



**T.C.  
BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ÜRETİM SAHASINDA KULLANILACAK  
MALZEME TRANSFER ARABASI İMALAT  
VE ANALİZİ**

**Orhan AKGÜNDÜZ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM  
DALI**

**Ağustos-2022  
BATMAN  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Orhan AKGÜNDÜZ tarafından hazırlanan “Üretim Sahasında Kullanılacak Malzeme Transfer Arabası İmalat ve Analizi” adlı Tez Çalışması 29/08/2022 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Oy Birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

#### Danışman

Doç. Dr. Mehmet Emin DENİZ

#### Üye

Prof. Dr. Hamit ADİN

### İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür Vekili

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tez çalışmasındaki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this dissertation document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Orhan AKGÜNDÜZ

## **ÖZET**

### **YÜKSEK LİSANS TEZİ**

## **ÜRETİM SAHASINDA KULLANILACAK MALZEME TRANSFER ARABASI İMALAT VE ANALİZİ**

**Orhan AKGÜNDÜZ**

**Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Mehmet Emin DENİZ**

**2022, 110 Sayfa**

**Jüri**

**Doç. Dr. Mehmet Emin DENİZ  
Prof. Dr. Erol KILIÇKAP  
Prof. Dr. Hamit ADİN**

Sanayi sektöründe, birbirinden yoğun ve karmaşık üretim alanları mevcuttur. Üretim sahasında istasyonlar veya holler arasında malzeme geçişini sağlamak gerekmektedir. Malzeme transferinin sağlanması hem iş sağlığı ve güvenliği açısından sorun teşkil etmemeli hem de zaman ve enerji kaybına yol açmamalıdır.

Üretim, her biri kendi içinde farklı alanlara yayılan ve bu alanlarda belirli bir amaç doğrultusunda sürecin işlemlerini sağlayan elemanlardan oluşmuştur. Burada oluşturulan her bir sistem, kendinden küçük ya da kendinden büyük daha farklı sistemlerin birer tamamlayıcısı durumundadır. Örneğin, bir kaynak hattı bir üretim sahasının, bir üretim sahası bir şirketin, bir şirket de bir üretim pazarının ayrılmaz parçası ve alt sistemidir. Büyüklüğü ve cinsi ne olursa olsun bir üretim sistemi beş farklı elemandan oluşur. Bunlar; bir üretim sistemini meydana getiren girdiler, üretim prosesi, çıktılar, geri besleme analizleri ve çevre elemanları olarak gösterilebilir.

Transfer arabasının imalatı için önce projelendirme, daha sonra analiz ve üretim süreçleri yapılacaktır. Yapılacak olan transfer arabası, yaklaşık 5 ton ağırlığındaki malzemeyi statik ve dinamik olarak kaldırma kapasitesine sahip olacaktır. Analiz çalışmaları bu kapsamda yürütülecektir.

Bu çalışma, başarılı bir şekilde tamamlandıktan sonra üretim alanında faaliyet gösteren işletmelere hem zaman hem enerji hem de güvenilirlik açısından büyük kolaylık sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Analiz, İmalat, Malzeme transfer arabası, Üretim sahası,

## **ABSTRACT**

## **MS THESIS**

# **MANUFACTURING AND ANALYSIS OF MATERIAL TRANSFER TROLLEY TO BE USED IN THE PRODUCTION AREA**

**Orhan AKGÜNDÜZ**

**Institute of Graduate Studies of Batman University  
The Degree of Master of Science in Mechanical Engineering**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin DENİZ**

**2022, 110 Pages**

### **Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin DENİZ  
Prof. Dr. Erol KILIÇKAP  
Prof. Dr. Hamit ADİN**

In the industrial sector, there are intensive and complex production areas. It is necessary to ensure the passage of materials between stations or halls in the production area. Providing material transfer should not pose a problem in terms of occupational health and safety, and should not cause loss of time and energy.

Production, in general, is defined as a whole consisting of elements that have relations between the system and are brought together to achieve a certain purpose. Each system is part of another larger system. For example, an assembly line is an integral part and subsystem of a factory, a factory of a holding, and a holding of an industry. Regardless of its size and type a production system, consist of five different elements. These; it can be shown as inputs, production process, outputs, feedback analysis and environmental elements that make up a production system.

For the manufacture of the transfer car, first the project, then the analysis and production processes will be done. The transfer car, which will be studied for the thesis, will have the capacity to lift the material weighing approximately 5 tons statically and dynamically. Analysis studies will be carried out in this context.

After the successful completion of this study, it will provide great convenience to businesses operating in the field of production in terms of both time, energy and reliability.

**Keywords:** Analysis, Manufacture, Material transfer trolley, Production area

## ÖNSÖZ

Bu çalışmamda, üretim alanında faaliyet gösteren bir işletmenin; enerji, zaman, maliyet ve iş güvenliği açısından sürdürülebilir bir proses metodunu inceledim. Raylı transfer arabası hem güvenilir hem de minimum zaman kaybıyla üretim sürecini olumlu etkileyecek faktörlerden bir tanesidir. Raylı transfer arabası sayesinde hem tavan vinçleri maliyetinden hem de insan gücüne dayalı çalışma sistemlerinden kurtulma imkânı bulunmaktadır.

Raylı transfer arabası imal edilirken, AutoCAD bilgisayar destekli teknik çizim programı yardımıyla iki boyutlu projelendirme ve imalat aşamaları, Solidworks bilgisayar destekli teknik çizim programıyla da üç boyutlu projelendirme ve Ansys analiz çözümleme programıyla da statik analiz yorumlamaları yapılacaktır.

Tez çalışmasının bu aşamasında, çalışmanın olduğu bölümler ve bu bölümlerde neler yapılacağından bahsedilecektir. Tez çalışması, 6 genel başlıktan ve bu başlıkların alt başlıklarından oluşmaktadır.

Giriş kısmında, tasarımı yapılan ürünün üretim metotlarından bahsedilecektir. Bu çalışmanın yapılabilmesi için gerekli olan donanım ve personel gerekliliği bildirilecektir. Makine, malzeme, iş gücü olarak ayrı 3 temel nokta ile değerlendirme yapılacaktır. Bununla beraber yapılacak çalışma sayesinde, sektörde kullanılan diğer taşıma araçlarının da karşılaştırılması yapılacaktır. Sektörde kullanılan diğer taşıma araçları, en genel hatlarıyla; forklift ve tavan vinci olarak değerlendirilebilir. Taşıma kapasitesi olarak farklılıkları, artı ve eksileri değerlendirilecektir. Bununla beraber örnek bir raylı transfer aracının ve örnek bir tavan vincinin görseli eklenecektir.

Kaynak Araştırması adı altında konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar değerlendirilecektir. Bu bağlamda, raylı sistemlerin transferde kullanımı incelenecektir. Raylı sistemlerin transferde kullanımı, 1800'lü yıllarda Elmanov'a dayanmaktadır. Elmanov ufak çaplı ve tonajlı malzemelerin taşınabilmesi adına bir sistem geliştirmiştir. Monoray sistemleri, en genel haliyle 5 temel grupta incelenmektedir. Bu bölümde, üretim alanında kullanılan transfer sistemlerinden de bahsedilecektir. Malzeme taşıma sistemleri, birçok parametre ve etkene bağlıdır. Bunlar en genel hatlarıyla 7 başlık altında incelenmektedir. Bu bölümde ayrıca, malzeme transfer sistemlerinde karşılaşılan problemler ve bunların çözüm metotları konusunda değerlendirmeler yapılacaktır. Problemlerin ortaya çıkış sebepleri ve bunların giderilme yolları değerlendirilecektir.

Genel bilgiler bölümünde malzeme transportunun gerekliliği konusu ele alınmıştır. Bu noktada malzeme transportunun amaçları, malzeme transportunun ilkeleri ele alınmıştır. Ayrıca malzeme transportu yapılırken sayısal analiz yöntemleri de değerlendirilmiştir. Sayısal analiz yöntemlerinde üretim metotları incelenirken, bazı formüller ortaya çıkmıştır. Bu formüller, üretim verimliliğinin artırılması ve herhangi bir kayıp yaşanmaması adına geliştirilmiştir. Formüller ışığında bazı temel noktalar ortaya çıkmış ve iş verimi oluşmuştur. Üretim metotları grafik ve tablolarla da desteklenmiştir.

Materyal ve Yöntem bölümünde imalatla kullanılacak malzemelerin mekanik incelemesi yapılmıştır. İmalatta kullanılacak malzemeler, Hardox çeliği, St-37 çeliği ve alüminyum alaşımları olarak değerlendirilmektedir. Hardox çelikleri, kendi alaşım özelliklerinden kaynaklı akma ve çekme mukavemeti yüksek çelik malzemelerdir. Bu yapı çelikleri, sanayide ve hizmet sektöründe kullanılmaktadır. Hardox çelikleri, farklı tip ve karakterlerde bulunmaktadır. Tasarlanmış olan raylı transfer arabasının, gövde yani taşıyıcı kısmında Hardox çeliği kullanılacaktır. Hardox çeliğinin kullanılmasının temel sebebi, bu alanda oluşacak yük dağılımının mukavemet açısından bölgeyi zayıflatmamasını sağlamaktır.

St – 37 çeliği, ray döşeme sisteminde kullanılacaktır. St – 37 çeliği, yapısında %2 oranında karbon çeliği barındırmaktadır. St – 37, St sınıf çelikler içerisinde, St – 52’den sonra en kuvvetli yapı çeliği olarak bilinmektedir. St – 37 çeliğinin kullanım alanı çok geniştir. Sanayide imalat yapılan alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. St – 37 çeliğinin bu çalışmada kullanım amacı, St – 52’ye oranla daha düşük maliyetli olmasıdır. Bu çalışma alanında St – 37 kullanılması, mekanik açıdan da uygundur.

Raylı transfer aracının, tekerlek kısmında alüminyum sınıfı malzeme kullanılması uygun görülmüştür. Alüminyum sınıfı malzemeler, diğer çelik gruplarına göre daha düşük maliyetli ve daha hafiftir. Raylı transfer arabasında, dönecek ray sisteminin St – 37 grubu olması, hareket enerjisini sağlayacak olan tekerleklerin alüminyum grubundan seçilmesinde etkindir. Aynı karakterdeki malzemelerin, birbirlerine sürtünme kuvveti uygulamaları, çalışan sistem için istenmeyen bir özelliktir.

Ayrıca, kullanılan makine ve ekipmanlar ile bu tasarım ve imalat süreci yönetilirken kaç adet personele ihtiyaç duyulduğu ve bu personellerin çalışma alanları hakkında bilgiler verilmiştir. Bu çalışma esnasında, personel sayısının asgari düzeyde olması, hem işçilik maliyetini düşürecektir hem de üretimin daha sağlıklı ve verimli bir işleyişinin olmasını sağlayacaktır. Raylı transfer arabasının imal edilmesindeki temel amaç, üretim süreçlerinde herhangi bir aksaklığın meydana gelmesini önlemek ve süreci olabildiğince hızlandırmaktır. Bu sistem, çalışma istasyonlarında herhangi bir eksikliğe yol açmadan ve güvenilir bir şekilde oluşturulmalıdır. Sistem farklı tip ve yöntemlerle oluşturulabilmektedir. Örneğin, hidrolik, pnömatik veya elektronik disiplinlerden destek alınabilmesi mümkündür. Çalışmasını yapmış olduğumuz bu tezde, sistem mekanik olarak çalışmaktadır.

Araştırma Sonuçları ve Tartışma bölümünde tasarım, modelleme ve analiz aşamaları ele alınmıştır. Tasarımın projesi iki boyutlu olarak çizilmiştir. Bu proje, AutoCAD bilgisayar destekli teknik çizim programı sayesinde tasarlanmıştır. İmalat yöntemlerine esasen, herhangi bir imalat yapılırken, önce iki boyutlu projelendirmenin belirlenmesi gerekmektedir. İki boyutlu projeler, imalatı yapılacak olan ürün veya mamullerin en kısa sürede ve doğru bir şekilde imal edilebilmesi için, en basit haliyle verilmesi gerekmektedir.

Üç boyutlu proje, Solidworks modelleme yöntemiyle tasarlanmıştır. AutoCAD ortamında çizilmiş olan iki boyutlu teknik resimler, ilgili platform üzerinden ölçüler alınarak, Solidworks ortamında da modellenmiştir. Solidworks, hem üç boyutlu görselin oluşmasını hem de sistemin raylı sistem üzerindeki hareketinin incelenmesini sağlamaktadır.

ANSYS programı, modellenmiş olan bir ürünün, yük – gerilme analizlerinin yapılmasını sağlamaktadır. Bu tasarım programı sayesinde, statik ve dinamik analiz uygulamaları yapılabilmektedir. Statik analiz, durağan bir sistemin üzerine gelen yük miktarını ve bu sisteme bağlı olarak sistemin mukavemetini çözümlemektedir. Dinamik analiz ise, yürür durumda olan bir sistemin üzerine gelen yük dağılımını ve buna bağlı olarak fazla yük binen noktaların belirlenmesini sağlamaktadır. Yük – gerilme analizi yapılırken, optimum taşıma kapasitesinin belirlenebilmesi için farklı miktardaki yükler kullanılarak, maksimum ve minimum taşıma kapasiteleri belirlenir. Sistemin, belirlenmiş olan alt ve üst indisler aralığında yük taşınması gerekmektedir. Bunun harici bir durumda ise, sistemde kopma, kırılma, çatlama, deformasyon vb. gibi malzeme hasarları meydana gelecektir.

Ayrıca tez çalışmasının tamamlanmasıyla birlikte, sistem üzerinde oluşan sonuçlar ve sistemin daha iyileştirilebilir olması adına öneriler yer almaktadır.

Sonuçlar, ANSYS çözümleme programı aracılığıyla oluşturulmuştur. Buna göre sistemin taşıyabileceği maksimum ve minimum yükler belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, sistem üzerinde yüke gereğinden fazla maruz kalan alanlar var ise, bu da ANSYS çözümleme programı sayesinde belirlenmiştir. Yapılan çalışmada yaklaşık 30000 N’luk bir taşıma kapasitesi, mevcut imalat alanının da ihtiyacını karşılayacak şekilde oluşturulmuştur.

Öneriler kısmında ise, sistem üzerinde kullanılan malzeme ve ekipmanların maliyetlerinin düşürülmesi adına neler yapılabileceği anlatılmıştır. Bununla beraber iş gücü ve personel sayısının, nasıl asgari düzeyde tutulabileceğinin de örneklemeleri verilmiştir.

En genel hatlarıyla, raylı transfer arabası, üretim alanlarında ve atölyelerde ihtiyaç duyulan önemli yardımcı ekipmanlardandır. Sistemin çalışması adına, 1 personelin itme veya çekme gücü kullanması yeterlidir. Bu sayede sistem, ileri - geri eksenal hareket uygulayarak hareketin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Raylı transfer arabası imal edilirken kullanılan makine ve yardımcı ekipmanlar;

- CNC Plazma makinesi
- CNC abkant makinesi
- Torna tezgâhı
- Testere makinesi
- Kaynak makinesi
- Spiral kesme makinesi
- Boya atma makinesi
- Tavan vinci olarak ifade edilebilir.

Raylı transfer arabası imal edilirken kullanılan bilgisayar programları;

- AutoCAD
- Solidworks
- Ansys
- CAM (Plazma makinesi kesim dosyası) olarak ifade edilebilir.

Raylı transfer arabası imal edilirken çalışan personel sayısı;

- CNC Plazma makinesi – 2 operatör
- CNC abkant makinesi – 2 operatör
- Torna tezgahı – 1 operatör
- Testere makinesi – 1 operatör
- Kaynak makinesi – 2 operatör
- Spiral kesme makinesi – 1 operatör
- Kaynaklı birleşim – 2 operatör
- Boya – 2 operatör
- Montaj – 3 operatör
- Projelendirme – 1 teknik ressam
- İmalat organizasyon – 1 makine mühendisi olarak ifade edilebilir.



Yukarıda belirtilen çalışma istasyonlarından da anlaşılacağı üzere, raylı transfer arabası imal edilirken çalışan toplam personel sayısı 18'dir. 18 personel ile mevcut işin yapılma süresi yaklaşık 20 gün olarak değerlendirilebilir. Bu 20 günün dağılımı ise, 3 günlük projelendirme, 2 günlük plazma kesimi, 1 günlük abkant bükümü, 2 günlük torna tezgâhı işlemesi, 1 günlük testere kesimi, 5 günlük kaynaklı birleştirme, 2 gün boya, 4 günlük montaj süresi olarak ifade edilebilir. Bu sayının azaltılabilmesi ve maliyetin düşürülebilmesi mümkündür.

Çalışan personel sayısı azaltılabilir. Fakat bu da çalışma süresinin artmasını ve işin bitirilme süresini geciktirir.

Hazırlanmış olan tez çalışması, gerek sistem gerekse teknik dokümanlar açısından, ürünü yapılabilirliği adına uygun bir ortam yaratmaktadır. Üretim aşamalarında teknik resim ve görseller yardımıyla, ürün imal edilebilmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının başından sonuna kadar her aşamasında araştırmalarımaya yardımcı olan ve deneyimlerini titizlikle aktaran danışmanım Sayın Doç. Dr. Mehmet Emin Deniz'e, bilgi ve birikimleriyle çalışmalarımaya destek aldığım Odabaşı Makine Yönetim ve çalışanlarına, manevî desteklerini esirgemeyen kıymetli aileme ve yol arkadaşım Betül Akgündüz'e sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TEZ KABUL VE ONAYI .....                                                             | 2  |
| TEZ BİLDİRİMİ .....                                                                  | 3  |
| ÖZET .....                                                                           | 4  |
| ABSTRACT.....                                                                        | 5  |
| ÖNSÖZ .....                                                                          | 6  |
| TEŞEKKÜR .....                                                                       | 10 |
| İÇİNDEKİLER.....                                                                     | 11 |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                                 | 13 |
| TABLolar DİZİNİ.....                                                                 | 15 |
| SİMGELER ve KISALTMALAR.....                                                         | 16 |
| 1. GİRİŞ.....                                                                        | 17 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....                                                          | 21 |
| 2.1. Raylı Sistemlerin Transferde Kullanımı .....                                    | 21 |
| 2.2. Üretim Alanında Malzeme Transfer Sistemleri.....                                | 24 |
| 2.3. Malzeme Transfer Sistemleri'nde Karşılaşılan Problemler ve Kapasite Ölçümü..... | 27 |
| 2.4. Üretim Alanında Yapılmış Malzeme Transfer Çalışmaları.....                      | 28 |
| 2.5. Malzeme Transportunun Gerekliiliği.....                                         | 35 |
| 2.6. Malzeme Transportunun Amaçları .....                                            | 36 |
| 2.7. Malzeme Transportunun İlkeleri .....                                            | 40 |
| 2.7.1. Plan ve organizasyon .....                                                    | 40 |
| 2.7.2. Sistem organizasyonu .....                                                    | 41 |
| 2.7.3. Yüzey işletmesi.....                                                          | 41 |
| 2.7.4. Sadeleştirme.....                                                             | 41 |
| 2.7.5. Birim ağırlık.....                                                            | 41 |
| 2.7.6. Bakım ve onarım.....                                                          | 42 |
| 2.7.7. Transport arabası seçimi .....                                                | 42 |
| 2.7.8. Faydasız yük .....                                                            | 42 |
| 2.7.9. Performans .....                                                              | 42 |
| 2.7.10. Kapasite .....                                                               | 43 |
| 2.7.11. Otomasyon .....                                                              | 43 |
| 2.7.12. Kontrol .....                                                                | 43 |

|                                                    |            |
|----------------------------------------------------|------------|
| 2.7.13. İş güvenliği .....                         | 43         |
| 2.8. Malzeme Transportunda Sayısal Analiz .....    | 44         |
| <b>3. GENEL BİLGİLER.....</b>                      | <b>49</b>  |
| 3.1. St-37 Çeliği Mekanik İncelemesi .....         | 52         |
| 3.2. Hardox Çeliği Mekanik İncelemesi .....        | 55         |
| 3.3. Alüminyum Alaşımların Mekanik İncelemesi..... | 63         |
| <b>4. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>                  | <b>67</b>  |
| 4.1. İki Boyutlu Projelendirme .....               | 67         |
| 4.2. Raylı Transfer Arabası Üretim Aşamaları ..... | 70         |
| 4.2.1. CNC Plazma Kesim Aşaması .....              | 71         |
| 4.2.2. Talaşlı İmalat Aşaması.....                 | 72         |
| 4.2.3. Kaynaklı Konstrüksiyon Aşaması .....        | 76         |
| 4.2.4. Boya Aşaması .....                          | 79         |
| 4.2.5. Montaj Aşaması .....                        | 79         |
| 4.3. Üç Boyutlu Modelleme.....                     | 81         |
| 4.4. Yük - Gerilme Analizi .....                   | 83         |
| <b>5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>     | <b>85</b>  |
| <b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>                | <b>99</b>  |
| 6.1. Sonuçlar .....                                | 99         |
| 6.2. Öneriler .....                                | 100        |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                             | <b>101</b> |
| <b>EKLER .....</b>                                 | <b>105</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                              | <b>110</b> |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Tavan vinci örneği ( <a href="https://www.ismakinesiehliyetsrc.com/">https://www.ismakinesiehliyetsrc.com/</a> )..... | 19 |
| Şekil 1.2. Raylı transfer arabası örneği ( <a href="https://www.arnikon.com.tr/">https://www.arnikon.com.tr/</a> ) .....         | 20 |
| Şekil 2.1. Maden taşımacılığında kullanılan malzeme transfer arabası (Agricola, G., 1556). ....                                  | 21 |
| Şekil 2.2. Elmanov'a ait monoray yapısının çizimi (Anonim).....                                                                  | 22 |
| Şekil 2.3. Palmer'a ait monoray tasarımı (Harkort, 1833).....                                                                    | 23 |
| Şekil 2.4. Parça transfer operasyonları (İmrak ve Gerdemeli, 2012) .....                                                         | 26 |
| Şekil 2.5. AGV Kontrol Mekanizması ( <a href="https://www.kaizen40.com/">https://www.kaizen40.com/</a> ) .....                   | 33 |
| Şekil 2.6. Üretim organizasyon hiyerarşisi (Tompkins ve White, 1984). ....                                                       | 38 |
| Şekil 2.7. Ray yönlendirmeli araç (Anonim).....                                                                                  | 38 |
| Şekil 2.8. Örnek bir fabrika yerleşim planı ( <a href="https://dergipark.org.tr/tr/">https://dergipark.org.tr/tr/</a> ). ....    | 39 |
| Şekil 2.9. Üretim metotları şeması (Sarica, 1998). ....                                                                          | 45 |
| Şekil 2.10. Malzeme boyut içeriği (Heragu, 2008). ....                                                                           | 46 |
| Şekil 2.11. Malzeme transport algoritması örneği (Kılıç, 2011). ....                                                             | 47 |
| Şekil 3.1. Türkiye’de yıllara göre çelik üretimi.....                                                                            | 50 |
| Şekil 3.2. 2020-2021 yılları arasında Türkiye’deki çelik üretim hareketliliği .....                                              | 51 |
| Şekil 3.3. St – 37 çeliği için gerilme – uzama eğrisi .....                                                                      | 54 |
| Şekil 3.4. Hardox – 450 çeliği .....                                                                                             | 56 |
| Şekil 3.5. CNC Plazma kesim makinesi tezgâhı .....                                                                               | 56 |
| Şekil 3.6. Abkant (büküm) makinesi .....                                                                                         | 57 |
| Şekil 3.7. Torna tezgâhına bağlanmış sürücü tekerleği .....                                                                      | 58 |
| Şekil 3.8. Hardox çeliğinin kullanıldığı alan örnekleri .....                                                                    | 61 |
| Şekil 3.9. Hardox – St-52 kuvvet karşılaştırması .....                                                                           | 62 |
| Şekil 3.10. Borlama sırasında borür tabakasının oluşum biçimi (Xu,2000).....                                                     | 63 |
| Şekil 4.1. AutoCAD ortamında malzeme transfer arabasının üç görünüşü (Yan, Ön, Üst) .....                                        | 67 |
| Şekil 4.2. Malzeme transfer arabası yan detay görünümü.....                                                                      | 68 |
| Şekil 4.3. Analizi yapılan raylı transfer arabası.....                                                                           | 69 |
| Şekil 4.4. Analizi yapılan raylı transfer arabası.....                                                                           | 70 |
| Şekil 4.5. Raylı transfer arabası CNC plazma kesim programı.....                                                                 | 71 |
| Şekil 4.6. AutoCAD ortamında raylı transfer arabası tekerlek kesiti .....                                                        | 73 |
| Şekil 4.7. AutoCAD ortamında raylı transfer arabası tekerleği kesit detay resmi .....                                            | 74 |

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.8. Tekerlek imal projesi.....                                                          | 75 |
| Şekil 4.9. Stoper plakası teknik resim detayı.....                                             | 76 |
| Şekil 4.10. Raylı transfer arabası kirişleri için kullanılan malzeme listesi.....              | 77 |
| Şekil 4.11. Örnek bir NPU profil kesiti .....                                                  | 78 |
| Şekil 4.12. Raylı transfer arabası kaynaklı birleştirme kalıb.....                             | 78 |
| Şekil 4.13. Ray sistemi döşeme montajı.....                                                    | 79 |
| Şekil 4.14. Ray döşeme sistemi teknik detayı .....                                             | 80 |
| Şekil 4.15. Solidworks ortamında üç boyutlu genel modelleme .....                              | 81 |
| Şekil 4.16. Solidworks ortamında raylı transfer arabasının üstten görünüşü .....               | 82 |
| Şekil 4.17. Solidworks ortamında ray sistemi ve transfer arabasının genel görünüşü ...         | 82 |
| Şekil 4.18. Von Mises eşdeğer gerilme analizi (Analiz üst görünümü).....                       | 83 |
| Şekil 4.19. Von Mises eşdeğer gerilme analizi (Analiz alt görünümü).....                       | 84 |
| Şekil 5.1. Malzeme taşıma sistemi eşitliği (Tompkins ve diğerleri, 2010). ....                 | 85 |
| Şekil 5.2. Von Mises eşdeğer gerilme analizi (Analiz alt görünümü).....                        | 86 |
| Şekil 5.3. Emniyet katsayısı çözümlemesi .....                                                 | 87 |
| Şekil 5.4. 30000 N yük altında toplam deformasyon (eğilme) miktarı .....                       | 89 |
| Şekil 5.5. 100000 N altında toplam deformasyon miktarı.....                                    | 91 |
| Şekil 5.6. 150000 N altında toplam deformasyon miktarı.....                                    | 92 |
| Şekil 5.7. 200000 N yük altında toplam deformasyon miktarı.....                                | 93 |
| Şekil 5.8. 250000 N yük altında toplam deformasyon miktarı.....                                | 94 |
| Şekil 5.9. Farklı yükler altında eşdeğer gerilme miktar grafiği.....                           | 95 |
| Şekil 5.10. Yayılı yük analizi yapılan transfer arabasının üst model görünümü.....             | 96 |
| Şekil 5.11. Yayılı yük analizi yapılan transfer arabasının alt model görünümü .....            | 96 |
| Şekil 5.12. Ansys analiz sonucuna göre oluşan düğüm (node) ve eleman (element)<br>sayısı ..... | 97 |
| Şekil 5.13. Ansys analiz sonucuna göre Mesh çeşidi .....                                       | 98 |

## TABLolar DİZİNİ

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 3.1.</b> St – 37 çeliğın karakteristık özelliğı .....                  | 52 |
| <b>Tablo 3.2.</b> Hardox çeliklerinin ticari isimleri (Metal – oks, 2001). .... | 60 |
| <b>Tablo 3.3.</b> Hardox çeliğının mekanik özellikleri (Metal Oks, 2001). ....  | 62 |
| <b>Tablo 3.4.</b> Alüminyum malzemelerin fiziksel özellikleri .....             | 65 |
| <b>Tablo 3.5.</b> Alüminyum 304 – 304L’nin mekanik özellikleri .....            | 66 |
| <b>Tablo 3.6.</b> Alüminyum 304 – 304L’nin fiziksel özellikleri .....           | 66 |
| <b>Tablo 5.1.</b> Eşdeğer gerilme analizine göre bozulma miktarı.....           | 86 |
| <b>Tablo 5.2.</b> Emniyet katsayısı belirleme metotları.....                    | 88 |
| <b>Tablo 5.3.</b> 30000 N yük altında bölgesel deformasyon miktarı.....         | 90 |
| <b>Tablo 5.4.</b> 100000 N yük altında bölgesel deformasyon miktarı.....        | 91 |
| <b>Tablo 5.5.</b> 150000 N yük altında bölgesel deformasyon miktarı.....        | 92 |
| <b>Tablo 5.6.</b> 200000 N yük altında bölgesel deformasyon miktarı.....        | 93 |
| <b>Tablo 5.7.</b> 250000 N yük altında bölgesel deformasyon miktarı.....        | 94 |
| <b>Tablo 5.8.</b> Eşdeğer gerilme – yük karşılaştırması.....                    | 95 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR

### Simgeler

|            |                    |
|------------|--------------------|
| <b>C</b>   | : Karbon           |
| <b>Mn</b>  | : Mangan           |
| <b>P</b>   | : Fosfor           |
| <b>S</b>   | : Kükürt           |
| <b>N</b>   | : Azot             |
| <b>Cu</b>  | : Bakır            |
| <b>P</b>   | : Basınç           |
| <b>Kg</b>  | : Kilogram         |
| <b>N</b>   | : Newton           |
| <b>MPa</b> | : Megapaskal       |
| <b>GPa</b> | : Gigapaskal       |
| <b>°C</b>  | : Santigrat derece |
| <b>St</b>  | : Steel/Çelik      |
| <b>Si</b>  | : Silisyum         |
| <b>Ni</b>  | : Nikel            |
| <b>J</b>   | : Joule            |
| <b>K</b>   | : Kelvin           |

### Kısaltmalar

|                 |                                                 |
|-----------------|-------------------------------------------------|
| <b>CNC</b>      | : Bilgisayar kontrollü yönetim                  |
| <b>NC</b>       | : Yarı bilgisayar kontrollü yönetim             |
| <b>ULK</b>      | : Uluslararası Lojistik Konseyi                 |
| <b>UDHB</b>     | : Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı |
| <b>MEB</b>      | : Milli Eğitim Bakanlığı                        |
| <b>AHP</b>      | : Analitik Hiyerarşi Prosesi                    |
| <b>AGV</b>      | : Otomatik Programlı Araç                       |
| <b>MTE</b>      | : Malzeme Taşıma Enstitüsü                      |
| <b>FUMAHERS</b> | : Bulanık Çoklu Nitelikte Malzeme Taşıma Seçimi |
| <b>AMTB</b>     | : Amerikan Malzeme Transport Birimi             |
| <b>ÜVH</b>      | : Üretim Verimlilik Hesabı                      |
| <b>MTH</b>      | : Malzeme Transport Hesabı                      |
| <b>MTO</b>      | : Malzeme Taşıma Oranı                          |
| <b>DYO</b>      | : Deforme Yük Oranı                             |
| <b>HB</b>       | : Brinnell Sertlik Değeri                       |
| <b>RTA</b>      | : Raylı Transfer Aracı                          |
| <b>AISI</b>     | : Amerikan Demir Çelik Sanayisi                 |
| <b>Min</b>      | : Minimum                                       |
| <b>Max</b>      | : Maksimum                                      |
| <b>mm</b>       | : Milimetre                                     |



## 1. GİRİŞ

Üretim alanında faaliyet gösteren işletmelerin, olmazsa olmaz ilkelerinden biri zaman yönetimidir. Bir işin yapılabilirliğini sağlayan 3 temel faktör bulunmaktadır. Bunlar;

- Makine
- Malzeme
- İş gücü olarak değerlendirilebilir.

Makine ve malzemeler, fiziksel olarak ölçümü kolay olan, çalışma durumları gözetilip değerlendirilebilen ve kendi iç dinamiklerinde çok fazla değişkenlik göstermeyen üretim faktörlerindendir.

İş gücü, diğer bir adıyla insan gücü ise kendinden bağımsız birçok faktörle ilişkilendirilebilir. Bunlar; kişisel gelişimi sağlayan yetenekler, tecrübe, çalışma koşulları, kişinin eğitim – öğretim durumu ve psikolojik faktörler olarak değerlendirilebilir. İnsan gücünün birçok bağımsız etmenle ilişkilendirilmesi sebebiyle, üretim alanında faaliyet gösteren işletmelerde, insan gücünden ziyade makine ve ekipman gücüne ağırlık verilmesi, hem zaman etüdünün yapılmasını sağlayacaktır hem de bu denli dış etmenlerin yüksek seviyede olduğu ve iş kaybına sebep olabilecek olumsuzlukları asgari düzeye indirecektir.

Üretim metot ve yöntemleri, sadece imalat alanındaki farklılıklar değil, bunun yanı sıra yönetsel sistem ve imalat prosedürlerinde ürünün tasarımı ve mühendislik çalışmalarını da içine alan organizasyonların tamamı olarak değerlendirilebilir.

Doğru üretim yönteminin belirlenmesi ve büyük ya da küçük ölçekli imalat yapan işletmelerde farkındalık olgusu yaratıp, işlerin düzenli yürümesini sağlayacaktır. Böyle bir çalışmanın yapılabilmesi için üretim alanındaki ilk aşamadan son aşamaya kadar tüm operasyon bilgileri alınmalıdır (Harrison, 1990).

Kotha ve Swamidass (2000), tarafından bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda Kotha (1991)'in projesinden esinlenilerek farklı aşamalarda temel bilgiler toplanmıştır. İmalat yöntemlerinin tamamının değerlendirilmesi aşağıdaki açıklamalarda verilmiştir (Kotha ve Swamidass, 2000).

RTA (Raylı Transfer Araçları), üretim yöntemleri bakımından zaman ve enerji kavramları da göz önüne alındığında en kapsamlı ve ekonomik transfer araçlarının başında gelmektedir.

