konveyör sistemlerinden sık kullanılanları aşağıda sıralanmıştır:

- Yer bandı
- Havai konveyör
- Kancalı konveyör
- Döner kancalı konveyör
- Kesikli konveyör

Power & free konveyör sistemleri power olarak nitelendirilen zincir grubu ve free olarak nitelendirilen yükün bağlandığı trolley grubu olmak üzere iki kısımdan oluşur. Bu sistemlerin çalışma prensibi ise şu şekildedir. Tahrik ünitesi vasıtasıyla hareket ettirilen zincirin profil üzerinde ilerleyerek profil üzerinde serbest olarak hareket eden kancayı tahrik eder. Böylece kancanın ucuna bağlı olan yük hareket etmiş olur. Bu konveyör sistemi ile taşınan yüklerin istenilen yerde stoklanmasına, durdurulmasına ve istenilen hızda hareket ettirilmesi ile üzerinde işlem yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu konveyör sisteminin yatay ve dikey hareket serbestliği en avantajlı özelliklerindendir. Power-Free konveyörlerin sistem elemanları aşağıda açıklanmıştır.

- Zincir: Tahrik ünitesi vasıtası ile profil üzerinde çekilen ve yüklerin hareketini sağlayan sistemin ana ekipmanıdır. Zincir ile ilgili detaylı bilgiler sonraki kısımlarda verilecektir.

- Trolley: Ön, orta ve arka olmak üzere 3 tipten oluşmaktadır, yükün profil üzerinde asılı kalmasını ve zincir ile bağlantıyı sağlayarak yükün hareket ettirilmesi, durdurulması ve stoklanmasını sağlayan taşıyıcı kancanın üst konstrüksiyonunu oluşturur.

Yüksek karbonlu çelikten sıcak dövme yöntemiyle imal edilmektedirler. Üzerlerine 200 °C sıcaklığa kadar çalışabilecek yapıda özel tip konveyör rulmanlarının monte edildiği simetrik 2 gövde ile birbirine bağlanmış taşıyıcılardır. Farklı model ve kapasitelerde üretilmektedir. Trolleylerin birim yük taşıma kapasitelerine göre zincir gibi 2", 3", 4", 6" olarak sınıflandırılırlar. Örneğin yük kapasitesi 3" 'de 140 kg iken, 6" 'de 400kg'dır. Trolleyler standart taşıma yüklerine göre zincirler gibi sınıflandırılmasının dışında ağır yük taşıma için özel tipleri, malzeme asmak için kanca askı ilaveli tipleri ve tersine çevrilmiş tipleri mevcuttur.

- Kanca: Yükün sisteme yüklenmesi ve sistem tarafından hareket ettirilmesini sağlamaktadır.

- Durdurucular (Stopperler): P&F konveyör sisteminde taşıyıcı profiller üzerine yerleştirilen ve hareket ettirilen yükün gerekli bölgelerde durdurulmasını sağlayan ekipmana "Stoper" denir. Stoperler trolleylerde bulunan ön tırnağı aşağı iterek zincir tırnağından kurtulmasını ve arka tırnağa takılarak yüklerin ilerlemesi durdurulur.

Stoperler elektromekanik, elektro-pnömatik ve manuel olarak kontrol edilebilirler. Üründen gelen hareket yükü silindire gelmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Hatlar arası geçiş öncesinde kontrolün sağlanmasında, asansör öncelerinde kontrollü geçişin sağlanmasında, bakım alanında kancanın istenilen bölgede tutulması ve bölgeye giriş ve çıkışta kontrolün sağlanmasında, kancaya malzeme yükleme ve boşaltma alanlarında kullanılır.

- Switchler: P&F konveyör sistemindeki kontrol elemanlarından olan stoper gibi önemli role sahiptirler. Sistemdeki taşıyıcı profiller üzerine yerleştirilerek diğer elemanların hareketleri bunlardan gelen sinyallere göre yapılır. Mekanik hareketi elektrik sinyaline dönüştürürler.

- Yön Kontrol Makasları: P&F konveyör hatlar arası geçiş bölgelerinde, stok bölgelerinde ürünlerin farklı bölgelere ayrılmasında, bakım alanları giriş ve çıkışlarında bulunurlar. İstenilen bölgeye geçişin sağlanması için makas bölgelerinde yönlendirici pnömatik kollar bulunmaktadır. Makas geçiş bölgelerinde kanca ilk zincirden kurtulmadan diğer hattaki zincirin kancayı almaması için makas bölgesine stoper mantığı ile plaka konularak ön trolleyin tırnağı aşağıda tutulur.

Genellikle, ağır hizmet gerektiren ve hassas iletim ihtiyacı duyulmayan çeşitli endüstrilerde daha sık kullanılan P&F konveyörleri günümüz teknolojisinde önemli bir yer tutmaktadır. P&F sistemleri taşıyıcı kanca üzerinde malzemelerin esnek ve güvenilir olarak taşınabilmesinden ötürü de otomotiv sektöründe yaygın kullanıma sahiptir. Özellikle montaj hatlarında ergonomik koşullarda aracın taşınması, malzemelerin lojistik hareketlerindeki esneklik ve kolay stok yapabilme özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. Bunun dışında boya proseslerindeki operatörün girmesinin sakıncalı olduğu

alanlarda ve malzemelerin daldırma boyama yönteminin kullanıldığı ya da robot yardımıyla boyama yapılan alanlarda yaygın kullanıma sahiptir.

Taşıma kapasitesine göre bu konveyör sistemlerinin 2", 3", 4" ve 6" olmak üzere 4 farklı çeşidi bulunmaktadır. Örneğin yük kapasitesi 3" 'de 140 kg iken, 6" 'de 400 kg'dır. Taşınan yükün boyutlarına ve taşınma şekline göre taşıma kancasına veya direk konveyöre asılarak yükler taşınabilmektedir. Taşıma kancasına yüklenen yükün boyutlarına göre kancanın boyutları belirlenir. Ayrıca prosesteki ürünler arasında istenen mesafeye göre kanca ve konveyör sistemindeki zincir boyutları da belirlenmektedir. Bu sistemlerin hızı özel uygulamada 18 m/dk 'ya kadar çıkabilmektedir. P&F Konveyör sistemlerinin avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Sistem hat akışındaki maksimum esnekliği sağlar ve minimum alan ihtiyacı gerektirir.
- Hatlar arası transferde ilave transfer sistemine ihtiyaç duyulmaz.
- Hız ayarı yapılabilme esnekliğine sahiptir.
- Çalışma istasyonları sürekli veya durma-hareket etme şeklinde olabilir
- Dikey eğimli iniş ve çıkış profilleri ile ürün yüksekliğini ayarlama özelliği vardır.
- Yatırım maliyetleri düşüktür
- Basit yapıda olması dolayısı ile daha az bakım gerekliliği
- Maksimum hat verimliliği sağlar.

Bu sistemin dezavantajları ise şu şekildedir;

- Hareket halinde işlem yapması dolayısı ile operatörlerin ergonomi sorunu ve yürüme kayıpları
- Ürüne ulaşımında kanca kollarından dolayı ortaya çıkan sınırlamalar
- Geri dönüş hattına ihtiyaç duyulduğu için kapalı devre tasarlanma zorunluluğu
- Sürekli zincir hareketinden dolayı ortaya çıkan ses problemi
- Boya proseslerinde konveyör zinciri ile taşınan kirlilik problemleri
- Sistemde kullanılan zincirin aşınması ve buna bağlı olarak bakım zaman ve maliyet kayıpları

Otomotiv sektöründe özellikle montaj hatlarında kullanımı oldukça yaygın olan P&F konveyör sistemlerinin dezavantajlarını giderebilmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin sistemin sürekli hareket halinde olması nedeniyle operatörlerin yürüme kayıpları yine bir konveyör (yer taşıyıcı bantları) sistemi ile çözülmeye çalışılmıştır. Ürüne ulaşmada kanca kolunun boyutlarından dolayı ortaya çıkan sınırlamalar geliştirilen kanca tasarımları ile çözülmeye çalışılmıştır.

Power-Free konveyör hatlarındaki en kritik eleman zincirlerdir. Genel anlamda zincirler, kullanma amaçlarına göre üç kısımda incelenebilir. Bunlar; tahrik zincirleri, transport zincirleri, yük zincirleridir. Çelik zincirli konveyörlerde transport zincirleri kullanılmakta olup, bunlar taşıma ve iletim işlerinin mekanizasyonu için geliştirilmiş zincirlerdir. Buna rağmen kullanma alanı bakımından zincirler arasında keskin bir ayrım yapmak genelde zordur (Azeloğlu 2006).

Konveyörlerde kullanılan transport zincirleri, yapıları ve imal prensipleri açısından büyük farklılık gösterirler. Çekme zincirlerinin ana parametreleri; adım, boyuna kopma gerilmesi ve zincirin ağırlığıdır. Zincir tasarımlarının birbirine göre avantajlarının karşılaştırılmasındaki en önemli ölçüt, kopma gerilmesinin zincir birim ağırlığına oranıdır. Bu oran, zincir uzunluğunun metresi başına [kg] olarak kopma gerilmesini, aynı zamanda emniyet gerilmesini gösterir (Fonseca ve ark. 2004).

Power-Free konveyör sistemlerindeki tahrik ünitesi vasıtası ile profil üzerinde çekilen ve yüklerin hareketini sağlayan en önemli parça zincir sistemidir. Konveyör sistemlerinde zincir kullanılmasının birçok avantajı vardır (Anonim 2006).

- Hem uzun hem de kısa eksenler arası mesafe bakımından diğer tiplere göre daha uygun çözüm oluştururlar. Kısa eksen boyutları ve büyük çevrim oranlarında dahi kayma yaşanmaz.
- Verimleri oldukça yüksektir (%96...98 arası)
- Ön gerilmeli montaj işlemine ihtiyaç olmadığından milde daha düşük radyal kuvvetler oluştururlar.
- Aynı zincirde ikiden fazla çarkın, farklı dönme yönlerinde tahrik edilmesi mümkündür.
- Kayışlara göre güç iletim kapasitesi daha yüksektir.
- Tek kademedede 8...10 gibi çevrim oranlarına ulaşmak mümkündür.
- Zincirler ömürleri diğer tiplere göre kısalsa bile tünel fırınlar gibi yüksek sıcaklıktaki ortamlarda, tozlu, kirli ve nemli çevrelerde de kullanılması mümkündür.

Zincirler genelde güç iletim kapasitelerine göre seçilirler. Dinamik zorlanmaya ve aşınmaya maruz kaldıkları için zincir mekanizmasının güç iletim kapasitesi, baklaların, rulo ve burçların yorulması ve göreceli hareket halinde bulunan yüzeylerin aşınması gibi etkenler tarafından sınırlandırılmaktadır. Bu etkenler göz önünde bulundurularak, uygulamada belirli koşullar altında zincirlerin güç iletim kabiliyetleri, standartlarda veya imalatçı firma kataloglarında genellikle diyagram halinde verilmektedir (Anonim 2011). Taşıyıcı sistemlerde kullanılacak olan zincir tipinin belirlenmesinde göz önünde bulundurulması gereken bazı unsurlar vardır. Konveyörün tipi, merkezden uzaklığı ve yatayla olan eğimi, zincirin bağlantı ve sabitleme türü, zincir sayısı ve hızı, taşınacak olan malzemenin ağırlığı gibi faktörler bu açıdan oldukça önemlidir. Bunların dışında çalışma ortamında zincirin ömrüne etki eden farklı faktörler de vardır. Bunlardan en önemlileri şunlardır (Anonim 2009);

1. Zincire Gelen Yük: Zincir tasarımı yapılırken, çalışma yükleri, zincirin kopma yüküne oranla belirlenmelidir. Temiz ve doğru yağlanmış bir çalışma ortamında pim ve burç arasındaki yatak basıncının en fazla 24 N/mm² olmasına dikkat edilmelidir.
2. Taşınan Yükün Malzemesinin Karakteristiği: Taşınacak olan yükün malzemesinin zincir ile temas ettiği durumlarda aşınma etkisi dikkate alınmalıdır. Zincire uygulanacak olan ısıtılma işlemleri ile bu etki azaltılabilir.
3. Korozyon: Bazı malzemelerin korozyon dayanımları daha zayıf olduğundan dolayı zincirlerin kesitlerinde paslanmadan dolayı çürüme meydana gelmekte ve bu durum yataklama alanını azaltmaktadır. Dolayısıyla yatak basıncı ve aşınma oranı artmaktadır. Literatürde birçok araştırmacı zincirlerde meydana gelen hasarları, aşınmaları ve konveyör sistemlerinde kullanılan zincirlerdeki meydana gelen kırılma türlerini nümerik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Ayrıca bu alanda birçok firma araştırma ve geliştirme çalışmaları yapmışlardır. Bunlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

Kesik i ve ark. (2004) transport makinalarının çekme ve tahrik elemanı olarak kullanılan makaralı zincirleri incelemişlerdir. Standart makaralı zincir baklasının gerilme analizini, sınır eleman ve sonlu elemanlar metodları ile incelemişler, maksimum yükleme halindeki standart makaralı zincirin mekanik davranışları dikkate alınarak makaralı zincir probleminin çözümü için en uygun metodu araştırmışlardır. Pim deliğinin çevresinde oluşan maksimum gerilmeleri gözlemlemişler ve sınır eleman metodunun daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Azeloğlu (2006) zincirli konveyör tasarımı yapılırken; kapasite hesabı, etkin çekme kuvveti, üretici kataloglarından uygun zincir seçimi, uygun motor gücü ve devir sayısı tespiti ve titreşim kontrolünün yapılması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca  elik zincirli konveyörlerde konveyör hızı (v) 3 m/s'yi, plastik zincirli konveyörlerde de 2 m/s'yi geçmemesi gerektiğini ifade etmiş ve uygun çalışma koşullarının sağlanması durumunda plastik zincirlerin de kullanılabileceğini belirtmiştir.

Manav (2008) alışmasında, bir zincirli konveyörün tahrik ve götürücü zincirlerinin analitik yöntemle ve sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme analizlerini yapmıştır. Götürücü zincir iki farklı yükleme ve mesnetleme koşuluyla incelenmiş ve tahrik zincirini götürücü zincirden bağımsız olarak inceleyip gerilme dağılımlarını hesaplanmıştır. Çekme kuvvetinin zincirin zincir dişli ile temas ettiği noktada yani zincir dişli üzerinde dönüşüne başlamadan hemen önce meydana geldiğini belirtmiştir.

Karayel (2010) zincirle aktarım sistemlerinde, zincir dişlileri arasındaki eksenel açı değişimlerine bağlı olarak, zincir baklalarında zincir eksenine dik ve zincir eksen yönündeki kuvvetlerin etkilerini incelenmiş ve buna bağlı zincir dişli çarklardaki eksenel açı değişimlerinin, zincir sisteminde meydana getirdiğı kuvvet değerlerini hesaplamıştır. Tek dişlinin açısal olarak hareket ettiği sistemlerde, açısal değişime paralel olarak zincir baklalarındaki kuvvet değeri, hem eksen yönünde hem de eksen yönüne dik ölçümlerde, lineer artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Araç üretim aşamalarının ilki araç gövdesini oluşturan sac parçaların presler ile üretilmesi ile başlar. Bu aşamadaki parçalar henüz araç büyüklüğü ve ağırlığı kadar olmasa da iş güvenliği ve ergonomik gereklilikler nedeniyle insan eli değmeden üretilmektedir. Sürekli kalıplarda olduğu gibi sac parçanın birden fazla kalıpta basılması gerektiğinden dolayı presler arası yarı mamul sac parçaların transport ihtiyacı olmaktadır. Bu aşamada transport, otomasyon teknolojisi destekli robotlar ile yapılmaktadır.

Pres atölyesi sonrası aracın gövdesini oluşturmak amacıyla basılmış sac parçalar ve yan sanayi firmalarından gelen sac parçalar, gövde atölyesine çekiciler tarafından iletilir. Bu aşamada sac parçalar özel kasalar tarafından taşınır.