- i. **Ürün Tasarım Metotları:** Bilgisayar destekli tasarım programları, yine otomatik destekli mühendislik programları ve kendiliğinden kontrol edilebilir ilkel teknik çizim yöntemleri tarzındaki metotlar, ürün kontrolörlüğünün sağlanması ve tasarlanmasında kullanılır.
- ii. **Proses Metotları:** Yalın imalat organizasyonları, CNC ve NC tarzındaki tam ve yarı kontrollü makine grupları arasında bulunmaktadır. Bahsi geçen bu yöntemler, imalat prosesi kimyasına yönelir. Üretim proseslerinin oluşturulması konusunda sağlanması gereken proses yöntemleridir. Yalın imalat organizasyonları gibi sistemler, proses maliyetini düşürmekle beraber aynı zamanda yapılan işlerin veri toplanması ve tek elden kontrol edilebilirliğini de sağlamaktadır.
- iii. **Lojistik / Tedarik Planlama Metotları:** Bu gruptaki tüm yöntemler incelenirken, işletmeye giren hammaddenin yarı mamul, mamul ve ürün olana kadar geçirmiş olduğu bütün süreçleri incelemektedir. Ürünün tüm aşamaları, planlama metodu sayesinde kontrol edilebilmektedir. Bu işlemlerin tamamı, üretim yönetebilme süreçlerini içermektedir.
- iv. **Bilgi Metamorfoz Metotları:** Bu süreç yöntemi, yukarıda açıklanmış olan üç farklı yöntemin kendi arasında bileşenlerinin oluşturulmasını ve sürecin akışını kolaylaştırır. Bilgi akışı, sistemsel çözümlemeler ve bu çözümlemelerin transferleri gibi protokol kabulleri ile internet gibi işletme saha sınırlarında bulunan ağ şebekesi kurulumu yer almaktadır. Bu şebekenin herhangi bir şekilde sisteme dâhil edilmesini sağlayan bu metotlar, bahsedilen grup içerisinde yer almaktadır (Kotha ve Swamidass).

Yapmış olduğum bu tez çalışmada, raylı transfer arabası imalat ve analizinde, kullanılacak olan malzemelerin imalat yöntemlerini ve mekanik özelliklerini inceleyip, tasarım ve imalata uygunluğunu belirleyeceğim. Projelendirme aşamasında çelik konstrüksiyon, statik ve dinamik yüklere maruz bırakılacaktır. Bu sayede, raylı transfer aracının hem durgun hem de hareketli haldeyken taşıyabileceği maksimum yük taşıma kapasitesi belirlenecektir.

Fabrikalarda veya üretim yapan küçük çaplı işletmelerdeki en önemli kavramlardan biri de zaman yönetimidir. Günümüz endüstri çağında, günden güne teknolojiler gelişmektedir. Bu bağlamdaki gelişmelerden kaynaklı farklı alanlarda yeniliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Malzeme taşıma veya transfer kavramları, istasyon bazlı proses yönetimi olan, seri imalat veya sipariş usulü çalışan işletmelerde büyük önem taşımaktadır. Taşıma işlemleri genellikle tavan vinci, forklift veya raylı transfer araçları yardımıyla yapılmaktadır. Bu yardımcı taşıma ekipmanlarından tavan vinci, yoğun personel sayısının olduğu işletmelerde çok fazla zaman kaybına sebebiyet vermektedir. 80 personel çalışan bir fabrikada makul olan tavan vinci sayısı, mevcut personelin çeyreği kadardır. Bu da 20 adet tavan vincine tekabül etmektedir. 20 adet tavan vinci ekonomik yönden büyük bir külfet yaratmaktadır. Maliyetinin yanı sıra, belirli bir hız kapasitesine sahip sensörlü tavan vinçleri, belirli çalışma alanlarında belirli personellerin iş kaybına ve beklemesine sebebiyet vermektedir. 1 personelin gün içinde ortalama 5-6 dakika tavan vinci beklediğini varsayarsak, 80 kişilik bir fabrikanın bir iş gününde yaklaşık 400 dakikalık yani ortalama 7 saatlik bir iş kaybı olduğunu söyleyebiliriz. Şekil 1.1’de örnek bir tavan vinci görseli bulunmaktadır.



Şekil 1.1. Tavan vinci örneği (<https://www.ismakinesiehliyetsrc.com/>)

Forklift aracılığıyla yapılan taşıma veya transferlerde en az bir tane operatör çalışması zorunluluğu bulunmaktadır. Forklift taşıyıcılığında malzemenin bir noktadan diğer bir noktaya taşınması zaman açısından avantajlı bir transfer çeşididir. Ortalama bir forklift saatte 20 km/s hız yapabilmektedir. Üretim alanlarında veya fabrikalarda, çalışma alanı kapasitesi büyük olmayan işletmelerde forklift yoluyla transfer, doğru ve makul bir transfer çeşididir. Forklift ile malzeme transferinin dezavantajlarından biri, ağır ve tonajlı malzemelerin çok fazla kaldırılamamasıdır. Ortalama bir forkliftin taşıma kapasitesi 2 ton civarındadır. Farklı geometrik yapıdaki parçaların, forkliftin malzeme istiflenmesini sağlayan ön bıçaklarına yerleştirilmesi açısından dezavantajlıdır.

Raylı transfer arabaları, işletmelerde kullanılan ve modern teknolojinin hâkim olduğu yardımcı ekipmanlardır. Raylı transfer arabaları, kalabalık işletmelerde, yoğun personelin ve yoğun çalışma alanlarının bulunduğu fabrikalarda kullanılabilecek ideal bir yardımcı donanımdır. Taşıma kapasitesi arttırılabilir ya da azaltılabilir. Raylı transfer araçlarındaki çalışma prensibi, kendinden tahrikli bir motor tarafından kinetik enerji verilerek sağlanabilir. Bununla birlikte manuel olarak çalışması da mümkündür. Mevcut tez çalışmamda yapılacak olan raylı transfer aracı manuel kontrollü olacaktır. Şekil 1.2’de örnek bir raylı transfer arabası gösterilmiştir.



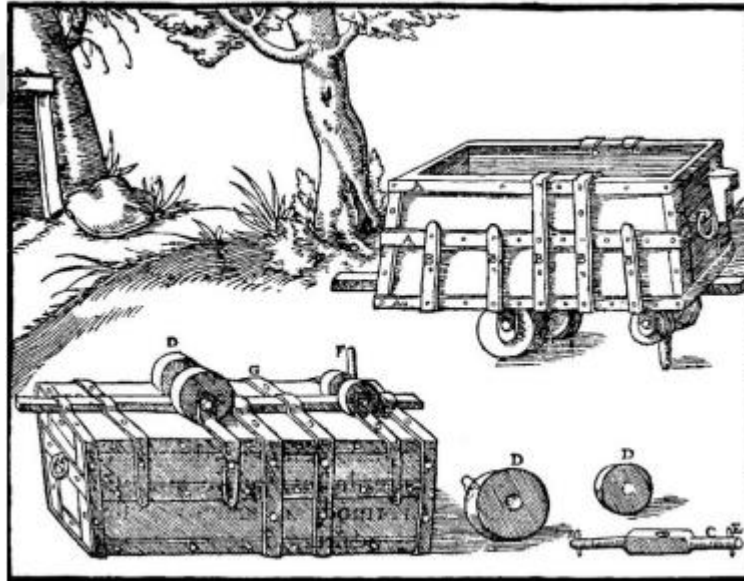
Şekil 1.2. Raylı transfer arabası örneği (<https://www.arnikon.com.tr/>)

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, raylı transfer araçlarının geçmiş dönemlerdeki kullanımlarını, hangi ihtiyaçlardan kaynaklı yapılma gereksinimlerinin doğduğunu ve yapılan akademik çalışmaları inceleyeceğim. Malzeme transferinin yol açtığı problemler, bu problemleri giderme yolları ve bunun dışında malzeme transferi sağlanırken elde edilen performansları değerlendireceğim.

### 2.1. Raylı Sistemlerin Transferde Kullanımı

Raylı sistemlerin ortaya çıkmış olduğu dönem 15. yüzyıla dayanmaktadır. Özellikle transferinin güç olduğu malzemeler, o dönemlerde demir, bakır ve maden ocaklarında, insan gücünün yeterli olmayacağı büyüklükteki yüklerin transferinin sağlanabilmesi adına istiflenmiş tahta kütüklerin üst kısmında dinamik ivme sağlayan transport araçları kullanılmaktaydı (Berkmen, 1963). Şekil 2.1’de örnek bir transfer arabası görseli gösterilmiştir.

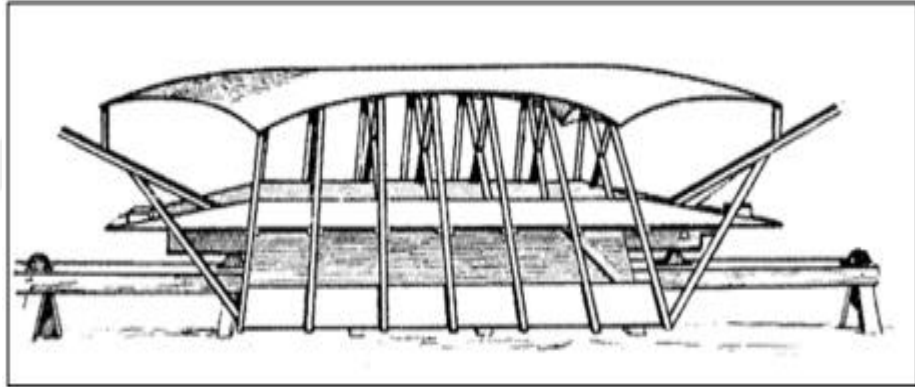


Şekil 2.1. Maden taşımacılığında kullanılan malzeme transfer arabası (Agricola, G., 1556).

Baudin ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada malzeme transfer söylemi, ULK (Uluslararası Lojistik Konseyi) tarafından yapılmış olan ‘Müşterilerin her türlü ihtiyacını karşılayabilecek nitelikte mamulün hammadde olarak sahaya girişinden, ürün olarak sahadan çıkana kadar olan tüm üretim prosesinin içindeki tüm hareketlerin doğru ve anlaşılır şekilde sistemsal olarak kontrol altında tutulması hizmetidir’ şeklinde tanımlanmıştır. Bununla beraber, yalın transfer kavramı ise, yalın üretimin taşınması boyutudur. Buradaki amaç; her türlü kaybı asgariye indirmektir (Baudin, 2004).

Transfer ve taşımacılıkta monoray sistemi de kullanılmaktadır. Monoraylı sistem, kendi adından da anlaşılacağı gibi tek bir ray sisteminde veya tek bir tane ray aşağısında gidiş veya geliş istikametlerinde hareket eden sistemlerdir. Toplu taşımacılıkta kullanılan ray sistemi, bir kolon üstüne oturtulan birden fazla kiriş ve bu çoklu kirişlerin üzerinde bulunan raylar ile gidiş ve geliş hareketleri eş zamanlı ve uyumlu olarak gerçekleştirilmektedir. Monoray maliyeti asgari bütçelidir. Bununla beraber imalat ve montaj yapım aşaması da kısa sürmektedir. İşbu avantajlar sebebiyle farklı yönde taşıma sağlayan hatlardan çok daha fazla talep görmektedir.

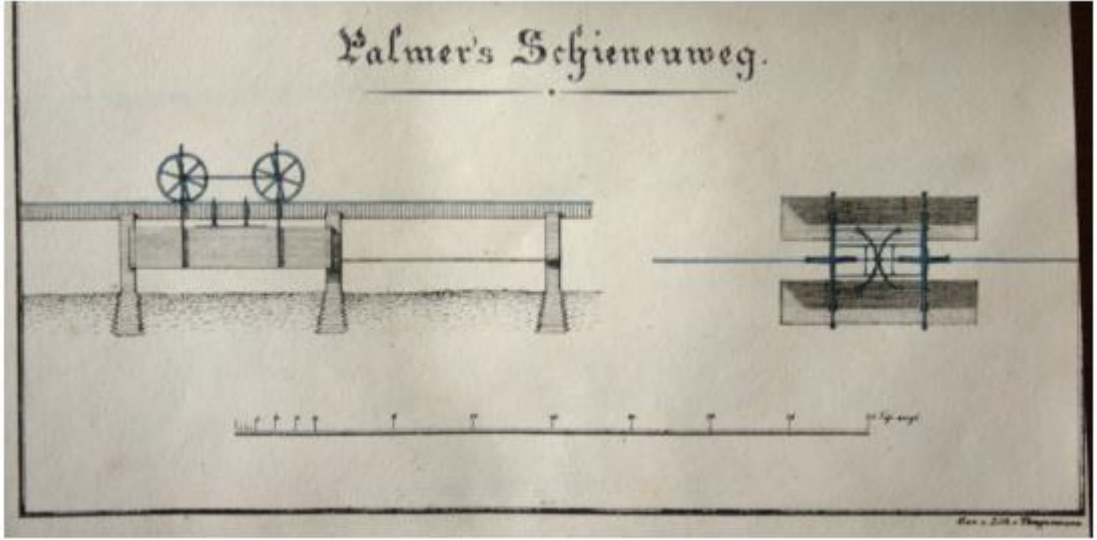
Monoraylar, statik bir raylı sisteme sahip, gücünü kendi motorundan alan araçlardır. Bu anlamda yapılmış olan ilk çalışma 1820’de Ivan Elmanov’un projesiyle Rusya’da yapılmıştır. Şekil 2.2’de Elmanov’a ait bir monoray transfer aracının görseli bulunmaktadır.



Şekil 2.2. Elmanov’a ait monoray yapısının çizimi (Anonim)

İlk yapılan monoray sistemlerinde raylar yere sıfır konumunda değil, zeminden yüksek konumda yer almaktaydı. Bu tarz disiplinler genel olarak ‘Lartigue sistemleri’ şeklinde ifade edilmiştir. Lartigue sistemlerinde transferi sağlayan arabanın dikmeleri iki farklı taraftan meydana gelmekteydi. Henry Robinson Palmer, yaptığı çalışmalar ile 1821 yılında ilk monoraylı demiryolunun patentini alan kişi olarak tarihte yerini almıştır (MEB, 2011). Palmer tarafından dizaynı yapılan bu sistem, Şekil 2.3’te gösterilmiştir. Palmer tarafından araştırılması yapılan bu tasarım, ilk olarak İngiltere’de hayata geçirilmiştir. Bu, aynı zamanda malzeme transportunda kullanılan ilk raylı sistem olarak bilinmektedir. Monoray çalışmalarının ilkinin tarihi ise 1800’lü yıllara dayanmaktadır (MEB,2011).





Şekil 2.3. Palmer'a ait monoray tasarımı (Harkort, 1833)

Monoray sistemlerini genel hatlarıyla 5 ana grupta incelemek mümkündür. Bunlar;

- i. Askılı monoray
- ii. Bindirmeli monoray
- iii. Konsollu monoray
- iv. Maglev tipi monoray
- v. Monoray (Schwebobahn) (UDHB, 2011).

Fabrikalarda ve üretim sahalarındaki raylar genellikle yerden veya tavandan sabitlemeli şekilde tasarımlanmıştır. Ray yoluyla dinamik bir hareket sağlayan raylar, genellikle yerin sıfır noktasından aşağıda değil, yukarısında olurlar. Dışarı çıkıntılı şekilde olmasının en büyük sebeplerinden biri, olası bir bakım veya arıza halinde mevcut alana kolaylıkla müdahale edilebilmesidir. Dışarı çıkıntılı raylar, herhangi bir güvenlik zaafı yaşanmaması amacıyla üzeri korumalı şekilde imal edilebilir veya üzerine aparat şeklinde portatif koruyucu muhafazası yapılabilir.

Ray yönlendirmeli araç sistemlerinde makaslar, döner aksamalar ve diğer özelleştirilmiş parkur alanlarıyla rota ve yön değişimini sağlamak da mümkün kılınmıştır. Buradaki asıl amaç, farklı ağırlıktaki yüklerin, farklı yönlere transferinin sağlanmasına olanak tanımadır. Ray transfer sistemlerinde yönlendirmeli sistemler genelde konveyörlü sistemlerin çalışma prensiplerine oranla daha yüksek fonksiyonlu ve karışık yani çok açıdan değerlendirilebilir olarak nitelendirilirken, aynı durumdaki otomatik yönlendirmeli araçlara oranla çok daha az kullanışlı olarak kabul edilmektedir.

Sanayi faaliyetlerinde, monoray sistemi uygulamalarının öncüsü olarak kabul edilebilecek spesifik bir uygulama 1900'den önce hayvansal üretim fabrikalarında aktif olarak kullanılmıştır. Örneğin bu sistemlerde, sakatat olarak hazır olan hayvanlar gıdalar, tavana sabitlenmiş monoray arabalarına tutturulmuş kancalara asılırdı. Sistem, farklı alanlarda çalışan personeller tarafından insan gücü kullanılarak elle taşıma sistemi ile çalışırdı ve malzemeler de elle taşınırdı. Günümüzde ise elektrik enerjisi ile çalışan tavana monte edilmiş tek ray sistemleri, otomotiv sektöründe çok yaygın biçimde kombine denilen yani bütün parçadan, küçük montaj parçalarına kadar tüm parçaların imalat proseslerinin işlendiği bölümlere transferinde kullanılmaktadır. Bu, bir diğer anlamıyla tündengelim metodu olarak adlandırılabilir (Dartnall, 2011).

## **2.2. Üretim Alanında Malzeme Transfer Sistemleri**

Malzeme taşıma, en genel tabiri ile doğru zamanda ve doğru hamleyle, doğru insan gücü ve uygun bir organizasyon ile çok uygun mühendislik projeciliği ve uygun koşullarda, aynı zamanda en asgari maliyetle istenilen herhangi bir malzemenin bir alandan başka bir alana tedarik edilmesi şeklinde tanımlanabilmektedir (White ve Apple, 1985).

Parçacık taşımacılığında transferin, ilk olarak kullanılma tarihi net bir ibare ile bilinmemekle birlikte, çağdaş çağdaş dönemde taşımacılık transferi Sanayi Devrimi ile birlikte ortaya çıkmıştır. 1900'lü yıllara gelindiği vakitlerde, o günlere dek henüz parça ya da parçacık transferinin kritik unsurlarından sayılan ahşap sandıklar, yerlerini tahta paletlere bırakmaya yüz tutmuştur. Depolama ve istifleme için ise sandık, varil ve fiçı gibi ekipmanların kullanımına yavaş yavaş geçilmiştir. Variller, özellik olarak da parça transfer yöntemleri geliştirilip kullanılmaya başlanmadan önceki eski dönemlerde, yuvarlamak suretiyle malzeme transfer işlemlerinde kullanılmıştır. Variller, bununla birlikte tekstil ürünleri, bakliyat ve un gibi ürünlerin taşınmasında da diğer ilkel yöntemlere oranla daha çok tercih edilmiştir. Farklı ilkel yöntemlerin kullanılması bu anlamdaki eksikliği gidermemiş olup, harici alternatiflere yönelme neden olmuştur. Bu anlamda gerçekleştirilen teknolojik faaliyetler yardımıyla taşımacılığın ilerlemesi sayesinde, bir süre sonra oluklu sandıklar yerine maliyet açısından daha ekonomik ve mukavemet olarak da dayanımı çok daha yüksek olan oluklu konteynerler kullanılmaya başlanmıştır (Anonim, 2012).



Malzeme taşıması yapıp transfer etmenin farklı bileşenler tarafından yapılmış olan farklı tanımlamaları da bulunmaktadır. Örnek verecek olursak, Amerikan Malzeme Taşıma Endüstrisi'nin tanımına göre; malzeme aktarımı ve iç taşıma, imalat ve transfer yöntemleriyle birlikte, tüketim ve geri dönüşüm hareketleri de dâhil olmak üzere muhafaza edilip depolanarak ürünlerin kontrol edilmesi işlemidir. Amerikan Makine Mühendisleri Derneği'ne göre; malzemenin tüm imalat prosesleri adına taşıma, paketleme ve ambalajlamayı kapsayan organizasyona transport ismi verilmektedir (İmrak ve Gerdemeli, 2012).

Tompkins, sıradan bir üretim sürecinde parçacık transport veya transfer, tüm çalışma oranının, zaman bakımından %25'ine tekabül ettiğini belirtmiştir. Ayrıca işletme yapılan alanın yaklaşık %60'ını ve imalat yapılan alanın da süre bakımından %85'ini etkilediğini belirtmiştir. Bir ürünün meydana gelebilmesi için, yapılan çalışmada toplam imalat giderinin %15-%70 arasında etkilendiğini bildirmiştir (Tompkins, 1996).

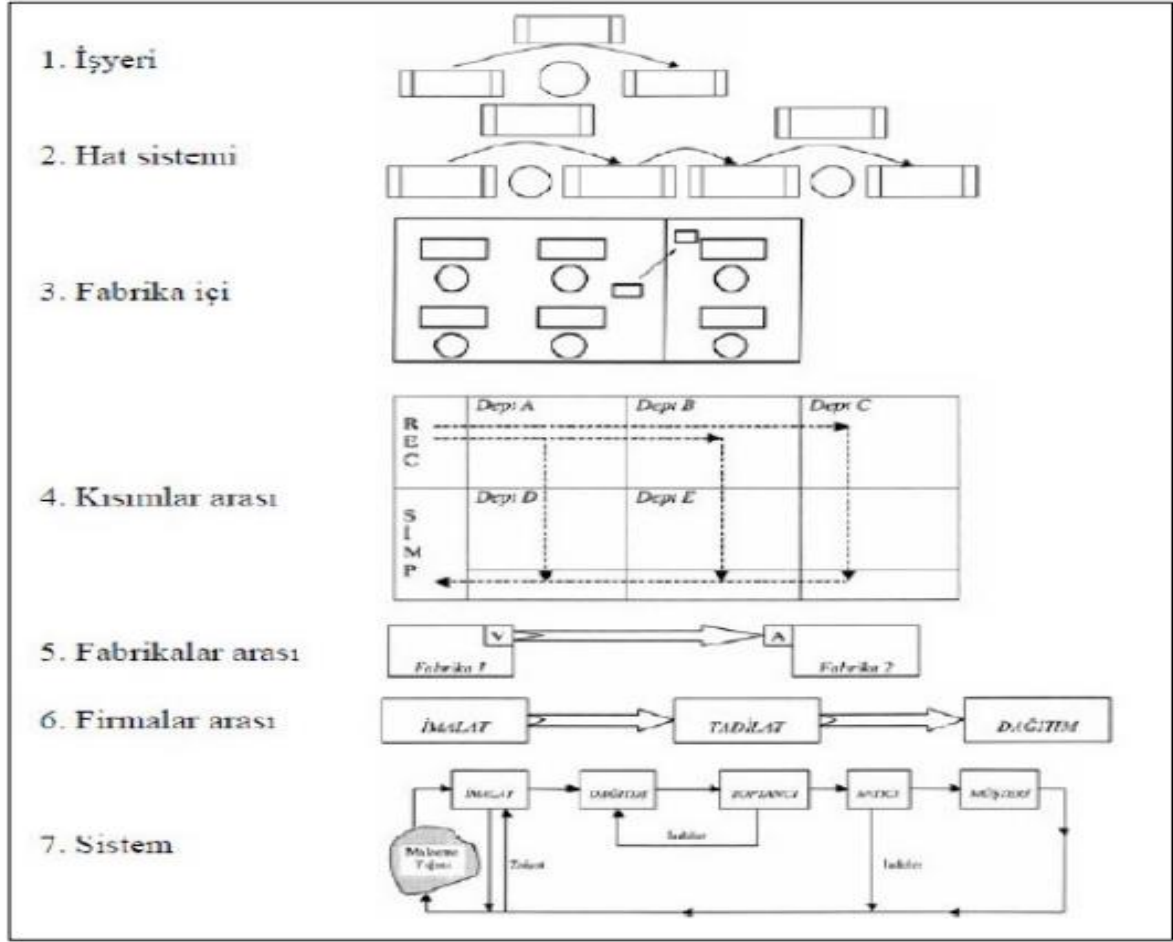
Lashkari, üretim sistemlerinde karşılaşılan problemler ile bu problemlerin çözümlemelerinde aynı metodun kullanılması gerektiğini savunmuştur. Bunun nedeni ise parça transfer operasyonlarının, üretimin en büyük parçası pozisyonunda olmasındandır. İmalat süreçlerinin ve parça transfer süreçlerinin, birbirinden ayrık olarak değerlendirilemeyeceğini belirtmiştir (Lashkari, 2004).

Konuyla ilgili bir başka çalışma yapan Yaman ise, parça veya parçacık transfer operasyonlarında kullanılan transfer arabalarının fabrikadaki mevcut üretim işleyişine göre seçilmesi gerektiğini belirtmiştir. (Yaman, 2001).

Malzeme taşıma hareketlerini 7 kısımda inceleyebiliriz. Bunlar;

- i.** Üretim hatları içerisinde malzeme transfer
- ii.** Üretim birimi içerisindeki malzeme transferi
- iii.** Departmanlar arasında gerçekleşen malzeme transferi
- iv.** Farklı fabrikalar arasında gerçekleşen malzeme transferi
- v.** Farklı firmalar arasında malzeme transferi
- vi.** Sistemler ve operasyonlar arasında gerçekleşen malzeme transferi
- vii.** Fabrika veya işletme içerisindeki malzeme transferi

Parçacık transfer operasyonları, Şekil-2.4'te verilen görselde ele alınmıştır (Tunç, 2013).



Şekil 2.4. Parça transfer operasyonları (İmrak ve Gerdemeli, 2012)

Yukarıdaki Şekil 2.4'de fabrika sınırları içerisindeki örnek bir iş akış şeması gösterilmiştir. Esnek ve yalın imalat modelleme yöntemlerinin en kritik görevlerinden birisi de malzemelerin bekleme sürelerini ve bekleyen malzeme adetlerini minimum seviyeye düşürüp, bu noktada kalıcılığı ve standardı sağlayabilmektir. Bunu sağlayabilmek adına belli başlı bir takım sistemler geliştirilmiş ve bazı yenilemeler de yaparak kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler neticesinde, malzemenin taşınma süresi ve zaman kaybından kaynaklanan bekleme süreleri de minimuma indirilip, bu şekilde bir organizasyon standardı yakalanmaya çalışılır. Bir diğer deyişle malzeme, malzeme transfer alanı istasyonuna dağıtım çıkacağı anda gelir ve işleneceği istasyona malzeme transferi sağlanır. Malzemenin işleneceği alana götürülüp, depolama istasyonunda fazla bekleme yaşanmaması hem üretim sahasındaki düzeni bozmaz hem de malzeme israfını önler. Böylece malzeme stokları azaltılarak, işletme büyük bir maliyetten ve büyük bir harici iş yükünden kurtulmuş olur (Singh, 1996; Atmaca ve Erol, 2002).

### 2.3. Malzeme Transfer Sistemleri'nde Karşılaşılan Problemler ve Kapasite Ölçümü

Malzeme transfer süreçlerinde karşılaşılan sorunlar ve bu sorunları iyileştirme amaçlı kullanılan kapasite ölçümleri, temel olarak 5 grupta incelenebilir:

- i. **Transfer Dakikliği:** İşletmelerdeki üretim alanlarında gereksiz hareketlerin ortadan kaldırılması ile yarı mamul veya mamuller doğru zamanda, doğru yerde ve doğru bölümde olabilmektedir. Zaman kaybına ve iş gücü kaybına sebep olan bu prosesler, müdahale edilip asgariye indirilmediği müddetçe problemlere yol açmaya devam etmektedir. Bu problemlerin farklı açıklamalarından bir diğeri de yeterli olmayan transport sistemlerinin kullanılması ile bu sebepten üretimde meydana gelen zaman kayıplarıdır (Mulhacy, 1998; Hassan, 2006; Tompkins, 1996).
- ii. **Doküman Mertebeleri:** Üretim yapan işletmelerde üretim ve üretim alt parçalarının ve imalat yapılan istasyonlardaki malzeme taşıma oranlarının olması gereken konumlarda doküman seviyelerinin tutulması süreçleri ile meydana gelmektedir. Bu durumun sağlanmaması halinde sorunlar meydana gelmeye devam eder. Bu problemin önünü alabilmek adına işlenmemiş parçaların miktarının en asgariye indirilmesi sağlanmaktadır (Hassan, 2006; Tompkins, 1996). Yarı mamul malzemelerinin sayılarını azaltmanın en doğru yollarından biri de yanlış, eksik veya hatalı üretim proseslerinin en asgari düzeye indirilmesi ile sağlanabilecektir.
- iii. **Operasyon Maliyetleri:** Operasyonlar, süreç maliyetlerini azaltıp, kâr marjını arttırmaya yönelik çalışmalar yapılmasını gerektirmektedir (Mulhacy, 1998; Hassan, 2006; Tompkins, 1996).
- iv. **Transfer Kalitesi:** Malzemelerin taşımaları veya transfer operasyonları sırasında, süreçlerin içerisinde yer alan kalite standartları gereği tek seferde doğru malzemeyi doğru noktadan alıp, doğru noktaya transferini sağlamak her açıdan çok önemlidir. Bunların doğru bir organizasyon ile yapılmadığı durumlarda problemler ortaya çıkabilir (Hassan, 2006; Tompkins, 1996).
- v. **Bilgi Transferi:** Uygun malzemelerle, uygun koşullarda bilgi transferinin sağlanması gerekmektedir. Bununla birlikte en uygun parça işleme süreçleri, gerçek anlamdaki bilgi gibi olgulardan birinde yaşanabilecek problemler, bilgi transferi probleminin ortaya çıkmasına neden olur (Mulhacy, 1998).

Malzeme transfer operasyonlarının tasarım süreçlerinde, sistem oluşumları çok önemli bir yere sahiptir. Bu sistemlerin özelliklerine bağlı kalmak koşulu sağlanarak oluşumlarında literatür araştırması yapılması durumunda farklı türden tutumlar meydana gelmektedir. Oluşum operasyonu, daimi operasyonlar, birbirinden farklı operasyonlar ve bağımsız olay operasyonları, literatürde öne çıkan operasyon oluşumları arasında gösterilmektedir (Zeigler, 2000).

#### **2.4. Üretim Alanında Yapılmış Malzeme Transfer Çalışmaları**

Braglia ve diğerleri (2001), imalat sahasındaki küçük parçalar için malzeme taşıma ve transfer araçlarının belirlenmesine yönelik bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem, birçok amaçlı karar verme yöntemlerinden AHP(Analitik Hiyerarşi Prosesi) ile tam sayılı doğrusal programlamadan oluşmaktadır. Yöntemin sürekliliğinin devamlılığı adına somut verilerden oluşan bir örnek kullanılmıştır. Somut verilerin sağlanıp toplanabilmesi, kontrol mekanizmasının oluşmasını da sağlamaktadır. Malzeme taşıma ve transfer araçlarıyla ilgili olarak yapılan literatür araştırmalarının neredeyse tamamı fiziksel ve somut verilere dayanmaktadır.

Kim ve Kim (2002), yurt dışı odaklı satış alanlarıyla ilgili, malzeme veya parçacıkların transfer işlemlerinde belirli parametreleri göz önünde bulundurmışlardır. Taşıma vinçlerinin matematiksel veri yoluyla belirlenmesiyle, maliyet analizi ortaya çıkacaktır. Bununla birlikte sadece transfer vinçlerinin sayısı değil, aynı zamanda transferin yapılacağı alandaki depolama hacminin de maliyet çalışmasının yapılması gerekecektir. Sonuca odaklanabilmek adına, geliştirilen maliyet oluşturma sürecinde, hacimsel ekonomik gider, taşıma veya transfer vinçlerinin yatırım amaçlı ekonomik gideri ve transfer vinçlerinin işletme ekonomik giderleri sınıflandırılmaktadır. Bu bağlamda iki çeşit organizasyon bulunmaktadır.

Bunlardan birincisi yalnızca ilgili operatörün finansal gideri minimuma indirilmiştir. Bunlardan ikincisi de ilgili istasyon operatörünün maliyeti ve müşteri odaklı maliyet en asgari düzeye indirilmiştir. Birinci modelleme adına belirleyici türde bir sistem oluşturulmuştur. İkinci modelleme adına ise değişken bir sistem oluşturulmuştur. Stokastik yöntemlerin mühendislik ve istatistikte önemli bir yeri bulunmaktadır. Teknik analiz yöntemleri stokastik metotlarla çözülebilmektedir.

Modeller adına ise uygun sonuç veren operasyonlar geliştirilmiştir. Sonuç veren sistemler, matematiksel veriler ışığında tatbik edilmiştir. Parametreler ve bu parametrelere bağlı sonuç değişkenleri üzerinde bulunan etkenler araştırılmıştır. Alt toplam finansal giderleri araştırılmıştır. Deneylerden ışığında bulunan sonuçlar ve bu konuda yapılan tüm çalışmalar, konuya ilişkin olarak operasyon kavramlarıyla doğru orantılıdır.

Kulak (2005), tarafından malzeme taşıma ve transfer araçlarının yapılan tüm çalışmalar sonucunda belirlenmesine imkân tanıyan bir metot oluşturmuştur. Malzeme taşıma ve transfer aracının belirlenmesinde iş gücünün yüksek oranda kullanımı, operasyon esnekliğinin oluşturulması önemlidir. Bununla birlikte, sistem randımanının artırılması, tedarik zamanlarının azaltılması ve finansal gideri kritik olan bazı etkenler olarak değerlendirilmiştir. Bahsi geçen kritik noktaları çözümleyen bir yönetim organizasyonu olan FUMAHES tasarlanmıştır. FUMAHES, veri tabanı modüllerinin tamamını kapsamaktadır. Diğer seçeneklerin oluşturulması, tam veya tam olmayan bilgiler ışığında oluşturulmaktadır. Geliştirilmiş olan profesyonel yöntemle dayanarak çeşitli uygulamalar da oluşturulmuştur.

Brauner ve Finke (2001), robotik odaklı parçacıkların, kendi içerisinde uygun bir döngü oluşturan farklı türden oluşan organizasyonları araştırmıştır. Robotik parçacıklar, makineler arasında kendinden kontrollü transfer oluşumunu sağlayan toptan bir robotik sistem şeklinde değerlendirilmiş ve bu şekilde de tanımlanmıştır. Ele alınan parçacıklar; genel parçacıklar, düzenli parçacıklar ve düzgün dengelenmiş parçacıklardır. Bu noktadaki amaç, verilen bir ürünün üretim hızını en mümkün olacak şekilde robotik dinamikleri tanımlayabilmektir. Mevcut incelemede, düzgün bir denge ortamı sağlamış parçacıklar değerlendirilmiş ve dört makineli parçacıklar adına yeni neden-sonuç metotları geliştirilmiştir.

Mirhosseyni ve Webb (2009), tarafından transport ve transfer arabalarının seçiminde kullanılacak ortak metot belirtmektedirler. Metot, en genel hatlarıyla iki aşamadan meydana gelmektedir. İlk aşamada, en uygun malzeme taşıma aracı türü bulanık profesyonel organizasyon sayesinde belirlenmektedir. İkinci aşamada ise genetik algoritma sayesinde belirlenmiş bir sonlu eleman içerisinde, ilk aşamada ortaya çıkan sayısal analizler yardımıyla çözüm aranmaktadır.

Malzeme taşıma ve transfer araçlarının seçimleri, üretim yapılan fabrika veya işletmelerde olmazsa olmaz durumundadır. Gelişen endüstri ortamı ve teknolojik anlamdaki yenilikler, malzeme transfer araçlarında da yeni arayışlara girmeye ve daha verimli ekipmanlar oluşturulmasına olanak vermiştir.

Fonseca ve diğerleri (2004), transport konusu ile ilgili bazı çalışmalarda bulunmuşlardır. Transport seçimi ile ilgili bileşenlerin kişiden kişiye farklılık gösterdiği, yorumlara açık olduğu ve analitik model operasyonlarının yalnızca ölçülebilir boyutta olan ekonomik maliyet ve donanım kullanım oranıyla sınırlandığını ifade etmektedirler. Bu sebepten Fonseca ve diğerleri çalışmalarında, daha yoğun etkeni fiziksel ve mental çerçevede tutan bilgi işlem odaklı bir tutum benimsemişlerdir. Transport arabasının seçimi çok fazla sayıda parametreyi etkilemektedir. Transport arabasının imalatının, bu anlamda zahmetli ve külfetli bir iş olduğu kanısına varılmıştır. Transport arabasının belirlenmesinde, profesyonel sistem yaklaşımı esas gösterilmiştir. İleri düzeyde obje yardımıyla dizayn edilmiş olan proses, transport ihtiyacı duyan işletmelere göre uygun şekilde plan oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Transport arabası, işletmelerin kendi ihtiyaç duyduğu alan ve pozisyona göre imal edilmektedir.

Lashkari ve diğerleri (2004), parçacıkların imalat yapılan organizasyonlarda sistem yönetimi ve parçacık transfer proseslerinin belirlenebilmesiyle ilgili toptan tutum sergilemişlerdir. Buradaki asıl gaye, makine gruplarının seçilebilmesidir. Verilen tüm parça gruplarındaki imalat yöntemlerinin yüklenebilmesi adına tüm taşıma araçları kullanılmaktadır. Transportun sağlanabilmesi için finansal giderlerin minimum seviyede tutulması en büyük gerekliliklerdendir. Proses oluşturma fonksiyonlarındaki parçacık modeli girdi fonksiyonu şeklinde ayarlanır. Transport belirlenmesi, sistemler içerisinde malzeme taşınması ile ilgili gerekli fonksiyonel çalışmanın yapılmasını sağlar. Sonrasında geri dönüş metoduyla süreç oluşumu sağlanır. İteratif bir algoritma, birden fazla model için çözüm oluşturulması amacıyla kurulmuştur. Sürecin işleye bilirliliği adına sayısal analiz yöntemleri kullanılmıştır. Sayısal örnek, süreç oluşturma ve parçacık transport problemlerinin çözümünde geliştirilen süreçlerin kullanımında uygulanabileceğini göstermiştir.

Sayısal analiz ve veri toplama yöntemi, genel hatlarıyla her mühendislik dalının veya her bölümün kullandığı ya da kullanması gereken yöntemlerdir. Tek bir elden işlenen veriler, bir fabrikadaki çok başlılığı azaltır, yönetimin tek elden yapılabilirliğini güçlendirir. Bu sayede hem sarf malzeme israfı önlenmiş olur hem de fabrika içerisindeki tüm birimlerde kontrol edilebilirliğin yüksek oranda olması sağlanır.

Khayat ve diğerleri (2006), imalat aşamasıyla ilgili operasyonlara, parçacık transport prosesini ekleyerek kalıplaşmış şekilde proses oluşturmaktadırlar. Araştırmacılar, parça transfer ve transport arabalarının en elzem ekonomik süreçlerden olduğunu belirtmektedirler. Fakat yine de operasyonların en iyi seviyeye getirilmesi, daha da ötesinde makine operasyonlarıyla uyumlu bir şekilde çalışma sağlanması gerekliliğinin doğduğunu bildirmişlerdir. Mevcut tezde incelenen problem, küçük çaplı organizasyonları kapsamaktadır. Atölye tipi kapsam, yoğun bir işletme ve insan gücünden bağımsız kavramlardır. Makineler ile malzeme transfer ve taşıma araçları, sınırlayıcı kaynaklar olarak ele alınmıştır. Her iki kavram da birbiriyle ilişkilendirilebilir. Bütünleştirilmiş, yani tümevarımı sağlanmış operasyon sorunu, sayısal analiz yöntemi esas alınarak belirlenmiştir.

Correa ve diğerleri (2007), esnek üretim modelinde kendinden kontrollü arabaların tanımlanıp, operasyon programlamasına ve bu operasyonların belirli yöndeki ihtiyaçlara karşılık vermesine yönelik karma bir yöntem önermişlerdir. İncelenen bu problem, çalıştırması zor ve zahmetli bir komplike problemidir. Karma yöntem, problemi iki ana başlıklı alt problemlere ayrılmaktadır. Problem, eş zamanlı olarak operasyon çizelgesini belirleme ve araçların senkronize edilebilir şekilde çalışmasını içermektedir. Yaklaşım, iki farklı yöntem ve kabulden oluşmaktadır. Bu yöntemlerden ilki, sınır programı tasarlanan, çalışan disiplinlerden oluşmaktadır. Bütünden parçaya gitme metodunun seçilmesindeki iki nedenden biri, programa yön vermeden önce atama değişken ve sabitlerinin uygulamanın operasyon çizelgeleri bölümündeki doğrusal olmayan sınırlardır. Mantık alanındaki sınırlar, alt problemlerden meydana gelmekte fakat temel sorun olarak işlenmektedir. Gelişimi tamamlanan karma modelleme sistemleri sayesinde, içerisinde 6 adet AGV bulunduran robotik yapı, otomatik yönlendirmeli araçlar AGV(Automatic Guided Vehicles), transfer ve taşınması istenilen bir malzemenin, bir X noktasından Y noktasına transferini sağlayan robotik sistemlerdir.

Bu tarz geliştirilen modellemeler, hem üretim alanında faaliyet gösteren işletmelerde hem de ticari olarak herhangi bir satış alanında faaliyet gösteren işletmelerde kullanılabilmektedir. İş gücü, enerji, zaman anlamında mevcut kayıpların asgariye indirilmesi bu sayede mümkün olmakla beraber, maddi olarak da kazanç sağlamaktadır.

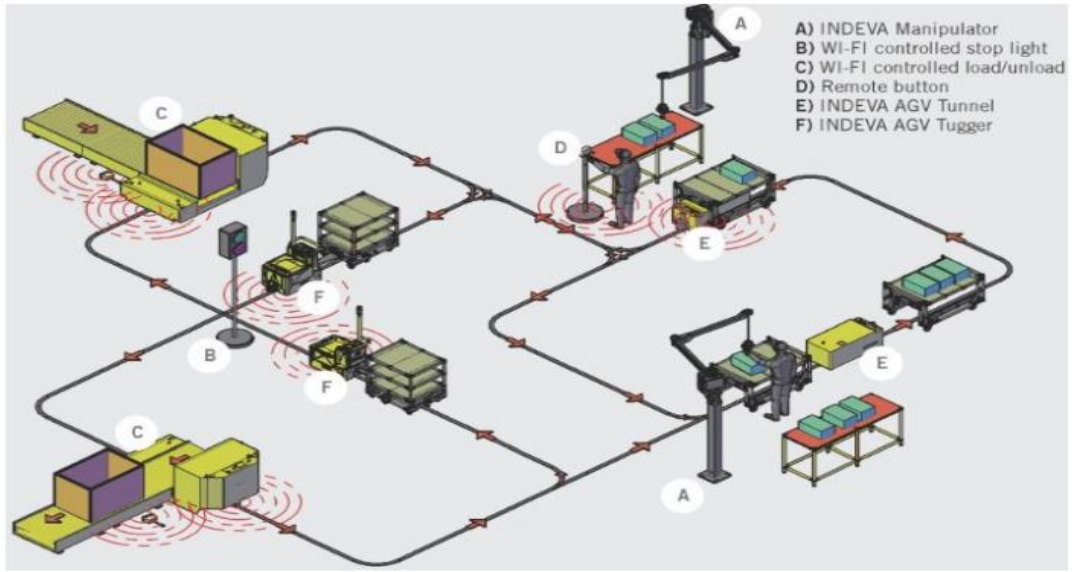
AGV modelleri en genel haliyle 3 ana grupta incelenmektedir. Bunlar, yük taşıyıcıları, palet kamyonları ve sürücüsüz trenler olarak adlandırılmaktadır. Hafif yük taşıyıcılı bu sistemler, belirlenmiş sınırlı yükleri bir istasyondan başka bir istasyona taşımak için kullanılırlar. Bu hareket kabiliyeti esnasında, paletlerin silindir ve pistonlar vasıtasıyla otomatik olarak yüklenmesi ve sistem boşaltması için kullanılmaktadır. Karakteristik olarak, diğer iki farklı AGV tipinden daha düşük taşıma kapasitesi ve daha küçük hacim alanına sahiptirler. Nispeten küçük yükleri taşırlar.

AGV tipi palet kamyonları, paletlenmiş ağırlıkları daha önceden programı yazılmış güzergâh alanına göre hareket ettirebilen, yazılımı atılmış programın yönüne göre rota çizen model grubudur. Bu türde, birden fazla palet aynı anda kaldırılabilir. Paletlerin istikametini değiştirmek için ise normal yatay hareketinden ziyade, dikey hareketle program kontrol edilebilir.

Otomatik yönlendirmeli transport arabaları şeklinde nitelendirilen AGV'ler kendi oto kontrolü sayesinde yönetilerek, herhangi insan gücü veya operatöre hiçbir şekilde gereksinim duyulmadan, kendi robotik döngüsüyle çalışmaktadır. Parçaların transport yöntemiyle transferinin sağlanması ve transfer yapılan alanda depolanmasıyla birlikte ve küçük parçaların birleştirilerek montajlanması işlemleri için kullanılır. Aynı zamanda montaj yapılırken montaja yardımcı ekipman adı altında isimlendirilebilir.

Kendi robotik sistemiyle konum ve pozisyon alabilen, hassas, ergonomik ve insan gücünden bağımsız ekipmanlardır. Taşıma kapasitesi ve avantajları açısından da işletmelerde ve üretim sahalarında forklift yerine kullanılabilmektedirler. AGV tipi taşıyıcılar günlük hayatta ve endüstride de kullanılabilmektedir. Bu AGV sistemlerinin geliştirilmesinde hem elektronik hem de robotik disiplinlerden destek alınmıştır. Şekil 2.5'te örnek bir AGV kontrol mekanizması gösterilmiştir.





AGV Kontrol

Şekil 2.5. AGV Kontrol Mekanizması (<https://www.kaizen40.com/>)

AGV tipi modeller, üretim yapan işletmelerde ve farklı alanlarda da kullanılır. Hem üretim yapan sanayi ortamlarında hem de depo veya atölye tarzı işletmelerde kullanımı yaygındır. Günümüz şartlarında yerli olarak da üretimi yapılabilmektedir. Kullanım alanları; transfer, depolama, montajlama, kimyasal bileşim alanları ve nakliye olarak değerlendirilebilir.

AGV tipi taşımaların avantajları;

- Kontrol edilebilirlik,
- Maliyet hesaplarının yapılabilirliği,
- Tesis bakım ve onarım faaliyetleri,
- Minimum işletme maliyeti,
- Güvenlik,
- Enerji tasarrufu,
- İnsan gücü tasarrufu,
- İş sağlığı ve güvenliği kontrolü,
- Düşük maliyet olanakları,
- Ergonomiklik olmak üzere değerlendirilebilir.

Yang ve diğerkleri, yalın imalat organizasyonları adına, saha düzeni ve parça transfer yolunun birleşik bir organizasyon olduğunu ve birbirinden ayrık bir halde bulunamayacağını belirtmiştir. Çalışmalarında ifade edilen problemlerden yerleşke sorunu, malzemenin transfere başladığı ilk andan, transferin bittiği son ana kadar geçen sürecin tamamını kapsamaktadır. Bu proses içerisinde meydana gelen sorunların en asgari düzeye indirilebilmesi için rotasyonlu parça transfer alanları belirlenmiş ve bu konuda birtakım prosedürler üzerinde çalışılmıştır. Bu konuda geliştirilen prosedür, ön görülemeyen transfer problemlerinin çözülmesi adına geliştirilmiştir.

Birinci aşamada parabolik bir eğri içerisinde, meydana gelebilecek tüm problemleri kapsayan bir algoritma geliştirilmiştir. Bu sayede parça transfer işlemlerinin finansal giderler açısından olabilecek en düşük seviyeye çekilmesi amaçlanmıştır.

Mevcut çalışmanın ikinci aşamasında, birinci adımdan ortaya çıkan neden ve sonuçlar tek bir bileşen üzerinde toplanır. Ortaya çıkan gerekçeli sonuçlar doğrultusunda, yöntemin randımanlı çalışma yüzdesi sayısal veriler ışığında tespit edilir. Detaylı yalın imalat organizasyonu sayesinde, problem matematiksel olarak ortaya çıkmış olur. Bu anlamda yapılan çalışmalar, deneyler ve bu çalışmaların sonucunda ortaya çıkan sayısal analiz yöntemleri, tavsiye edilen sorun çözme yönteminin gerçek hayatta da kullanılabileceğini ortaya koymuştur. İlgili prosedür, sezgisel yollarla problem çözebilmenin mümkün olduğunu göstermiştir. Sayısal verilerin de kullanılmasıyla birlikte problemlerin ortaya çıkış sebepleri ve çözüm uygulamalarının yapılabilmesi mümkündür (Yang, 2005).

Sayarshad (2010), imalathane ve fabrikalarda kullanılması gereken malzeme transfer arabalarının, uygun kullanım ölçütlerinde seçilebilmesi adına, birtakım yazılım algoritmaları kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Bu yöntem, en genel hatlarıyla birden çok aşamalı şekildedir. Bahsi geçen bu algoritmada, yerine getirilemeyen bazı talep ve istekler, algoritmanın ilgili alanında 0 olarak kabul edilir. Bu yazılım algoritmasında, transfer aracının taşıma kapasite bilgileri de bulunmaktadır. Taşınması yapılacak olan parçaların imalat istasyonlarına nasıl ve ne şekilde dağıtıldığı da algoritma tarafından takibi yapılan değerlendirmeler kapsamındadır. Bu yöntem sayesinde, sayısal analiz verilerine dayanarak birtakım kabuller yapılmıştır (Sayarshad, 2010).

Bu tarz algoritmik çalışmaların sayısının artması hem sektörel anlamda rekabeti arttıracaktır hem de bu anlamdaki çalışmaların daha da randımanlı olmasını sağlayacaktır.

## **2.5. Malzeme Transportunun Gerekliliği**

Tez çalışması doğrultusunda, farklı bölümlerdeki transport araçları, üretim ya da fabrika sahasındaki organizasyonların temelini oluşturmaktadır. Malzeme transfer sistemleri, üretim alanı içi ve üretim alanı dışı olmak üzere iki farklı grupta incelenebilir. Farklı tipteki bu transfer sistemleri, kendi içinde de farklı disiplinlere dayanmaktadır.

Malzeme taşıma sistemleri, üretim sistemleri içerisinde bir zaman kaybı ya da enerji kullanabilme açısından bir israf gibi gözükebilir. İlgili konuda bu tarz bir yaklaşım, üretim açısından yanlış bir proses yönetimine sebep olacaktır.

Malzeme transportunun uygun bir tasarım şekliyle beraber oluşturulup, bir sistem üzerinden yürümesinin sağlanması, tüm birimler adına doğru işleyiş mekanizmasını sağlayacaktır. Bu şekilde zaman kayıplarının da önüne geçilebilmesi mümkündür. Söz gelimi, depo veya ambarda istiflenmiş olan bir malzemenin üretim sahasına gitmesi gerektiğini varsayalım. Bu transport gerekliliğinin birden çok yöntemle çözülebilmesi mümkündür. Malzeme transfer tasarımı ve bu transfer tasarımının fiziksel olarak uygulanması sistemli bir şekilde yönetilmelidir. Sistem doğru bir şekilde yönetilirse, yüksek sayıda insan gücü zafiyeti olmayacaktır. Bununla birlikte zaman ve enerji kaybı da yaşanmayacaktır.

Depodan üretime girişi yapılacak olan ve imalat için kullanılacak malzemelerin, giriş ve çıkışlarının kontrol edilebilmesi adına farklı birtakım yazılım programları kullanılmaktadır. Bu yazılım programlarında depoya giren malzemelerin adet ve cinsleri takip edilebilmektedir. Ayrıca sistem sayesinde, depodan üretime transferi sağlanan parçaların da izlenebilirliği sağlanabilmektedir. İzlenebilirliğin sağlanması, üretim takibini de kolaylaştırmaktadır.

Depodan üretim alanına gönderilen parçaların, üretim alanında hangi istasyonda olduğunu tespit edebilmek, izlenebilirliği kolaylaştırmaktadır. Transportu sağlanan malzemelerin, eş zamanlı olarak sistem üzerinden işlenmesi gereklilik arz etmektedir. Eğer sistem üzerinden herhangi bir takip yapılmaz ise hem üretimde iş kaybı yaşanır hem de malzeme stoklarının güncelliği oluşturulamaz. Depo stoğunda güncel olmayan malzeme listesi de farklı finansal giderlere sebebiyet verecektir.

## 2.6. Malzeme Transportunun Amaçları

Parça veya parçacık transferiyle ilgili olarak MTE (Malzeme Taşıma Enstitüsü) tarafından bir tanımlama yapılmıştır. Bu tanımlamada, ‘Herhangi bir çalışma alanındaki, maddenin herhangi bir fazında bulunan parça veya malzemelerin, belirli sınırlar içerisinde ve bazı makineler sayesinde dinamik bir eylem göstermesidir’ şeklinde tanımlanmıştır (Sule, 1994).

Hiregoudar ve Reddy (2007), tarafından yapılmış olan birtakım akademik çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışma, özünde aşağıdaki satır başlarını ifade etmektedir.

- **Uygun Malzeme:** Üretim sahasında veya fabrika sınırları içerisinde ilgili alanda çalışan personellerin iş akışında herhangi bir hata yapmasını önlemek amacıyla bazı sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemlerde malzeme giriş çıkışının doğru bir sistemle yönetilebilmesi için barkodlu sistemler oluşturulmuştur. Barkodlu sistem sayesinde tüm giriş çıkışlar nizami bir şekilde kontrol edilebilmektedir.
- **Uygun Adet:** Uygun adetten kasıt, bir üretim alanında daha önceden belirlenmiş olan bir sipariş miktarı var ise, mevcut sipariş miktarına göre, depo stoğunda belirli sayıda malzeme bulunması gerekmektedir. Örneğin, açılan bir siparişin içeriğinde 20 adet cıvata olduğunu varsayalım. Bu 20 adet cıvata, üretim başlamadan tedarik edilmemişse, hem üretimde zaman kaybı gerçekleşmiş olur hem de müşteriye yapılacak olan teslimat süresinde gecikme meydana gelir. Bu yüzden depo stoğunda uygun adetlerin, sipariş bazlı olarak takip edilmesi gerekmektedir.
- **Uygun Finansal Gider:** Uygun finansal gider, ekonomik yönden maliyeti düşük malzeme anlamına gelmemektedir. İhtiyaca göre ihtiyaç olabilecek kadar sayıda tedarik edilen malzeme sistemidir. Bu finansal giderin de minimuma indirilebilmesi için transfer arabası büyük bir yardımcı ekipman görevi görmektedir. Bu yönetsel boşluk oluşmadığı takdirde üretimde herhangi bir aksaklık meydana gelmez.

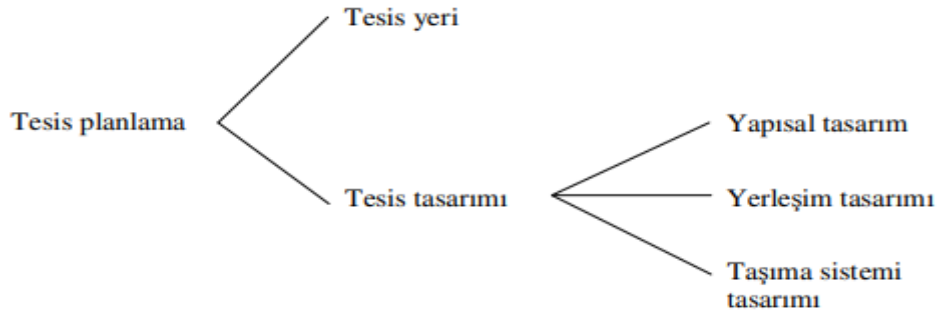
- **Uygun Durum:** Üretimde herhangi bir aksaklık meydana gelmemesi adına transfer araçlarının doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu gereklilik, tasarım boyutunda başlayıp sırasıyla üretim ve montaj aşamalarıyla devam etmektedir.
- **Uygun Zaman:** Uygun zamandan anlaşılması gereken durum, doğru zamanda doğru sayıdaki malzemenin doğru istasyona transportunun sağlanabilmesidir.
- **Uygun Yöntem:** Uygun yöntem kavramı ile ilgili çeşitli çalışmalar ve öngörüler bulunmaktadır. Yöntemin uygun olup olmadığı ise, net bir şekilde ifade edilmeli ve anlaşılmalıdır. Tek bir metot üzerinden bir çalışma yapmak, çok doğru bir tutum olmayacaktır. Bunun yerine birden fazla yöntem belirlenmesi ve bu yöntemlerin de uygulanabilirliğinin tespit edilmesi gerekmektedir.

Sule (1994), yapmış olduğu akademik çalışmalarda, malzeme transport işleminin yalnızca malzemeyi bir noktadan diğer bir noktaya transfer ettiği anlamını taşımadığını belirtmiştir. Bununla birlikte farklı fonksiyonlar da içermekte olduğunu savunmaktadır. Malzeme transportunun iç fonksiyonlarında, sadece yatay veya dikey anlamda taşıma işlemlerinin değil aynı zamanda yük alma veya yük indirme fonksiyonlarının da olduğunu belirtmiştir.

Parça hareketlerinin belirli bir sınırdan tutulmuş olması, bu anlamda herhangi bir hareket olmadığını ve mevcut malzemelerin de ölü malzeme olduğunu iletmektedir. Ölü malzemelerin hareketleri tamamlanmış ve bu hareketsizlik sonucunda ilgili malzemenin depo veya ambara transferinin gerçekleşmesi gerektiğini savunmuştur. Ayrıca malzeme transport arabası seçiminin, malzeme transportuyla ilgili olarak önemli bir aksiyon aşaması olduğu kaydedilmiştir (Sule, 1994).

Parça transferi hem günümüzde hem de geçmiş dönemlerde sanayi tipi üretim yapan atölyelerde veya büyük ölçekli fabrikalarda kullanılmıştır. Eski dönemlerde malzeme transportu sağlanırken ilkel metotlar kullanılırdı.

Günümüzde ise modern teknoloji sayesinde her anlamda gelişmiş yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler ileri dönemlerde daha da gelişmiş hale gelecektir. Tompkins ve White (1984), parça transport sistem dizaynının Şekil 2.6'da gösterildiği gibi olması gerektiğini belirtmişlerdir.



Şekil 2.6. Üretim organizasyon hiyerarşisi (Tompkins ve White, 1984).

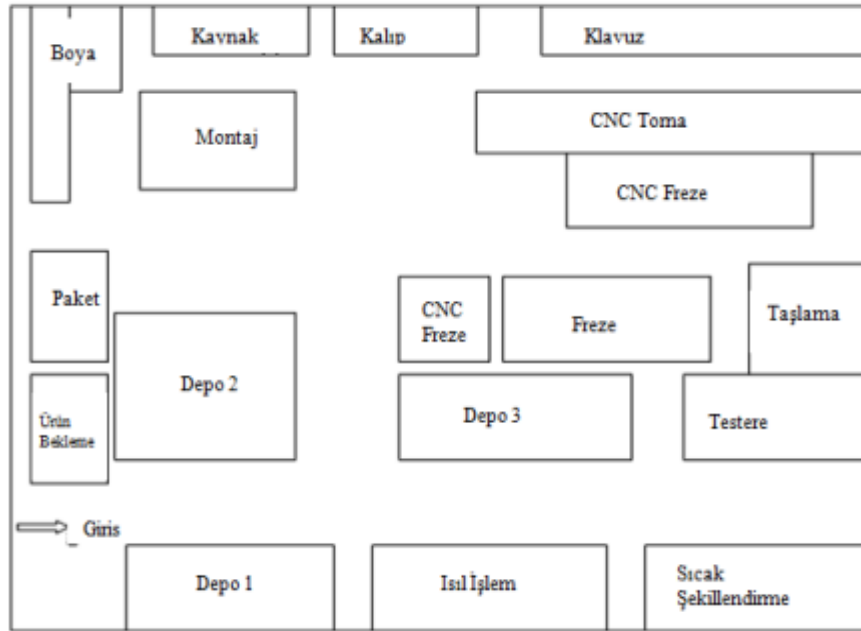
Üretim planlamasının en büyük gayelerinden biri, üretim alanı içerisindeki stok adı verilen malzeme veya parçacıkların sayısını en asgariye indirmektir. Bir fabrikanın her bir birimi, işleyen bir dişli çarka benzetilebilir. Bu dişli çarktaki her bir diş, doğru bir sistem oluşumunun temelini oluşturmaktadır. Örnek gösterilen dişli çarkta her bir adım, bir işletmenin her bir fonksiyonunu oluşturmaktadır. Üretim planlamasının doğru şekilde işlemlerini sağlayan en önemli faktörlerden biri de transport yönetimidir (Steele, D.C., Berry, W.L., Chapmann, S.N). Şekil 2.7’de ray yönlendirmeli örnek bir transfer aracı gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Ray yönlendirmeli araç (Anonim)

Sule (1994), parça transport organizasyonlarının birden fazla durumla bağlantılı olduğunu bildirmiştir. Bu durumlardan ilki, malzeme transportunun finansal giderleri ile ilgili olan maliyet analizidir. Parça transport finansal giderleri, imalat sahalarındaki mevcut giderler arasında en büyük paya sahip etkenlerdendir. Üretim alanlarındaki personele bağlı olan giderler, en genel hatlarıyla elektrik giderleri, personel giderleri, sosyal hak giderleri olarak değerlendirilebilir. Personelden bağımsız olan imalat giderleri ise, sarf malzeme giderleri ve makine giderleri olarak değerlendirilebilir.

Bu durumlardan ikincisi ise parça transport operasyonunu doğru bir yoldan etkilemektedir. Transport tekniği oluşturulurken, tesisin imalat organizasyonunun da göz önünde bulundurularak bir çalışma ortamı yaratılması gerekmektedir. Çünkü bu noktadaki asıl amaç, parça transport işlemi sayesinde üretim alanındaki çalışma organizasyonunu daha etkin kılmak ve transport işlemi için geçen süreyi mümkün mertebe en aza indirmektedir. Bu noktada doğru bir fizibilite çalışması yapılması gerekmektedir. Parça transport organizasyonunun kuvvetli olması, her anlamda doğru bir üretim yapılabilmesinin önemli adımlarından biridir. Şekil 2.8’de örnek bir fabrika yerleşim planı krokisi gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Örnek bir fabrika yerleşim planı (<https://dergipark.org.tr/tr/>).

Üretimin devamlılığı ve verimi adına, üretim hatları arasında malzeme transport geçişi sağlanması gereklidir. Mevcut üretim sistemi, ne şekilde bir malzeme transport işlemine ihtiyaç duyuyorsa, bu ihtiyaca uygun bir sistem oluşturulması gereklidir.

## **2.7. Malzeme Transportunun İlkeleri**

Malzeme transportunun yapılma biçimleri, her işletme ya da kuruluşun kendi iç dinamiklerine bağlıdır. Bu anlamda sözlü olmayan yazılı kurallar bulunmamaktadır. Bu yüzden her işletme kendi transport işleyişini kendi belirliyor dememiz mümkündür. AMTB (Amerikan Malzeme Transport Birimi) bu konuda çeşitli çalışmalar yapmıştır. Bu anlamda tespit edilen ilkeler bulunmaktadır. Bunlar;

- Plan ve organizasyon
- Konfor
- Yüzey işletmesi
- Standart oluşturma
- Çevresel faktörler
- Birim ağırlık
- Mamul finansal giderleri
- Sistem
- Otomasyon
- İş gücü
- Kontrol
- İş güvenliği
- Kapasite

### **2.7.1. Plan ve organizasyon**

Mümkün olan en yüksek yönetsel randımanı sağlamak adına, tüm parça ve malzemelerin transportunun sağlanması ile ilgilidir. Bu plan yapılırken, sadece üretim alanında değil, tüm birimler adına ortak bir çalışma yürütülmesi gerekmektedir. Çünkü birimler arası organizasyon oluşmadığı müddetçe, verimli bir üretim yönetimi sağlanamayacaktır. İmalat plan ve organizasyonu, satın alıcının memnuniyetini sağlamak amacıyla imalat imkânlarının kullanılabilme ve düzenlenebilme proseslerini kapsayan bir yoldur. İmalat planlamasının karar verilme aşamasında ortak bir çalışma yapılması gerekmektedir. Bu kararlar, üretim süreçlerin nasıl işleyeceği ve hangi personele hangi iş yetkinliğinin verileceğiyle ilgilidir (Graves, 1999).



### **2.7.2. Sistem organizasyonu**

Bir üretim alanında hammadde kısmından, ürünün teslim edildiği ana kadar yürütülen proseslerin tamamını kapsar. Bu kapsam, üretim akışının verimli bir şekilde devam ettirilmesini sağlar. Sistem organizasyonu sağlanırken, bu iş yönetimi sadece üretim alanının değil, aynı zamanda diğer birimlerin de ortak bir organizasyon çerçevesinde toplanması gerekliliğini savunmaktadır. Her birimin kendi içerisinde koordineli çalışması sonucunda verimli bir iş organizasyonu ortaya çıkacaktır.

### **2.7.3. Yüzey işletmesi**

Çalışma yapılan fabrika ya da üretim alanından sağlanabilecek maksimum randımanın sağlanabilmesiyle ilişkilidir. Bu noktadaki asıl amaç, fabrika içerisindeki tüm alanların en doğru şekilde kullanılabilmesidir. İşletme içerisindeki alanların en doğru şekilde kullanılabilmesi de yine kendi içinde bir takım organizasyon becerileri istemektedir.

### **2.7.4. Sadeleştirme**

Parça veya malzeme transport işlemi için harcanması planlanan zamandan çok daha fazla zaman harcanmasının önlenmesiyle ilişkilidir. Sadeleştirme işlemi aynı zamanda üretim alanında çok sayıda stok parçasının ve yedek malzemenin olmamasını hedeflemektedir.

### **2.7.5. Birim ağırlık**

Birim ağırlıkların, taşınması yapılan malzemelerde mümkün olduğunca yüksek miktarda olması, malzeme transport sefer sayısını da azaltmaktadır. Malzeme transport işlemlerinde işletmenin sağlayacağı en büyük avantajlardan biri, az sefer sayısı ile çok miktarda malzeme ya da parçanın transferinin gerçekleştirilebilmesidir. Günümüz sanayi koşullarında, tavan vinci kullanımı olan işletmelerde tavan vinci kullanan operatör çalıştırma zorunluluğu da bulunmaktadır. İnsan gücüne bağlı olmayan transport işlemleri birçok açıdan daha doğru yönetimi sağlamaktadır. Söz gelimi 2 ton taşıma kapasiteli bir malzeme transfer arabası ile 8 ton yük taşınacağını hesap edelim. Taşınacak olan malzemenin geometrik boyut ve ölçüleri de göz önüne alınarak maksimum 4 transport seferi atılarak, bütün malzemelerin taşınması, üretim alanındaki zaman kayıplarının önüne geçilmesini sağlayacaktır.

### **2.7.6. Bakım ve onarım**

Bakım, bir makine ya da ekipman için olmazsa olmaz konumdadır. Gerekli periyotlarda gerekli bakımların yapılmaması halinde, mevcut makinenin yorulma ömrü düşecektir. Bakım, herhangi bir arıza beklemeksizin sürekli olarak yapılan çalışma sistemleri bütünüdür. Onarım ise, makine ya da ekipmanda meydana gelen herhangi bir arızanın giderilmesi işlemidir. Bakım daimi, arıza ise gerekliliktir. Üretim alanında faaliyet gösteren işletmelerde, mevcut makine ve ekipman parkurunun düzenli olarak kontrol ve tatbik edilmesi gerekmektedir.