Günümüz teknolojisinde araç gövdesini üretim teknolojisi %95 otomasyon seviyelerine gelmiştir. Dolayısıyla gövde üretim süreci sırasında parça ve yarı mamullerin taşınması ve süreç boyunca ilerlemesi robot ve otomatik çalışan ekipmanlar tarafından yapılmaktadır. Gövde birleştirme sırasında punta, gaz altı kaynak gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler gereğı transport işlemi, yer bandı denilen konveyör hattı ile sağlanmaktadır (Şekil 2.9)



Şekil 2.9. TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası Gövde Üretim Hattı

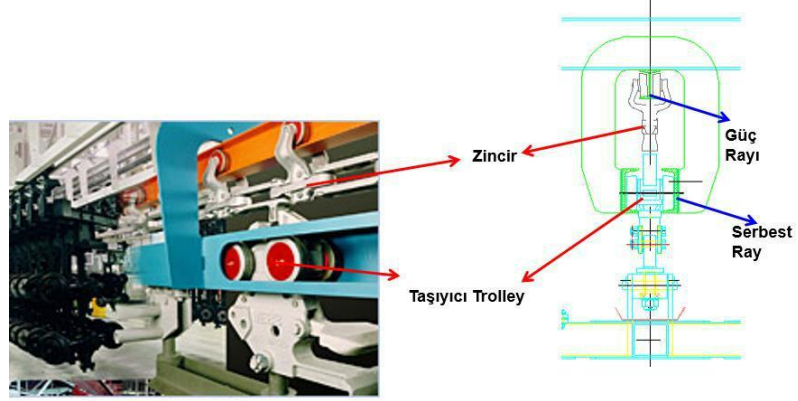
Araç gövdesi oluşturulduktan sonraki üretim süreci olan Boya atölyesinde aracın sac gövdesi kataforez havuzlarından geçirilmektedir (Şekil 2.10). Bu aşamada da operatör kullanılmadan neredeyse tüm işlemler otomatik robotlar ve ekipmanlar vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Boya üretim sürecinde kullanılan ekipmanlar süreç gerekliliklerinden ötürü çeşitlilik göstermektedir.



Şekil 2.10. TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası Boya Üretim Hattı

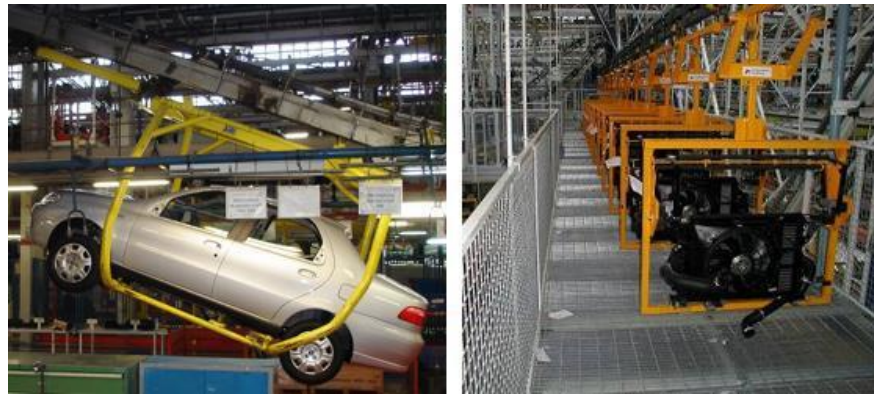
Boya üretim prosesi sonrası araçlar bir sonraki üretim süreci olan montaj atölyesine iletilir. Bu iletim sırasında araç bina değiştirmesi gerektiğinden binalar arası tünellerden yer konveyörleri ile iletilir. Montaj üretim hattında araçlarda henüz tekerlek olmadığından bu çalışmanın da konusu olan kanca tipi tutuş ile hatta sabitlenerek süreç boyunca ilerler. Bu ilerleme de havai konveyörler vasıtasıyla olur. Montaj atölyesinde ve motor, süspansiyon gibi birleştirmelerin yapıldığı süspansiyon atölyesinde araçlar havai konveyör ve kanca ekipmanlarla ilerler ve operasyonları yapılır. Ayrıca montaj hattında araç operasyonları gereği araçların ilerlemesi, tekerlek ve süspansiyon kompleleri takıldıktan sonra yer bandında ilerler. Bu ilerleme konvansiyonel transport tekniğindeki gibi kayış – kasnak mekanizması mantığında tahrik edilir. Ancak hattın uzunluğunun 100 m civarlarında olması nedeniyle hareket birkaç konveyörün birbirine iletimi vasıtasıyla olmaktadır.

Tahrik ünitesi vasıtasıyla hareket ettirilen zincir, profil üzerinde ilerleyerek güç hattını oluşturur, diğer profil üzerinde ise serbest olarak asılan yükler ise serbest hattı oluşturur. Zincir hareketi ile yükün istenen bölgelerde çekerek taşıyan konveyör prensibine denir (Şekil 2.11)



Şekil 2.11. Havai Konveyör Sistemi

Genellikle, ağır taşıma gerektiren ve hassas taşıma ihtiyacı duyulmayan endüstrilerde sıklıkla kullanılan havai konveyörler, günümüz teknolojisinde önemli bir konuma sahiptir. Havai konveyör sistemleri taşıyıcı kanca üzerinde malzemelerin esnek ve güvenilir olarak taşınabilmesinden ötürü de otomotiv sektöründe yaygın kullanıma sahiptir (Şekil 2.12). Özellikle montaj hatlarında ergonomik koşullarda aracın taşınması, malzemelerin lojistik hareketlerindeki esneklik ve kolay stok yapabilme özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir.



Şekil 2.12. Havai Konveyör Sistemi Kullanım Alanları

Havai konveyör sistemleri boya proseslerindeki operatörün girmesinin sakıncalı olduğu malzemelerin daldırma yöntemi ve robot ile boyama yapılan alanlarda yaygın kullanıma sahiptir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Havai Konveyör Sistemi Kullanım Alanları

2.3.1. Havai Konveyör Sistemleri Avantajları ve Dezavantajları

2.3.1.1. Avantajları:

- Hat akışındaki maksimum esneklik ve minimum alan ihtiyacı
- Hatlar arası transferde ilave transfer sistemine ihtiyaç duyulmaması
- Hız ayarı yapılabilme esnekliği
- Çalışma istasyonları sürekli veya Dur/Kalk olabilir
- Ürün yüksekliğini ayarlama özelliği (Dikey eğimli iniş ve çıkış profilleri ile)
- Yatırım maliyetlerinin düşüklüğü
- Basit yapıda olması dolayısı ile daha az bakım gerekliliği ile maksimum hat verimliliği eldesi

2.3.1.2. Dezavantajları:

- Operatörlerin hareket halinde işlem yapması dolayısı ile ergonomi sorunu ve yürüme kayıpları, bu sorun ise operatörler için senkron yer bandı ilavesi çözülebilir
- Ürüne ulaşımında kanca kollarından dolayı sınırlama oluşabilir, fakat kanca tasarımında prosesler göz önünde bulundurularak bu problemler minimize edilebilir
- Geri dönüş hattına ihtiyaç duyulduğu için kapalı devre tasarlanmalıdır.
- Sürekli zincir hareketinden dolayı sistemde ses problemi
- Boya proseslerinde konveyör zinciri ile taşınan kirlilik problemi

2.4. Optimizasyon Teknikleri

Optimum kelimesi Latince kökenli olup nihai ideal anlamına gelmektedir. Optimizasyon ise, bir problemin en iyi çözümünü veya tasarımına ulaşma olarak tanımlanabilir. Mühendisler, tasarımda, imalatda veya üretim aşamalarının herhangi birinde karar almak zorundadırlar. Bütün bu kararların amacı, bu amaca ulaşmak için harcanan çaba, sermaye, malzeme veya teknolojinin minimumda tutulması ve karı maksimum yapmaktır. Bu sebeple optimizasyon, hedeflenen amacı maksimum veya minimum yapacak şartları belirlemek tanımlanabilir. Optimum parametre karşılığını bulmakta kullanılan metotlar, matematiksel programlama olarak da adlandırılır ve operasyon araştırması bir alt kademesidir. Operasyon araştırması, en iyi çözüm veya optimum çözümü bulmada karar verme metotlarını içeren bilimsel çalışmaların uygulandığı, matematiğin bir alt dalıdır.

Öztürk ve ark. (2016) araç b-sütunu çarpışma analizi ve hızlandırılmış tasarım yaklaşımı ile optimizasyonu çalışmalarında yan kapı direğinin (B-sütunu) çarpışma analizi ve hızlandırılmış tasarım yaklaşımı ile optimizasyonu araştırmasında yapılan çalışmalar verilmiştir. B-sütunu malzeme karakteristikleri ağırlık darbe testi ile belirlenmiş, seçilen aracın Euro NCAP yan çarpışma testi sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmış ve deney tasarımı yöntemi ile tasarım fonksiyonları oluşturulmuştur. Optimizasyon sürecinde B-

sütunu ağırlık minimizasyonu için boyut optimizasyonu problemi tanımlanmış ve genetik algoritma yöntemi ile B sütunu ağırlığı %17.6 oranında azaltılmıştır.

Henriksen (2017) dondurulmuş kalıplanmış ürünlerin çıkartılmasının optimizasyonuna yönelik yöntem için patent almıştır. Dondurulacak bir ön-ürünün kalıp tablası içindeki dondurma cepleri içerisine doldurulması, ön-ürünün dondurma ceplerinin bir soğutma ortamına maruz bırakılması ile dondurulmuş kalıplanmış ürünlere dönüştürülmesi, bir veya daha fazla dondurulmuş kalıplanmış ürünün örneğin bir veya daha fazla servo motor içeren bir tahrik düzenlemesi aracılığıyla tahrik edilen bir çıkartma sistemi aracılığıyla kavranması, tahrik düzenlemesi tarafından uygulanan bir veya daha fazla tork veya kuvvet değerleri ölçülürken, bir veya daha fazla dondurulmuş kalıplanmış ürünün dondurma ceplerinden çıkartılması ve dondurma aparatının bir veya daha fazla işletim parametresinin kontrol edilmesine yönelik bir veya daha fazla ölçülen tork ve kuvvet değerlerinin geri beslenmesi aracılığıyla yenilebilir dondurma ürünleri gibi dondurulmuş kalıplanmış ürünlerin, çok sayıda dondurma cebi ile bir kalıp tablasından, çıkartılmasının kontrol edilmesine yönelik bir aparat ve bir yöntem ile açıklamıştır.

Yıldız (2017) Taşıt Elemanlarının Yapısal Optimizasyon Teknikleri ile Optimum Tasarımı konulu çalışmasında optimizasyon çalışmaları sırasında seçilecek yöntemin optimum tasarıma ulaşmada en önemli unsurlardan birisi olduğunu belirtmiştir. Bu bağlamda optimum noktaya hızlı ve doğru şekilde yakınsayan yöntemlerin seçimi çok önemlidir. Bu çalışmada otomobillerin ön süspansiyon sisteminde kullanılan salıncak kolunun, sırasıyla topoloji ve şekil optimizasyonu yapılarak optimum boyutları bulunmuştur. Bu çalışmada şekil optimizasyonu için yeni geliştirilen iç arama algoritması literatürde ilk defa optimum ürün tasarımı sürecinde kullanılmıştır.

2.4.1. Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması

Birden fazla optimizasyon algoritması çeşidi mevcuttur. Bunların çoğu sadece belirli bir problemin çözümü için geliştirilmiş yöntemlerdir. Bu sebeple, optimizasyon probleminin çözümü için gerekli metodun seçimi için, optimizasyon probleminin türünün belirlenmesi önemlidir (Çizelge 2.1).

Soğancı (2016) yapısal optimizasyon yoluyla bir ticari araç gövdesinin tasarımı yapmıştır. Yapılan çalışmada, yapının topolojisi elde edilmiş ve elde edilen topoloji sonrasında bir boyutlu-sabit kesitli yapı elemanları ile kurulmuş ve yapı elemanlarının kesitleri, belirlenen zorlanma durumlarına göre optimize edilmiştir. Sonraki adımda aracın 2D elemanlar kullanılarak sonlu eleman modeli kurulmuş ve bölgesel iyileştirmeler yapıldıktan sonra kesitlerin kalınlıkları optimize edilmiştir. Optimizasyon yoluyla geliştirilen yapı, temel dayanım ve yorulma analizleri ile sanal doğrulaması yapılmıştır. Yapısal optimizasyon yöntemlerinin, yapının tasarımı ve sanal doğrulamadan önce yapılmış olmasının, ürün geliştirme sürecini daha öngörülebilir şekilde planlanmasını, temel doğrulama koşullarını sağlayacak bir yapı elde edilmesini ve yapının istenen özellikleri sağlayacak (hafif, katılık değeri yüksek) bir gövde tasarımının elde edilmesi olarak tanıdığı görülmüştür.

KARAKTERİSTİĞİ	ÖZELLİĞİ	SINIFLANDIRMA
Tasarım Değişkenlerin Sayısı	Bir	Tek değişkenli
	Birden fazla	Çok değişkenli
Tasarım Değişkenlerin Türü	Sürekli	Sürekli
	Tamsayı	Tamsayı veya kesikli
	Hem Sürekli hem Tamsayı	Karışık Tamsayı
Hedef ve Kısıtlayıcı Fonksiyonlar	Doğrusal Fonksiyon	Doğrusal
	Kuadratik Fonksiyon	Kuadratik
	Doğrusal Olmayan Fonksiyon	Doğrusal olmayan
Problem Formülasyonu	Kısıtlama Var	Kısıtlamalı
	Kısıtlama Yok	Kısıtlamasız

Çizelge 2.2. Optimizasyon Sınıflandırması (Kaymaz 2003)

Kayabekir ve ark (2017) statik ve dinamik yükler altında istinat duvarlarının optimum tasarımı konulu çalışmalarında, statik yükler ve deprem yükleri altında konsol bir istinat duvarının optimum betonarme tasarımı, meta sezgisel algoritmalarından biri olan Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (TLBO) algoritmasını kullanan bir metot geliştirilerek yapılmıştır. Optimum tasarım ile istinat duvarının birim uzunluğu için toplam maliyetin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Betonarme tasarım, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) kuralları uygulanarak yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonuçları, TLBO algoritması kullanımı ile optimum kesit boyutları bulunarak daha düşük maliyetli istinat duvarı tasarımı elde edilebileceğini göstermiştir.

2.5. Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu elemanlar metodu, günümüzde karmaşık mühendislik problemlerinin hassas olarak çözülmesinde etkin olarak kullanılan bir sayısal metottur. İlk defa 1956 yılında uçak gövdelerinin gerilme analizi için geliştirilmiş olan bu metodun, daha sonraki on yıl içerisinde uygulamalı bilimler ve mühendislik problemlerinin çözümünde de kullanılabileceği anlaşılmıştır. Daha sonraki yıllarda ise sonlu elemanlar metodu ve çözüm teknikleri hızlı gelişmeler kaydetmiş ve günümüzde birçok pratik problemin çözümü için kullanılan en iyi metotlardan birisi olmuştur. Metodun değişik mühendislik alanları için bu kadar popüler olmasının ana nedenlerinden birisi genel bir bilgisayar programının yalnız giriş verilerini değiştirerek herhangi bir özel problemin çözümü için kurabilmesidir (Arıkan 2005).

Sonlu elemanlar metodundaki temel düşünce, karmaşık bir probleme, problemi basite indirgeyerek bir çözüm bulmaktır. Esas problemin daha basit bir probleme indirgenmiş olması nedeni ile kesin sonuç yerine yaklaşık bir sonuç elde edilmekte, ancak bu sonucun çözüm için daha fazla çaba harcayarak iyileştirilmesi ve kesin sonuca çok yaklaşılması, hatta kesin sonuca ulaşılması mümkün olmaktadır. Elde bulunan konvansiyonel matematiksel araçların kesin sonucu, hatta yaklaşık bir sonucu dahi bulmakta yetersiz kalması durumunda ise sonlu elemanlar metodu kullanılabilecek tek metot olmaktadır.

Sonlu elemanlar metodunda, çözüm bölgesi, çok sayıda, basit, küçük, birbirine bağlı, sonlu eleman adı verilen alt bölgelere ayrılmaktadır (Arıkan 2005).

Kandirmiş ve ark. (2016) hafif ticari araçlarda hafifletme için çelik, termoset kompozit malzeme ve termoplastik kompozit malzeme gibi alternatif malzemelerden üretilmiş hafif ticari araç kapı menteşesinin RADIOS programı ile Sonlu Elemanlar Analizleri yapılmışlar ve sonuçlar karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Erkek ve ark. (2015) kauçuk burçların hiperelastik modellenmesi ve sonlu elemanlar yöntemi ile analizi çalışmasında, otomotiv endüstrisinde kullanılan kauçuk burçların hiperelastik modellenmesi yapılmış ve sonlu elemanlar yöntemi ile statik analizleri gerçekleştirilerek rijitlik eğrileri çıkarılmıştır. Kauçuk malzemelerin hiperelastik malzeme modelleri malzeme testleri sonucu belirlenmiştir. Kauçuk burcun belli oranda x,y,z eksenleri yönünde sıkıştırılması ve eksenel yönde burulması sonucu oluşan gerilmeler ve yer değişimleri incelenerek statik rijitlik eğrileri çıkarılmıştır. Rijitlik eğrilerinin doğrusal olmayan karakteristikte olduğu belirlenmiştir.