Çalışmasını yürüttüğüm tez kapsamında, imalatı yapılacak olan raylı transfer arabasının bakım ve onarımı için düşünülmüş bölgeler olacaktır. Bu bölgelerde, ilgili operatörlerin rahatça çalışabileceği alanlar oluşturulacak ve herhangi bir arıza durumunda operatör gerekli müdahaleyi bu alandan yapabilecektir.

### **2.7.7. Transport arabası seçimi**

Transport arabasının seçiminde bazı kıstas ölçütler göz önüne alınmalıdır. Bunların başlıcaları; taşınacak malzemenin cinsi ve geometrik boyutları, taşınacak malzemenin ağırlığı, taşınacak malzemenin ergonomik yapısı gibi kıstas ölçütlerdir. Bununla beraber taşımanın yapılacağı işletmenin kendi fiziksel durumu da önemli bir etkidir.

### **2.7.8. Faydasız yük**

Transport arabası kullanılırken, sefer sayılarının yüksek oranda tutulmaması adına taşımaların faydalı yüklerle yapılması gerekmektedir. Doğru malzemenin doğru istasyona tek seferde transfer edilebilmesi, hem üretimdeki işleyiş hızının arttırılmasını hem de zaman kayıplarının önüne geçilmesini sağlayacaktır.

### **2.7.9. Performans**

Performans ölçütleri kapsamında, transferi yapılacak olan parça ve malzemenin belirli birtakım kıyaslamalar ve ölçütler alınarak sayısal veriler ışığında analiz yapılması gerekmektedir. Bunun yapılabileceği yöntemlerden biri de adam/saat hesabına dayanmaktadır. Adam/saat hesabının özü, yapılacak olan transferin, harcanan enerjiye göre bir karşılığı olup olmadığını saptayabilmektir. Eğer harcanan enerji, taşınan malzeme ile doğru orantılı bir enerji çıkışı sağlamıyorsa, gereğinden fazla maliyet oluştuğu söylenebilir.

#### **2.7.10. Kapasite**

Transfer araçlarının tamamı, belirli bir amaca hizmet etmektedir. Bu mevcut amaç doğrultusunda transfer işleminin mevcut iş yükünü hafifletmesi ve bu anlamda bir fayda sağlaması gerekmektedir. Sağlanan fayda veya elde edilen sonuçlar, matematiksel veriler ışığında değerlendirilmelidir.

Sayısal analiz yöntemleri sayesinde, transfer aracının işletmeye sağladığı verim ortaya çıkacaktır. Sayısal verilerin ortaya çıkarılabilmesi adına bazı karşılaştırmalar da yapılması gerekmektedir.

Örneğin, bir iş günü sonunda üretim alanında faaliyet gösteren tavan vinci, taşıma ve transfer işlemi gerçekleştiren forklift ve transport işleminin yapılmasını sağlayan transfer arabasının taşıdığı toplam yükler baz alınarak bir istatistiksel veri oluşturulabilir. Bu veri doğrultusunda, mevcut işletmede en verimli transfer aracı seçimi yapılabilir.

#### **2.7.11. Otomasyon**

Herhangi bir insan gücü kullanımını gerektirmeden, kendi mekanik ve fiziksel kontrolü sayesinde, makine ve ekipmanların işlev görmesini sağlayan sistemlerin bütününe otomasyon adı verilmektedir. İmalat alanında kullanılan otomasyon sistemleri sayesinde tamamlanan işler hem zaman açısından avantaj sağlamaktadır hem de işin kalitesi açısından güvenilirliği sağlamaktadır.

#### **2.7.12. Kontrol**

Malzeme transportunun sağlanması ile ilgili talimatname ve prosedürler bulunmaktadır. Bu talimatname ve prosedürlerin kontrolü sayesinde üretim takibi de olması gerektiği gibi takip edilebilecektir.

Kontrol edilebilirliğin tek bir merkezi noktadan oluşturulması, program yapılabilirlik ve kontrol açısından önemlidir. Tek bir merkezden oluşmayan kontrol mekanizmalarında problemler çıkması beklenir.

#### **2.7.13. İş güvenliği**

Transfer veya transport işleminin yapılabilirliğinin sağlanabilmesi birden çok yönetime dayanmaktadır. Bu etkin yöntemlerin sağlanmasında önemli bir noktaya sahip olan iş güvenliği kurallarının oluşturulması da önemlidir.

## 2.8. Malzeme Transportunda Sayısal Analiz

Bir üretim alanında organizasyonun verimli bir şekilde yönetilip yönetilmediğini belirleyen en önemli unsurlardan biri de, sayısal analiz verileridir. Parça transport yönetimi adına birtakım sayısal hesaplamalar bulunmaktadır (Kulwiec, 1985).

Üretim alanında yapılan çalışmalar, belirli kıstaslar göz önüne alınarak yapılmaktadır. Bu kıstaslar arasında üretim prosesinde meydana gelen zaman kayıpları ve bu kayıplar ışığında meydana gelen gecikmeler önemli bir yer tutmaktadır. Bu gecikmelerin ana sebeplerinden biri de malzeme taşınmasıdır.

Malzeme transport yönetimi doğru organize edildiği takdirde, üretim prosesinde bir zaman kaybına sebebiyet vermeyecektir. Bu sürecin de kontrol edilebilirliğinin sağlanması için merkeziyetçi bir yönetim uygulaması gerekmektedir. Aşağıda, imalat yapılan bir işletmenin üretim verimliliğinin ölçülebilmesini sağlayan matematiksel formül grubu verilmiştir.

Mevcut formül grubunda üretim verimliliğinin ölçülebilmesi için, bir işin fiziksel olarak yapılış süresi belirlenmektedir. Daha sonra üretimi etkileyen tüm süreçler, satın alma, satış pazarlama, projelendirme, kalite gibi doğrudan etki eden birimlerin merkeziyetçi bir yönetim ile kontrol edilmesi gerekmektedir.

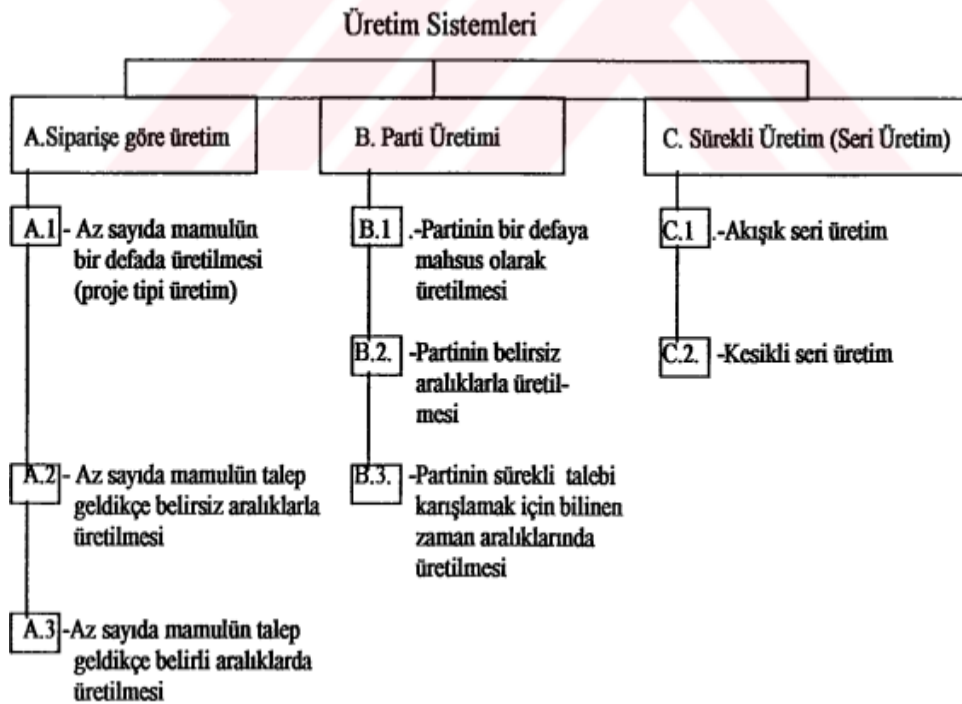
$$\text{ÜVH} = \frac{\text{Mekanik Çalışma Süresi}}{\text{Üretim süresi}}$$

Üretim planlaması, kendi içerisinde birden fazla etmenle ilişkilendirilebilir. Bir planlama yapılırken, makine ve ekipman sayısı, personel sayısı, iş sayısı ve bu işlerin öncelik sıralaması planlanmalıdır. Bu üretim planına, malzemenin taşınıp transfer edilmesi de dâhil edilmelidir.

Bir fabrikanın veya işletmenin üretim alanındaki çalışma krokisi, üretim planlama sürecinde çok önemli bir yere sahiptir. Örneğin plazma kesiminin de yapıldığı bir üretim alanında plazma kesim makinesinin imalat yapılan alandan uzakta olduğunu varsayalım. Plazmada kesilen parçaların üretim istasyonlarına dağıtılması, zaman açısından üretim prosesinin büyük bir kısmını kaplayacaktır. Plazmadan çıkan bir malzemenin üretim istasyonuna gitme süresini ortalama 2 dakikadan hesaplayalım. 8 adet farklı üretim istasyonu olduğunu varsayalım. Üretim prosesinin devamlılığının sağlanabilmesi için yaklaşık 16 dakikalık bir süre kaybı söz konusu olacaktır.

Bir imalat organizasyonu birden farklı şekilde revize edilebilir. Planlama ve organizasyon boyunca mevcut durumun geri kalanı için revizyon yapılabilir. Bunun yanı sıra devam eden operasyonlar için de program yapılabilir. Bahsi edilen her iki durum için de program yapılması mümkündür.

Üretim programı en basit haliyle yapıldığı takdirde günlük yapılması gerekmektedir. Günlük yapılan üretim programları sağlıklı tarzda programlar değildir. Değişken tarzda programlardır. Ölçülebilmesi çok mümkün değildir. Haftalık programlar, günlük programlara göre daha kapsamlı ve ölçülebilir programlardır. Haftalık üretim programı yapılırken birçok parametrenin etkileşim durumu göz önüne alınmalıdır. Aylık programlar, haftalık ve günlük üretim planlarına göre çok daha verimlidir. Üretim yapan işletmelerde veya fabrikalarda aylık program yapabilmek için çok iyi bir organizasyon şeması oluşturmak gereklidir. Kurumsal olmayan firmalarda aylık üretim planı yapılması, çok mümkün bir durum olarak gözükmemektedir. Ayrıca üretim ve sipariş durumuna göre de programın dışına çıkma olasılığı en düşük seviyede tutulmalıdır. Aksi halde uzun soluklu bir program yapılabilmesi mümkün değildir (Magee, 1958). Şekil 2.9’da örnek bir üretim metotları şeması gösterilmiştir.



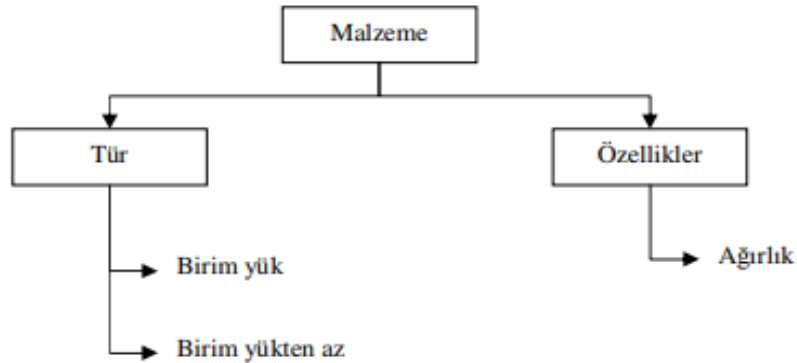
Şekil 2.9. Üretim metotları şeması (Sarica, 1998).

Malzeme transportu yapılırken geçen süre miktarı bazı metotlarla hesaplanabilir. Hesaplanabilecek sayısal analiz yöntemi kesin bir yargı ifade etmese de bazı fikirler verebilmektedir. Malzeme transport yönetimi ile ilgili yapılan akademik çalışmalarda, bir üretim alanında malzeme transferi yapılırken yaşanan iş kaybının toplam işin en fazla %30'unu kapsaması gerektiği belirtilmiştir. Üretim alanlarında bu orandan yüksek orandaki iş kayıpları göz ardı edilemeyecek tarzda iş kayıplarıdır. Bu problemin önüne geçilmelidir.

Üretim alanlarında transfer işlemiyle ilgili durum buyken, depo ve stok alanlarında sayısal veriler daha farklı sonuçlar meydana getirmektedir. Depo ve stok alanlarında transfer amaçlı yaşanan iş kaybının %30 seviyelerinden daha yüksek oranda olması beklenmektedir. Aşağıda malzeme transferi yapılırken yaşanabilecek iş kaybının hesaplanabilmesi adına matematiksel olarak formülizasyonu verilmiştir. Bu hesaplamada bir personel bazlı kayıp hesabı yapılabilmektedir. Toplam kayıp, bir personel için çıkan sonucun, toplam personel sayısı ile çarpılması ile bulunur.

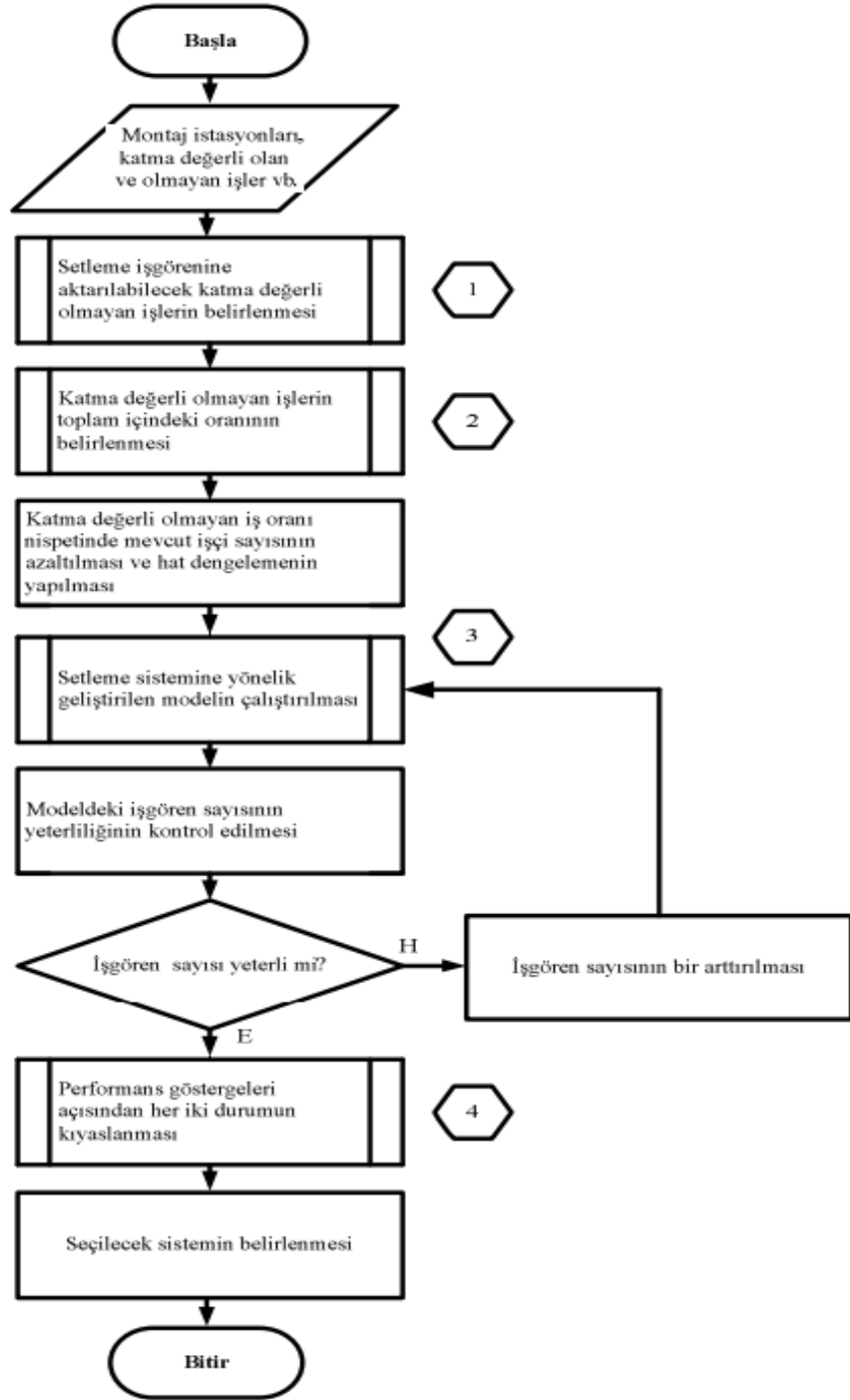
$$MTH = \frac{\text{Transport operatörü sayısı}}{\text{Toplam çalışan sayısı}}$$

Yukarıdaki formülde, transport yönetimini sağlayan bir personelin, toplam personel sayısına bölümü ile ortaya çıkan sonuçta, malzeme transport işlem süresinin, toplam üretim prosesi süresine bölümüyle, işçilik yüzdesi ortaya çıkacaktır. Şekil 2.10'da malzeme boyut şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Malzeme boyut içeriği (Heragu, 2008).

Şekil 2.11’de örnek bir malzeme transfer algoritması örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Malzeme transport algoritması örneği (Kılıç, 2011).

Malzeme transferiyle ilgili yapılan çalışmalarda bazı kabuller elde edilmiştir. Bu kabuller arasında birim zamanda taşınan malzeme sayısının da bir kıstası yapılmıştır. Birim zamanda taşınan malzeme sayısı, toplam iş yüküne oranlandığında yaklaşık 1 gibi bir değer olması beklenmektedir. Bu oran arttıkça iş verimliliğinin yüksek düzeyde olmadığı anlamı oluşmaktadır. Transfer arabasının yapılma amaçlarından en önemlisi, üretim prosesini aksatmayacak şekilde tasarlanmış olmasıdır. Birinci adım doğru şekilde tamamlandıktan sonra ikinci adımda ise üretim prosesini hızlandıracak uygulamalara yönelmek gerekmektedir.

$$MTO = \frac{\text{Birim yük}}{\text{Kapasite}}$$

Üretim alanında veya işletmelerde transport yönetimi yapılırken, bu esnada bazı kazalar veya olumsuz süreçler de meydana gelmektedir. Bazı parça veya malzemelerde hasar olması beklenmektedir. Bu hasar durumunun en asgari düzeyde olması, iş ve işçilik kalitesini de arttıracaktır. Herhangi bir deformasyon durumu olmadığı müddetçe iş, doğru ve uygun şekilde yapıyor denilebilir.

$$DYO = \frac{\text{Deforme olmuş malzeme sayısı}}{\text{Toplam taşınan malzeme sayısı}}$$

Malzeme transport yönetiminde, sistemin verimli bir şekilde çalışabilmesi adına yukarıda bahsi edilen amaç ve ilkelere mümkün olduğunca uyulması gerekmektedir. Bu ilke ve amaçlar doğrultusunda izlenilen yol, hem kullanıcıyı hem de müşteriyi memnun edecektir. Doğru ve verimli çalışması beklenen bir malzeme transfer arabasında aranacak bazı temel özellikler bulunmaktadır. Bunlar;

- En asgari sınırdan insan gücü kullanımı
- Ergonomi
- İş güvenliği organizasyonu
- Doğru ve sistemli bir plan
- Seri taşıma
- Güvenilirlik olarak değerlendirilebilir (Sule, 1994).



### 3. GENEL BİLGİLER

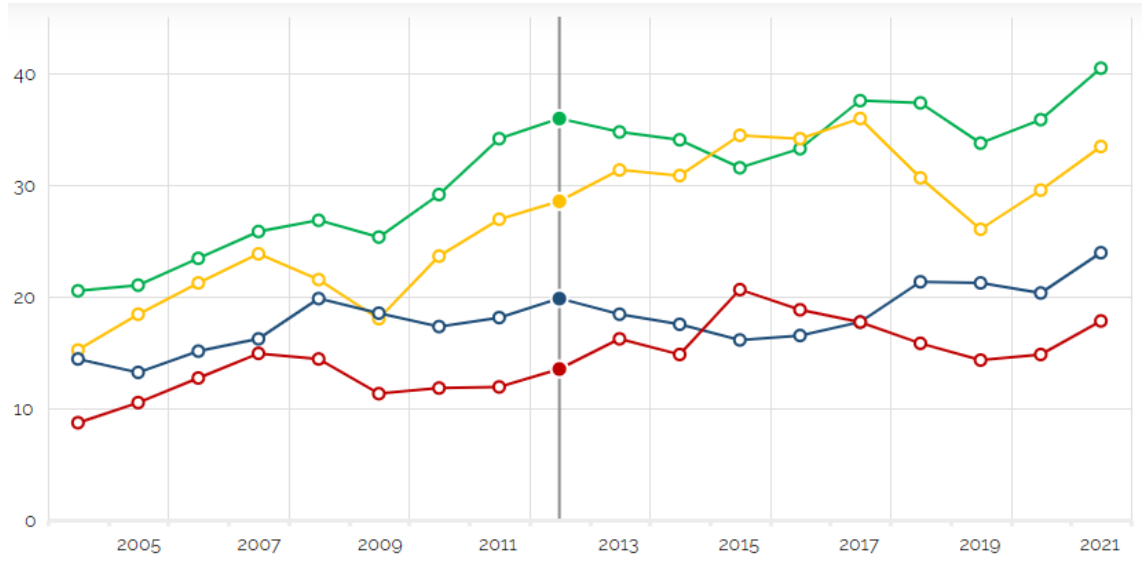
Çelik saclar, günümüz sanayi koşullarında büyük bir önem taşımaktadır. Gelişen teknolojik koşullar ve çelik ürününe duyulan ilgi sayesinde çelik saclar önemli bir yer tutmaktadır. Çelik sacların üretimi hem ülkemizde hem de yurtdışında belirli bölgelerde yapılabilmektedir.

Türkiye’de kurulan ilk çelik fabrikasının temeli 3 Nisan 1937 tarihinde Zonguldak’ın Karabük köyünde, Karabük Demir Çelik Fabrikası adı altında atılmıştır. Fabrikanın üretime başladığı tarih ise 9 Mart 1941’dir. Karabük Demir Çelik Fabrikası, yıllık 150 bin ton üretim hacmi ile sürecini başlatmış ve devam eden zaman zarfında bu hacmi yükseltmiştir. Üretimin ilk başladığı dönemlerde bölgedeki çelik ihtiyacını karşılayan tesis, ilerleyen zamanlarda yaptığı imalat ile sadece ülkemizde değil, yurtdışına da ihracat yapmıştır.

1960 yılında özel mülkiyetli bir tesis olan Metaş, 20 bin ton üretim kapasitesi ile üretime başlamıştır. 1965 yılında Erdemir, 470 bin ton üretim kapasitesiyle yassı ürün üretimine başlamıştır. 1977 yılında Türkiye’nin ilk entegre tesisi olan İsdemir, faaliyetlerine başlamıştır. Bahsi edilen dönemlerde dünya genelinde de çelik üretimi yaygınlaşmaya ve artmaya devam etmiştir. Bu dönemde bazı önemli yapıların imali çelik kullanımına dönmüştür. Göz önünde yapılan bu çelik uygulamalar, sektöre biraz daha ilgi duyulmasını sağlamıştır.

Çelik yapılar, betonarme yapılara göre çok daha kullanışlıdır. Çelik yapıların betonarme yapılara oranla büyük avantajları bulunmaktadır. Çelik yapılar, betonarme yapılara göre depreme daha dayanıklıdır. Çelik, betona göre daha hafiftir. Betonarme yapılarda, proje tamamlandıktan sonra sistem üzerinde herhangi bir revizyon yapılması uygun değildir. Bununla beraber revizyon işlemi betonarme yapılarda büyük risk taşımaktadır. Çelik yapılar ise bu anlamda beton yapılardan farklıdır. Çelik yapılar revize edilebilir. Bunun yanı sıra çelik yapıların taşınabilmesi de mümkündür.

Çelik yapıların betonarme yapılardan farklı olan bir diğer özelliği ise ekonomik olmasıdır. Ekonomik olmasının en büyük gerekçelerinden biri kolay kurulabilir olmasıdır. Kolay kurulabilmesi sayesinde hem zamandan tasarruf edilmesini hem de işçilik maliyetlerinin düşmesini sağlar. Çelik yapılar, geri dönüşüme de elverişlidir. Bu elverişlilik durumu sayesinde, proje kapsamında arta kalan malzemeler geri dönüşüme kazandırılabilir ve bu sayede değerlendirilir. Şekil 3.1’de Türkiye’nin 2005 yılından günümüze kadar yapmış olduğu çelik imalatı, tüketilen çelik miktarı, ihracatı yapılan çelik miktarı ve ithal edilen çelik miktarı gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Türkiye’de yıllara göre çelik üretimi

Yeşil renkli eğri yıllık üretim miktarını, sarı renkli eğri yıllık tüketim miktarını belirtmektedir. Grafiğe bakıldığında 2005 yılından bu yana büyük oranda üretim miktarının tüketim miktarından fazla olduğu görülmektedir. 2013 ile 2017 yılları arasında tüketim miktarının dönem dönem üretim miktarını geçtiği görülmektedir.

Üretim miktarının, tüketim miktarının altında kalmasının belli başlı sebepleri bulunmaktadır. Bunlar; ekonomik faaliyetler, yapısal anlamda ihtiyaç farklılıkları, sanayideki dalgalanmalar, hükümet politikaları, insan gücü eksikliği ve dış ülkelerle olan diplomatik ilişkiler olarak değerlendirilebilir.

Şekil 3.1’de mavi olan eğri yıllara göre ihracat miktarını, kırmızı olan eğri ise yıllara göre ithalat miktarını göstermektedir. Gelişmekte olan ülkelerin en büyük özelliklerinden biri, beli başlı üretim alanlarında, ihracat oranının ithalat oranından daha yüksek oranda olmasıdır. Bu dışa bağımlılığı azaltan ve ekonomiye katma değer katan göstergelerden biridir. Grafiğin tamamı incelendiğinde, çelik ihracatının, çelik ithalatından daha yoğun ve yüksek oranda olduğu görülmektedir. 2013- 2017 yılları arasında ise bazı dalgalanmalar meydana gelmiştir. Şekil 3.2’de 2020 ve 2021 yılları arasında Türkiye’de üretilmiş olan çelik hammadde miktarları belirtilmiştir.

|                                                                                             | 1000 Mil Ton | 2020   | 2021   | DEĞ   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------|--------|-------|
|  Üretim    |              | 35.810 | 40.360 | %12,7 |
|  Tüketim   |              | 29.482 | 33.377 | %13,2 |
|  İhracat |              | 20.316 | 23.934 | %17,8 |
|  İthalat |              | 14.800 | 17.813 | %20,4 |

Şekil 3.2. 2020-2021 yılları arasında Türkiye’deki çelik üretim hareketliliği

Türkiye maden ocakçılığı ve sanayi sektöründe 2020 yılında toplamda 35.810 ton çelik imalatı yapılmıştır. 2020 yılında yakalanan bu üretim miktarı, ortalama sınırlarında bir üretim miktarı olarak değerlendirilebilir. 2021 yılında ise çelik hammadde üretimi yaklaşık %13’lük bir artış oranı göstererek 40.000 tondan fazla kapasiteye yükselmiştir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelere %13’lük, pozitif yönde bir değişiklik oranı, büyük önem arz etmektedir. Üretim kapasitesinin artırılması, sanayi sektöründe de dışa bağımlılığı azaltacak etmenlerden biridir. Şekil 3.2’de, Türkiye’de 2020 yılı tüketim miktarı 29.000 ton civarında seyretmiştir. 2021 yılında ise tüketim miktarı 33.000 ton civarında yapılmıştır. 2020’den 2021 yılına değişim miktarı yaklaşık %13 değişkenlik göstererek, tüketim miktarı azalmıştır. Tüketim miktarının azalmasının farklı açıklamaları bulunmaktadır.

Bunlardan biri, mevcut çalışma yılda iç sanayide çelik konstrüksiyon pazarında yeterli miktarda üretim yapılmadığını göstermektedir. Mevcut pazarda yapılan üretimdeki düşüş, tüketim miktarını da olumsuz yönde etkilemektedir. Ne kadar çok tüketim yapılırsa, o kadar çok üretime ihtiyaç duyulacaktır.

### 3.1. St-37 Çeliği Mekanik İncelemesi

St-37 çeliği, ‘St’ kısmı ile yapısında %2 karbon içeren yapısal karbon çeliğini belirtmektedir. ‘37’ kısmı ise en az 37 kg/mm çekme dayanımına ulaşmış çelikleri temsil eder. St-37 ibaresinin farklı standartlarda farklı telaffuz biçimleri bulunmaktadır. St- 37 yapı çeliği en genel hatlarıyla, inşaat sektöründe, çatı konstrüksiyonlarında, gemi inşaatlarında ve hemen hemen tüm çelik konstrüksiyon montajlarında kullanılmaktadır. St -37 çeliğinin kullanıldığı alanlar;

- Otomotiv sektörü
- Hizmet sektörü
- İnşaat sektörü
- Yapı sektörü
- İmalat sektörü şeklinde sıralanabilir.

Tablo 3.1’de de görüldüğü gibi, St-37 çeliği yapısında farklı tip kimyasal element ve bileşenler barındırmaktadır. Bir St-37 çeliğinin içerisinde C, Mn, P, S, N, Cu ve farklı özellikte, ihmal edilebilecek düzeyde olsa bile farklı elementler de bulunmaktadır.

**Tablo 3.1.** St – 37 çeliğin karakteristik özelliği

| Elementler | C           | Mn          | P            | S            | N             | Cu           | CEV          |
|------------|-------------|-------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| Miktar     | Max.<br>0.2 | Max.<br>1.4 | Max.<br>0.04 | Max.<br>0.04 | Max.<br>0.012 | Max.<br>0.55 | Max.<br>0.38 |

Her bir elementin kendine has yapısal özellikleri olduğundan, bazı kimyasal özelliklerin belirlenmesi, üreticinin elinde bulunmaktadır. Bu elementlerden –C- Karbon elementi, çeliğin temel yapı malzemesi olarak adlandırılmaktadır. Karbon elementi, bir çeliğin mekanik özelliklerini en yakından etkileyen elementtir. Karbon sayesinde çelik, mukavemetsel olarak büyük avantaj sağlar. Bunun yanı sıra akma ve çekme mukavemetini artırır. Şekil alma ve şekil değiştirme özelliklerini de çelik malzemesine kazandıran elementin karbon olduğu söylenebilir. Karbon elementinin yapısındaki bileşenler, çeliğin kaynak edilebilirliğini de güçlendirmektedir.

St-37 çeliğin içerisinde bulunan elementlerden Fosfor (P), çeliğin akma mukavemetini ve çekme mukavemetini olumlu yönde etkiler. Bu, fosfor elementinin olumlu özelliklerindendir. Bunun yanı sıra Fosfor elementi, çelik yapısının içerisinde yüzdelik uzama miktarını ve eğme dayanımını olumsuz yönde etkiler. Fosfor elementi miktarının, çelik içerisinde az miktarda bulunması, çeliğin kalitesini de arttırmaktadır. Fosfor elementi, çelik imalatı yapılırken, üretim prosesi sırasında çeliğin kendi öz yapısına karışan bir elementtir. Bu sebepten, çelik malzemesi içerisinde fosfor olması istenmez ve tavsiye edilmez. Fosfor miktarı, çelik malzemelerde düşük oranda bulunmalıdır.

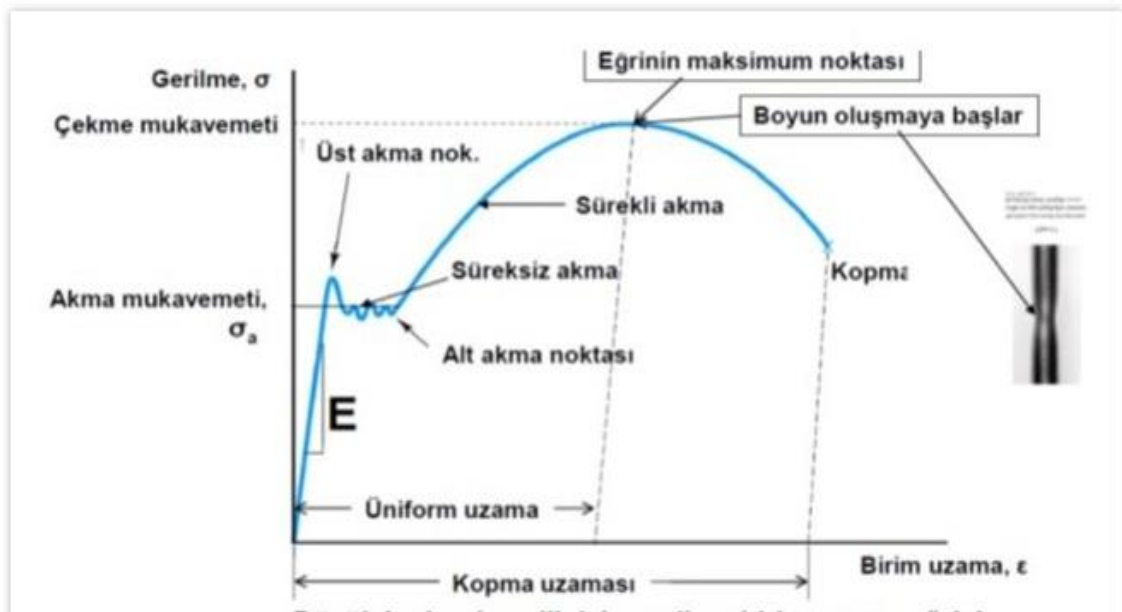
St-37 çeliğinin içerisinde bulunan elementlerden bir diğeri de Mangan (Mn) elementidir. Mangan elementi de, tıpkı fosfor elementi gibi çeliğin üretim prosesi içerisinde yer alır. Mangan elementi, çeliğin mukavemet yapısını güçlendirir. Karbon elementinin özelliği gibi akma mukavemeti ve çekme mukavemeti değerlerini artırır.