Şen ve ark (2015) hibrid tip bağlantı uygulanmış termoplastik kompozit plakalardaki ısı kayma gerilmelerinin belirlenmesi konulu çalışmalarında, Hibrid bağlantı yapıştırıcı ve iki paralel pim uygulaması şeklinde tasarlanmıştır. Problemin çizimi ve çözümü ANSYS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yüzden çözümlerde sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Hibrid bağlantının modellenmesi üç boyutlu olarak yapılmıştır. Tasarlanan yapıdaki ısı gerilmeler uygulanan uniform sıcaklık yükleri nedeniyle meydana gelmiştir. Elde edilen sonuçlar, ısı gerilmelerin uniform sıcaklık artışına çok önemli oranda bağlı olduğunu göstermiştir. Kısaca, ısı kayma gerilmeleri, sıcaklık yükündeki artışa bağlı olarak artmıştır.

Kaplanlıoğlu ve ark. (2015) sonlu elemanlar yöntemi ve analitik yöntemler kullanılarak bulunan gerilmelerin karşılaştırılması konulu çalışmalarında Hızlı ve güvenilir boyutlandırma yapmak için kaba modelin son derece kullanışlı olduğunu düşünmüşlerdir. Ayrıca detay model ve kaba model ile gerilme değerleri açısından karşılaştırma yapıldığında değerler arasındaki oransal fark, maksimum %8,68 olarak bulunduğu ve bu farkın radyus geçişi gibi gerilme konsantrasyonunun yüksek olduğu bölgede olduğu düşünüldüğünde, panel üzerindeki gerilme değerlerinin tahmini için kaba model oldukça güvenilir sonuçlar verdiği sonucuna ulaşmışlar ve kaba model kullanılarak analitik yöntemlerle elde edilen sonuçlar belirli ölçüde detay model ile doğrulanmış, hazırlanan analitik metot, bu tip problemlerde kullanılabilecek genel bir makro haline getirilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

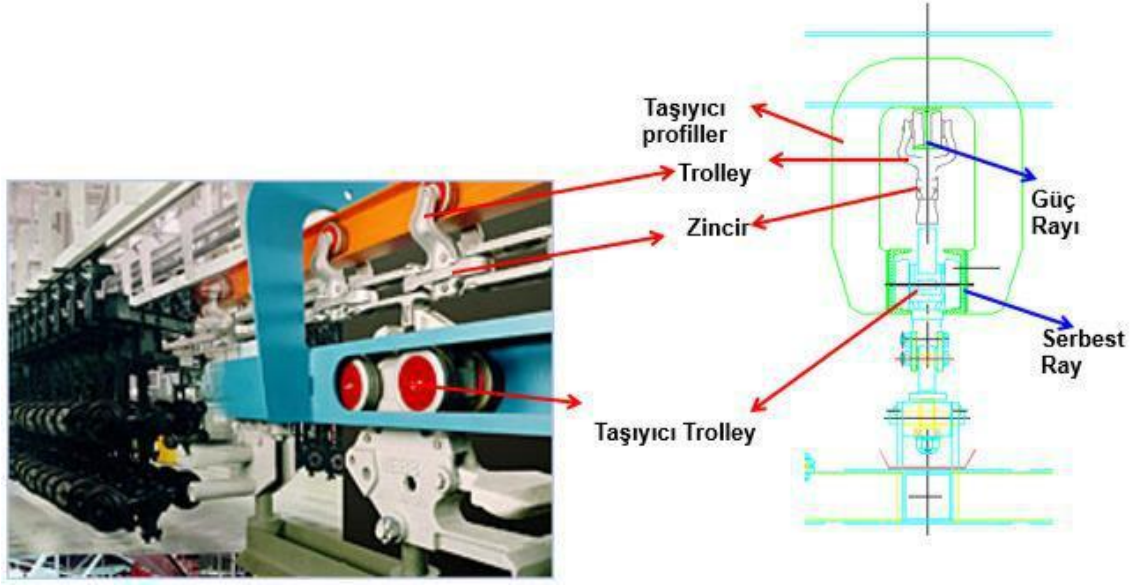
Bu çalışmada, mevcut konveyör hattı incelemesi yapılmış, gerilim ve aşınmaya maruz kalmamış zincir bakla modeli tarama ile nokta bulutu oluşturularak 3 boyutlu matematik modeli oluşturulmuştur. Bu aşamadan sonra matematik model üzerine fiziksel durumda üzerine gelen yükler uygulanarak mevcut durumda meydana gelen gerilme bölgeleri tespit edilmiştir. Bu gerilme bölgeleri incelenerek edilerek geometrik optimizasyon yapılmıştır.

3.1. Mevcut Konveyör Hattının İncelemesi

Boya işlemleri bitmiş araçların Montaj hattına gönderilmesinde, aracın montaj işlemlerinin yapıldığı süreç hatlarında taşınmasında montaj ve mekanik binada güç ve serbest konveyörleri kullanılır.

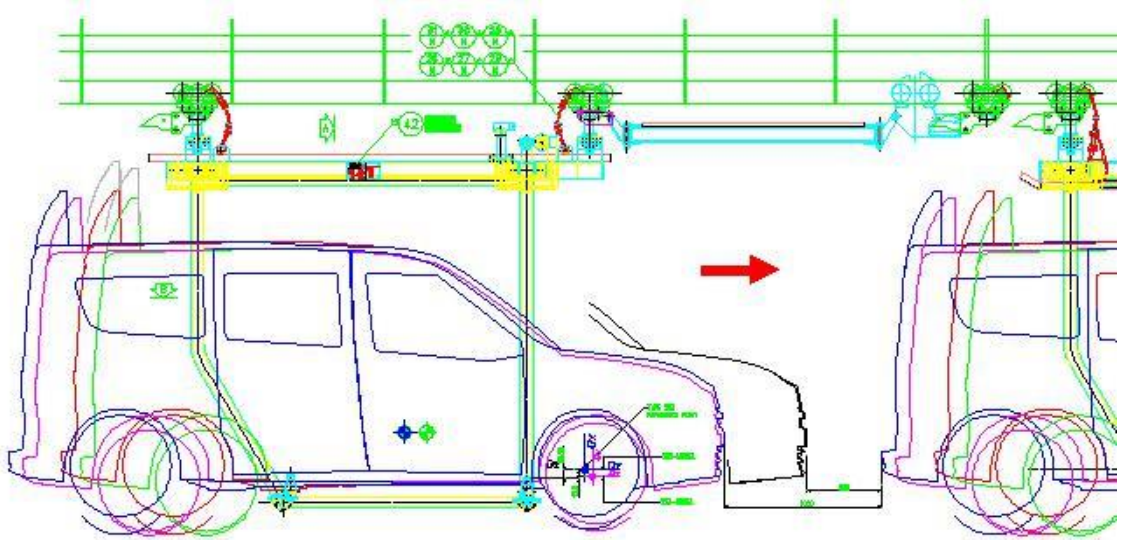
Montaj hatlarında boyadan gelen araçlar difüzyon alanında güç - serbest hızlı hattında stoklanıp, üretim planına göre yavaş hat giriş montaj bandına alınır, burada proses hattında işlemler yapıldıktan sonra mekanik binaya transfer için hızlı hatta geçer. Binalar arasında transfer skid hattı ile yapıldıktan sonra mekanik binada tekrar güç - serbest konveyörüne yüklenecek proses işlemleri yapılmaktadır, bunun bir kısmı Marriage bölgesindeki motor-süspansiyon montaj alanıdır. Güç - serbest hattı sonunda asansör ile araç Slat konveyöre (Yer bandı) indirilir.

Proses hatlarında, operasyonlardaki çalışma ergonomisine göre gerekli araç yüksekliğine göre hattın yükseklikleri bölgesel olarak farklılaşmaktadır. Güç - serbest hattı Şekil 3.1 'de gösterilen bileşenlerde oluşur.



Şekil 3.1 Güç & Serbest Hattı Bileşenleri

Güç & Serbest Konveyör hattı konveyöründe alt kısımda araç ve kapı taşıyan kancalar bulunmaktadır (Şekil 3.2)



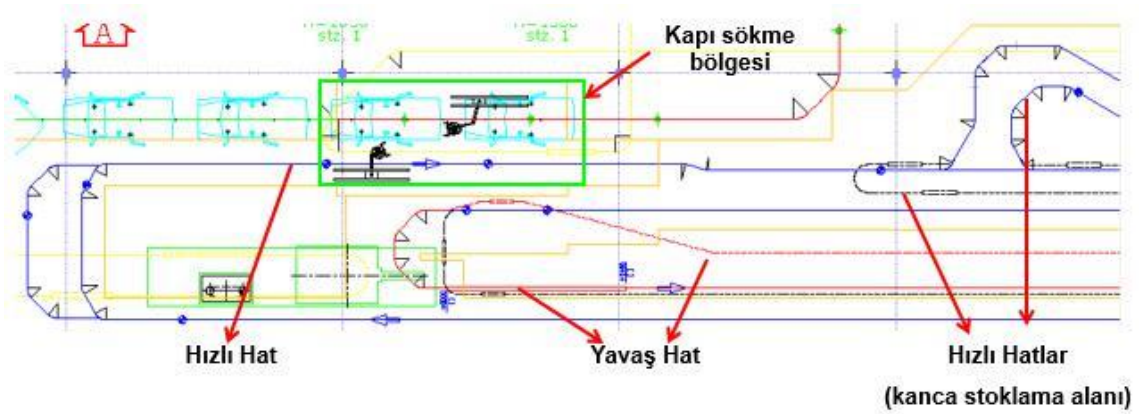
Şekil 3.2 Konveyör Hattı Araç Taşıma Kancaları

Kapı montaj hattında araçtan sökülen kapılar hızlı hattan alınıp hızlı kapı hattına yüklenmektedir. Bu hızlı hat eski kapı hattına aittir, kapı hattı stok bölgesinin artırılmasından dolayı yeni hızlı bant ilavesi yapılmıştır. Eski hızlı hattaki kapı kancasına yüklenen kapılar stok bölgesine gelindiğinde yeni hızlı hatta geçiş yapmaktadır. Yeni

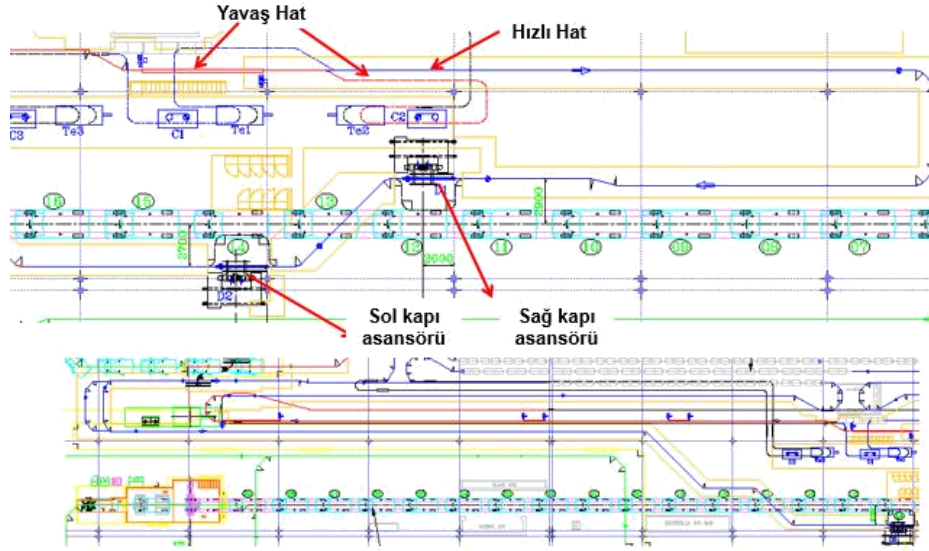
hızlı hat ilave yapılan stok kısmını kapsamakta olup, bu hattan çıkan kancalar eski hızlı hatta bağlanmaktadır. Kapı kancaları stok adedi, araçlar mekanik binaya transfer olup geri gelinceye kadar ki araç sayısına göre belirlenmektedir (Şekil 3.3)

Stok kısmından çıkan kancalar platform sonunda yavaş banda (süreç bandı) geçmektedir. Buradaki yükseklik değerleri kancanın alt profil altından zemine olan mesafe olarak alınmaktadır. Hat daha sonra cam macun bölgesi için dönmekte ve daha sonra platform üstüne eğimli olarak yükselmektedir. Yavaş hat platform girişinde hızlı hatta geçiş yapmaktadır.

Platform bölgesinde kancaları alan hızlı hat önce sağ asansör ile kapıyı yer bandına indirmekte ve daha sonra sol tarafa indirip boş kanca kapı yükleme alanına gitmektedir (Şekil 3.4)

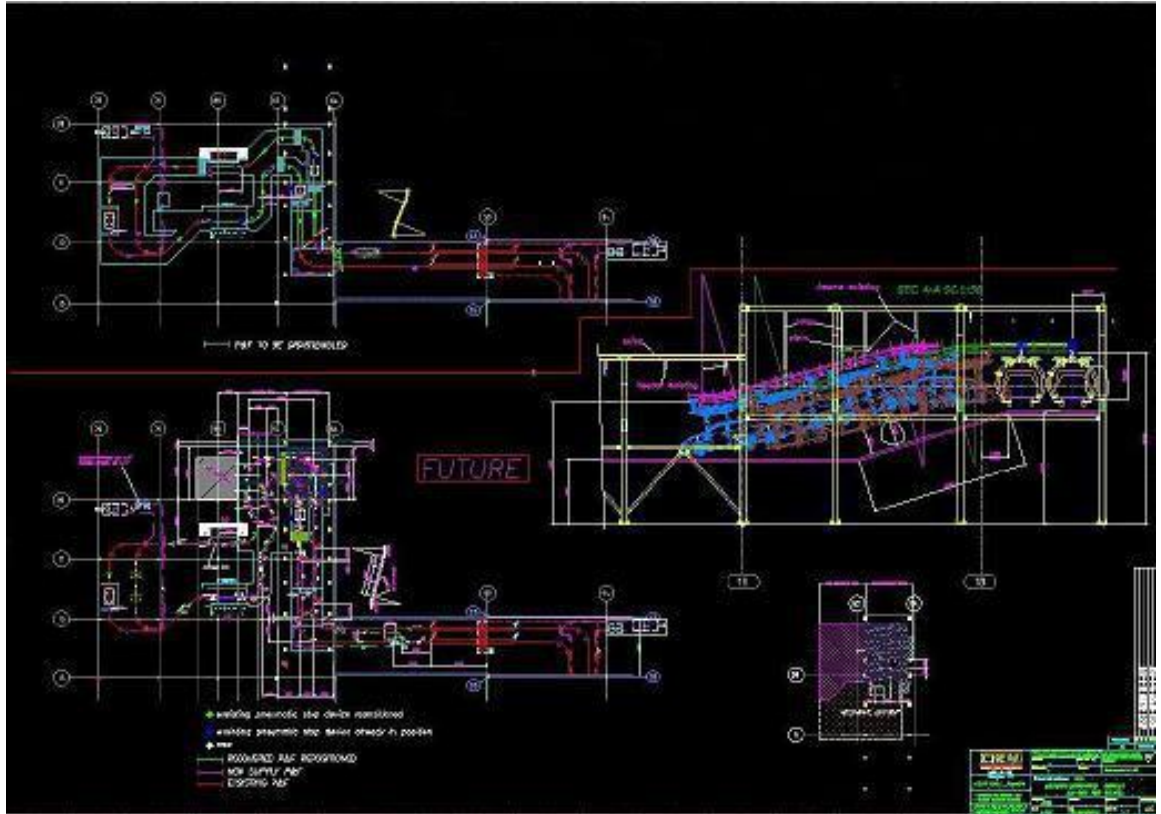


Şekil 3.3 Kapı Montaj Hattına Geçiş



Şekil 3.4 Kapı Montaj Hattı

Eğimli bölge, hat yerleşiminden dolayı transfer esnasında kot farkı olan bir bölgeden diğer bölgeye olan transfer sırasında hattın açılı bir şekilde araç transfer etmesi gerekliliğinden ötürü doğan zorunluluk neticesinde oluşan hat yerleşimidir (Şekil 3.5)



Şekil 3.5 Eğimli Havai Konveyör Hat Yerleşimi

3.2. Konveyör Zincir Bakla Modellemesi

Havai konveyör hattının araçların taşınması fonksiyonunu istenen kriterler doğrultusunda yapabilmesi için birbirine pim ve zincir baklası ile bağlı ve bunun yanında birbirine göre göreceli hareket yapan elemanları bünyesinde barındırmalıdır.