Çelik malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için izlenebilecek ilk yol çekme deneyidir. Çekme deneyinin mantığında, çelik bir levha ya da çubuk malzeme, bir baskı uygulamak suretiyle yavaş bir şekilde çekme kuvvetine maruz bırakılır. Çekme kuvveti uygulanırken, numune olarak kullanılan malzemede bazı fiziksel değişimler meydana gelir. Bu fiziksel değişimlerden biri de çubuğun boyunun uzamasıdır. Numune uygulanan kuvvet etkisiyle, numune kopuncaya dek mevcut kuvvet arttırılmaya devam etmektedir. Deney, etkisini gösterip malzemede kırılma meydana geldikten sonra, numune olarak kullanılan malzemedeki fiziksel değişimler ve gerilmeye bağlı değerler ölçülür. Yapılan bu ölçümlerin sonucunda Gerilme – Şekil değiştirme grafiği hazırlanmış olur.

St – 37 çeliğine ait bazı mekanik kabuller yapılmaktadır. Bu mekanik kabuller aşağıda belirtilmiştir.

- Elastisite modülü,  $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$
- Kayma modülü,  $G = E / 2(1+\nu) = 810000 \text{ kg / cm}^2$
- Poisson Oranı,  $\nu = 0,3$
- Isıl genleşme katsayısı ( $\alpha$ ) = 0,000012

Şekil 3.3'te verilen grafikte, yük altındaki bir çelik malzemenin uğramış olduğu değişim gösterilmiştir. Bu değişim sayesinde elde edilen veriler aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 3.3. St – 37 çeliği için gerilme – uzama eğrisi

- Üst akma noktası
- Alt akma noktası
- Sürekli akma
- Sürekli akma
- Gerilme
- Çekme mukavemeti
- Akma mukavemeti
- Kopma uzaması
- Birim uzama
- Eğrinin ulaştığı maksimum uzaman
- Boyun ulaşma noktası
- Kopma oluşum noktası

### 3.2. Hardox Çeliği Mekanik İncelemesi

Hardox tipi çelikler, 1970’li yıllarda Amerika kökenli bir sanayi kuruluşu tarafından imal edilmeye başlanmıştır. Hardox, genel yapısı itibari ile sıradan bir çelik alaşımının üzerine, farklı yapıdaki bileşenlerin eklenmesiyle oluşturulan bir sac levha çeşididir. İsmi, imal edilen kuruluştan almaktadır. Hardox tipi çeliklerin erime ve işleme kabiliyetleri yüksektir. Sertlik derecesi, normal ölçekli çeliklere göre daha yüksek seviyededir. Çelik yapılarda sertlik değerlerinin yüksek olmasının sebebi, imal edilen atölye veya alanlarda ürünün soğuma hızı kalitesinin iyi derecede olmasıdır.

Hardox, düşük alaşım özelliği bulunan çelik metallere nazaran çok daha iyi ve sağlıklı işleme kapasitesine sahiptir. İşleme kapasitesinin verimli olmasından kaynaklı, kullanım alanları geniş ve yaygındır. Hardox saclar, gaz altı ve elektrot kaynaklarının verimli bir birleşim yapılmasını sağlamaktadır. Hardox saclar, ayrıca kesim ve büküm işlemlerinde de verimli bir üretim prosesi oluşmasında etkilidir. Hardox çeliğinin yüksek mukavemet özelliği bulunmaktadır. İyi bir oranda akma dayanımı ve iyi bir oranda çekme dayanımı da mevcuttur. Hardox çelikleri aşınmaya karşı da yüksek dirençlidir. Bu yüksek direnç sayesinde malzeme kullanım ömrü uzun ve verimlidir.

Şekil 3.4’te Hardox – 450 çeliğinin görseli verilmiştir. Hardox çelikleri fiziksel olarak da kahverengi tonlarında bir renk grubuna sahiptirler. Teknik olarak muadili sayılan gruplarda ise farklı renk tonları olma durumu bulunmaktadır. (SSAB, 2005).

Hardox çeliklerinin kullanım alanlarındaki en büyük pay iş makineleri grubuna aittir. İş makineleri, ana gövde ve parçalarının en büyük hammadde Hardox çeliği olarak bilinmektedir. Şekil 3.4’te de görüldüğü gibi, Hardox çeliği saclar, belirli alanlarda istiflenmektedir. Sac plakaları, raylı transfer arabası imalatına uygun olacak şekilde CNC plazma kesim makinesinde belirli ve uygun ölçülerde kesilmiştir.



Şekil 3.4. Hardox – 450 çeliği

Şekil 3.5’te, CAM bilgisayar programı aracılığıyla plazmaya kesime gönderilen dosyalar, belirlenmiş programa göre kesime alınır ve kesim sürecinin tamamlanmasıyla beraber üretim prosesinin devamı sağlanır. Plazmada kesilecek malzemenin cinsine göre belirli bir oranda kesim hızı ve kesim amperi ayarlanmaktadır.



Şekil 3.5. CNC Plazma kesim makinesi tezgâhı



Örneğin; plazmada kesilecek malzeme Hardox çeliği ise, malzemenin mukavemetli olmasından kaynaklı, kesim yapılırken 130 amper kullanılır. Bununla beraber kesim hızı da düşürülür. Plazmada kesilen malzeme şekildeki gibi St ve türevi çelik ise, sac 80 amperde kesilir. Kesim hızı ise daha yüksektir.

CNC plazma tezgâhında parça kesilip işlenebilmesi için, ilgili makine ve ekipmanda 2 operatörün çalışması gerekmektedir. Bu operatörler, hem malzemenin tezgâha bırakılıp, kesim tamamlandıktan sonra tezgâhtan indirilmesini sağlar hem de aynı zamanda makinenin kesim yaptığı süre boyunca programı kontrol ederler. Plazma tezgâhında herhangi bir arıza olmaması durumunda, ölçülerde kaçma ya da eksen kaçıklığı görülmesi mümkün değildir. Plazmada kesilen malzemeler, bu aşamadan sonra abkant makinesi, yani büküm istasyonuna gider.

Şekil 3.6'da görüldüğü gibi plazma tezgâhından çıkan parçalar, bir sonraki istasyon olan büküm makinesine gönderilmiştir. Bu alanda iki operatörün çalışması gerekmektedir. Operatörler, kendilerine verilen iki boyutlu teknik resimler doğrultusunda, gerekli büküm işlemlerini gerçekleştirmektedirler. Büküm toleransları yaklaşık olarak %2 civarında olmaktadır. Büküm açısı en fazla 45 derece olacak şekilde ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.6. Abkant (büküm) makinesi

Şekil 3.7’de, raylı transfer arabasının imalatında kullanılan tekerleğin, işleme durumu gösterilmiştir. Tekerleğin çapı 300 mm olarak belirlenmiştir. Tekerleğin raya oturan ve hareketin sağlandığı iç kısma bir kama açılmış ve bu kama sayesinde hareket kabiliyeti oluşmuştur. Tekerleğin pürüzsüz ve sistemsel bir çalışmaya sahip olması adına, parçanın torna tezgâhında hassas bir şekilde işlenmesi gerekmektedir.



Şekil 3.7. Torna tezgâhına bağlanmış sürücü tekerleği

Tornalama işlemi, kendi içinde birkaç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar;

- Alın tornalama
- Konik tornalama
- Delik delme
- Kanal açma
- Diş açma
- Kılavuz çekme olarak söylenebilir.

Tablo 3.2’de de belirtildiği gibi, Hardox çelik serisi dünya genelinde birçok ülkede imal edilmektedir. İmal edilen bölgelerde farklı tip isim ve ticari durumları bulunmaktadır. Hardox çelikleri İsveç’te SSAB firması tarafından üretilmektedir. SSAB, Hardox çeliklerin imal edildiği ilk kuruluşlardan sayılmaktadır. İsveç’te ağır sanayi sektörü çok fazla gelişim göstermemiş olsa da Hardox pazarıyla ilgili olarak, İsveç sektörde büyük önem arz etmektedir. Hardox çelikleri İsveç’te ticari olarak da Hardox ismiyle anılmaktadır.

Aynı elik yarı mamulü, Avusturya’da Voestalpine Grobblech Gmbh firması tarafından üretilmektedir. Firmanın Hardox elięi için kullanmış olduğu ticari isim Durostat olarak bilinmektedir. Finlandiya’da Hardox imalatı yapan firmalardan Ruukki, ticari isim olarak Raex ar’ı kullanmaktadır.

Almanya’da Dillinger Hütte GTS firması, Dillidur ismini, Fransa’da Industeel firması, Fora ismini, İngiltere’de Corus firması Abrazo ismini ve Avustralya’da Sandvik firması Creusabro ticari ismini kullanmaktadır.



**Tablo 3.2.** Hardox eliklerinin ticari isimleri (Metal – oks, 2001).

| Üretici Ülke | Üretici Firma              | Ticari Adı                                                                                           |
|--------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| İsveç        | SSAB                       | Hardox HiTuf<br>Hardox Extreme<br>Hardox 600<br>Hardox 550<br>Hardox 500<br>Hardox 450<br>Hardox 400 |
| Avusturya    | Voestalpine Grobblech GmbH | Durostat 400<br>Durostat 500                                                                         |
| Finlandiya   | RUUKKI                     | Raex Ar 400<br>Raex Ar 500                                                                           |
| Almanya      | Dillinger Hütte GTS        | Dillidur 400<br>Dillidur 450<br>Dillidur 500                                                         |
| Fransa       | INDUSTEEL                  | FORA 400<br>FORA 450<br>FORA 500                                                                     |
| Almanya      | Salzgitter                 | BRINAR 400                                                                                           |
| Almanya      | Thyssen Krupp Stahl        | XAR 400<br>XAR 450<br>XAR 500                                                                        |
| İngiltere    | Corus                      | ABRAZO 400<br>ABRAZO 500                                                                             |
| Avustralya   | Sandvik                    | CREUSABRO 4800<br>CREUSABRO 4800                                                                     |

Hardox çeliği, farklı özellik ve yapıdaki dört farklı sertlik seviyesinden oluşmaktadır. Bu farklı sertlik seviyeleri kendi aralarında bölüm ve isimlere ayrılmaktadır. Bunlar;

- Hardox 400 çeliği
- Hardox 450 çeliği
- Hardox 500 çeliği
- Hardox 550 çeliği
- Hardox 600 çeliği
- Hardox Hituf çelikleri olarak bilinmektedir.

Şekil 3.8’de hardox çeliğinin kullanıldığı alan örnekleri gösterilmiştir. İmal edilecek ürüne göre Hardox çelik grubu seçilmektedir. Hardox-400 yuvarlak ve yassı dış yüzeyiyle ön plana çıkmaktadır. Hardox-450, 450 HBW’lik bir sertlik derecesine sahiptir ve mukavemet oranı yüksektir. Hardox-500, sertlik değeri kendisinden düşük olan diğer iki çeşide oranla büküm ve kaynak işlerinde, şekil almaya daha uygun bir yapıdadır. Hardox 600, sertlik değeri açısından çok büyük avantajlı ve darbelere karşı çok dayanıklıdır. Hardox hituf ise, diğer beş farklı sertli değerine sahip çelik saclardan ziyade aşınma ve korozyona karşı büyük bir direnç göstermektedir (Konat, L., Oskwarek, M.).



Şekil 3.8. Hardox çeliğinin kullanıldığı alan örnekleri

Şekil 3.9’da Hardox cinsi bir plaka ile St-52 cinsi bir plakanın 2 metre yükseklikten maruz kaldığı 300 kg/N basınç görseli bulunmaktadır. 300 kg’lık basınç uygulandığında Hardox cinsi çelikte ihmal edilebilecek düzeyde bir ısıl genleşme meydana gelmiştir. St-52 cinsi çelik malzemede ise gözle görülebilir ve ihmal edilemeyecek düzeyde bir genleşme meydana gelmiştir. S cinsi çeliklerin mukavemet dirençleri, Hardox cinsi çeliklere göre daha az verimlidir (SSAB, 2005).



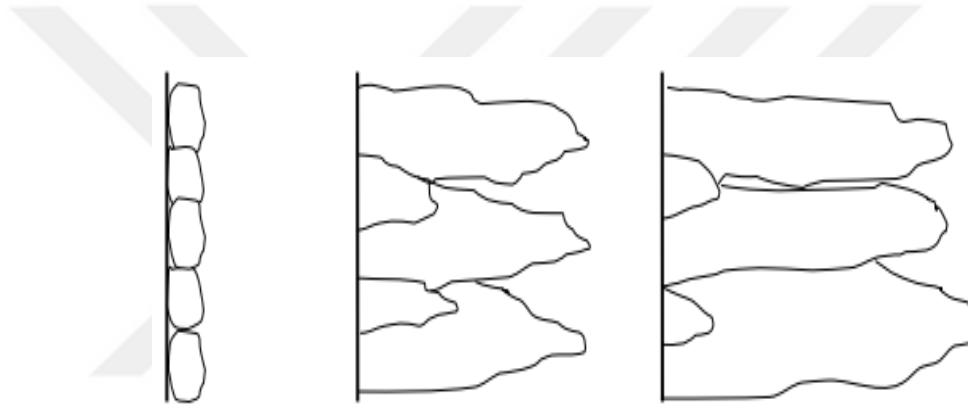
Şekil 3.9. Hardox – St-52 kuvvet karşılaştırması

Tablo 3.3’te Hardox çeliğinin genel mekanik özellikleri verilmiştir. Hardox çeliklerinin ortalama sertlik değerleri 360-440 HB arasında değişmektedir. Akma mukavemetleri 1000 MPa olarak, çekme mukavemetleri ise 1250 MPa olarak bilinmektedir. Yüzde uzama miktarları ise %10 civarındadır.

**Tablo 3.3.** Hardox çeliğinin mekanik özellikleri (Metal Oks, 2001).

| Ana Malzeme | Sertlik (HB) | Akma Mukavemeti (MPa) | Çekme Mukavemeti (MPa) | % Uzama |
|-------------|--------------|-----------------------|------------------------|---------|
| Hardox 400  | 360 – 440    | 1000                  | 1250                   | 10      |

İmalatı ve analizi yapılacak olan malzeme transfer arabasında Hardox çeliği de kullanılacaktır. Hardox çeliği, yüklemenin yüksek olduğu bölgelerde kullanılacaktır. Hardox çeliklerin mukavemetlerinin istenilen düzeye gelmesi için bazı üreticiler borlama işlemi yapmaktadır. Borlama, en genel tabiriyle termodinamik bir yüzey sertleştirme işlemidir. Borlamanın yapılması malzemeyi daha dayanıklı bir hale getirmektedir.. Borlama işlemi sırasında bor elementi, sıvı katkı maddesiyle birlikte tepkimeye girerek kimyasal bir bileşen oluşumu sağlar. Bu kimyasal bileşen, malzeme yüzeyine temas ettirildiğinde, çelik yüzeyi daha pürüzsüz ve daha sert bir hal alır. Tepkime tamamlandıktan sonra malzeme yüzeyinde borür maddesi oluşur. Borür, kullanım ömrü açısından tüm çelik malzemelere olumlu yönde etki eden bir bileşendir. Şekil 3.10’da gösterilen borür tabakası, farklı fazlardan meydana gelmektedir.



**Şekil 3.10.** Borlama sırasında borür tabakasının oluşum biçimi (Xu,2000).

Fazın oluşumu toplam üç aşamadan oluşmaktadır. Bu fazların ilkinde, bor elementi ve diğer bileşenler malzemeye yapışır ve bir tepkime oluşmasını sağlarlar. İkinci fazda bor elementinden kaynaklı birleşim ve reaksiyon başlar. Üçüncü fazda ise termo kimyasal bileşen, malzemenin tamamına nüfus ederek, yüzey sertleşmesi işleminin gerçekleşmesini sağlar.

### **3.3. Alüminyum Alaşımların Mekanik İncelemesi**

Alüminyum alaşımlar, içerisinde farklı tip metallerin olduğu bir bileşimdir. Bu bileşimler, doğada farklı faz ve hallerde bulunabilmektedir. Kurşun, kalay ve demir bu bileşenlerden bazılarıdır. Alüminyum alaşımlar, Hardox çeliği ve diğer çelik gruplarından mukavemet ve mühendislik dayanımları göz önünde bulundurulduğunda daha zayıf bir yapıdadır. Kullanım alanları, kaba iş ya da işçiliklerde değil, daha ziyade ince işçiliklerdedir.

Sertlik değeri, akma mukavemeti, çekme mukavemeti yönünden farklı tipte alüminyum alaşımları bulunmaktadır. Renk olarak, gümüş rengine yakın bir görünüme sahiptir. Farklı tip ve fiziksel özellikteki alüminyum malzemeleri de bulunmaktadır. Ağırlık bakımından demir ve çelik gruplarına oranla yaklaşık 4 kat daha hafif bir yapıya sahiptir. Kaynama sıcaklığı 1700 °C civarındadır. Yapısında bulunan bileşenler sayesinde erime sıcaklığı da işlenebilirliğini sağlaması suretiyle makul bir düzeydedir. Alüminyum alaşımları, ısı ve elektriği iyi düzeyde iletirler. Isı ve elektriği iyi düzeyde ileten bir iletken olmasından kaynaklı, farklı alanlarda kullanımı mevcuttur. Uçak imalatlarında, kompozit malzemeler ile birlikte en çok kullanılan metal özelliği bulunmaktadır.

Uzay çalışmalarında alüminyum bileşenleri büyük bir rol oynamaktadır. Alüminyumun uzay çalışmalarında kullanılmasının en büyük nedenlerinden biri, hafif cinsten bir malzeme olması ve doğada kolay yollarla bulunabiliyor olmasından kaynaklıdır. Bütün binek veya kamyon araçlarında, inşaat ve yapı sektöründe, hizmet sektöründe ve elektrikle çalışan makine ve ekipmanların tamamının mekanizmalarında kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımları, korozyon direnci açısından yüksek bir dirence sahiptir. Korozyon, herhangi bir malzemenin iç veya dış sebeplerden dolayı deformasyona uğramasıdır. Deforme olan malzemede elektriksel, kimyasal veya fiziksel bozulmalar meydana gelebilmektedir. Bozulma çeşitlerinden en yoğun olanı mekanik bozulmalardır. Mekanik bozulmalar, malzemenin kendi çalışma mekanizmasını bozan ve malzemenin kullanım ömrünü azaltan bozulmalardır. Bu tarz bozulmalarda, yüksek oranda geriye dönüş sağlanamamaktadır. Bu gibi durumların önüne geçilebilmesi adına, alüminyum malzemelerin uygun bir depo ya da stok alanında muhafaza edilmesi gerekmektedir. Yürütmüş olduğum tez çalışmada, analizi yapılacak olan malzeme transfer arabasının tekerlekleri alüminyum alaşımı malzemelerden yapılacaktır. Tekerlerin alüminyumdan yapılması, hareketin hızlı ve seri olmasını sağlayacaktır. Tekerlerin hareket edeceği ve yürüyüş yapacağı zeminin altındaki malzeme çelik sac olarak imal edilecektir. Mühendislikte birbirine sürtünen iki malzemenin farklı tip ve özelliklerde olması beklenmektedir. Bunun başlıca nedeni, fiziksel ve kimyasal olarak aynı tipte olan malzemeler, birbirine temas ettiğinde sürtünme kuvveti etkisiyle malzemede büyük aşınmaya sebebiyet verir. Bunun önlenmesi adına, birbirine temas eden malzemelerin farklı karakteristik özelliklerde olması gerekmektedir.



Malzeme transfer arabası tekerlerinin imal edileceği malzeme tipi AISI 304 serisi alüminyumlar olacaktır. AISI 304 serisi malzemelerin belirgin özellikleri bulunmaktadır. Paslanmaz 304 serisinin iyi bir işlenebilme ve kaynak kabiliyeti bulunmaktadır. Endüstriyel veya mimari yapılarda da sıkça aranan malzeme çeşitlerinden bir tanesidir.

**Tablo 3.4.** Alüminyum malzemelerin fiziksel özellikleri

| <b>Kalite</b> |      | <b>C</b> | <b>Mn</b> | <b>Si</b> | <b>P</b> | <b>S</b> | <b>Cr</b> | <b>Mo</b> | <b>Ni</b> | <b>N</b> |
|---------------|------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 304           | min. | -        | -         | -         | -        | -        | 18.0      | -         | 8.0       | -        |
|               | max. | 0.08     | 2.0       | 0.75      | 0.045    | 0.030    | 20.0      |           | 10.5      | 0.10     |
| 304L          | min. | -        | -         | -         | -        | -        | 18.0      | -         | 8.0       | -        |
|               | max. | 0.030    | 2.0       | 0.75      | 0.045    | 0.030    | 20.0      |           | 12.0      | 0.10     |

Tablo 3.4'te alüminyum malzemelerin kimyasal özellikleri verilmiştir. Paslanmaz 304 serisinin farklı iki tip kullanım çeşidi bulunmaktadır. Bunlardan biri 304, diğeri ise 304L serisi olarak geçmektedir. 304 serisi ile 304L serisi arasında çok büyük farklılıklar bulunmamaktadır. 304 serisi kalite bakımından 304L serisinden bir miktar daha verimlidir. Kalite unsurunun belirleyici olmasındaki etkenlerden biri, alaşımın içerisindeki karbon miktarıdır. Karbon miktarının fazla olması, malzemenin hem mukavemetini arttırmakta hem de işlenebilirlik seviyesini iyileştirmektedir. Karbon miktarı 304 serisinde daha fazladır. Bu sayede 304 serisi daha kullanışlı ve kullanımı uygundur. Tablo 3.5'te alüminyum alaşımlı malzemelerin belli başlı mekanik özellikleri verilmiştir. Alüminyum alaşımlı malzemelerin belli başlı mekanik özellikleri bulunmaktadır. Mekanik özelliklerinin belirlenmesinde akma mukavemeti, çekme mukavemeti, uzama miktarı ve sertlik değerleri belirleyici olmaktadır.

**Tablo 3.5.** Alüminyum 304 – 304L'nin mekanik özellikleri

| Kalite | Çekme Dayanımı (MPa) min. | Akma Dayanımı %0.2 Proof MPa min. | Uzama (% in 50 mm) min. | Sertlik             |                   |
|--------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|
|        |                           |                                   |                         | Rockwell (HRB) max. | Brinell (HB) max. |
| 304    | 515                       | 205                               | 40                      | 92                  | 201               |
| 304L   | 485                       | 170                               | 40                      | 92                  | 201               |

304L serisi alüminyum alaşımlarının işlenebilirlik seviyesi, 304 serisine oranla daha zordur. Bunun başlıca nedeni, 304L serisinin akma ve çekme dayanımının 304 serisine oranla daha düşük değerlerde olmasıdır. Tablo 3.6'da alüminyum serisi alaşımların fiziksel özellikleri verilmiştir. Bu özellikler; kalite, yoğunluk, esneklik katsayısı, ısı genleşme katsayısı, ısı iletkenlik, elektrik direnci, özgül ısı olarak incelenmektedir.

**Tablo 3.6.** Alüminyum 304 – 304L'nin fiziksel özellikleri

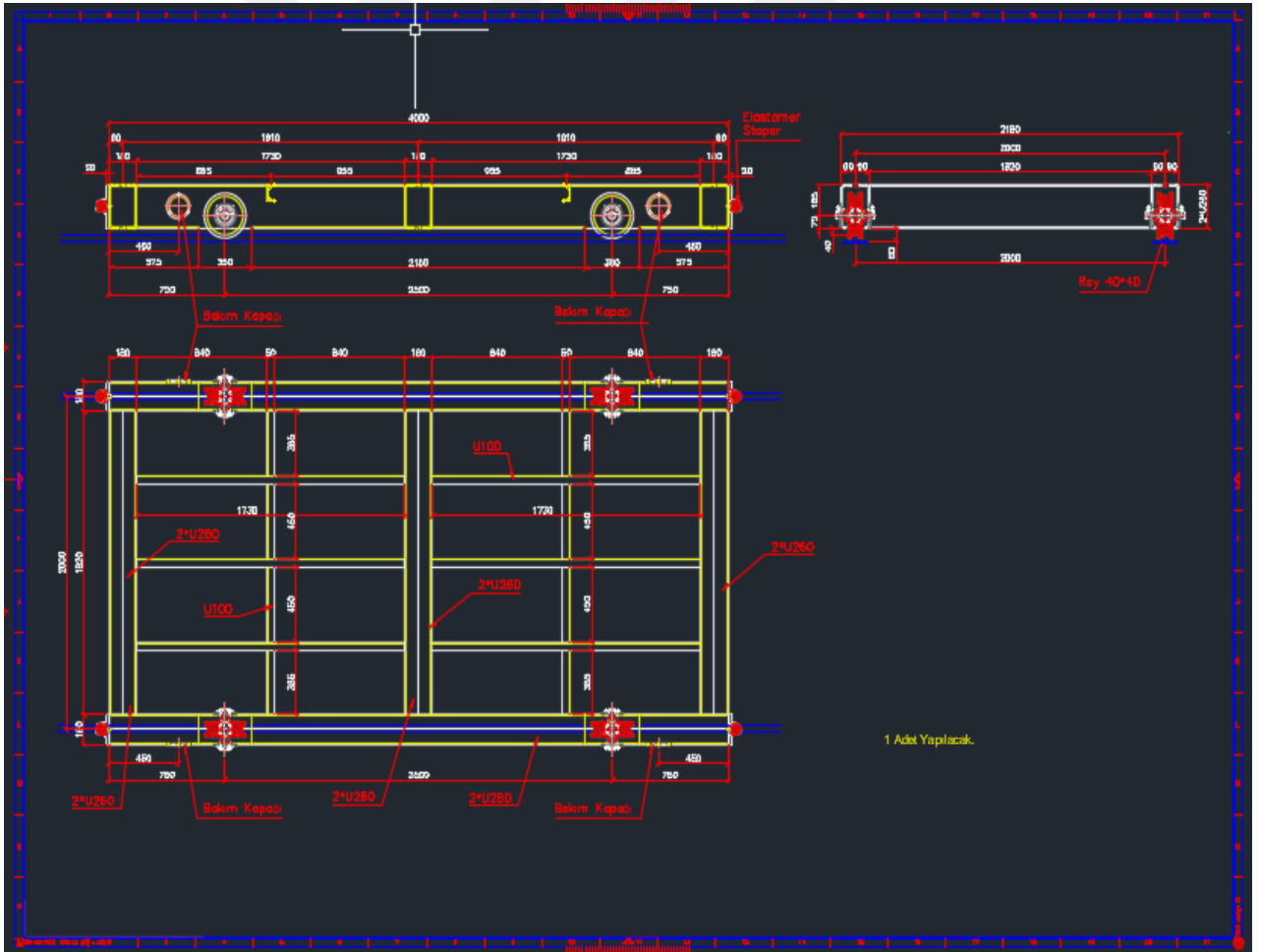
| Kalite | Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Esneklik katsayısı (GPa) | Isıl genleşme katsayısı (mm/m/°C) |         |         | Isıl iletkenlik (W/m.K) | Elektrik Direnci (Nw.m) | Özgül ısı 0-100 °C (J/kg.K) | Elektrik Direnci (nW.m) |
|--------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|---------|---------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
|        |                               |                          | 0-100°C                           | 0-315°C | 0-538°C | At 100°C                | At 500°C                |                             |                         |
| 304L   | 8000                          | 193                      | 17.2                              | 17.8    | 18.4    | 16.2                    | 21.5                    | 500                         | 720                     |

#### 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Projelendirme aşamasında, bilgisayar destekli teknik çizim yönteminden faydalanılacaktır. Kullanılacak olan programlar sırasıyla AutoCAD bilgisayar destekli teknik çizim programı, Solidworks üç boyutlu modelleme programı ve Ansys yük analiz programlarıdır. İmalat sürecinin başlatılabilmesi için, iki boyutlu ortamda teknik resim projelerinin çizilmesi ve imalata aktarılması gerekmektedir. İki destekli teknik çizim programı için AutoCAD programı kullanılacaktır.

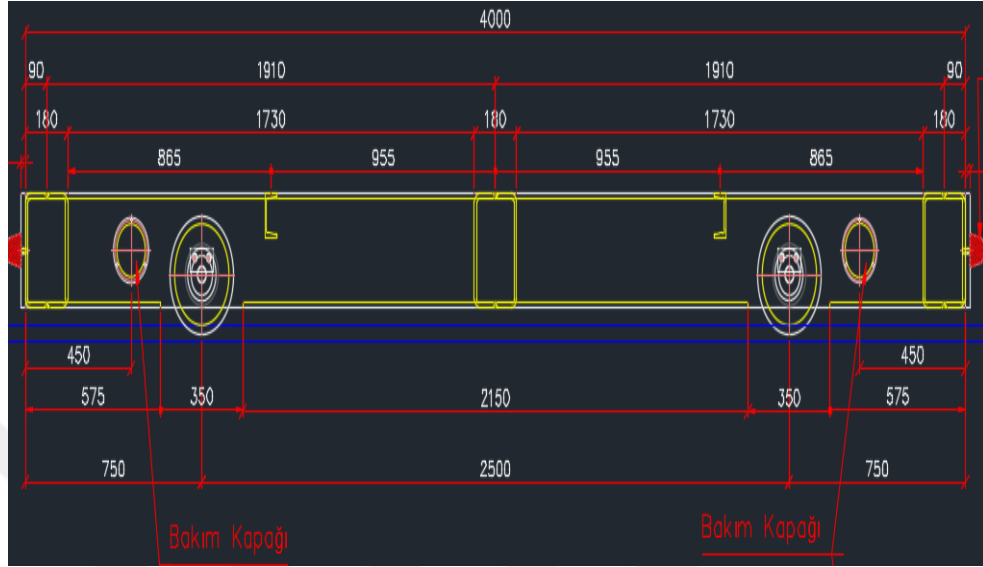
##### 4.1. İki Boyutlu Projelendirme

Şekil 4.1’de imalatı yapılan malzeme transfer arabasının iki boyutlu ortamdaki görünüşleri verilmiştir. Sol en üstteki görsel yan görünüşü, sağ en üstteki görsel ön görünüşü ve sol alttaki görsel de malzeme transfer arabasının üstten görünüşünü vermektedir.



Şekil 4.1. AutoCAD ortamında malzeme transfer arabasının üç görünüşü (Yan, Ön, Üst)

Şekil 4.2’de malzeme transfer arabasının yandan görünüşü detay olarak verilmiştir. Mevcut detaya göre; talaşlı imalat, plazma ve abkant süreçlerindeki imalat prosesleri yapılacaktır.



Şekil 4.2. Malzeme transfer arabası yan detay görünümü

Teknik resim detayından da anlaşılacağı üzere, raylı transfer arabasının toplam uzunluğu 4000 mm, toplam genişliği 2000 mm’dir. Raylı transfer arabasının tekerleri, 300 mm çap ile işlenmiştir. Ray gövdesinde kullanılan malzeme Hardox çeliği, gövde içerisinde, taşınacak olan paletler St – 52 NPU profili ve hareketi sağlayan tekerlekler de alüminyum malzemedен işlenmiştir.

Raylı malzeme transfer arabası, kullanılacak alandaki ihtiyaca göre farklı özellik ve karakterlerde imal edilebilir. Örneğin, aracın taşıma kapasitesi, yürüme hızı ve çalışma sistemi farklılıklar gösterebilir. Bazı raylı transfer araçlarında, alt takım paletli olabilir. Paletin olması, aracın zorlu zeminlerde hareket kabiliyetini arttırmaktadır. Tez çalışmasında kullandığımız aracın alt takımı tekerleklerle ve zemine döşemeli çalışma sistemiyle projelendirilmiştir. Fabrika koşullarında raylı sistem kullanılması daha uygun görülmüştür. Hareket kabiliyetinin daha sınırlı olması ve sistem yürüme yolunun belirli bir güzergâh üzerinde olması bu konuda etkindir.

Malzeme transfer arabasının her iki tarafta önlü ve arkalı ikişer tane olmak üzere toplamda dört tane tekeri bulunmaktadır. Teker malzemesi alüminyumdan, torna ve freze makineleri kullanılarak işlenmiştir. Teker malzemesinin yürütüleceği raylı alan, St – 37 sac kullanılarak yapılmıştır. Farklı cinsteki malzemelerin kullanımı sayesinde çalışma mekanizması verimli bir şekilde oluşturulmaktadır. Tekerlerin hemen yanında, kullanıcı operatörün periyodik bakımlarını yapabilmesi için bakım kapağı bulunmaktadır. Bakım kapağı hem mekanik sistemlerin yağlanması için hem de transfer arabasında meydana gelebilecek herhangi bir arızada, raylı transfer arabasının iç tarafından onarım yapılabilmesi için yapılmıştır. Şekil 4.3'te analizi yapılan raylı transfer arabasının görseli bulunmaktadır.



**Şekil 4.3.** Analizi yapılan raylı transfer arabası

Şekil 4.4'te raylı transfer arabasının ön görünüşü verilmiştir. Malzeme transfer arabasının ön kısmında hafif ve esnek bir malzeme yapısına sahip olan elastomer kauçuk kullanılmıştır. Elastomer kauçuğun kullanılmasının amacı, transfer arabasının herhangi bir çarpışmaya maruz kalması durumunda malzemenin herhangi bir zarara uğramamasıdır.



**Şekil 4.4.** Analizi yapılan raylı transfer arabası

Malzeme transfer arabasında kaza önleyici sensör bulunmaktadır. Fakat sensörün arızalanabileceği durumlar düşünülerek, kauçuk ilavesi de yapılmıştır. Transfer arabası, bağlantısı yapılan elektrik tesisatı sayesinde kumanda edilebilir şekilde tasarlanmıştır. Kumanda, bir operatör tarafından kullanılmaktadır. Transfer arabası, raylı sistem üzerinde ileri – geri hareket sağlamaktadır.