Bu zincir baklaları, hat boyunca ilerleyebilmesi için bir tahrik gücüne ihtiyaç duyar. Bu tahrik gücü de elektrik motoru vasıtasıyla hat elemanlarına doğrudan veya dolaylı olarak aktarılır.

Zincir baklaları çalışma fonksiyonu itibariyle boşluklu, göreceli ve temas halinde verilen tahrik gücünü bir sonraki baklaya iletirler. Bu iletim sırasında metal-metal teması nedeniyle zamanla bakla profili üzerinde gerilmeler meydana gelir ve aşınma olur. Bu aşınma hattın zamanla uzamasına ve sonunda zincir baklalarının değişimine kadar gitmektedir.

3.2.1. Lazer Tarama

Üretim süreçlerinin ihtiyaç ve gereksinimlerini karşılamak için, 3D ölçme tekniklerine olan eğilim ve işletmelerin bu konudaki yatırımları giderek artmaktadır.

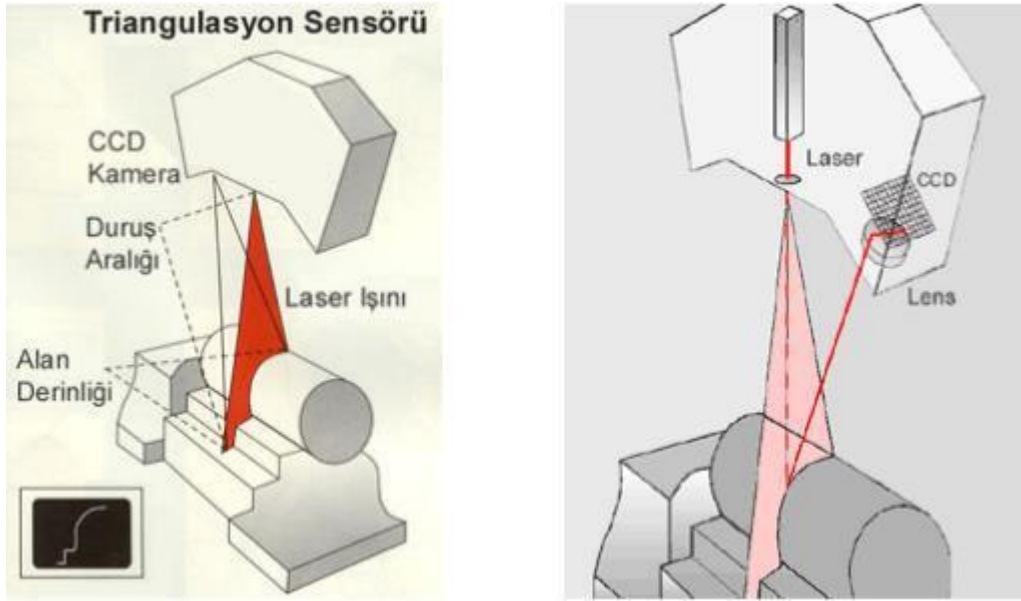
Yalnız mühendislik uygulamaları ve üretim süreçleri değil, endüstriyel tasarım ve ürün geliştirme faaliyetleri hızlı, hassas ve kullanışlı ölçme sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. Dijital görüntüleme teknikleri ile ölçülecek parçaya ait nokta verilerinin tek tek elde edilmesi ile, üretim toleranslarını doğrulama, yeniden üretilecek parçalar için geometri belirleme ve deformasyon problemlerini görüntüleme gibi pek çok tersine mühendislik ve muayene prosesleri yapılabilmektedir.

CAD/CAM uygulamalarında çoğunlukla bilgisayar ile oluşturulan üç boyutlu model baz alınarak uygun CNC veri oluşturulması yoluyla üretim aşamasına geçilmektedir. Bu metottan farklı olarak "tersine mühendislik" diye tanımlanan metot da mevcuttur. Gerçekte bu yöntemi genel anlamı ile incelediğimizde, elde mevcut olan üretim parçasından hareketle ve üretim sürecindeki operasyondan geriye doğru gidilerek, operasyonların tümünün çözümlenmesine yönelik çalışmaların bütünü olarak görmek gerekmektedir. Üretim endüstrisi için yeni sayılan bu terim, uygulamalarda biraz kısıtlanarak elde bulunan parçayı bir tarayıcı ile tarayarak oluşan verilerin uygun şekilde elden geçirilip yüzey haline getirilmesinden sonra CNC tezgahta işlemek için uygun geometriye dönüştürme işlemi için kullanılmaktadır.

Dokunmasız lazer tarama metodu, lazer triangulasyonu operasyonu ile çalışmaktadır. Bu operasyonda, lazer çizgisi sayısallaştırılacak yüzey üzerine lazer kafasından yaklaşık 2 ½ inç uzunluğunda parça üzerine gönderilmektedir. (Şekil 3.6)

CCD kameralar, lazerden belli uzaklıkta olan parça yüzeyinden yansıyan lazer ışınının ışığını algılamaktadır. Lazer çizgisinin Kartezyen koordinatları trigonometrik olarak hesaplanıp bulunabilmektedir.

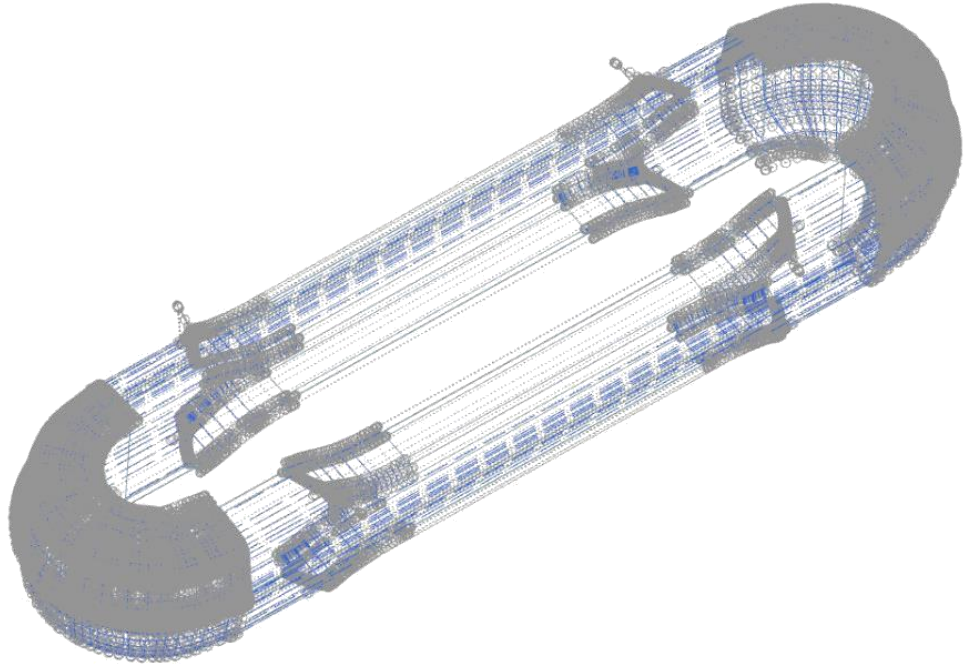
Kullanılan sensör ve yazılım algoritmasına bağlı olarak, 650' den fazla ve birbirinden bağımsız veri noktası tek bir lazer çizgisinde birleşebilmektedir. Taranmış parça, birkaç bin noktadan milyarlarca noktaya kadar varan ve genellikle nokta bulutu olarak anılan söz konusu veri noktaları ile sayısallaştırılmaktadır



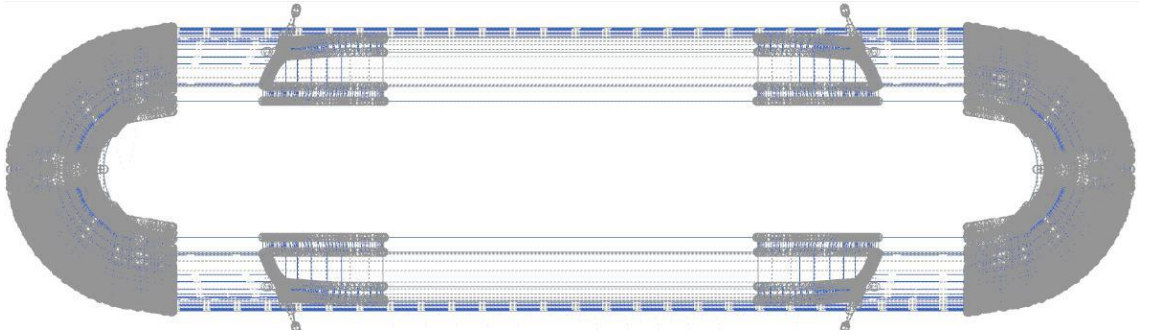
Şekil 3.6 Lazer Tarama Yöntemi

3.2.2. Nokta Bulutu Oluşturulması

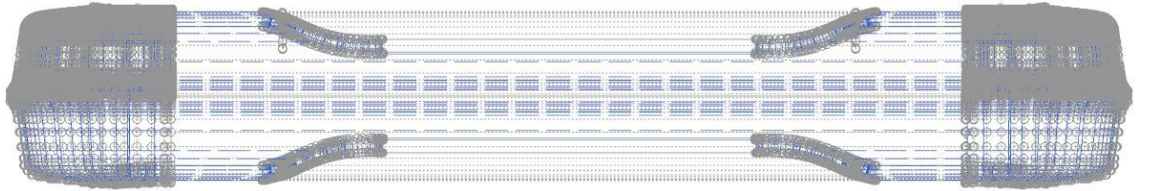
Lazer tarama yöntemi ile parça üzerinden taranan noktaların adeti, parçanın hacmine ve girinti çıkıntı miktarına bağlıdır. Fazla detay barındıran parçaları sayısallaştırmak için daha fazla noktaya ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 3.7 – 8 – 9)



Şekil 3.7 Lazer Tarama Yöntemi ile Oluşturulmuş Nokta Bulutu (İzometrik)



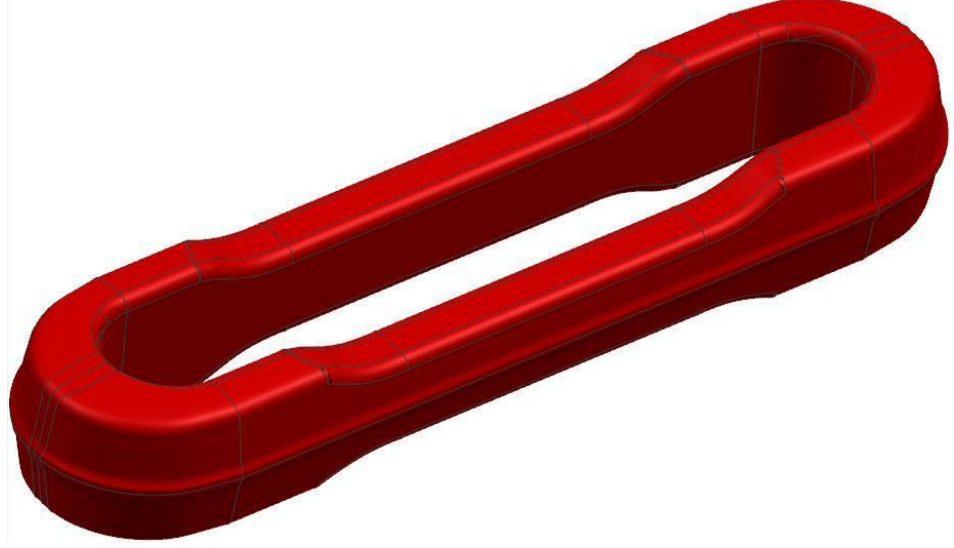
Şekil 3.8 Lazer Tarama Yöntemi ile Oluşturulmuş Nokta Bulutu (Üstten)



Şekil 3.9 Lazer Tarama Yöntemi ile Oluşturulmuş Nokta Bulutu (Yandan)

3.2.3. Nihai 3 Boyutlu Model Çizimi

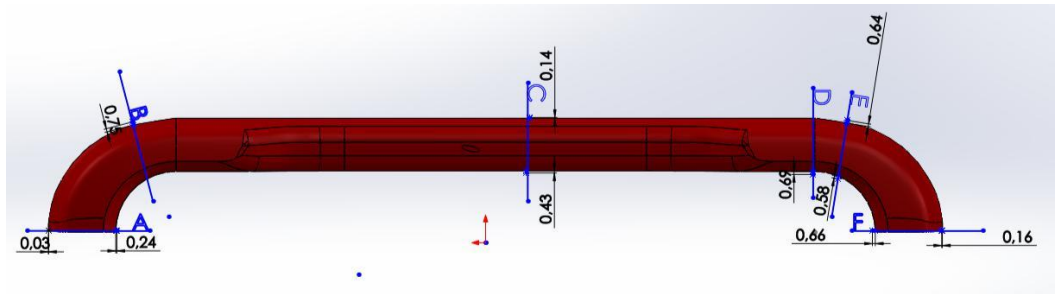
Bu çalışmada zincir baklalarının gerilme bölgeleri tespiti için 3 boyutlu tarama tekniği ile mevcut (hiç kullanılmamış) zincir baklasının nokta bulutu halinde sanal modeli çıkarılmış ve noktalar CATIA yazılımı vasıtasıyla birleştirilerek 3 boyutlu modellemesi yapılmıştır (Şekil 3.10)



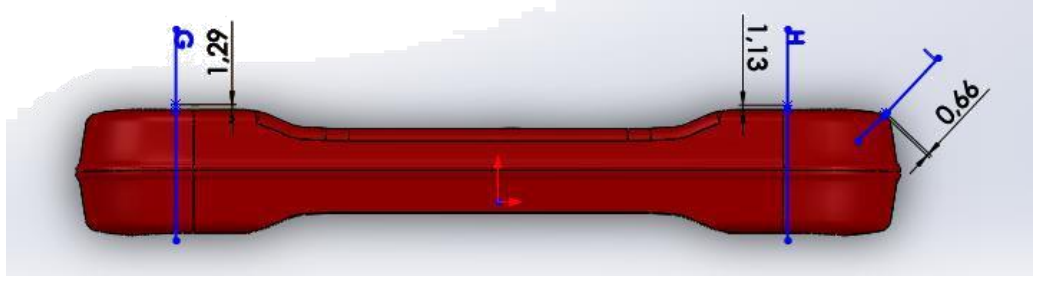
Şekil 3.10 Nokta bulutu datasının 3 boyutlu hale çevrilmiş hali

Bu 3 boyutlu modelde mevcut fiziksel parçaya göre geometrik olarak sapmalar meydana gelmiştir. Bu sapmaların nedeni; tarama cihazıyla nokta bulutu çıkarırken ölçüm cihazının toleransı ve noktaları 3 boyutlu modele dönüştürürken oluşturulan yüzeylerin mevcut fiziksel modele göre olan geometrik farklılıklarıdır.

Bu aşamadaki sapmalar Şekil 3. 11,12,13,14 ve Çizelge 3.1 ‘de verilmiştir.



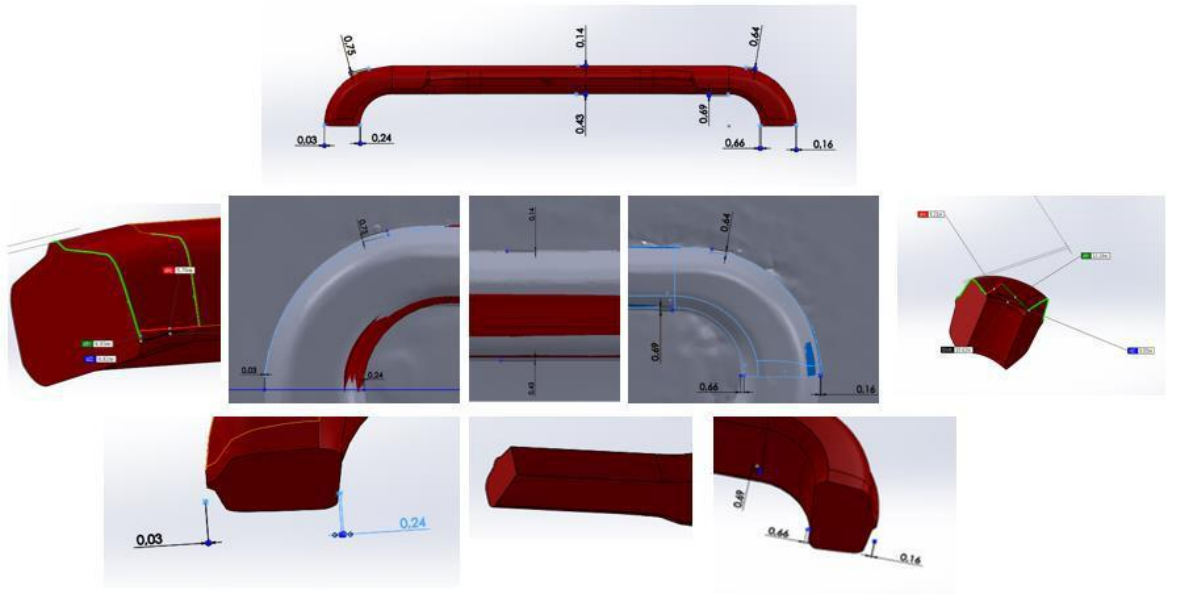
Şekil 3.11 3 Boyutlu Model – Fiziksel Parça Sapma (Yandan Görünüş)



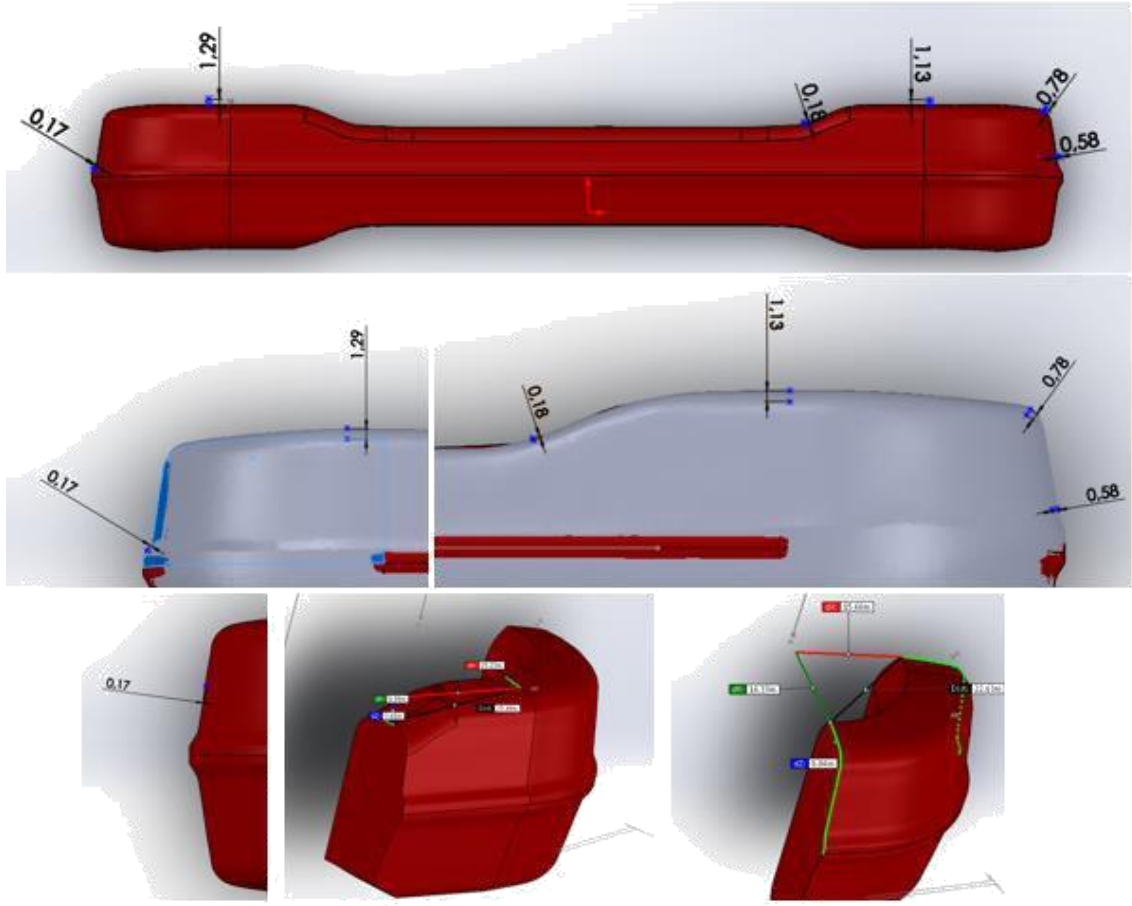
Şekil 3.12 3 Boyutlu Model – Fiziksel Parça Sapma (Üstten Görünüş)

Kesit	Tarama ile Fiziksel geometri Arasındaki Sapma (mm)
A	0,27
B	0,75
C	0,57
D	0,69
E	1,22
F	0,82
G	1,29
H	1,13
I	0,66

Çizelge 3.1 Üç Boyutlu Model – Fiziksel Parça Geometrik Sapma Tablosu



Şekil 3.13 3 Boyutlu Model – Fiziksel Parça Sapmalar



Şekil 3.14 3 Boyutlu Model – Fiziksel Parça Sapmalar

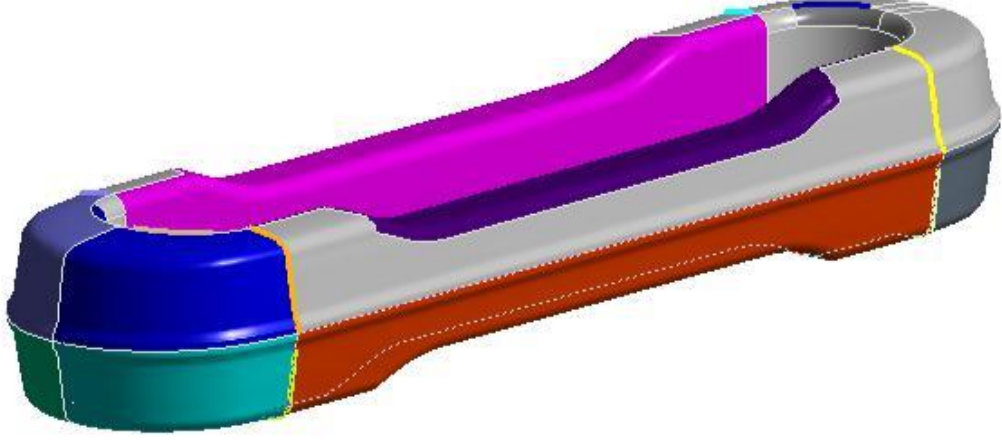
3.3. Mevcut Durum Sonlu Elemanlar Metodu Uygulaması

Sonlu elemanlar metodu, bütün bir parçayı, sayısı ve boyutları yapılacak olan analize göre farklılık gösteren elemanlara ayrılarak, belirlenen yük, basınç gibi fiziksel parametrelere maruz bırakıp, bu elemanların birbiri ile olan ilişkilerini birleştirerek bütünde meydana gelen fiziksel değişimleri incelemek için kullanılan bir analiz yöntemidir.

Bu yöntem ile, parçalar tasarım açısında fonksiyonlarına göre sınır şartlarında oluşacak maksimum yüklere, basınçlara karşı davranışları belirlenmiş olur.

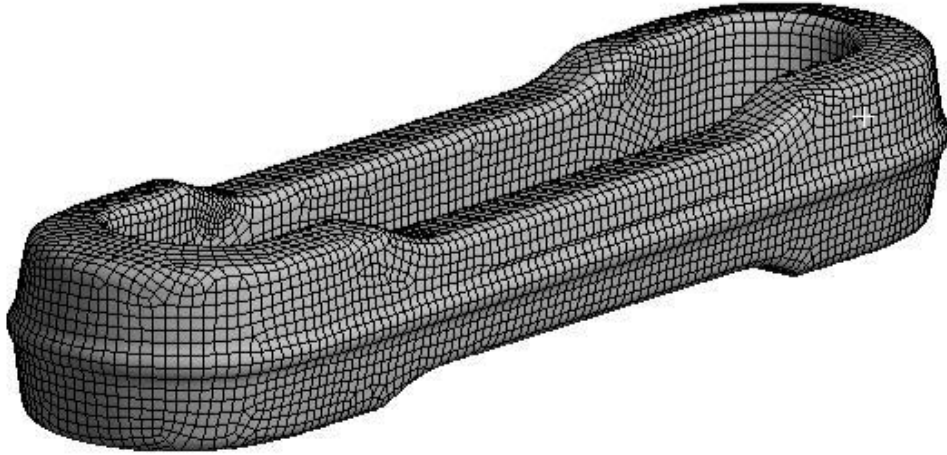
Bu çalışmada ilk aşamada nokta bulutu yöntemi ile oluşturulan 3 boyutlu zincir baklası modeli, sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilecektir.

Analiz parçasının sonlu elemanlar yöntemi uygulanması için düzgün bir yüzey geometrisine sahip olması gerekmektedir. Bu sebeple nokta bulutu birleştirilerek oluşturulan 3 boyutlu modelde yüzey iyileştirmeleri yapılmıştır (Şekil 3.15.)



Şekil 3.15. Sonlu elemanlar için 3 boyutlu geometrinin hazırlanması

Yüzey iyileştirmesi yapıldıktan sonra analiz parçası 2 mm 'lık, hekzahedral, 37418 elemana bölünerek analize hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.16.)



Şekil 3.16. 3 boyutlu geometrinin analiz için sonlu elemanlara ayrılması

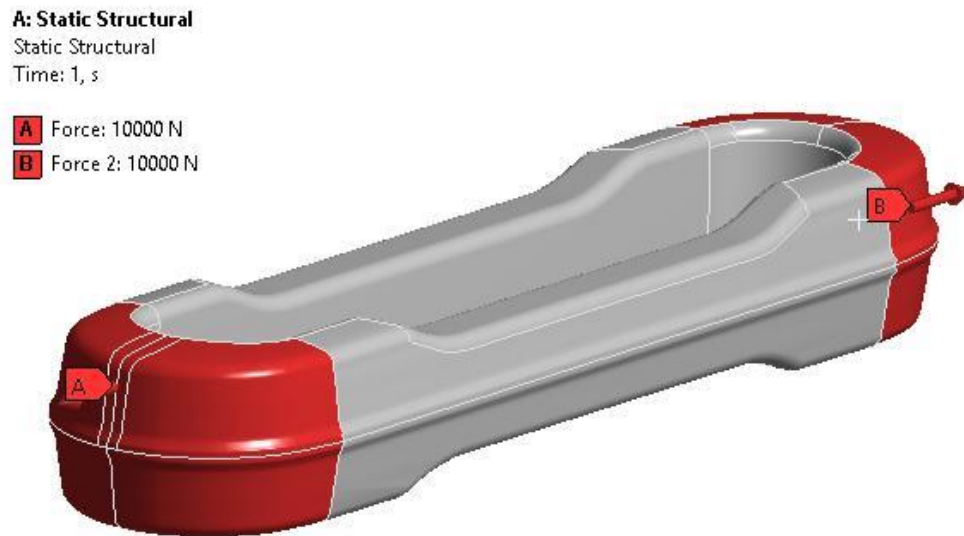
Sonlu elemanlara ayrılan analiz modeli, yöntem için gerekli malzeme özelliği, elastisite modülü ve poisson oranı bilgilerinin analizi yapacak yazılıma girdi olması gerekmektedir. Bu bilgiler Çizelge 3.2. 'deki gibi yazılıma işlenmiştir.

Malzeme	İzotropik Malzeme
Elastisite Modülü	215 000 Mpa
Poisson Oranı	0,3
Eleman Adeti	37 418
Köşe Adeti	130 422

Çizelge 3.2. Üç boyutlu model analiz girdileri

Analiz girdileri sonlu elemanlar yönteminin en önemli aşamalarından biridir. Bunun sebebi, analiz sonuçlarının her bir analiz girdisi ile doğrudan ilişkili olmasından kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak bulunan değerlerin fiziksel koşullar ile yakın bulunması, bu girdilerin minimum tolerans ile belirlenmesi kalitesi ile ilgilidir.

Analiz girdileri ile malzeme fiziksel parametreleri ve parça geometrisi analiz yazılımına tanıtıldıktan sonra, analiz yapılacak sınır şart koşulları parça üzerine tanımlanmıştır (Şekil 3.17.)



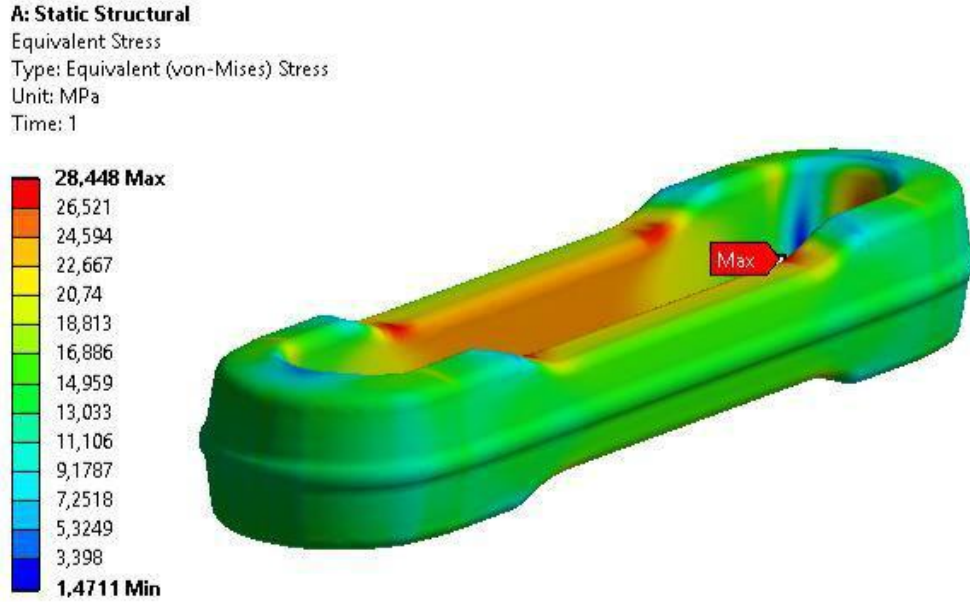
Şekil 3.17. Çekme Kuvvetinin Modele Uygulanması

Sonlu elemanlara ayrılmış zincir bakla modeli fizikselde ölçülmüş olan ve iki ucuna da uygulanmak suretiyle 10000 N kuvvete maruz bırakılmıştır. Bu tanımlama ile fiziksel durumda parçada meydana gelecek maksimum ve minimum gerilmelerin analiz sonunda görülmesine imkan tanınmıştır. Parça geometrisi iyileştirildiğinden kuvvet uygulanma bölgesi yüzeysel olarak ve simetrik seçilmiştir.

Bu aşamadan sonra analiz girdileri ile parça geometrisi yazılıma tanıtıldıktan sonra, çözmesi için komut verilmiştir.

3.3.1. Sanal Modelde Gerilme Sonuçları

Analiz sonucu maksimum gerilme 28,448 MPa , minimum gerilmesi ise 1,471 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 3.18)



Şekil 3.18. Sonlu Elemanlar Analiz Sonucu

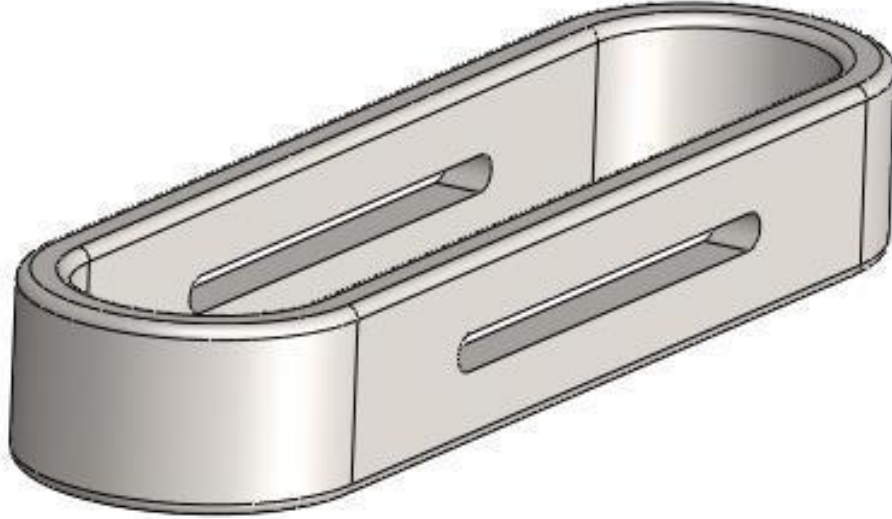
Bu sonuca bakarak maksimum gerilmenin olduğu bölge, çentik etkisinin ve geometri yüzeyinin diğer yüzeylere göre daha kısa bölgede değiştiği kısımda görülmüştür. Simetrik kuvvetin tanımlanması da gerilmenin orta eksene göre yine simetrik ve fiziksel duruma göre daha homojen bir şekilde dağıldığı sonucunu göstermiştir.