#### **4.2. Raylı Transfer Arabası Üretim Aşamaları**

Raylı transfer arabası imal edilirken, üretim safhasında bazı aşamalardan geçmektedir. Bu üretim aşamaları, bu bölümde detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bir önceki bölümde, projenin imalat resimlerinin belirlenmesiyle, üretim safhası başlar. Üretimi yapılan bu aracın ortalama imalat süresi 20 – 25 gün olarak değerlendirilebilir. İki boyutlu teknik resimde ürünün tüm detayları tek tek belirlenmiştir. Kullanılacak malzemeler, detay resimleriyle anlatılmış ve ifade edilmiştir.

#### 4.2.1. CNC Plazma Kesim Aşaması

CNC plazma kesim aşamasında kullanılacak saclar, belirli bir program dahilinde kesim tezgahı üzerine yerleştirilir ve AutoCAD programı üzerinden verilen kesim şemasına göre kesim yapılır. Şekil 4.5'te CNC plazma tezgâhında kesimi yapılacak olan raylı transfer arabasının kesim listesi bulunmaktadır.



Şekil 4.5. Raylı transfer arabası CNC plazma kesim programı

Kesim listesine göre kullanılan malzemenin;

- Et kalınlığı
- Sac ölçüleri
- Malzeme cinsi
- Malzeme yerleşim planı
- Toplam malzeme ağırlığı
- Toplam kesim süresi
- Kesim hızı
- Kesim parametresi
- Fire yüzdesi
- Toplam fire miktarı gibi temel özellikler ortaya çıkmaktadır.

Plazma kesim programı, Autodesk Inventor programının CAM isimli mühendislik modülü sayesinde tasarım ve yerleşim programı oluşturulmaktadır. Mevcut kesim 80 amperlik kesim hızıyla yaklaşık 1 dakikalık bir sürede tamamlanmıştır. Buna göre raylı transfer arabasının tekerlek üst bölgesine gelen çelik sacdan 1 adet, raylı transfer arabasının alt kısmına gelen çelik sacdan da 1 adet kesilmiştir. Kesim programının belirlenmesi için 1 teknik sorumlu, kesim listesi ve programını plazma kesim operatörüne iş emriyle beraber teslim etmektedir. Plazma operatörü ve operatör yardımcısı, kesim listesine göre belirlenen malzemenin, plazma tezgâhına yerleştirilmesi ve burada kesim programının takibinin yapılmasını sağlar.

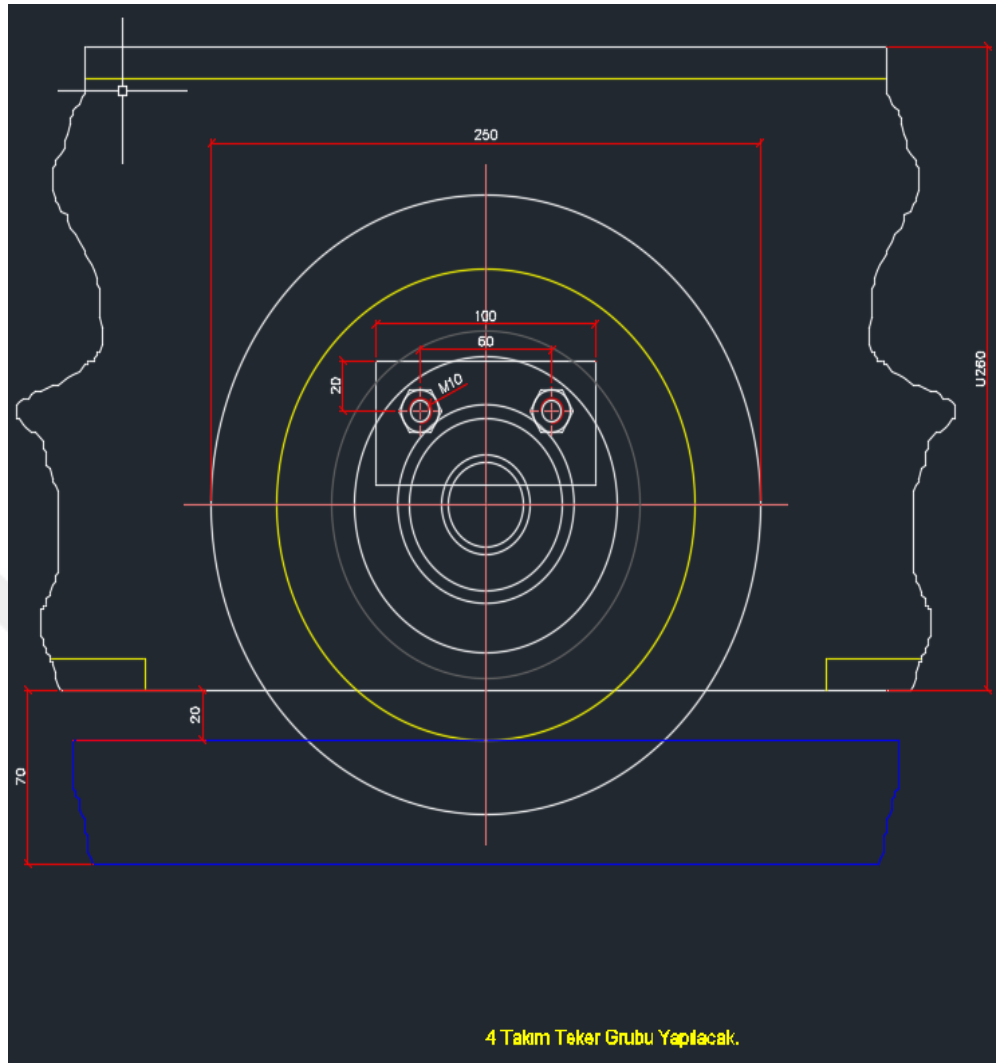
Plazma kesiminin başlayabilmesi için, kumanda panosundan orijin noktası belirlenir ve kesim, belirlenen orijin noktasına göre başlatılır. Kesim programı devam ederken, operatörün kontrol etmesi gereken bazı kritik noktalar söz konusudur. Kritik kontrol noktaları, kesimi sağlayan torç yani kesim ucu ve sac kontrolü olarak değerlendirilebilir.

Plazma üzerinde kesilen ince malzemelerde amper gücü genelde 80 amper olarak belirlenirken, daha kalın ve etli malzemelerde bu kesim gücü 130 amper olarak belirlenmektedir.

#### **4.2.2. Talaşlı İmalat Aşaması**

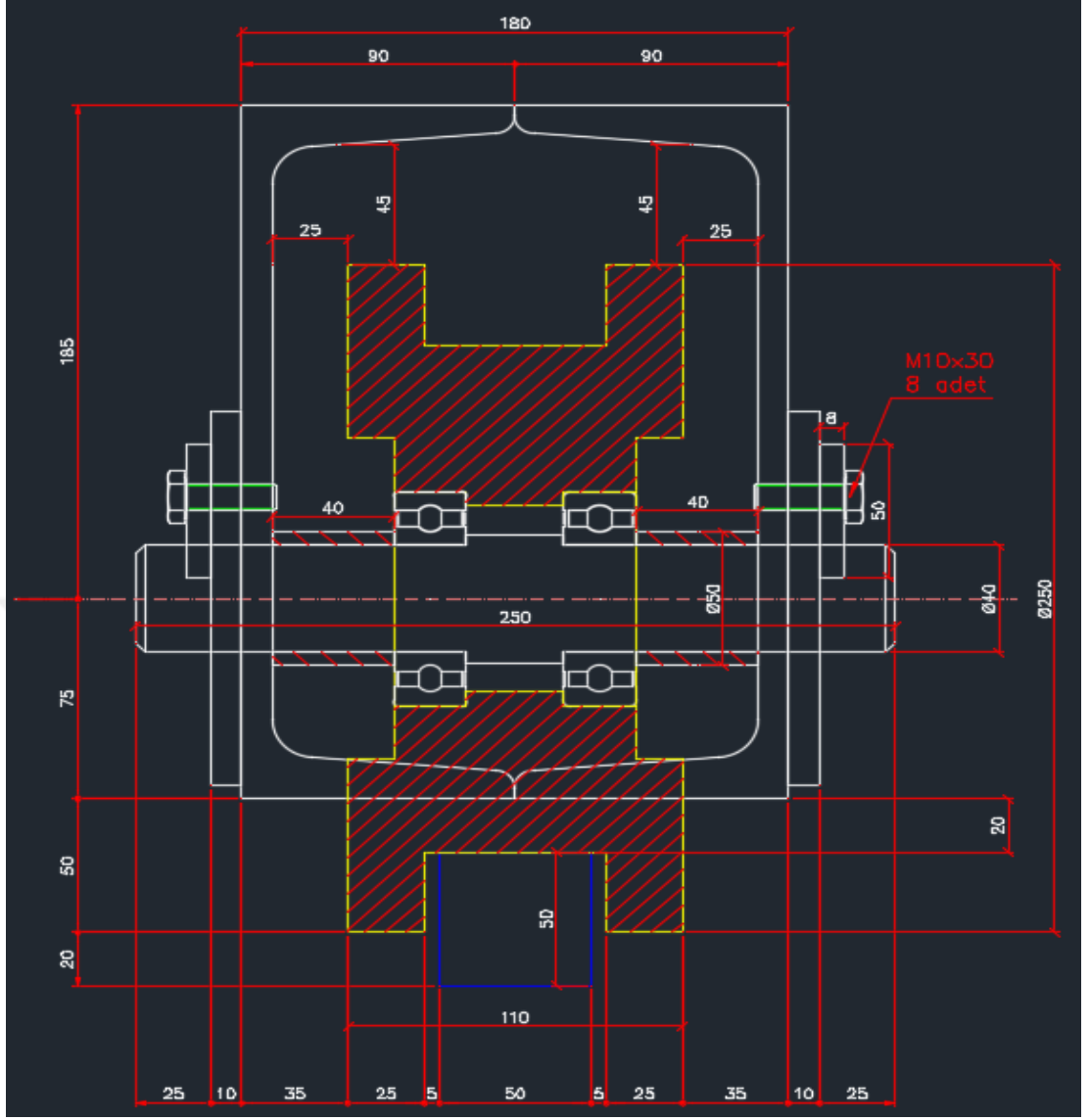
Raylı transfer arabası imal edilirken, talaşlı imalat bölümüne de ihtiyaç duyulmaktadır. Talaşlı imalat bölümünde, raylı transfer arabasının tekerlekleri, verilmiş olan teknik resme göre işlenmektedir. Şekil 4.6'da raylı transfer arabasının projelendirmesi verilmiştir.





Şekil 4.6. AutoCAD ortamında raylı transfer arabası tekerlek kesiti

Mevcut proje AutoCAD ortamında tasarlanmış olup, imalat için gerekli imalat resimleri de yine AutoCAD mühendislik tasarım programı sayesinde oluşturulmuştur. Şekil 5.6'ya göre tekerlek arabasının çapı 250 mm olacak. Tekerleğin iç kısmına gelen boşluklu yapıya metrik 10 cıvata kullanılması tasarlanmıştır. Cıvataların her iki eksenindeki mesafe 60 mm olarak belirlenmiştir. Bu mesafenin kısa olması, emniyet katsayısını da arttırmaktadır. Mesafenin uzun olması, ilgili alandaki uzama ve kırılma ihtimalini güçlendirmektedir. Raylı transfer arabası için imal edilen tekerlek, 4 adet olarak yapılacaktır. Şekil 4.7'de raylı transfer arabasında kullanılan tekerleğin detay resmi verilmiştir. Tekerleğin hammadde alüminyum olarak kullanılmıştır. Alüminyum alaşımları hareket kabiliyeti yüksek olan alaşımlardır.



Şekil 4.7. AutoCAD ortamında raylı transfer arabası tekerleği kesit detay resmi

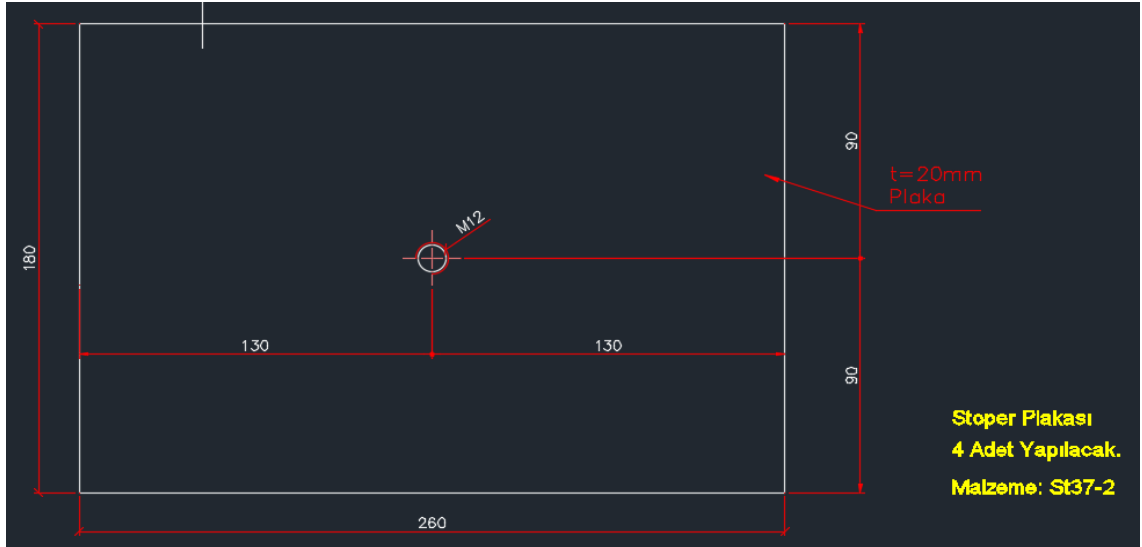
Projesi hazırlanmış teknik resim, talaşlı imalat bölümünün torna alanında çalışan ilgili operatörüne iş emri ile teslim edildikten sonra ilgili imalat prosesi başlar. İlgili operatör, sürece başlarken, teknik resme göre proje okumasını gerçekleştirir. İşleyeceği malzemeleri ve kullanacağı sarf malzemeleri hazırladıktan sonra ilgili malzemenin üretimine başlar. Tornada işlenecek malzemenin üzerinden öncelikle paso alınır ve çap 250 mm olacak şekilde talaş kaldırılır. Tornada talaş kaldırma işleminden sonra frezede delik açma işlemi gerçekleştirilir. Delik açma işlemi için elmas karakterli uç kullanılır. Elmas uçlar, hassas kesici takımlardır. Bu kesici takımlar, hızlı ve seri işleme yapıldığı takdirde kolay bozulma ve deformasyon yaşarlar. Bu tarz bozulmalar hem maliyeti artırır hem de işleme kalitesini düşürür.

Şekil 4.8’de de görüldüğü gibi tekerlek imal detayı görselde sunulmuştur. Kullanılacak malzeme ve üretim metodu, teknik resmin altında antet olarak detaylı verilmiştir. Tekerleklerden toplamda 4 adet yapılacaktır. İmal edilen tekerlek yuvası, sonrasında raylı transfer arabasına gaz altı kaynak makinesi aracılığıyla kaynatılacaktır. Alüminyum malzemenin et kalınlığı 10 mm olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 4.8. Tekerlek imal projesi

Tekerlek arabasının içi freze makinesi yardımıyla boşaltılmıştır. Boşaltılan alanın çapı 40.5 mm olarak projelendirilmiştir. Aynı boşluklu bölgeye gelecek olan mil ise 40 mm ölçüde seçilmiştir. Boşluklu alanın, içine girecek olan milden çap olarak 5 mm geniş olması, milin tatlı sıkı geçmesini sağlayacaktır. Tatlı sıkı geçme sayesinde mekanizmanın hareket kabiliyeti daha yüksek düzeyde olacaktır.

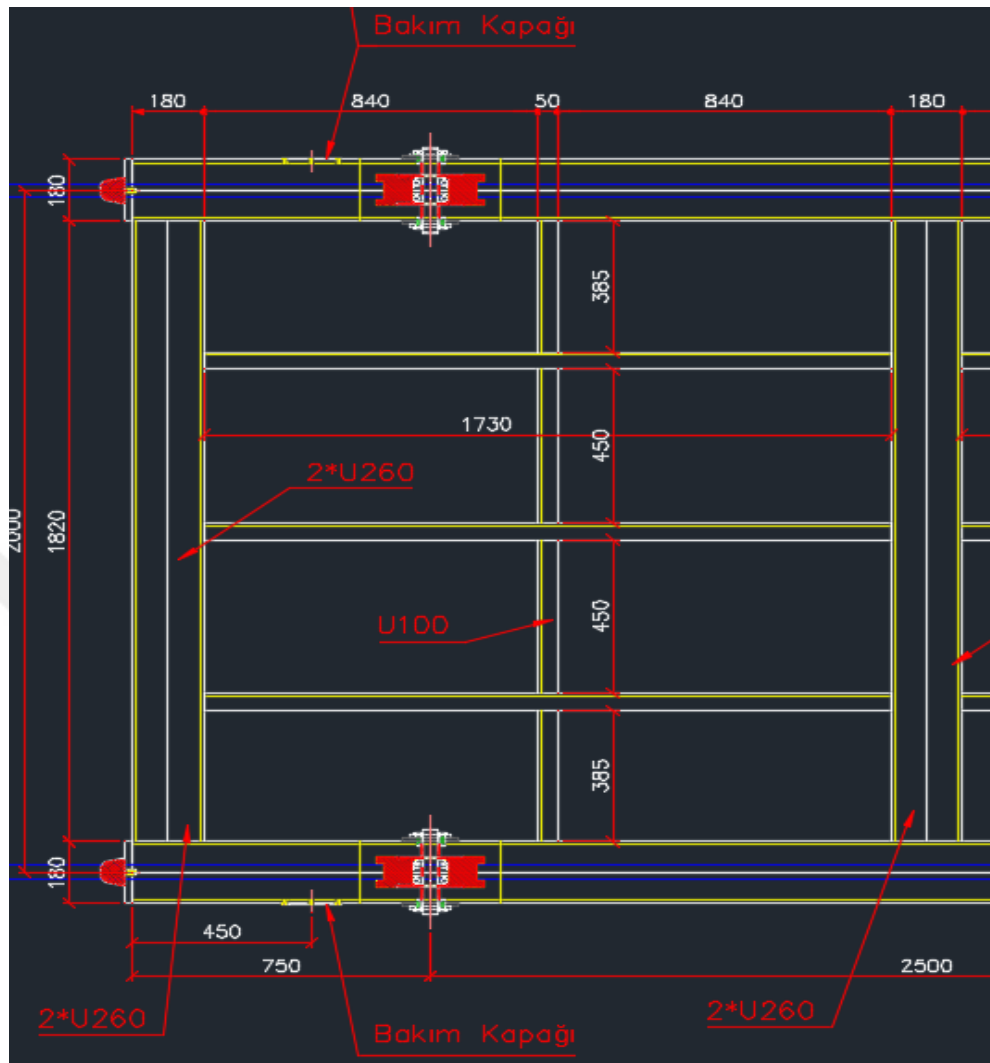


Şekil 4.9. Stoper plakası teknik resim detayı

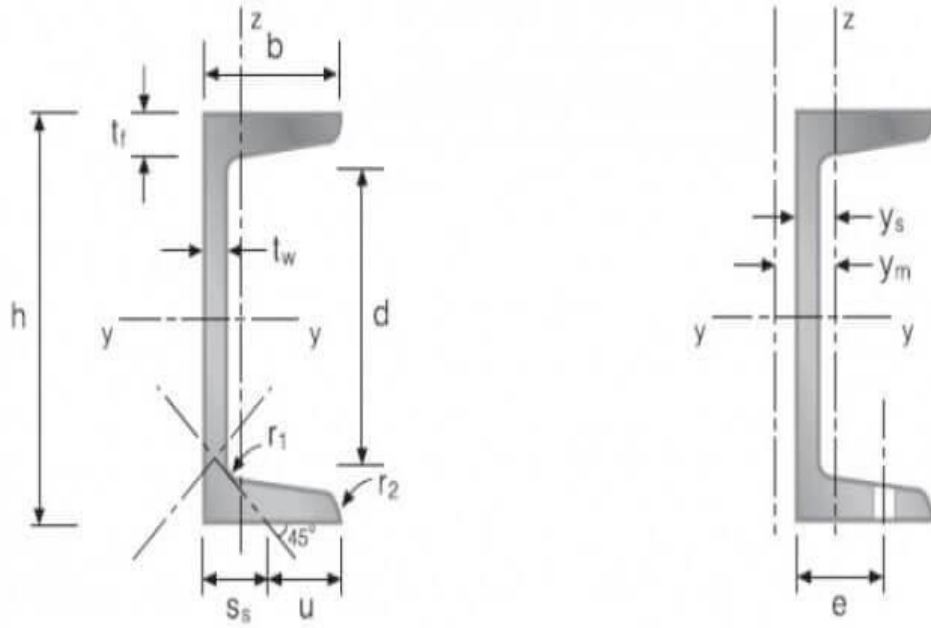
Şekil 4.9’da raylı transfer arabasının önüne kaynatılacak olan sac parçasının teknik resmi verilmiştir. Buna göre kullanılacak sac St – 37 cinsi çelik olarak belirlenmiştir. Kullanılacak sac plakasının et kalınlığı 20 mm olmak üzere toplam 4 adet parça kaynatılacaktır.

#### 4.2.3. Kaynaklı Konstrüksiyon Aşaması

Kaynaklı konstrüksiyon aşamasında plazmadan, abkanttan ve talaşlı imalatla, yani genel olarak ön imalat grubunda işlenen malzemeler, imalat sürecinin devam etmesi için bir sonraki istasyona yönlendirilir. Bu alanda işlenecek olan malzemeler gaz altı kaynak yöntemi kullanılarak işlenmektedir. Gaz altı kaynak yöntemi ile birleştirme işlemi yapılır. Bu esnada kaynak kalitesinin yüksek oranda olabilmesi için cüruf temizliğinin de verimli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Birleştirme işleminde kullanılan malzemeler projede belirlenmiş olup, süreç de bu malzemelerin birebir kullanılmasıyla devam etmektedir. Şekil 4.10’da raylı transfer arabasının dış döşeme ve iç döşeme kirişlerinin detay resmi verilmiştir. Buna göre farklı ölçülerde NPU 100 malzeme kullanılacaktır. Yatay kirişler için NPU malzemeler 450 mm ve 385 mm boylarında olacaktır. 450 mm boyunda olan NPU demirleri için toplamda 4 adet, boyları 385 mm olan NPU demirleri için de yine toplam 4 adet kullanılacaktır. Dikey kirişler için NPU malzemeler 1730 mm boyunda ayarlanacaktır. Toplam kullanılacak adet miktarı ise 6 adet olarak verilmiştir. NPU 100 çeliği testere makinesinde mevcut boy ve ölçülerde kesilerek imalat sürecine hazır hale getirilecektir. Başlangıç ve bitiş noktalarında kullanılan malzemeler için de detay resminde gerekli ölçüler verilmiştir.



Şekil 4.11’de de görüldüğü gibi, NPU tipi profillerin karakteristik özelliklerinin belirlendiği durumlar mevcuttur. Radyal çaplar, uzunluk, radyus genişlikleri, malzeme et kalınlığı gibi faktörler önde gelen etmenlerdendir. Şekildeki iki tane NPU260 profil, transfer arabasının başlangıç ve bitiş bölgelerinde kıvrımlı alanlar birbirlerine bakacak şekilde metot kaynak atılarak, uzun kiriş oluşturulur. Raylı transfer arabasının uzunluğu, teknik resimlerde de anlaşıldığı gibi 4000 mm’dir, toplam genişlik ise 2000 mm olarak imal edilmiştir. NPU 260 profillerden sağ kiriş, sol kiriş, ön kiriş ve arka kiriş olmak üzere 4 parçaya kaynak ağzı açılarak birleştirme işlemi yapılacaktır.



Şekil 4.11. Örnek bir NPU profil kesiti

Şekil 4.12’de testerede kesilen NPU profil demirleri, kalıp üzerine yerleştirilerek imalat süreci devam ettirilir. NPU demirleri, istenilen boy ve genişliklerde kesilerek kaynaklı birleştirme işlemi gerçekleştirilir. İmalat ve montaj aşamalarında toplamda 5 personel görev almaktadır. Ürünün tamamlanma süresinin daha az tutulması, personel sayısının arttırılmasıyla mümkündür.



Şekil 4.12. Raylı transfer arabası kaynaklı birleştirme kalıbı

#### 4.2.4. Boya Aşaması

İmalatı tamamlanan ürün, boya alanına girer ve bu arada istenilen renge boyanır. Boya aşaması birkaç farklı aşamadan oluşmaktadır. İmalatı tamamlanan ürün, yüzey temizliğinin yapılabilmesi için önce zımpara ve taşlama işlemlerine tabii tutulur. Yüzey temizleme işlemi tamamlandıktan sonra, ürün üzerine astar ve macun işlemleri uygulanır. Astar uygulamasının sebebi, ürünün paslanmazlık ömrünün geciktirilmesidir. Aynı zamanda astar üzerine yapılacak boya işlemi için de, boyanın daha az kullanılmasını sağlar ve bu anlamda ekonomikliğin oluşmasını sağlar.

Astar süreci tamamlandıktan sonra ürünün kuruması beklenir. Bu süre genellikle 2 saat olarak değerlendirilebilir. Kurutma işlemi yaz mevsimlerinde normal hava şartlarında, kış mevsimlerinde ise kurutma fırınlarında gerçekleştirilir.

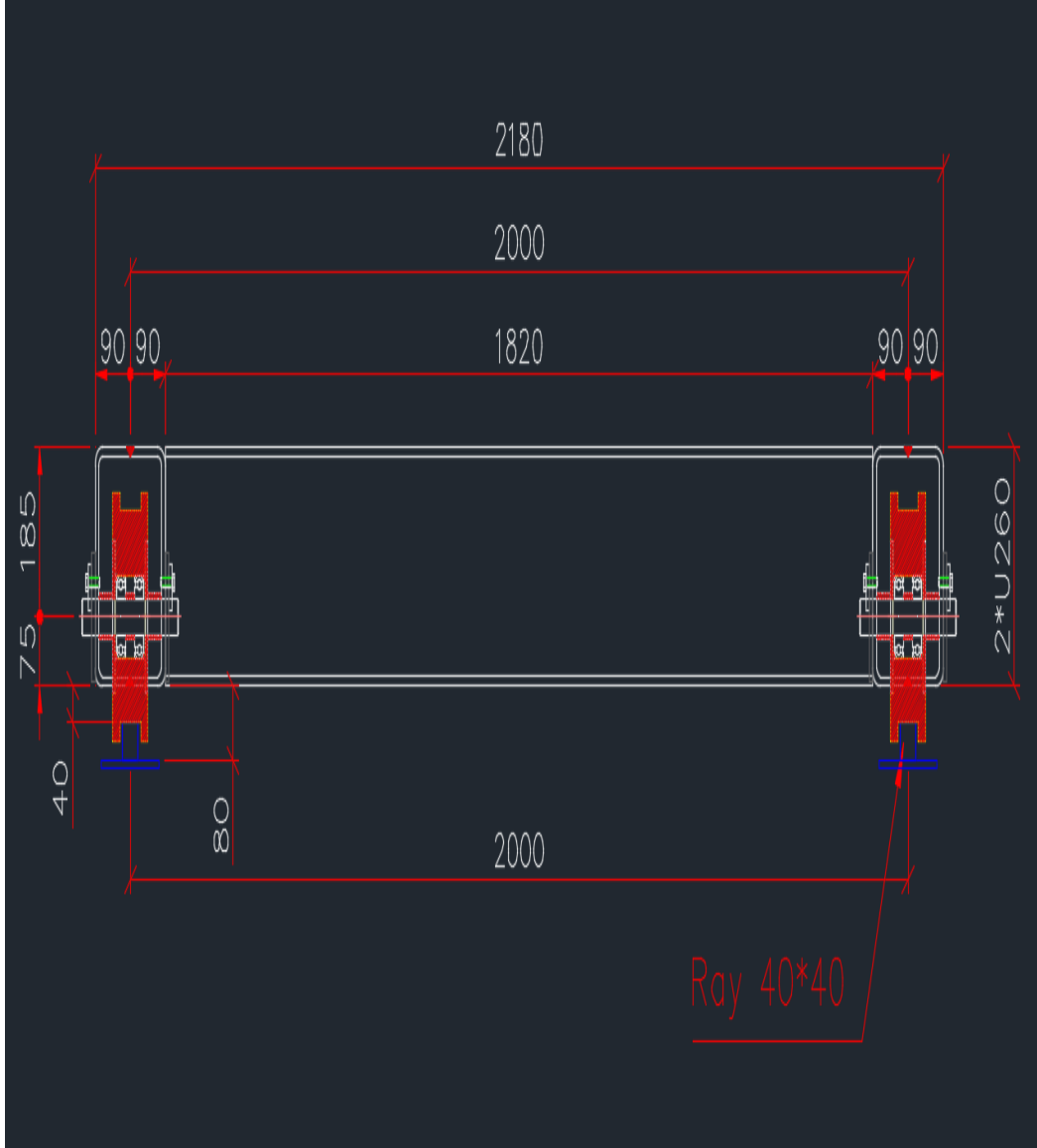
#### 4.2.5. Montaj Aşaması

Montaj aşamasında öncelikle ray döşemeleri monte edilir. Ray döşemesinin yapılabilmesi için önce zeminin kazılması gerekmektedir. Kazılan zemin sayesinde raylar, ilgili alana döşenir ve bu alana gömülür. Şekil 4.13'te ray sisteminin gömülü hali verilmiştir.



Şekil 4.13. Ray sistemi döşeme montajı

Şekil 4.14'te ray sistemi ve kullanılan malzemenin teknik detayı verilmiştir. Buna göre raylı sistem Ç1040 malzemedan imal edilmektedir. Rayın genişliğı 40 mm olarak belirlenmiştir.

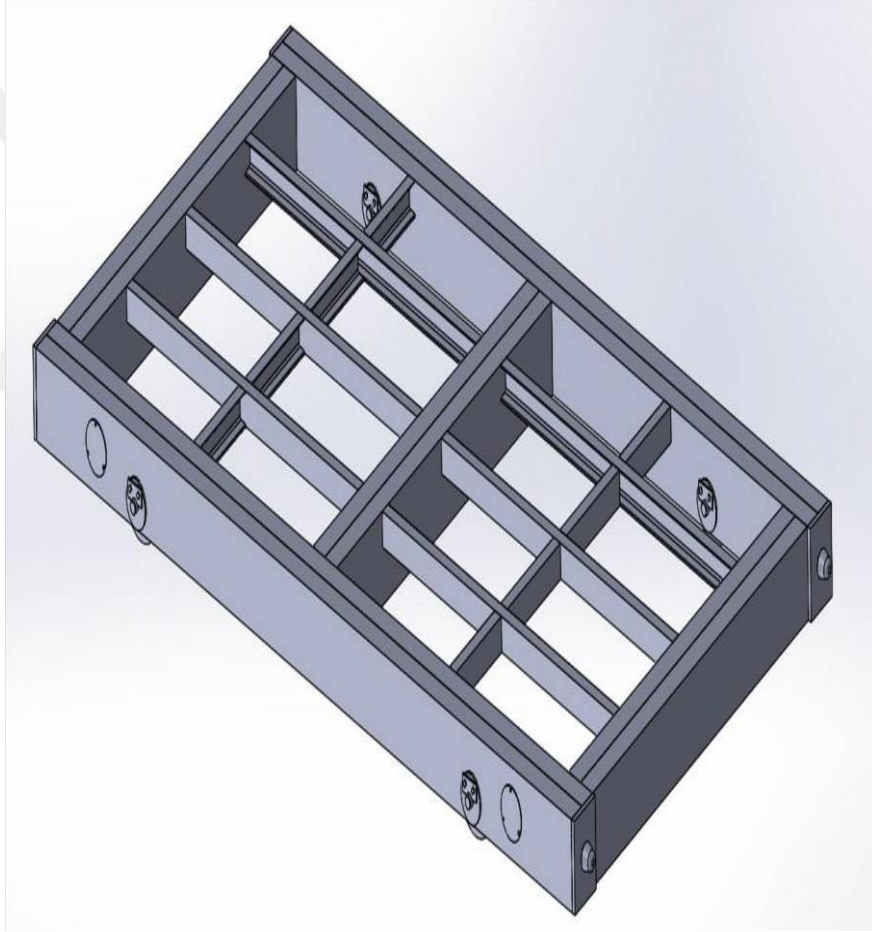


Şekil 4.14. Ray döşeme sistemi teknik detayı

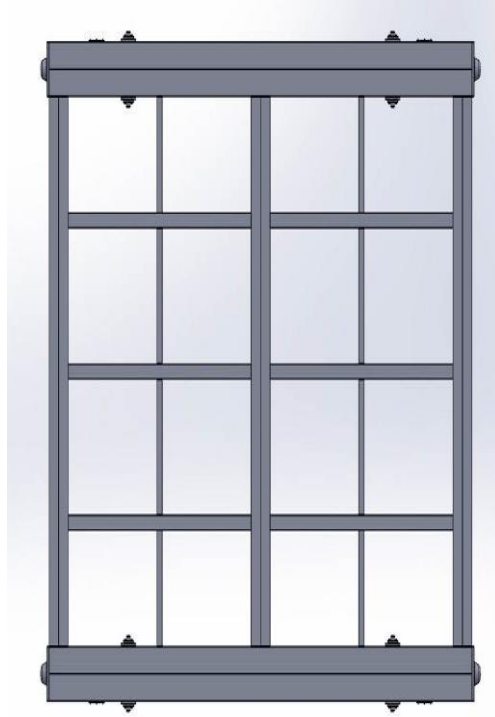


### 4.3. Üç Boyutlu Modelleme

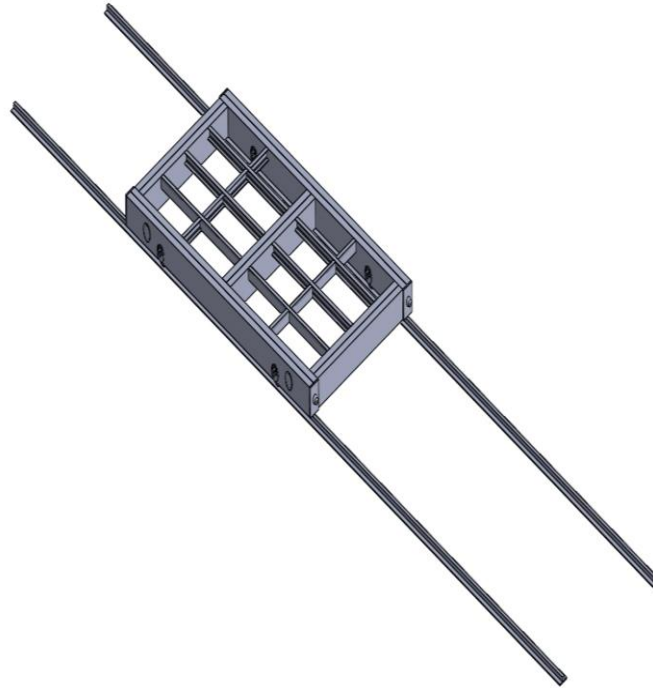
Bu tez çalışmasında, bilgisayar destekli üç boyutlu teknik çizim programlarından Solidworks yardımıyla raylı transfer arabasını modelledim. Şekil 4.15'te Solidworks yardımıyla üç boyutlu modelleme çalışması yapılmıştır. Şekil 4.16'da üst görünüm, Şekil 4.17'de genel modelleme görünümü verilmiştir. Çelik konstrüksiyon adına çalışan işletmelerde, imalat resimleri, iki boyutlu tasarım programlarında, model ve analiz yapma işlemleri de üç boyutlu modellemelerde yapılmaktadır.