Parçanın elastisite modülü 215 MPa olduğu bilgisi göz önünde bulundurulduğunda, maksimum gerilmenin bu değerin nerede ise 1/10 civarında olduğu gözlemlenmektedir. Bu sonuç parçanın kullanım yerine göre çok daha dayanıklı olduğunu ve optimizasyon yapılması gerekliliği sonucunu da göstermektedir.

Optimizasyon yapmadan önce minimum gerilmenin görüldüğü yerlerdeki et kalınlığının azaltılmasının da mümkün olduğu yorumu da yapılabilir.

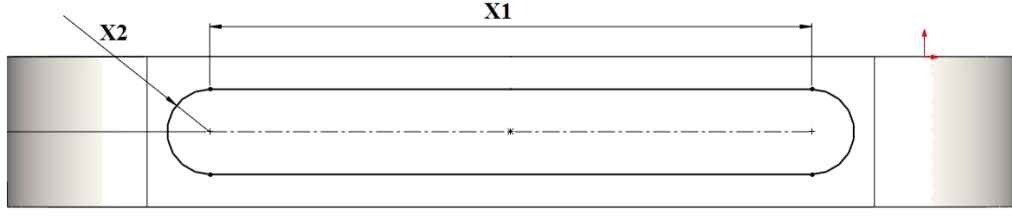
3.3.2. Gerilme Sonuçlarına Göre Optimize Tasarım Yapılması

Sonlu elemanlar analizinden çıkan sonuçlara göre parçanın orta bölgesindeki gerilme miktarı diğer bölgelere göre düşük görülmüş ve yeni tasarımda bu bölge boşaltılmıştır (Şekil 3.19)



Şekil 3.19. Sonlu Elemanlar Analiz Sonucuna Göre Yapılan Yeni Tasarım

Yapılan bu tasarımın optimizasyonu için delik açılan bölgeler farklı senaryolar uygulanabilmesi için parametrik olarak analiz programına tanımlanması gerekmektedir. Bu tanımlamada da açılan deliğin koza şeklinde olması sebebiyle eksenleri arası mesafe (X1) ve yükseklik (X2) tanımlanmıştır (Şekil 3.20)



Şekil 3.20. Sonlu Elemanlar Analiz Sonucuna Göre Yapılan Yeni Tasarım Parametreleri

3.3.3. Deney Tasarımı Sonuçları

Yeni tasarımla elde edilen geometri deney tasarımı metotları kullanılarak sonuçlar elde edilmiş ve bu sonuçlar ile cevap yüzeyleri oluşturulmuştur. Üç farklı eksenler arası uzaklık (X1) ve beş farklı yükseklik ile yapılan deney tasarımı sonuçları Çizelge 3.3 'te verilmiştir.

No	X1 (mm)	X2 (mm)	Gerilme (Mpa)	Kütle (g)
1	40	3	92,545	779,88
2	40	5	93,518	753,64
3	40	7	94,9	724,7
4	40	9	101,49	691,75
5	40	11	139,95	656,1
6	80	3	92,89	749,93
7	80	5	94,69	703,72
8	80	7	96,654	654,38
9	80	9	99,262	601,9
10	80	11	122,64	546,28
11	120	3	93,4	719,98
12	120	5	95,388	653,8
13	120	7	97,642	584,49
14	120	9	99,474	512,04
15	120	11	116,12	436,45

Çizelge 3.3. Deneysel Tasarım Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

Çizelge 3.3 ‘teki sonuçları inceleyecek olursak; parçadaki koza boşluğun yükseklik parametresinin artması parçadaki mukavemetin azalmasından dolayı gerilmenin artması sonucunu doğurmaktadır. Bu deneysel tasarımdaki amaç, en az kütle ile en az gerilmeye ulaşmaktır. Bu sebeple Matlab içerisinde optimizasyon algoritması ile belirlenen kısıtlar göz önünde bulundurularak şekil optimizasyonu yapılacaktır.

Matlab ortamına verilerin tanıtılması için; gerilme ve eğilme değerlerinin, eksenler arası mesafe (X1) ve koza yüksekliğine (X2) bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanması gerekmektedir. Bu amaçla iki değişkenli eğri uydurma denklemi modeli oluşturmak gerekmektedir. Bu denklemde aşağıda gösterilmiştir.

Model Denklem:

$$a_1X_{13} + a_2X_{23} + a_3 X_{12}X_2 + a_4 X_{22}X_1 + a_5 X_1X_2 + a_6X_1 + a_7X_2 + a_8 \quad (3.1)$$

Denklem (3.1) ile amaç $a_1, a_2, a_3, \dots, a_8$ polinom sabitlerini bulmaktır. Bu değerler bulunduktan sonra X_1 ve X_2 değerleri ile deneme yapılarak oluşturulan modelin sanal analiz sonuçları ile doğrulaması yapılacaktır. Yapılan analiz sonucu elde edilen denklemler aşağıda gösterilmiştir.

Gerilme Denklemi:

$$f(X_1, X_2) = 3,67668.10^{-7}.X_1^3 + 0,0955505. X_2^3 + 0,000186196. X_1^2.X_2 - 0,0131141.X_2^2.X_1 + 0,120519.X_1.X_2 - 0,34794.X_1 - 8,05714.X_2 + 120,166 \quad (3.2)$$

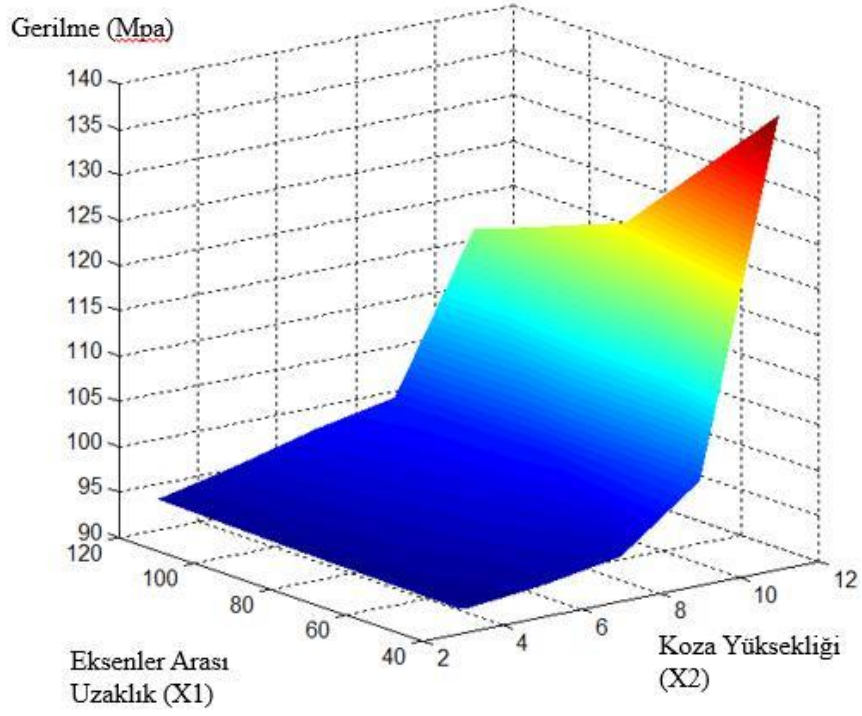
Kütle Denklemi:

$$f(X_1, X_2) = 2,22112.10^{-6}.X_1^3 + 0,018702. X_2^3 - 0,0000516746. X_1^2.X_2 - 0,0000244014.X_2^2.X_1 - 0,240997.X_1.X_2 - 0,0482311.X_1 - 2,73467.X_2 + 819,816 \quad (3.3)$$

Şekil 3.21 ‘de görüleceği gibi, gerilme denkleminde elde edilen cevap yüzeyi, gerilmenin maksimum olduğu (137,6 MPa) noktada parça üzerinden boşaltmanın ölçülerini; eksenler arası mesafesini ($X_1=40$ mm) ve koza yüksekliğini ($X_2=11$ mm) olarak göstermektedir.

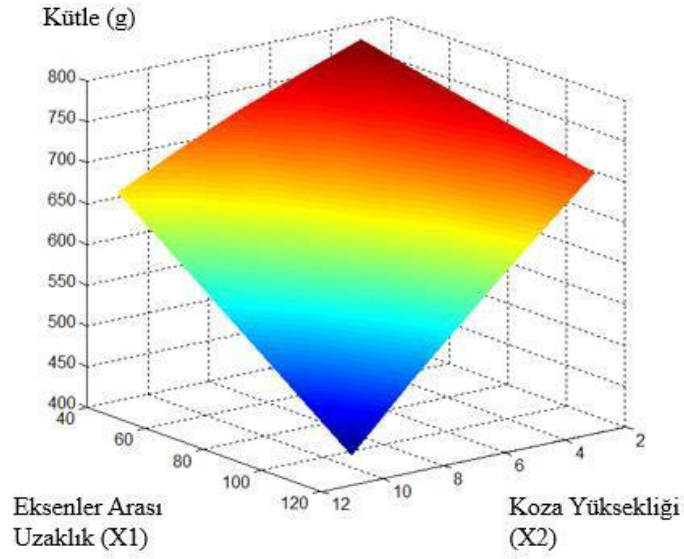
Şekil 3.22 ‘de ise kütle denkleminde elde edilen cevap yüzeyi, kütle değerinin maksimum olduğu (779,8 g) noktada parça üzerinden koza boşaltmanın ölçülerini; eksenler arası mesafesini ($X_1=40$ mm) ve koza yüksekliğini ($X_2=3$ mm) olarak göstermektedir.

Gerilme denkleminde elde edilen cevap yüzeyi Şekil 3.21 ‘de verilmiştir.



Şekil 3.21. Gerilme Cevap Yüzeyi Üç Boyutlu Grafiği

Kütle denkleminde elde edilen cevap yüzeyi Şekil 3.22 'de verilmiştir.



Şekil 3.22. Kütle Cevap Yüzeyi Üç Boyutlu Grafiği

3.3.4. Şekil Optimizasyonu Sonuçları ve Nihai Tasarım

No	X1 (mm)	X2 (mm)	Gerilme (Mpa)	Kütle (g)	Gerilme (Mpa)*	Kütle (g)*	% Hata Gerilme	% Hata Kütle
1	40	3	92,545	779,880	95,268	780,143	-2,94	-0,03
2	40	5	93,518	753,640	90,362	753,380	3,37	0,03
3	40	7	94,900	724,700	92,725	724,365	2,29	0,05
4	40	9	101,490	691,750	106,940	692,201	-5,37	-0,07
5	40	11	139,950	656,100	137,607	655,988	1,67	0,02
6	80	3	92,890	749,930	93,600	749,536	-0,76	0,05
7	80	5	94,690	703,720	91,738	702,982	3,12	0,10
8	80	7	96,654	654,380	92,941	654,168	3,84	0,03
9	80	9	99,262	601,900	101,803	602,196	-2,56	-0,05
10	80	11	122,604	546,280	122,912	546,169	-0,25	0,02
11	120	3	93,400	719,980	93,453	720,139	-0,06	-0,02
12	120	5	95,388	653,800	95,811	653,463	-0,44	0,05
13	120	7	97,642	584,490	97,045	584,519	0,61	0,00
14	120	9	99,474	512,040	101,740	512,409	-2,28	-0,07
15	120	11	116,120	436,450	114,480	436,237	1,41	0,05

Çizelge 3.4. Sonlu Elemanlar ve Denklem Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çizelge 3.4 ‘de görüleceği gibi sonlu elemanlar ile denklem sonuçları arasındaki sapmaların yüzdeleri; gerilme için, maksimum %5, diğer değerlerde ise ortalama %2,06 ‘dır. Kütle için sapmaların yüzdesi; maksimum %0,1 ve diğer değerlerde ortalama %0,043 ‘dür. Bu hataların yüzdesi aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

Optimizasyon için üç adet fonksiyon yazılacaktır. İlki kısıt fonksiyonunu, ikincisi amaç fonksiyonunu, üçüncüsü ise optimizasyonun hangi aralıklar arasında yapıldığını ve hangi değer ile başlayacağını gösteren dosyadır.

3.3.5. Optimizasyon Fonksiyonlarının Tanımlanması

3.3.5.1. Kısıt Fonksiyonunun Tanımlanması

function [c, ceq] = confun(x)

$$c = [-3,67668.10^{-7}.X_1^3 + 0,0955505.X_2^3 + 0,000186196.X_1^2.X_2 - 0,0131141.X_2^2.X_1 + 0,120519.X_1.X_2 - 0,34794.X_1 - 8,05714.X_2 + 120,166 - 100] \quad (3.4)$$

Gerilme fonksiyonu kısıt olarak tanımlanmıştır. Burada kısıtların fonksiyonlarda, yazılım programına tanıtabilmek için $\leq$ (küçük eşit) olarak tanımlanması gerekmektedir. Bu da kısıtların eşitliğin diğer tarafına eksi (-) ile çarpılarak geçirilmesi ile olur. Yukarıdaki formülün sonunda görülen (-100) değeri bu denklemde kısıtı ifade etmektedir. Yani nihai durumda gerilme değeri 100 MPa ‘dan fazla olmamalı kısıtı tanımlanmıştır.

3.3.5.2. Amaç Fonksiyonunun Tanımlanması

function f = objfun(x)

$$f = 2,22112.10^{-6}.X_1^3 - 0,018702.X_2^3 - 0,0000516746.X_1^2.X_2 - 0,0000244014.X_1.X_2^2 - 0,240997.X_2.X_1 - 0,0482311.X_1 - 2,73467.X_2 + 819,816 \quad (3.5)$$

(3.5) denklemi amaç fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Bu denklem de yazılım programına yazılıp çalıştırıldığında kısıt fonksiyonu dikkate alınarak minimum kütlede bir parça geometrisi elde edilmeye çalışılacaktır.

Son olarak optimizasyon algoritmasının çalıştırılması için başlangıç noktasının, gerilme ve kütle değerlerinin aşağıdaki gibi maksimum, minimum olarak tanımlanması gerekir.

$$x_0 = [80;7] \quad (3.6)$$

$$[x, fval] = \text{fmincon}(@\text{objfun}, x_0, [], [], [], [], [40,3], [120,11], @\text{confun}) \quad (3.7)$$

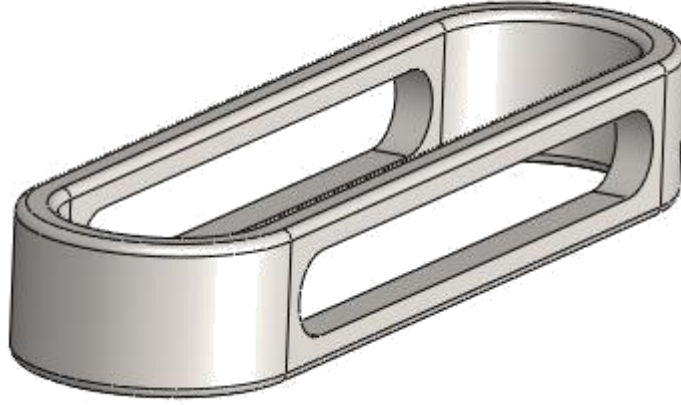
Bu üç dosyanın MATLAB programına tanıtılmasından sonra algoritma çalıştırılır.

Kütle (g)	530,6948
Maksimum Gerilme (MPa)	100
Eksenler Arası Mesafe (mm)	120
Yükseklik (mm)	8,5024

Çizelge 3.5. Şekil Optimizasyonu Sonuçları

MATLAB 'ta çalıştırılan algoritmanın verdiği sonuçlarda, Çizelge 3.5 'te görüleceği gibi, 100 MPa gerilme için minimum kütle 530,6948 g ve maksimum boşaltma ölçüleri; eksenler arası mesafe 120 mm, boşaltılan kozanın yüksekliği ise 8,5024 mm olarak sonuçlanmıştır.

Bu sonuçları, sonlu elemanlar analizi ile doğrulamak için optimize değerlere sahip nihai tasarımın modellenmesi ve bu geometri ile sonlu elemanlar analizini tekrarlamak gerekir.



Şekil 3.23. Şekil optimizasyonunda geometrik ölçülere sahip yeni geometri

Çizelge 3.5 'te görülen şekil optimizasyonu sonucu elde edilen optimize parametreler Şekil 3.23 'de görülen geometriyi, yani nihai tasarım oluşturmuştur.

3.3.6. Nihai Tasarımın Doğrulanması

Şekil optimizasyonu sonucu oluşturulan yeni tasarım, ilk tasarımda uygulanan sınır şartları gibi aynı koşullar altında sonlu elemanlar analizine tabii tutulması gerekmektedir. Bu amaç ile ilk tasarımdaki analiz adımları aynı sıra ile nihai tasarıma uygulanacaktır (Şekil 3.24)

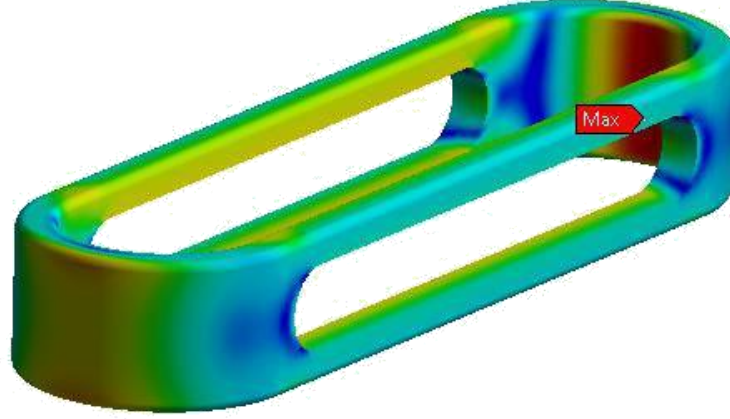
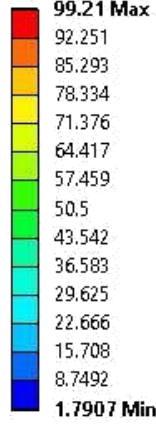
A: Static Structural

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1



Şekil 3.24. Nihai Tasarım Gerilme Sonuçları

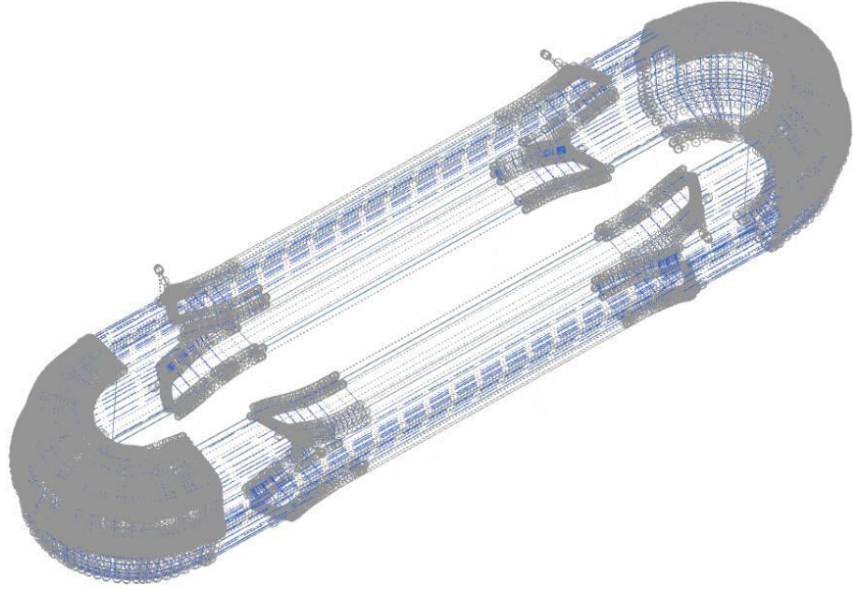
Nihai tasarımda elde edilen maksimum gerilme 99,21 MPa olarak bulunmuştur. Çizelge 3.5 'te görüleceği üzere, şekil optimizasyonunda maksimum gerilme 100 MPa olarak bulunmuştu. İki sonucun arasındaki % 0,79 'luk fark şekil optimizasyonu denklemlerinin yakınsama toleransından kaynaklanmaktadır.

Böylece MATLAB ile yapılan şekil optimizasyonu, sonlu elemanlar analizi ile doğrulanmıştır.

4. BULGULAR

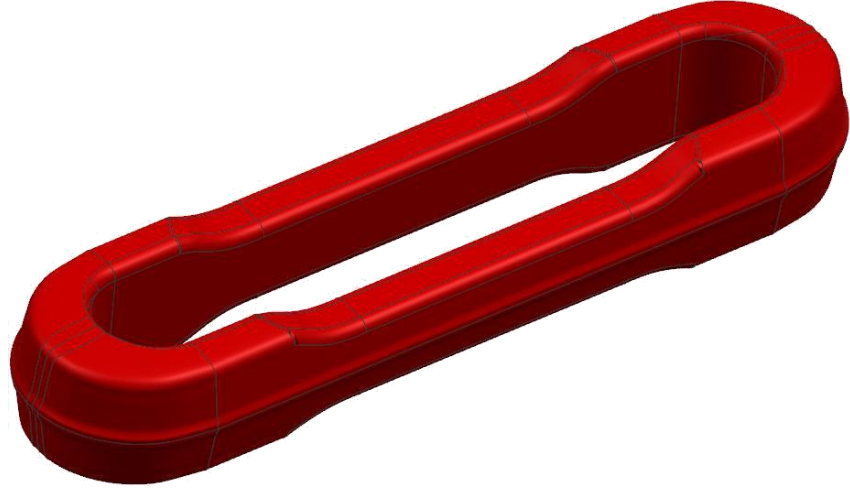
4.1. Modelleme Bulguları

Modelleme safhasında parça üç boyutlu modeli mevcut olmadığından lazer tarama ile nokta bulutu oluşturma yöntemi ile üç boyutlu modele girdi teşkil eden nokta bulutu elde edilmiştir (Şekil 4.1)



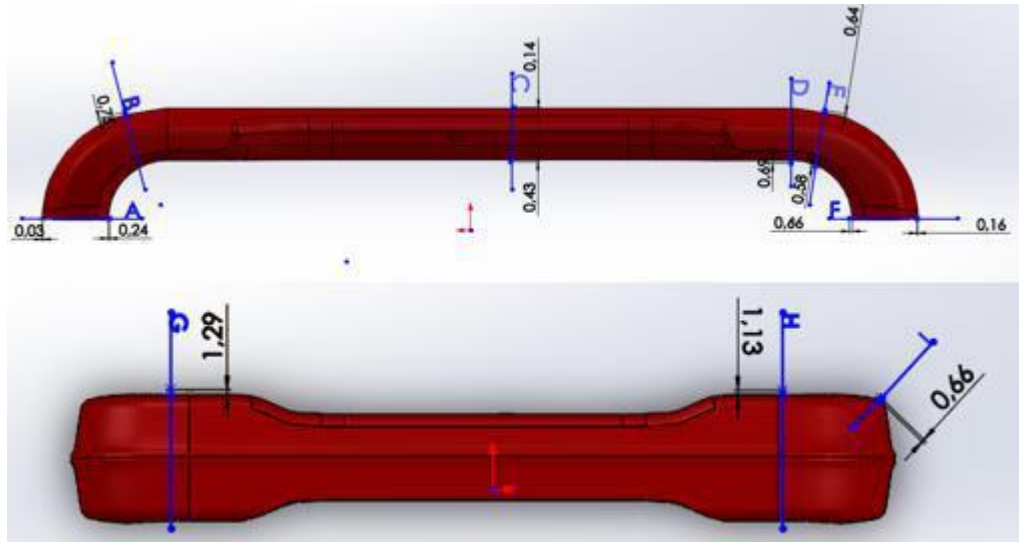
Şekil 4.1 Lazer Tarama Yöntemi ile Oluşturulmuş Nokta Bulutu (İzometrik)

Nokta bulutu oluşturulduktan sonra üç boyutlu model için gerekli yüzeylerin oluşturması işlemi; noktalar arasında çizgilerin, çizgiler arasında da yüzeylerin oluşturulması ile mümkündür. Bu işlem de NX modelleme programında yapılmış ve üç boyutlu model için gerekli yüzeyler oluşturulmuştur (Şekil 4.2)



Şekil 4.2 Nokta Bulutunun Üç boyutlu Yüzey Haline Getirilmesi

Üç boyutlu model oluşturulurken, fiziksel parça yüzeyinden farklı olarak, noktalar arası çizgilerin ve bu çizgiler arasındaki yüzeylerin uzaydaki konumları fiziksel parçaya göre beklenildiği üzere sapmalı olarak oluşturulmuştur. Bu sapmanın iki sebebi vardır. İlk sebebi, lazer tarama ile nokta bulutu oluşturma işleminde lazer tarama ölçüm toleransıdır. Bu safhada fiziksel parçadan noktalar bazında geometrik sapmalar meydana gelmiştir. İkinci sebebi de üç boyutlu model oluşturulurken noktaların birbirine bağlanırken oluşturulan çizgilerin ve dolayısıyla bu çizgilerin arasındaki yüzeylerin fiziksel parçaya göre sapmalı olarak oluşturulmasıdır. Bu sapma miktarları Şekil 4.3 'te ve Çizelge 4.1 'de gösterilmiştir.



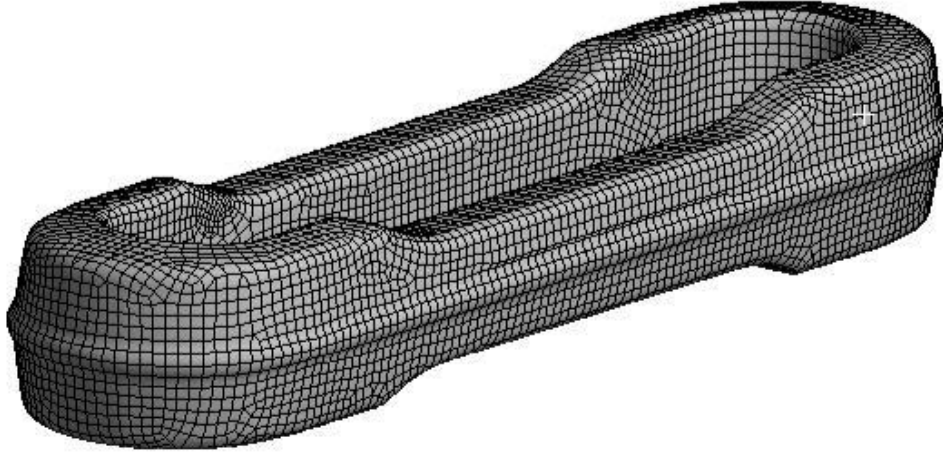
Şekil 4.3. Üç Boyutlu Model – Fiziksel Parça Arası Geometrik Sapmalar

Kesit	Tarama ile Fiziksel geometri Arasındaki Sapma (mm)
A	0,27
B	0,75
C	0,57
D	0,69
E	1,22
F	0,82
G	1,29
H	1,13
I	0,66

Çizelge 4.1. Üç Boyutlu Model – Fiziksel Parça Sapma Tablosu

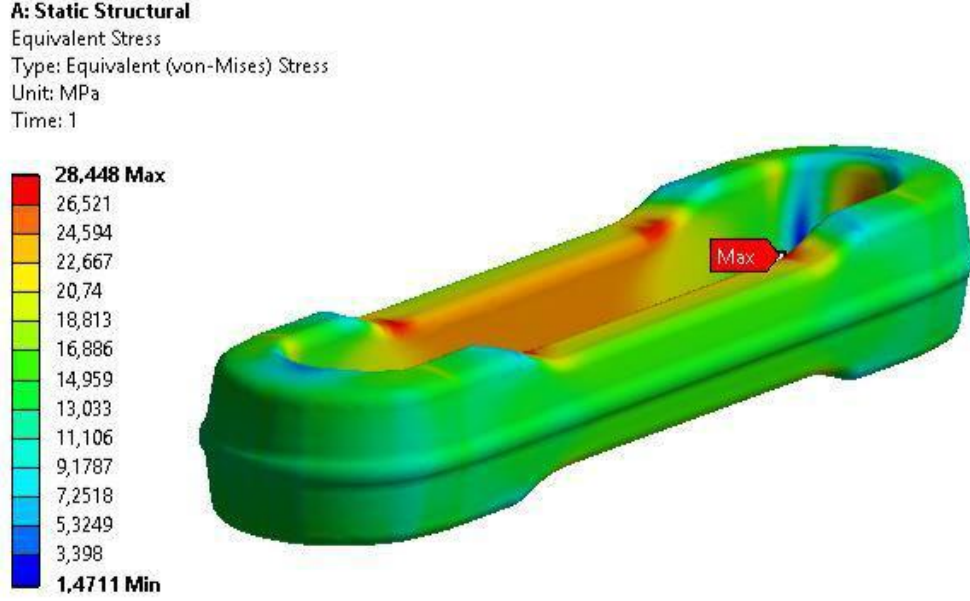
4.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İlgili Bulgular

Sonlu elemanlar safhasında üç boyutlu olarak oluşturulan model yüzey iyileştirmesi yapıldıktan sonra analiz parçası 2 mm ‘lık, hekzahedral, 37418 elemana bölünerek analize hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.4)



Şekil 4.4. Üç boyutlu geometrinin analiz için sonlu elemanlara ayrılması

Analiz sonucu maksimum gerilme 28,448 MPa , minimum gerilmesi ise 1,4711 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 4.5)

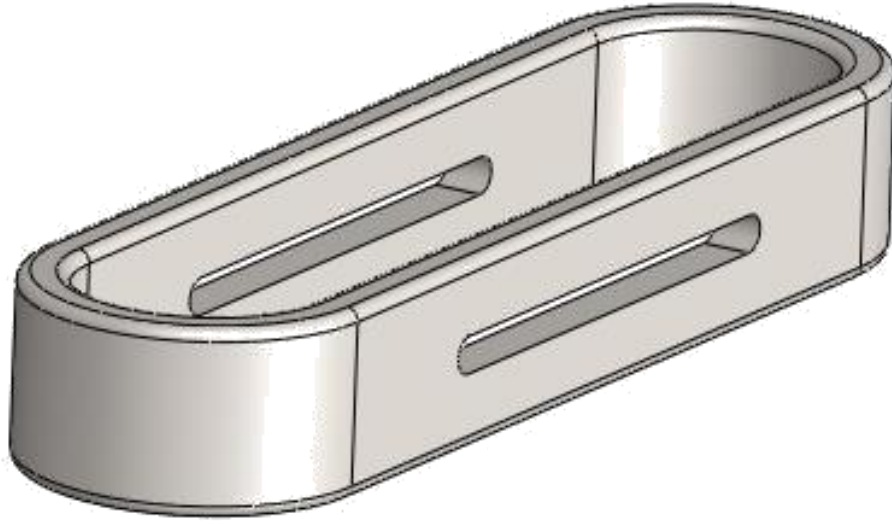


Şekil 4.5. Sonlu Elemanlar Analiz Sonucu

Parçanın elastisite modülü 215 MPa olduğu bilgisi göz önünde bulundurulduğunda, maksimum gerilmenin bu değerin nerede ise 1/10 civarında olduğu gözlemlenmektedir. Bu sonuç parçanın kullanım yerine göre çok daha dayanıklı olduğunu ve optimizasyon yapılması gerekliliği sonucunu da göstermektedir.

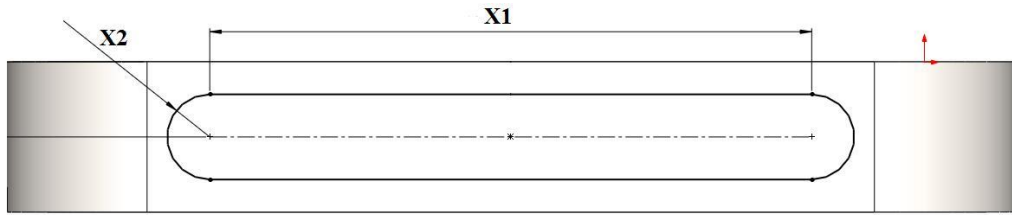
4.3. Optimizasyon ile İlgili Bulgular

Sonlu elemanlar analizinden çıkan sonuçlara göre parçanın orta bölgesindeki gerilme miktarı diğer bölgelere göre düşük görülmüş ve yeni tasarımda bu bölge boşaltılmıştır (Şekil 4.6)



Şekil 4.6. Sonlu Elemanlar Analiz Sonucuna Göre Yapılan Yeni Tasarım

Yapılan bu tasarımın optimizasyonu için delik açılan bölgeler farklı senaryolar uygulanabilmesi için parametrik olarak analiz programına tanımlanması gerekmektedir. Bu tanımlamada da açılan deliğin koza şeklinde olması sebebiyle eksenleri arası mesafe (X1) ve yükseklik (X2) tanımlanmıştır (Şekil 4.7)



Şekil 4.7. Sonlu Elemanlar Analiz Sonucuna Göre Yapılan Yeni Tasarım Parametreleri

4.3.1. Deney Tasarımı Sonuçları

Yeni tasarımla elde edilen geometri deney tasarımı metotları kullanılarak sonuçlar elde edilmiş ve bu sonuçlar ile cevap yüzeyleri oluşturulmuştur. Üç farklı eksenler arası uzaklık (X1) ve beş farklı yükseklik ile yapılan deney tasarımı sonuçları Çizelge 3.3 'te verilmiştir.