Şekil 4.15. Solidworks ortamında üç boyutlu genel modelleme



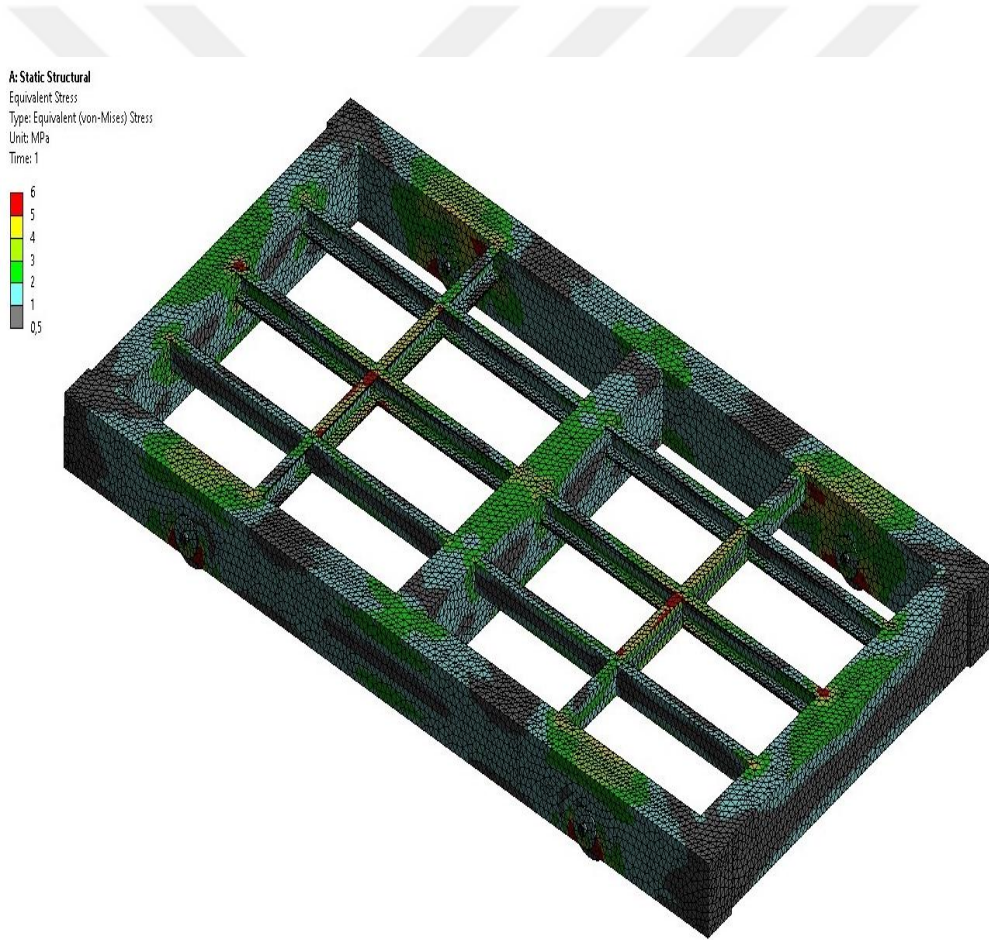
**Şekil 4.16.** Solidworks ortamında raylı transfer arabasının üstten görünüşü



**Şekil 4.17.** Solidworks ortamında ray sistemi ve transfer arabasının genel görünüşü

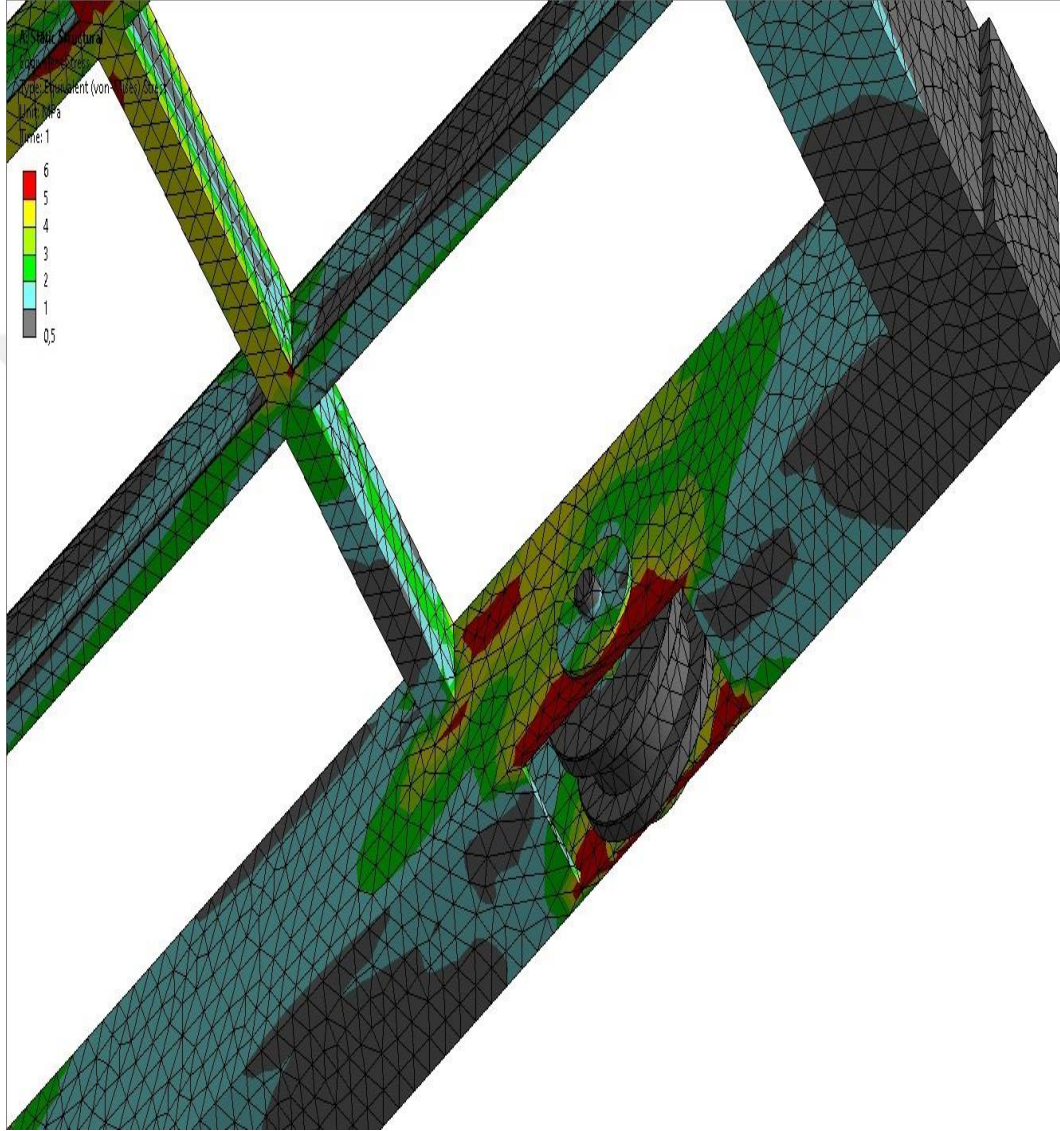
#### 4.4. Yük - Gerilme Analizi

İmalatı tamamlanmış olan raylı malzeme transfer arabasının yük analizi ANSYS programıyla mlenmiştir. 30000 N'luk yük altında, malzeme transfer arabasının emniyet katsayısı, eşdeğer gerilme değerleri (Von Mises) ve toplam deformasyon yani eğilme miktarları hesaplanmıştır. Von Mises gerilme analizi, en basit haliyle, sünek bir malzemenin yorulmaya ve deformasyona bağlı olarak, kullanım süreci ve ömründe, belirli bir noktaya geldikten sonra akma yaşıyacağını ifade etmektedir. Şekil 4.18'de Von Mises gerilme analizine göre modelin üst görünümü verilmiştir. Şekil 4.18'de verilen yk analiz görseline göre, yükün tekerlek kısımları ve orta kısımda yk yorgunluğu olduğu görülmektedir. Fakat kırmızı bölgelerin seyrek olması ve yükü etkileyecek durumda olmamasından kaynaklı emniyetsiz bir durum gözükmemektedir.



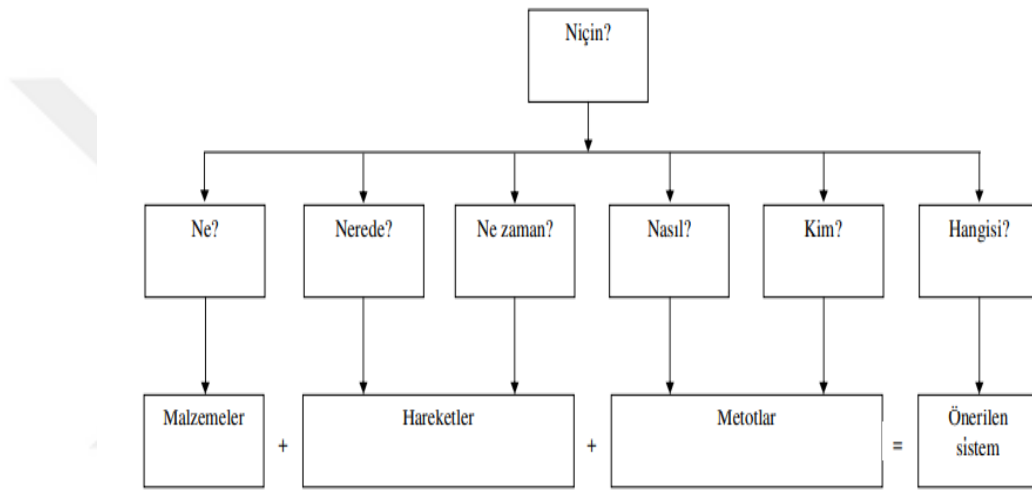
Şekil 4.18. Von Mises eşdeğer gerilme analizi (Analiz st görünümü)

Von Mises gerilme analizine göre, Şekil 4.19’da modelin alttan görünümü verilmiştir. Alt model görünümünden de anlaşılacağı üzere, tekerlek kısmında nispeten yük fazlalığı oluşmuş fakat ihmal edilecek düzeyde olduğundan emniyet açısından bir sorun teşkil etmemiştir.



## 5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, Ansys tasarım analiz programı tarafından statik ve dinamik yük analizleri yapılmıştır. Belirli kapasitede yük, hem durağan anlamda hem de hareketli anlamda transfer arabasına bindirilmiştir. Mevcut hesaplamalar ve analiz detayları, Araştırma Sonuçları ve Tartışma kısmında değerlendirilmiş olup, şekil ve grafikler yardımıyla ifade edilmiştir. Şekil 5.1’de malzeme taşıma sistemi eşitliğine ait görsel sunulmuştur. Şekle göre, malzeme transportu yapılmadan önce dikkat edilmesi gereken bazı parametreler bulunmaktadır.



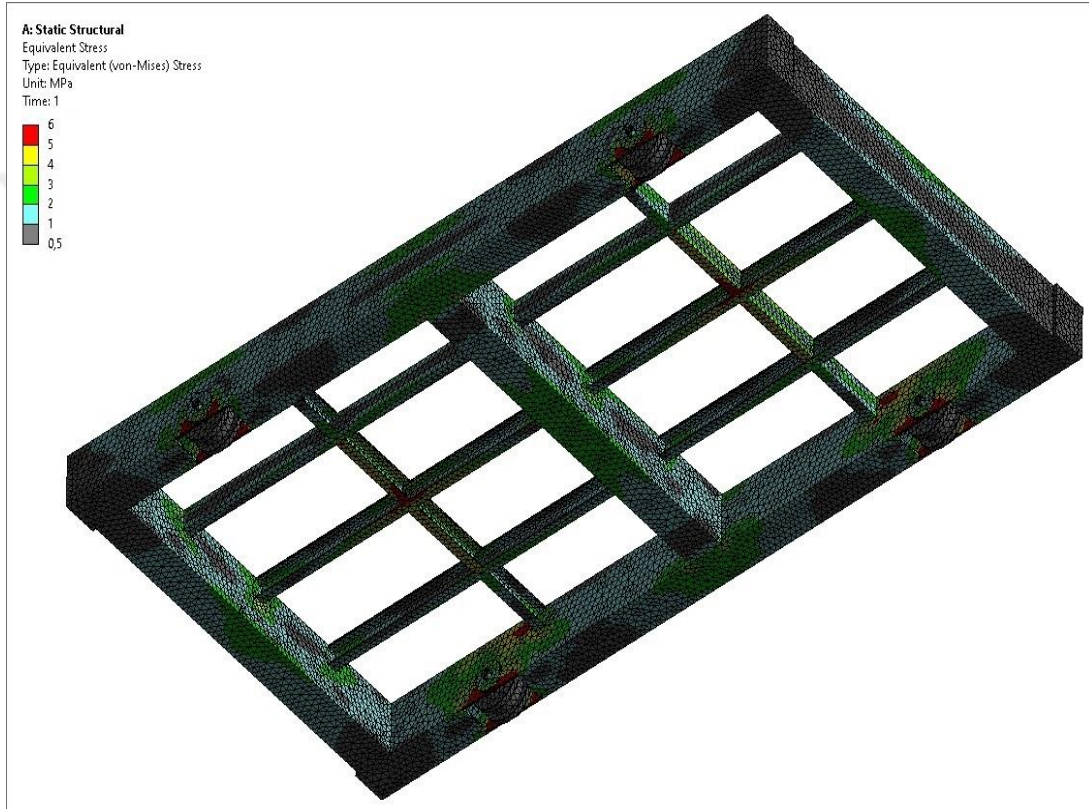
Şekil 5.1. Malzeme taşıma sistemi eşitliği (Tompkins ve diğerleri, 2010).

Bu parametreler, malzemenin taşınması adına iş gücünü kolaylaştırıcı yollar oluşmasını sağlamaktadır. Malzeme transportu yapılırken, işleme başlamadan önce taşınacak malzemenin ne olduğu, bu malzemenin nerede olduğu, malzemenin ne zaman taşınacağı, nasıl taşınacağı ve kim tarafından taşınacağını belirlemek gerekmektedir.

Sistemin tamamen düzgün bir yapıda işleyebilmesi için malzemelerin, hareketin ve transfer metotlarının doğru şekilde yönetilmesi gereklidir. Bu alt toplamalar, doğru şekilde yönetilir ve uygun taşıma şartları oluşturulursa, önerilen sistemin işlemesi daha da kolaylaşır. Sistemler arası disiplinde herhangi bir eksiklik veya yanlış adım, hem üretim kaybına hem de iş gücü kaybına sebep olacaktır.



Şekil 5.2’de Von Mises eşdeğer gerilme analizine göre yük dağılımı gösterilmiş ve uygun standartlarda olduğu tespit edilmiştir. Koyu yeşil alanlar, malzemenin mukavemetinin güçlü olduğu yerleri göstermektedir. Şekilden de anlaşılabacağı üzere, koyu renkli alanların baskın olmasından kaynaklı, raylı transfer arabasının kullanımı uygundur. Kırmızı alanlar, yükün baskın olduğu yerleri göstermektedir ve görselden de anlaşılabacağı üzere, bu alanlar ihmal edilecek düzeydedir. Tablo 5.1’de de görüldüğü gibi, kırmızı renkli alanlar en yüksek bozulma miktarını göstermektedir



Şekil 5.2. Von Mises eşdeğer gerilme analizi (Analiz alt görünümü)

Tablo 5.1. Eşdeğer gerilme analizine göre bozulma miktarı

| Renk       | Bozulma miktarı |
|------------|-----------------|
| Kırmızı    | 5 MPa           |
| Sarı       | 4 MPa           |
| Açık yeşil | 3 MPa           |
| Koyu yeşil | 2 MPa           |
| Mavi       | 1 MPa           |
| Gri        | 0.5 MPa         |

. Von Mises eşdeğer gerilme analizi sonucuna göre kırmızı renkli alanlar, sadece malzeme transfer arabasının tekerlek bölgelerinde bulunmaktadır. En fazla yüke maruz kalan alan kırmızı ile işaretlenmiş alandır. Bunun sebebi, tekerleğin bulunduğu bölgede boşluklu yapı bulunmasından kaynaklıdır. Şekil 5.3'te raylı transfer arabasının emniyet katsayısı belirlenmiştir.



Şekil 5.3. Emniyet katsayısı çözümlemesi

Buna göre emniyet katsayısı 1 olarak belirlenmiştir. Emniyet katsayısı, en genel tabiriyle herhangi bir malzemenin dayanım direncinin, malzemenin dayanabileceği maksimum mukavemete oranıyla hesaplanmaktadır. Bu oran büyüdükçe malzeme mukavemeti artmaktadır. Oranın düşük olması, istenmeyen bir durumdur.

Emniyet katsayısının malzemeler adına 1'den büyük olması gereklidir. Yapılan statik analiz sonucunda raylı transfer arabasının emniyet katsayısı 15 olarak

belirlenmiştir. Yani bu, raylı transfer arabasının yüksek mukavemetli olduğunu göstermektedir. Raylı transfer arabasına 30000 N'luk yük uygulanmış ve bu yükü rahatlıkla kaldırdığı tespit edilmiştir. Raylı transfer arabasının raylı sistem üzerindeki hareketi manuel olarak sağlanmıştır.

Tasarımlarda emniyet katsayısının 1'den büyük olması gerekliliği varken, bu kriter tek başına yeterli olmamaktadır. Emniyet katsayısı belirlenirken, insan faktörü ve dış etkenlerin de hesaba katılması gerekmektedir. Örneğin, çelik konstrüksiyondan yapılan bir çatının emniyet katsayısını etkileyecek faktörleri düşünelim. Çatının bulunduğu yerin coğrafi özellikleri göz önünde bulundurulacak olursa, rüzgâr yükü ve kar yükü hesaplarının yapılması gerekmektedir. Rüzgâr yükü veya kar yükü, tek bir senelik verilerle alınmamalıdır. Son 20 yılda bölgeye düşen kar miktarı ve rüzgâr yükünün ortalaması alınarak, analizin buna uygun şekilde yapılması gerekmektedir.

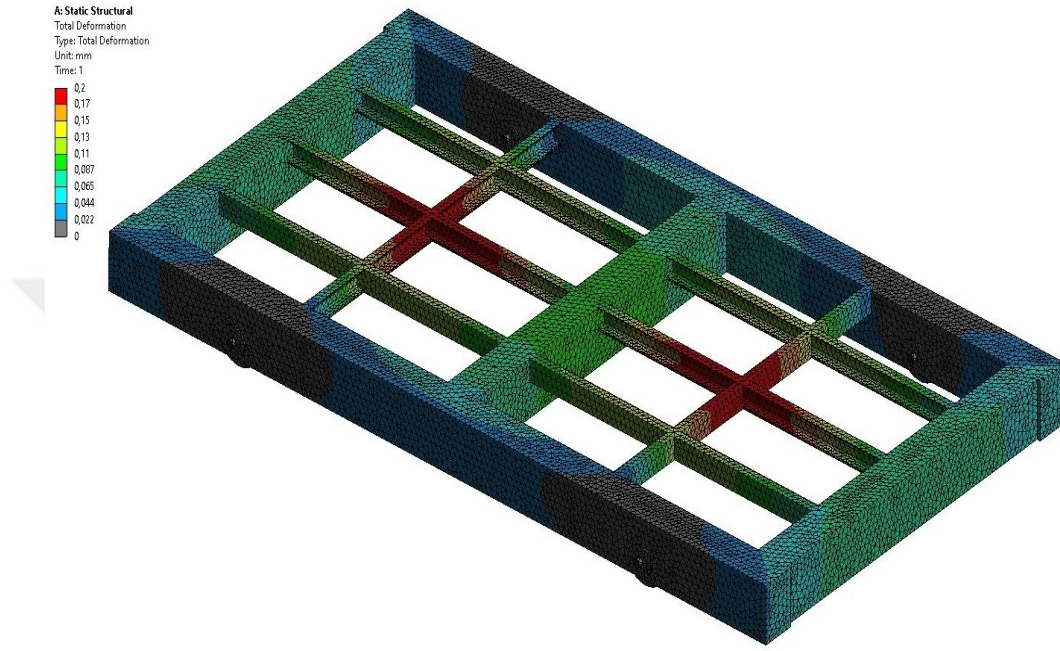
Tablo 5.2'de emniyet katsayısı belirleme metotları, tablo bazında verilmiştir. Uygulamanın yapılabilmesi için belirli parametreler bulunmaktadır. Bu parametreler, yük ve emniyet katsayısına göre değişkenlik göstermektedir. Emniyet katsayısının, malzeme ve sistemin güvenilirliğiyle ters orantısı bulunmaktadır.

**Tablo 5.2.** Emniyet katsayısı belirleme metotları

| <b>Uygulama</b>                                                                                                       | <b>Emniyet katsayısı</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Yükün özelliği kesin biliniyorsa, çevre ve yük değişkenlik göstermiyorsa ve malzeme özelliklerine kesin güveniliyorsa | 1.3 – 1.5                |
| Yük özellikleri biliniyor, çevre ve yük değişkenlik göstermiyorsa                                                     | 1.5 - 2                  |
| Çevre değişkenlik göstermiyor ve sıradan malzemeler kullanılıyorsa                                                    | 2 – 2.5                  |
| Çevre ve yük değişkenlik göstermiyor, gevrek malzeme ya da özellikleri tam bilinmeyen malzeme kullanılıyorsa          | 2.5 - 3                  |
| Malzeme özellikleri güvenilmezse ya da malzeme zor çevre şartlarında çalışıyorsa                                      | 3 - 4                    |



Şekil 5.4'te raylı transfer arabasının toplam deformasyon miktarı görseli yer almaktadır. İlgili görsele göre, kırmızı renk ile çözümlenmiş olan NPU demirinin olduğu alan, toplam alana göre malzeme cinsi bakımından hafif ve ince kalmaktadır. Fakat raylı transfer arabasının kaldırma kapasitesi mukavemetli ve yüksek olduğundan, herhangi bir sorun teşkil etmemektedir.



Şekil 5.4. 30000 N yük altında toplam deformasyon (eğilme) miktarı

Tablo 5.3'te raylı transfer arabasının yüzey alanına etki eden deformasyon miktarı verilmiştir. Buna göre kırmızı renk ile gösterilen alanlarda deformasyon olma ihtimali bulunmaktadır. Deformasyonun ihmal edilebilecek bir yüzey alanında olmasından kaynaklı, herhangi emniyetsiz bir durum meydana gelmemektedir.

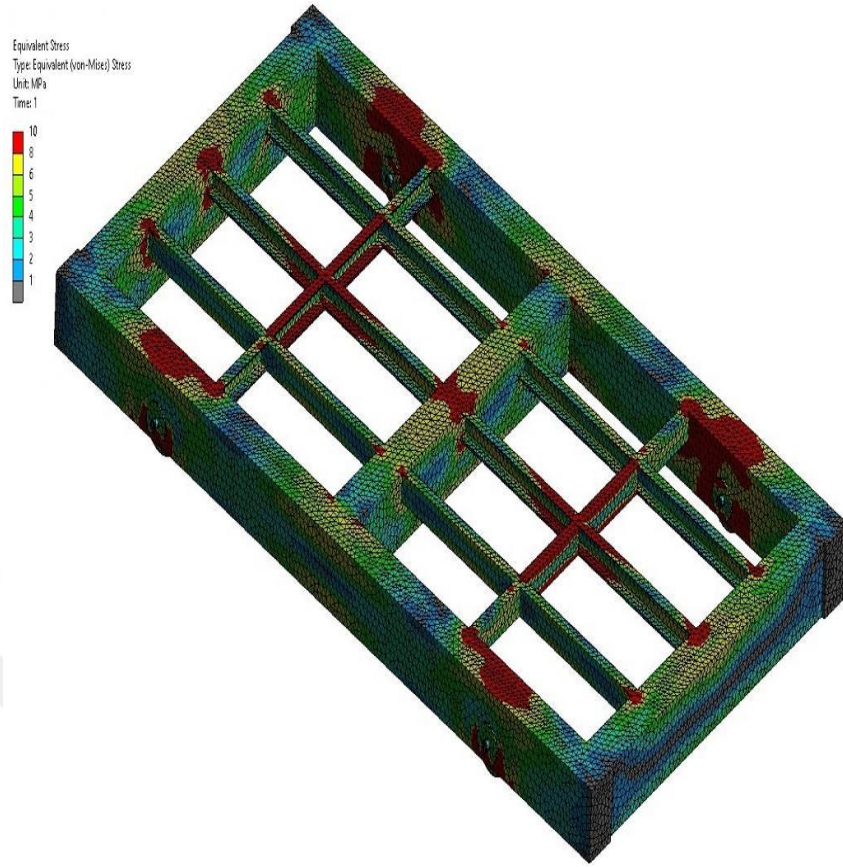
**Tablo 5.3.** 30000 N yük altında bölgesel deformasyon miktarı

| Renk       | Deformasyon Miktarı |
|------------|---------------------|
| Kırmızı    | 0.2 mm              |
| Turuncu    | 0.17 mm             |
| Sarı       | 0.15 mm             |
| Açık yeşil | 0.13 mm             |
| Yeşil      | 0.11 mm             |
| Açık mavi  | 0.08 mm             |
| Koyu mavi  | 0.05 mm             |
| Lacivert   | 0.04 mm             |
| Gri        | 0.02 mm             |

İhmal edilecek düzeydeki deformasyonun meydana gelmesinin sebebi, ilgili yüzey alanında kullanılan malzemenin ince malzemedir. Bu noktada, raylı transfer arabasına yüklenecek olan yükün belirli noktalara dağılımının yapılması gerekmektedir. Yük, tek başına kırmızı renk ile işaretlenmiş noktada konumlandırılmaz.

Koyu mavi, gri ve yeşil alanlarda kullanılan malzeme, mukavemet dayanımı yüksek olan Hardox çeliği olduğundan, bu bölgelerde herhangi bir yük birikmesi görülmemektedir.

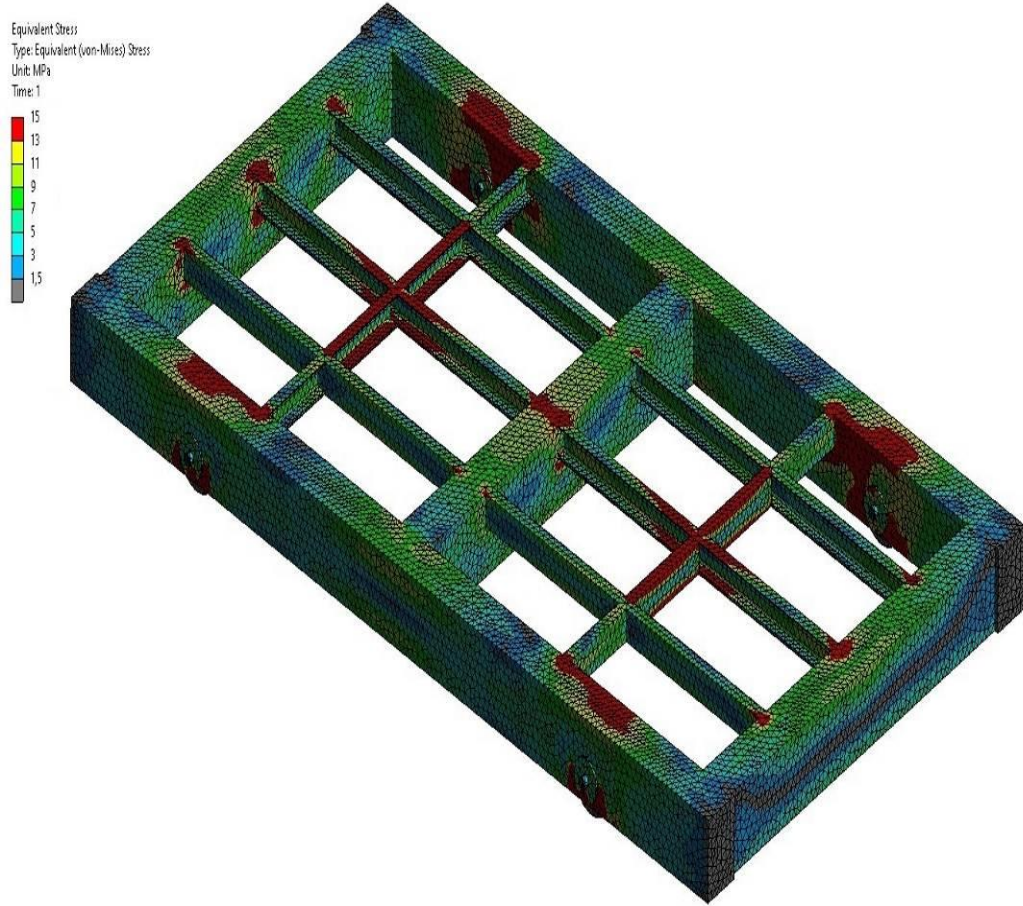
Çelik konstrüksiyon tasarımlarında, mukavemetin istenen düzeye gelebilmesi adına genellikle kaynaklı konstrüksiyondan ziyade, cıvatalı montaj tercih edilmektedir. Cıvatalı montajlamada, kopma ve kırılma gibi durumların söz konusu olması pek mümkün değildir. Fakat kaynaklı konstrüksiyonda, kaynaktan dolayı kırılma ve kopmalar meydana gelebilmektedir. Kaynak kalınlıklarının, belirlenmiş parametrelere uygun olarak yapılması, bu noktada belirleyicidir. Şekil 5.5'te 100000 N yük altında malzemede meydana gelen deformasyon, renklendirmelerle gösterilmiştir. Tablo 5.4'te, Şekil 5.5'te verilen görsele göre, malzemede meydana gelen deformasyon miktarları açıklanmıştır. Şekil 5.6'da toplam deformasyon miktarı, Tablo 5.5'te bölgesel deformasyon miktarı verilmiştir. Şekil 5.7'de meydana gelen deformasyon, Tablo 5.6'da bölgesel deformasyon miktarları verilmiştir. Şekil 5.8'de meydana gelen deformasyon, Tablo 5.7'de deformasyon miktarları verilmiştir.