No	X1 (mm)	X2 (mm)	Gerilme (Mpa)	Kütle (g)
1	40	3	92,545	779,88
2	40	5	93,518	753,64
3	40	7	94,9	724,7
4	40	9	101,49	691,75
5	40	11	139,95	656,1
6	80	3	92,89	749,93
7	80	5	94,69	703,72
8	80	7	96,654	654,38
9	80	9	99,262	601,9
10	80	11	122,64	546,28
11	120	3	93,4	719,98
12	120	5	95,388	653,8
13	120	7	97,642	584,49
14	120	9	99,474	512,04
15	120	11	116,12	436,45

Çizelge 4.2. Deneysel Tasarım Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

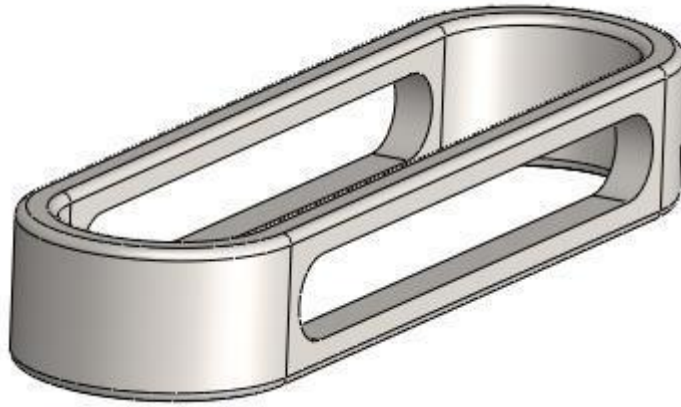
Çizelge 4.2 ‘deki sonuçları inceleyecek olursak; parçadaki koza boşluğun yükseklik parametresinin artması parçadaki mukavemetin azalmasından dolayı gerilmenin artması sonucunu doğurmaktadır. Bu deneysel tasarımdaki amaç, en az kütle ile en az gerilmeye ulaşmaktır. Bu sebeple Matlab içerisinde optimizasyon algoritması ile belirlenen kısıtlar göz önünde bulundurularak şekil optimizasyonu yapılacaktır.

Kütle (g)	530,6948
Maksimum Gerilme (MPa)	100
Eksenler Arası Mesafe (mm)	120
Yükseklik (mm)	8,5024

Çizelge 4.3. Şekil Optimizasyonu Sonuçları

MATLAB ‘ta çalıştırılan algoritmanın verdiği sonuçlarda, izelge 4.3 ‘te görüleceği gibi, 100 MPa gerilme için minimum kütle 530,6948 g ve maksimum boşaltma ölçüleri; eksenler arası mesafe 120 mm, boşaltılan kozanın yüksekliği ise 8,5024 mm olarak sonuçlanmıştır.

Bu sonuçları, sonlu elemanlar analizi ile doğrulamak için optimize değerlere sahip nihai tasarımın modellenmesi ve bu geometri ile sonlu elemanlar analizini tekrarlamak gerekir.



şekil 4.8. şekil optimizasyonunda geometrik ölçülere sahip yeni geometri

Çizelge 4.3 ‘te görülen şekil optimizasyonu sonucu elde edilen optimize parametreler şekil 4.8 ‘de görülen geometriyi, yani nihai tasarım oluşturmuştur.

şekil optimizasyonu sonucu oluşturulan yeni tasarım, ilk tasarımda uygulanan sınır şartları gibi aynı koşullar altında sonlu elemanlar analizine tabii tutulması gerekmektedir. Bu amaç ile ilk tasarımdaki analiz adımları aynı sıra ile nihai tasarıma uygulanmıştır. (şekil 4.9)

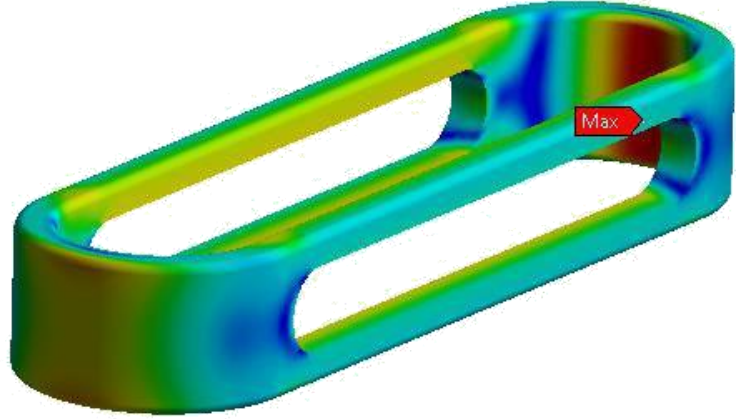
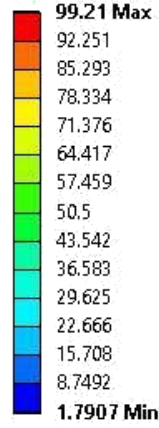
A: Static Structural

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1



Şekil 4.9. Nihai Tasarım Gerilme Sonuçları

Nihai tasarımda elde edilen maksimum gerilme 99,21 MPa olarak bulunmuştur. Çizelge 4.3 'te görüleceği üzere, şekil optimizasyonunda maksimum gerilme 100 MPa olarak bulunmuştu. İki sonucun arasındaki % 0,79 'luk fark şekil optimizasyonu denklemlerinin yakınsama toleransından kaynaklanmaktadır.

Böylece MATLAB ile yapılan şekil optimizasyonu, sonlu elemanlar analizi ile doğrulanmıştır.

5. SONUÇ

Bu tezde, havai transport tekniği ve teorisi, konveyör hatları ve tipleri, havai konveyörler ile ilgili araştırma yapılmış ve özetlenmiştir. Ayrıca çalışma konusu sonlu elemanlar ve optimizasyon metotları ile ilgili bilgi verilmiştir.

Havai konveyör hattı fiziksel zincir baklasının, lazer tarama yöntemi ile nokta bulutu oluşturulmuş ve bu nokta bulutundan üç boyutlu yüzeyler kapalı form olmak üzere üç boyutlu katı model oluşturulmuştur. Bu modelle safhasında fiziksel parçadan geometrik olarak sapmalar tespit edilmiş ve mertebeleri gösterilmiştir.

Sonlu elemanlar safhasında, üç boyutlu katı model, sınır şartları dikkate alınarak 2 mm 'lik, hekzahedral, 37418 elemana bölünerek analize hazır hale getirilmiş ve çift taraflı 10000 N yüke maruz bırakılmıştır. Sonlu elemanlar analizi sonucunda, maksimum gerilme 28,448 MPa olarak bulunmuş ve bu gerilmenin meydana geldiği bölgeler tespit edilmiştir. Parçanın elastisite modülü 215 MPa olduğu göz önünde bulundurulduğunda, 28,448 MPa maksimum gerilme, parçanın mevcut durumu ile 7,5 kat fazla gerilmeye dayanabileceği sonucunu doğurmuştur. Bu sonuç da parçanın mevcut sınır şartlarda optimizasyon gerekliliğinin olduğunu göstermiştir.

Optimizasyon safhasında, mevcut zincir baklasına benzer geometride ancak hacim itibariyle daha küçük bir bakla tasarımı yapılmıştır. Bu tasarımda mevcut modele göre parçanın orta bölgesinde koza şeklinde iki boşaltma yapılmıştır. Bu boşaltmalar da deney tasarımı metodu ile on beş farklı geometride düşünülmüştür. Bu geometriler üç farklı eksenler arası mesafe ve beş farklı koza boşaltma yüksekliğinin kombinasyonu şeklinde oluşturulmuştur. Deney tasarımı ile bu on beş farklı senaryo için gerilme ve kütle değerleri MATLAB ortamında gerekli denklemler oluşturularak bulunmuştur. Şekil optimizasyonu metoduna girdi teşkil eden bu sonuçlar için verilen sınır şartları için optimum koza boşaltma ölçüleri bulunmuştur. Yani yeni tasarım, şekil optimizasyonu ile nihai parça bakla boyutlarına ulaşılmıştır.

Son kısımda nihai geometrideki parçanın, sonlu elemanlar analizi ile doğrulması yapılmıştır. Sonuç olarak 100 MPa gerilmede koza eksenleri arası mesafe 120 mm, koza yüksekliği 8,5024 mm ve parça kütlesi 530,694 g 'a getirilmiştir. Yani parça ağırlığı % 33 hafifletilmiştir.

KAYNAKLAR

1. **Anonim, 2005.** American Materials Handling Society, <http://www.mhi.org/fundamentals/conveyors> (Erişim Tarihi: 12.02.2014).
2. **Anonim, 2006.** Chains for Power Transmission and Material Handling, Standart Handbook of Chain Second Edition, Taylor&Francis (Erişim Tarihi: şubat 2014)
3. **Anonim, 2009.** Renold-Conveyor Chain Designer Guide, Section 4, http://www.renold.com/upload/renoldswitzerland/conveyor_chain_-_designer_guide.pdf (Erişim Tarihi: 13.02.2014).
4. **Anonim, 2009.** Maintenance Instructions Overhead Conveyor System, Maintenance Manual, www.daifukuwebb.com (Erişim Tarihi: 15.02.2014).
5. **Anonim, 2011.** Chain Engineering Design and Construction Examples of Calculation. www.iwis.com (Erişim Tarihi: 15.02.2014).
6. **Anonim, 2013.** Endüstriyel Taşıma (Transfer) Sistemleri; Konveyörler, <http://www.ttconsultant.com/konveyorler.pdf> (Erişim Tarihi: 16.02.2014).
7. **Arıkan, S. 2005.** Sonlu Elemanlar Metodunun Mühendislikte Uygulamaları. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Arşivi (10944).
8. **Azeloğlu, O. 2006.** Çelik ve Plastik Zincirli Konveyörler, Bunların Tasarım Kriterlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
9. **Erkek M., Kaya N., Güven C. 2015.** Kauçuk burçların hiperelastik modellenmesi ve sonlu elemanlar yöntemi ile analizi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 20, Sayı 1.
10. **Fonseca, D., Uppal, G., Greene, T.J. 2004.** A knowledge-based system for conveyor equipment selection. Expert Systems with Applications 26 (2004) 615– 623.
11. **Gerdemeli, İ., 1999.** Askılı Konveyörler, İstanbul Teknik Üniversitesi Sürekli Transport Sistemleri Ders Notları, İstanbul, <http://transport.itu.edu.tr/docs/librariesprovider99/dersnotlari/dersnotlarimak546> , (Erişim Tarihi: 12.02.2014).
12. **Groover, M.P. 2008.** Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing, Pearson International Edition, Third Edition, USA.
13. **Guo, M., Liu, A., Zhao, M., Hu, H., Wang, Z. 2008.** Microstructure and wear resistance of low carbon steel surface strengthened by plasma melt injection of SiC particles. Surface & Coatings Technology 202 (2008) 4041–4046.
14. **Henriksen A. 2015.** Method for optimization of extraction of frozen moulded products, EP2934169 (B1) — 2017-02-08.
15. **İmrak, C.E., Gerdemeli, İ., 1999.** Endüstriyel Taşıma, Transport Tekniği Ders Notları İTÜ, <http://transport.itu.edu.tr/PDF/mak419/MAK419-1.pdf> (Erişim Tarihi: 16.02.2014).
16. **Jones, L.C., Llewellyn, R.J. 2009.** Sliding abrasion resistance assessment of metallic materials for elevated temperature mineral processing conditions. Wear 267 (2009).
17. **Kahraman, F., Gençer, G.M., Karadeniz, S. 2013.** Investigation of Wear Behaviour of Plasma Nitrided X40CrMoV5-1 High Alloy Steel. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Vol 28, No 1, 7-14.

18. **Kandirmiş K., Kurtuluş A., Taş M., Yazıcı M. 2016.** Alternatif malzemelerden üretilmiş hafif ticari araç kapi menteşesinin karşılaştırmalı sonlu elemanlar analizi, OTEKON 2016, 8. Otomotiv Teknolojileri Kongresi 23 - 24 Mayıs 2016, B255.
19. **Kaplanlıoğlu B., Gemalmayan M. 2015.** Sonlu elemanlar yöntemi ve analitik yöntemler kullanılarak bulunan gerilmelerin karşılaştırılması, TMMOB, Mühendis ve Makine, Cilt: 56, Sayı:665.
20. **Karayel, E. 2010.** Zincir Baklalarındaki Yük Dağılımına Hatalı Montajın Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü.
21. **Kayabekir A. 2017.** Statik ve dinamik yükler altında istinat duvarlarının optimum tasarımı, Engineering Sciences, ISSN: 1308 7231 (NWSAENS), 2017.12.1.1A0372.
22. **Kesikçi, M.K., Fetvacı, M.C., İmrak, C.E. 2004.** Stress Distribution of The Chain Link by Means of Boundary Element and Finite Element Methods. Journal of Engineering and Natural Sciences Sigma 2004/4.
23. **Kulak, O. 2005.** A Decision Support System for Fuzzy Multi-attribute Selection of Material Handling Equipments, Expert Systems with Applications, 29, 310-319.
24. **Manav, Y., 2008.** Zincirli Konveyörlerde Zincirlerin Gerilme Dağılımlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü.
25. **Öztürk İ., Öztürk F. 2016.** Araç b-sütunu çarpışma analizi ve hızlandırılmış tasarım yaklaşımı ile optimizasyonu, OTEKON 2016, 8. Otomotiv Teknolojileri Kongresi 23 - 24 Mayıs 2016, BURSA, B261.
26. **Sapate, S.G., Didolkar, V.K. 2009.** Metallurgical investigation of failure of coal mill drag chain pin, Materials and Design 30 (2009) 2623–2629.
27. **Sen F., Alkan M. 2015.** Hibrid tip bağlantı uygulanmış termoplastik kompozit plakalardaki isil kayma gerilmelerinin belirlenmesi, Mugla Journal of Science and Technology, Vol 1, No 1.
28. **Slabbert, G.A., McEwan, J.J., Paton, R. 1998.** Failure Analysis Of Carrier Chain Pins. Engineering Failure Analysis. Vol.5.No.2. pp (121-128).
29. **Soğancı T. 2016.** 8. Otomotiv Teknolojileri Kongresi 23 - 24 Mayıs 2016, B056
30. **Sujata, M., Venkataswamy, M.A., Parameswara, M.A., Bhaumik, S.K. 2006.** Failure analysis of conveyor chain links. Engineering Failure Analysis 13 (2006) 914–924.
31. **Totik, Y., Alsaran, A., Yetim, F., Efeoğlu, İ. 2007.** Plazma nitrürleme ve mangan fosfat kaplama işleminin AISI 5140 çeliğinin aşınma davranışı üzerindeki etkisi. Mühendis ve Makine, Cilt:50 Sayı:595.
32. **Uner, O.,Ozkale, C., Aladag, Z., Yazgan, B.Y. 2005.** Üretim Sistemi Tasarımında Konveyörlü Taşıma Alternatiflerinin Simülasyon Yöntemi İle Değerlendirilmesi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Yıl: 4 Sayı: 8 Güz 2005/2 s.49-73.
33. **Velkavrh, I.,Kalin, M. 2012.** Comparison of the effects of the lubricant-molecule chain length and the viscosity on the friction and wear of diamond-like-carbon coating sand steel. Tribology International 50(2012)57–65.

34. **Williams, J. 2005.** Wear and wear particles—some Fundamentals, *Tribology International* 38 (2005) 863–870.
35. **Yıldız A. 2017.** Taşıt Elemanlarının Yapısal Optimizasyon Teknikleri ile Optimum Tasarımı, *Journal of Polytechnic*, 2017; 20 (2) : 319-323.
36. **Yurdakul, M., Türkbaş, S., Dombaycı, K., İç, Y.T. 2010.** Fabrika İçi Parça-Yük Taşıyan Sürekli Taşıyıcıların Seçimine Yönelik Bir Uzman Sisteminin Geliştirilmesi. *Makina Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi* Cilt: 21 Sayı: 4 Sayfa: (13-25).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Semih Sezer BEKAR

Doğum Yeri ve Tarihi: Trabzon, 1986

İletişim (E-Posta): semihbekar@gmail.com

Eğitim Durumu:

- Lise : Tevfik Serdar Anadolu Lisesi, 2004
- Lisans : Uludağ Üniversitesi, 2010
- Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, 2017

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

- GRAMMER A.Ş. 2011 – 2013
- TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. 2013 - Devam