**Şekil 5.5.** 100000 N altında toplam deformasyon miktarı

**Tablo 5.4.** 100000 N yük altında bölgesel deformasyon miktarı

| Renk       | Deformasyon Miktarı |
|------------|---------------------|
| Kırmızı    | 10 MPa              |
| Sarı       | 8 MPa               |
| Açık yeşil | 6 MPa               |
| Koyu yeşil | 5 MPa               |
| Turkuaz    | 4 MPa               |
| Açık mavi  | 3 MPa               |
| Koyu mavi  | 2 MPa               |
| Gri        | 1 MPa               |

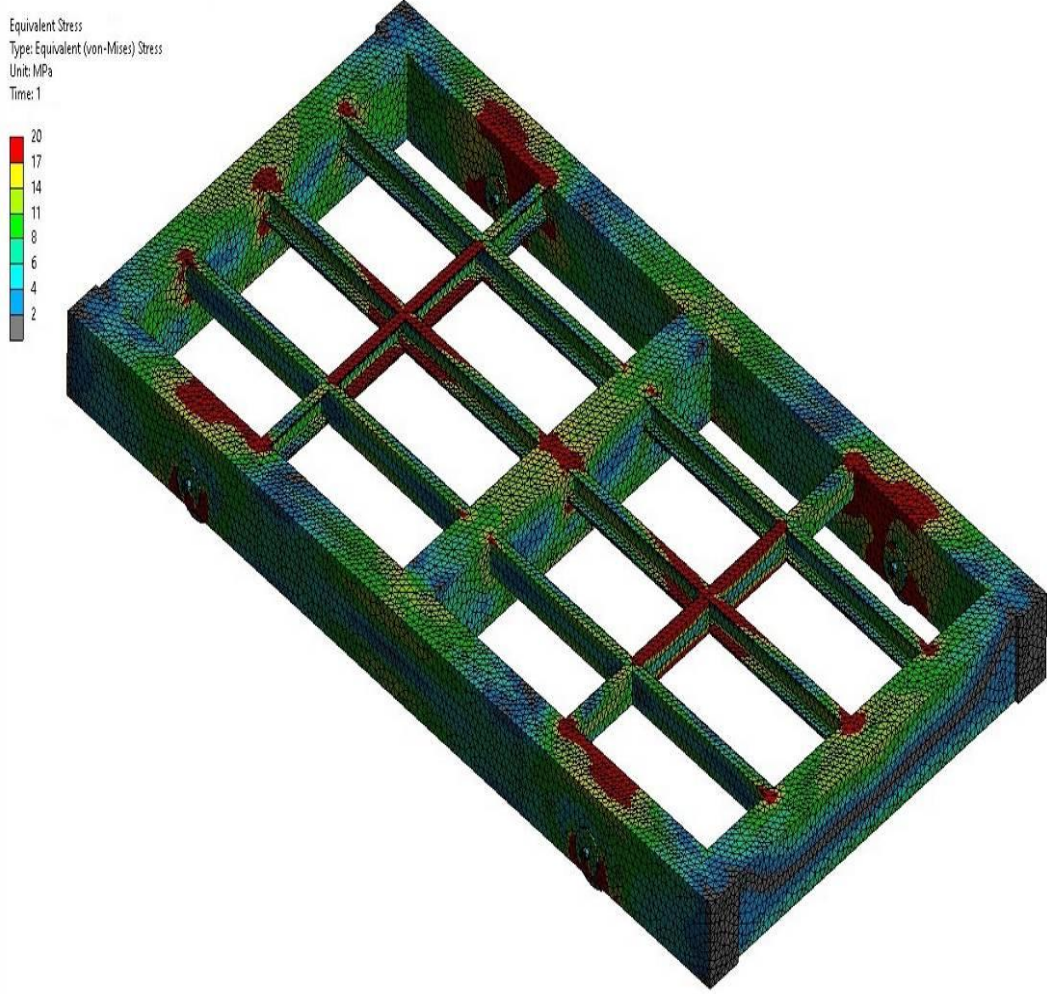


Şekil 5.6. 150000 N altında toplam deformasyon miktarı

Tablo 5.5. 150000 N yük altında bölgesel deformasyon miktarı

| Renk       | Deformasyon Miktarı |
|------------|---------------------|
| Kırmızı    | 15 MPa              |
| Sarı       | 13 MPa              |
| Açık yeşil | 11 MPa              |
| Koyu yeşil | 9 MPa               |
| Turkuaz    | 7 MPa               |
| Açık mavi  | 5 MPa               |
| Koyu mavi  | 3 MPa               |
| Gri        | 1.5 MPa             |

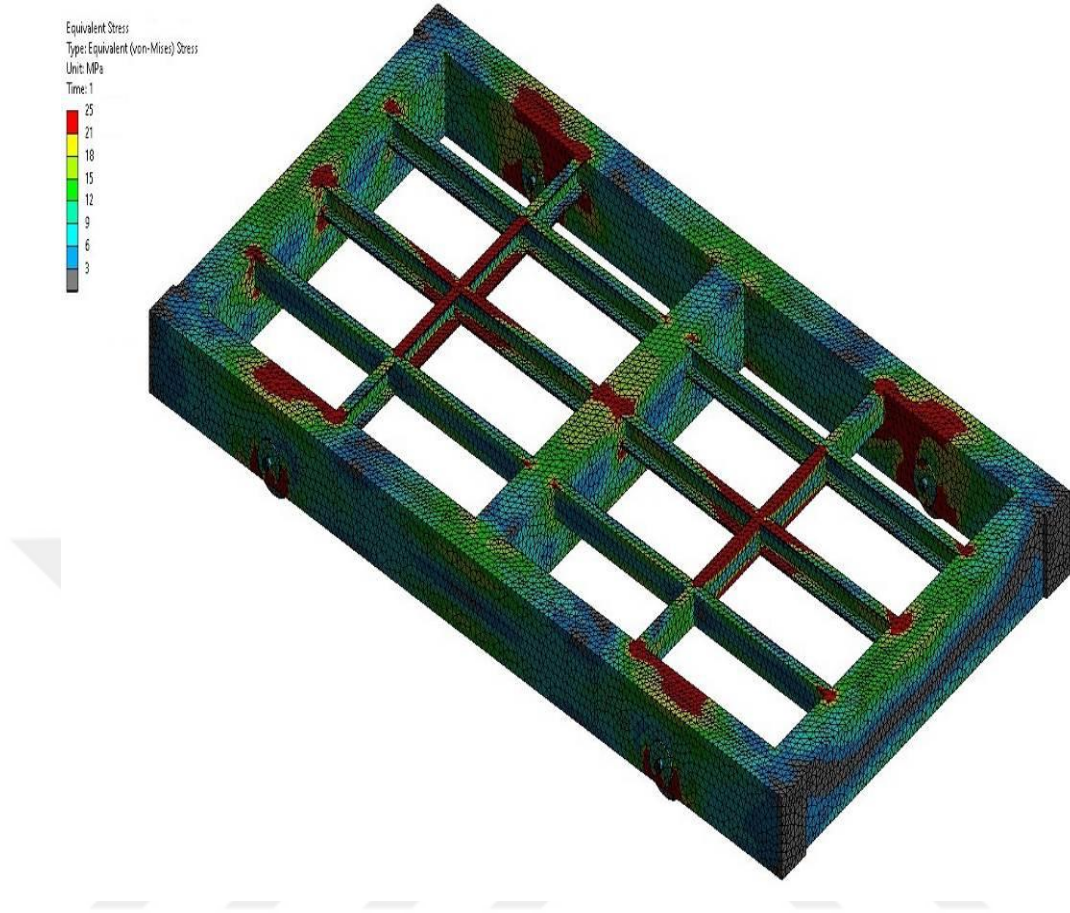




Şekil 5.7. 200000 N yük altında toplam deformasyon miktarı

Tablo 5.6. 200000 N yük altında bölgesel deformasyon miktarı

| Renk       | Deformasyon Miktarı |
|------------|---------------------|
| Kırmızı    | 20 MPa              |
| Sarı       | 17 MPa              |
| Açık yeşil | 14 MPa              |
| Koyu yeşil | 11 MPa              |
| Turkuaz    | 8 MPa               |
| Açık mavi  | 6 MPa               |
| Koyu mavi  | 4 MPa               |
| Gri        | 2 MPa               |

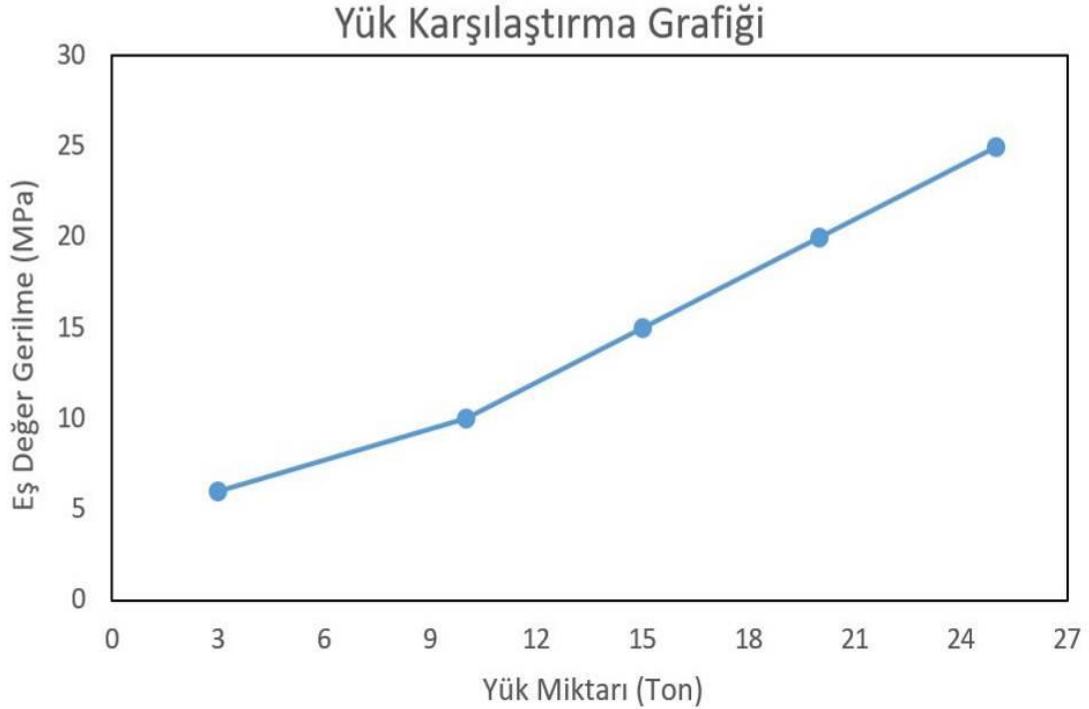


Şekil 5.8. 250000 N yük altında toplam deformasyon miktarı

Tablo 5.7. 250000 N yük altında bölgesel deformasyon miktarı

| Renk       | Deformasyon Miktarı |
|------------|---------------------|
| Kırmızı    | 20 MPa              |
| Sarı       | 17 MPa              |
| Açık yeşil | 14 MPa              |
| Koyu yeşil | 11 MPa              |
| Turkuaz    | 8 MPa               |
| Açık mavi  | 6 MPa               |
| Koyu mavi  | 4 MPa               |
| Gri        | 2 MPa               |

Şekil 5.9’da, tez çalışmasında farklı türdeki yüklerin raylı transfer arabasına verilmesiyle, yük uygulanan raylı transfer arabasındaki eşdeğer gerilme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Buna göre;



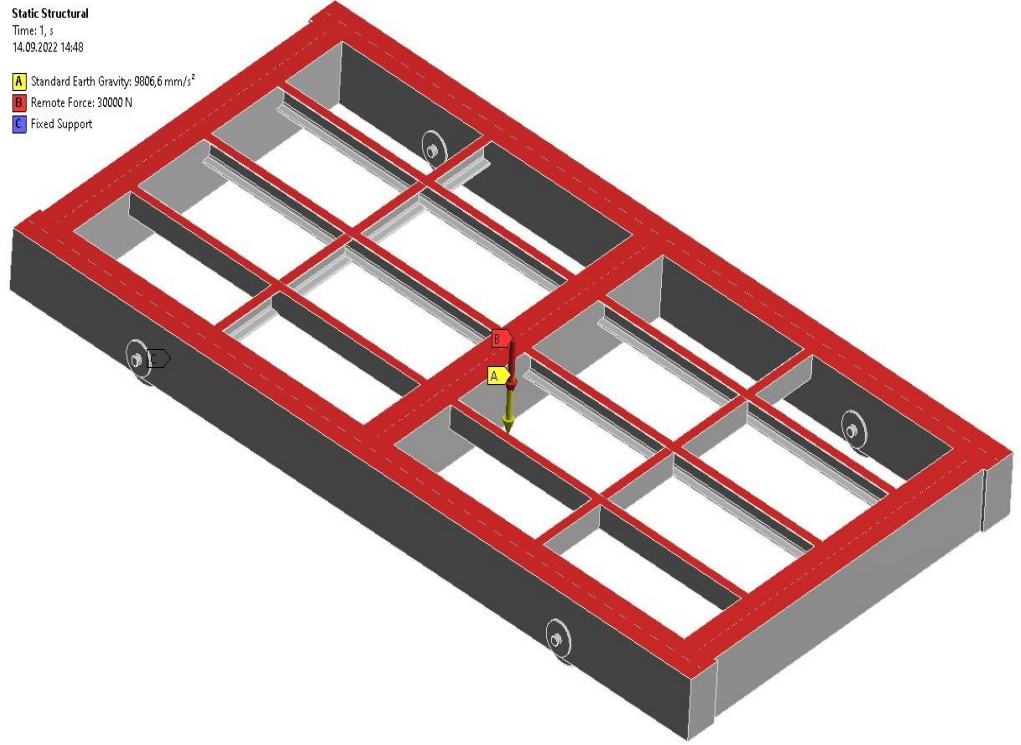
**Şekil 5.9.** Farklı yükler altında eşdeğer gerilme miktar grafiği

Tablo 5.8’de, tez çalışmasında raylı transfer arabasına verilmiş farklı yükler ve bu yüklerle karşılık gelen eşdeğer gerilme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Eşdeğer gerilme kuvveti yükseldikçe, malzemedeki emniyet katsayısı düşmektedir. Emniyet katsayısının 1’den düşük olduğu durumlarda, malzemenin emniyetsiz olduğu saptanır.

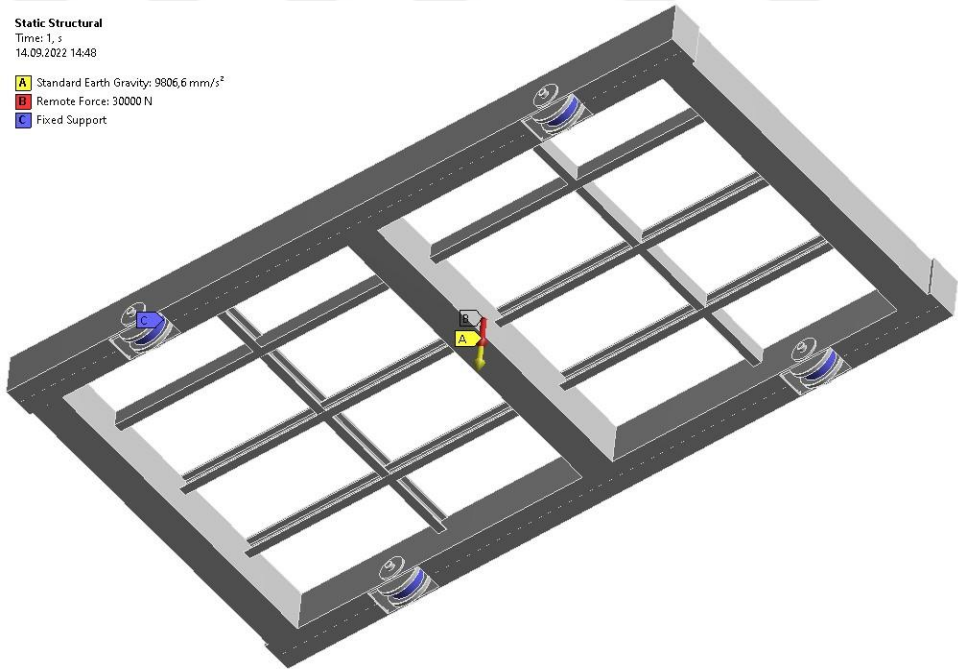
**Tablo 5.8.** Eşdeğer gerilme – yük karşılaştırması

| Eşdeğer Gerilme (MPa) | Yük Miktarı (ton) |
|-----------------------|-------------------|
| 6                     | 3                 |
| 10                    | 10                |
| 15                    | 15                |
| 20                    | 20                |
| 25                    | 25                |

Sonuç olarak; 30000 N yük taşıma kapasitesi hesabına göre imal edilen raylı transfer arabasının kullanımının uygun olduğu ve malzemede yükten kaynaklı herhangi bir kırılma, çatlama, deformasyon meydana gelmeyeceği söylenebilir. Şekil 5.10 ve 5.11’de analizi yapılan aracın alt ve üst görünüşleri verilmiştir.



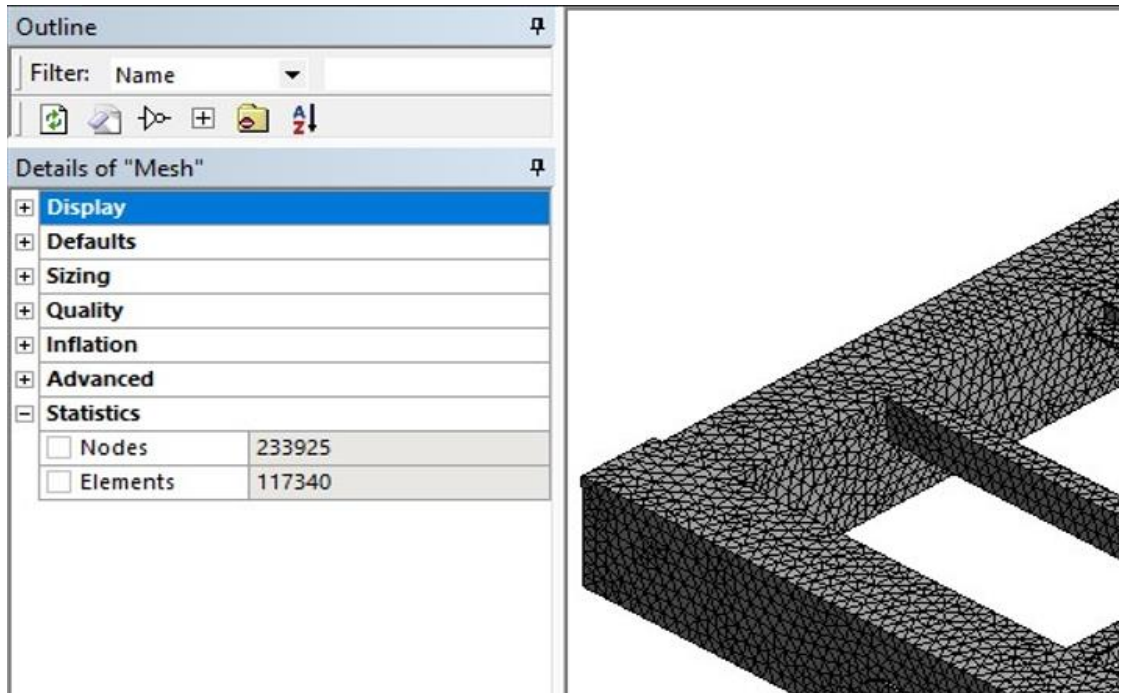
Şekil 5.10. Yayılı yük analizi yapılan transfer arabasının üst model görünümü



Şekil 5.11. Yayılı yük analizi yapılan transfer arabasının alt model görünümü

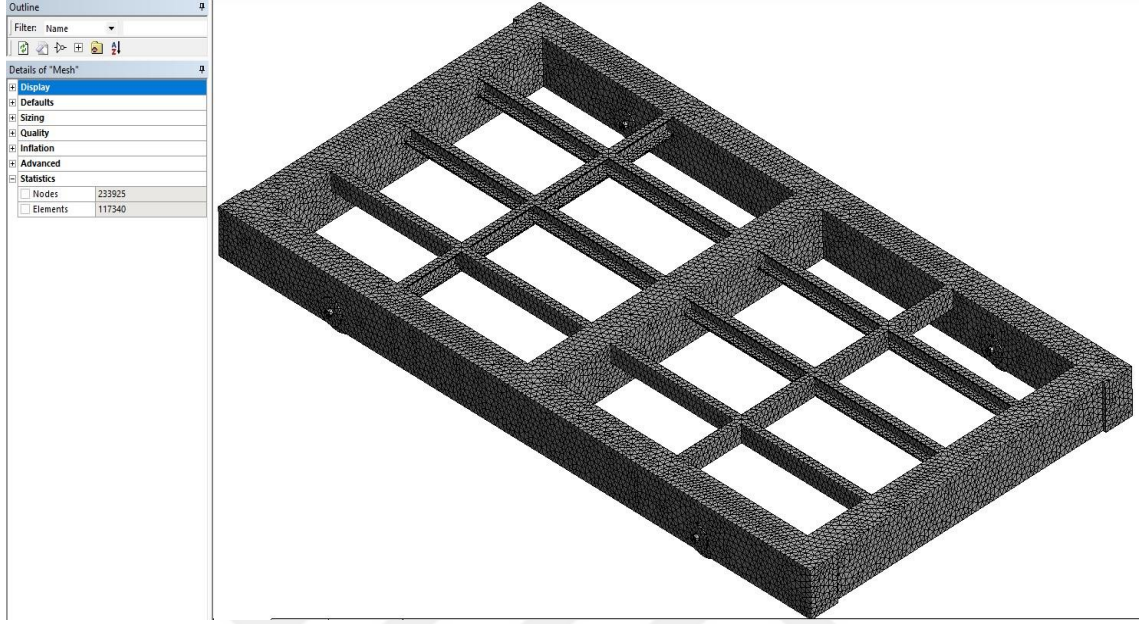


30000 N olarak uygulanan yük, rayı transfer arabasının üst yüzeyinin tamamını kapsayacak şekilde yüklenmiştir. Bu noktada seçilen yük analiz çeşidi, ‘Yayılı Yük’ olarak belirlenmiştir. Yayılı yük, arabanın tamamına etki etmiştir. A harfi ile işaretlenmiş nokta, yer çekimi kuvvetinin yönünü göstermektedir. B harfi ile gösterilmiş nokta, uygulanan yük kuvvetinin hangi yönde olduğunu göstermektedir. 5.10 ve 5.11’de gösterilmiş olan görsellerle sınır şartları belirlenmiştir. Buna göre yük verilen alanlarda, en çok kuvvete maruz kalan alanın kırmızı bölgeyle gösterilmiş olan alanlar olduğu saptanmaktadır. Kırmızı renkle işaretlenmiş alanlarda kullanılan NPU 100 profil, daha etli ve daha güçlü bir NPU profili ile değiştirilebilir. Kırmızı bölgenin ihmal edilecek düzeyde deformasyona maruz kalmasının sebebini ağırlık merkezinin yüke maruz kalması olarak açıklayabiliriz. Mühendislik disiplininde bir ürünün veya malzemenin kırılma veya bozulma yaşadığı alanların başında ağırlık merkezi gelmektedir. Herhangi bir malzemenin farklı noktalarına bir kuvvet uygulandığı zaman, bu kuvvetin malzeme üzerinde herhangi bir bozulmaya yol açması pek mümkün değildir. Şekil 5.12’de, yayılı yük analizi yapılan transfer arabasının düğüm ve element sayıları belirtilmiştir. Buna göre toplam düğüm sayısı 233925 iken, toplam element sayısı ise 117340 olarak ifade edilebilir.



Şekil 5.12. Ansys analiz sonucuna göre oluşan düğüm (node) ve eleman (element) sayısı

Şekil 5.13'te, raylı transfer arabasında kullanılan Mesh çeşidi gösterilmiştir. Buna göre kullanılan Mesh çeşidi Üçgen yani, 'Tetrahedron Elements' olarak ifade edilebilmektedir.



Şekil 5.13. Ansys analiz sonucuna göre Mesh çeşidi

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışmasının bu kısmında, yapılan çalışmanın sonuçları ve iyileştirme adına da önerileri yapılacaktır.

### 6.1. Sonuçlar

Bu tez çalışması, AutoCAD bilgisayar destekli teknik çizim programından 2 boyutlu fayda ile Solidworks mühendislik programıyla 3 boyutlu modelleme yardımı ile ve Ansys analiz programı ile de yük analizi ve çözümlemesi yapılarak tamamlanmıştır.

AutoCAD programı sayesinde iki boyutlu imalat resimleri oluşturulmuştur. Transfer arabasının uzunluğu, genişliği, yüksekliği ve iç ölçüleri kaynaklı birleştirme yöntemiyle montajlanmıştır. Raylı transfer arabasının alt kısmında bulunan ray sistemi de yine aynı şekilde AutoCAD yardımıyla dizayn edilmiştir. 2 boyutlu imalat projeleri tamamlandıktan sonra, Solidworks programı yardımıyla 3 boyutlu modelleme yapılmıştır.

Son aşamada ise Ansys programı sayesinde yayılı yük analizi yapılmıştır. Yayılı yük analizleri farklı yükler uygulanarak yapılmıştır. Uygulanan yükler 30000 N, 100000 N, 150000 N, 200000 N, 250000 N'dur. Her bir yük için ayrı ayrı deformasyon miktarı hesaplanmış, tablo ve görsellerle ifade edilmiştir. Buna göre en fazla yük binen alan, raylı transfer arabasının orta kısmı olan yerler olarak belirlenmiştir.

Analiz programında Mesh çeşidi olarak, Üçgen yayılım kullanılmıştır. Düğüm ve eleman sayıları da sistem üzerinden otomatik olarak verilmiştir. Buna göre imalat sahasında kullanılacak raylı transfer arabasının 50000 N yük taşıma kapasitesi bulunmaktadır. İç lojistik, diğer lojistik çeşitlerinden farklılık göstermektedir. İç lojistikte, çalışma alanının dar olmasından kaynaklı, hareket ve dönme kabiliyetleri kısıtlıdır. Bu sebepten, malzeme transfer hatları tasarımının doğru şekilde planlanması gerekmektedir. Tesis içi yerleşim planının üretimi aksatmayacak şekilde bir düzen içerisinde olması gerekmektedir. Örneğin, ön imalat alanı ile ürünün çıkış yapacağı son alan arasında üretim prosesinin işlenmesi gerekmektedir. Üretim hatları arasında geriye dönüşlerin olmaması, hem üretimi hızlandıracaktır hem de süreç kayıplarının yaşanmamasını sağlayacaktır.

## 6.2. Öneriler

Üretim ile ilgili zaman ve enerji kayıplarının önüne geçilebilmesi adına yalın üretim metotlarının işletilmesi, büyük önem taşımaktadır. İşletmelerde meydana gelen en büyük zaman kayıpları, genel olarak malzeme transport işlemlerinden meydana gelmektedir. Bu tarz zaman ve enerji kayıplarının yaşanmaması adına, doğru bir yerleşim planı ve doğru bir malzeme transport hattı belirlenmesi gerekmektedir.

Üretim yönetimi organizasyonlarının verimli ve seri bir şekilde gerçekleşmesini sağlayacak olan raylı transfer arabasının imalat proseslerini ve analiz süreçlerini incelemeyi amaçlayan tez çalışmamda Öneriler bölümüyle tamamlanacaktır. Bu bölümde üretim yönetim sistemlerinin verimli bir şekilde çalışmasını sağlayacak iç lojistik yönetimi ele alınacaktır. Raylı malzeme transfer arabasının imalinde kullanılan malzeme çeşitleri arasında Hardox çeliği bulunmaktadır. İhtiyaca göre, Hardox yerine St grubu çelikler de kullanılabilir.

Aynı zamanda, üretim alanı içerisinde malzeme transfer arabası sürekli kullanılmadığından, tekerlek grubunun alüminyum olması uygun görülmüştür. Farklı imal yöntemlerinde, farklı karakterde malzeme çeşidi de kullanılabilir. Tez çalışmasının ilk bölümü olan giriş kısmında, mevcut çalışmanın amacı, yapılış biçimi ve esasları bildirilmiştir. Bu esaslara dayanarak imalat ve analiz uygulamaları yapılmıştır. İmalat sırasında kaynaklı birleştirme işlemi yoğun bir şekilde yapılmış ve mevcut imalatın temelini oluşturmuştur. İkinci bölümde ise mevcut çalışmanın akademik anlamda araştırması yapılmıştır.

Günümüz çağına gelene dek geçen süreçte, malzeme transferinin ortaya çıkış, gelişim ve kabul aşamaları incelenmiştir. Raylı malzeme transfer arabası, ihtiyaca yönelik çeşitli alanlarda ve sektörlerde kullanılabilmektedir.

Üretim yapan fabrika veya işletmelerde yalın üretim modeli kullanılmaktadır. Yalın üretim modeli, mevcut iş ve iş planının en sade şekilde işletilmesini amaçlamaktadır. Bu noktada, depo ve stok yönetimi de büyük önem taşımaktadır. Raylı malzeme transfer arabası sayesinde, üretim hattındaki istasyonlar arası geçiş ve üretim prosesi verimli şekilde işletilebilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Agricola, G.**, (1556). “De Re Metallica, Translated from the First Latin Edition.
- Anonim**, 2012, Material Handling and [www.wikimheda.org/wiki/Material\\_handling\\_history](http://www.wikimheda.org/wiki/Material_handling_history).
- Atmaca, E.** Erol, S., 2002, Esnek üretim sistemlerinde yükleme ve rotalama problemleri ile ilgili literatür araştırması, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*, 7, 2, sf. 300-301.
- Baudin, M.** (2004). *Lean logistics: the nuts and bolts of delivering materials and goods*, productivity press, New York.
- Berkmen, E.**, 1963, *Demiryolları Çekimi, İkinci Baskı, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul*, 1963.
- Braglia, M.**, Gabbrielli, R. And Miconi, D., 2001. material handling device selection in cellular manufacturing, *Journal of multi-criteria decision analysis*, 10, 303-315.
- Brauner, N.** And Finke, G., 2001. Optimal moves of the material handling system in a robotic cell, *International Journal Production Economics*, 74, 269 – 277.
- Correa, A.L.**, Longevin, A. and Rousseau L.M., 2007. Scheduling and routing of automated guided vehicles: A hybrid approach, *computers & operations research*, 34, 1688 – 1707.
- Dartnall, J.**, 2011. Part 3 material handling and identification Technologies, pearson education inc, p. 288 – 289.
- Fonseca, D. J.**, Uppol, G. And Greene, T. J., 2004. A knowledge – based system for conveyor equipment selection, *expert systems with applications*, 26, 615 – 623.
- Graves, C.** Stephen, 1999, ‘Manufacturing planning and control’, *Massachusetts Institute of Technology*.
- Harkort, F.**, 1833, *Die Eisenbahn von Minden nach Coeln*.
- Harrison, M.**, 1990, advanced manufacturing technology management, *Pitman Publishing*, London.
- Hassan, M. M. D.**, 2006, engineering supply chains as systems, *systems engineering*, 9, sf. 73 – 89.
- Herogu, S. S.**, 2008. facilities design, *CRC pressing*, USA.
- Hiregoudar, C.** and Reddy, B.R., 2007. Facility planning & layout design: An industrial perspective, *Technical Publications Pure*, India.
- İmrak, E.**, Gerdemeli, İ., 2012, *Transport Tekniği: Bölüm – 1*.

- Kılıç, H. S.**, Yalın Üretim Ortamında İç Lojistik Sisteminin Tasarımı, 2011.
- Kim, K. H.** and Kim, H.B., 2002. The optimal sizing of the storage space and handling facilities for import containers, *Transportation Research*, 36, 821 – 835.
- Khayat, Khayat, G. E.**, Longevin, A. and Riopel, D. 2006. Integrated production and material handling scheduling using mathematical programming and constraint programming, *European Journal of Operational Research*, 175, 1818 – 1832.
- Konat, L.**, Pekalski G., Oskwarek M., macro and microstructural properties of welded joints of Hardox 400 and Hardox 500 steels, XIX scientific conference, development problems of working machines, technical magazine, Zakopane, January, 2006.
- Kotha, S.**, Swamidass P.M, 2000. ‘Strategy, Advanced Manufacturing Technology and Performance : Empirical Evidence from U.S. Manufacturing Firms’, *Journal of Operations Management*, 18, 257 – 277.
- Kulak, O.**, 2005. A decision support system for fuzzy multi – attribute selection of material handling equipments, expert systems with applications, İstanbul, 29, sf. 310 – 319.
- Kulwiec, R.A.**, 1985. *Material handling handbook*, John Wiley & Sons.
- Lashkari, R.S.**, Boparai, R., Paulo, J., 2004. Towards on integrated model of operation allocation and material handling selection in cellular manufacturing systems, *International Journal of Production Economics*, 87, sf. 115 – 139.
- Magee, J. F.**, ‘Production planning and inventory control’, Mc Graw – Hill Book Company, New York, 1958.
- Metal, Oks Ürün Kataloğu**, İstanbul, 2001.
- Milli Eğitim Bakanlığı**, 2011. *Raylı sistemler araç tekniği, raylı sistemler mekaniği*, sf. 59 – 61.
- Mirhosseyni, S.H.L.**, and Webb, P., 2009. A hybrid fuzzy knowledge – based expert system and genetic algorithm for efficient selection and assignment of material handling equipment, expert system with applications, 36, sf. 11875 – 11887.
- Mulhacy, D. E.**, 1998. *Material Handling Planning Handbook*, MC Graw – Hill, sf. 142 – 148.
- Oskwarek, M.**, Structural features and susceptibility to cracking of welded joints of Hardox 400 and Hardox 500 steels, conference proceedings, IV Scientific Conference of Students, *Wroclaw University of Technology Publishing House*, Wroclow, 2006.

- Sarıca, M.**, Seri İmalat Yapan Bir İşletmede Üretim Planlama ve Kontrolü, *Yüksek Lisans Tezi*, 1998.
- Savaşkan, T.**, ‘Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi’, *Papatya Bilim Yayıncılık, İstanbul*, 2019.
- Sayarshad, H.R.**, 2010. Using bees algorithm for material handling equipment planning in manufacturing systems, *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 48, sf. 1009 – 1018.
- Singh, N.**, 1996. Flexible Manufacturing Systems, System Approach to computer – integrated design and manufacturing, sf. 529 – 576.
- SSAB**, 2005. Welding, Hardox, weldox, Information Materials of the SSAB, Oxelösund Steel Mill, 2005.
- Steele, D.C.**, Berry, W. L., Chapman, S.N., ‘*Planning and controlling multicell manufacturing, decision sciences*’, U.S.A, 1995.
- Sule, D.R.**, 1994. Manufacturing planning facilities, *PWS Publishing Company*, Boston, 1994.
- Tompkins, J.A.** White, J. A, Bazer, Y. A, Frazella, E.H, Tanchoco, J. M. A., Trevino, J., 1996, Facilities Planning. 2nd. Ed. USA: John Wiley & Sons, Inc. 1996.
- Tompkins, J.A.** and White, J.A., 1984. Facilities Planning, *John Wiley & Sons*, United States of America, 1984.
- Tunç, T.**, 2013. Analitik hiyerarşi sürecinin malzeme taşıma sistemi seçiminde uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, sf. 116.
- UDHB**, 2011. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2011. Monoray İnceleme Raporu, sf. 2-5.
- White, A.J.**, and Apple, J.M., 1985. *Material Handling Requirements are Altered Dramatically by CIM Information Link*, *Industrial Engineering*, 1985, sf. 42- 48.
- Yaman, R.**, 2001. A knowledge – based approach for selection of material handling system pre – design, *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*, 25, sf. 267 – 278.
- Yang, T.**, Peters, B.A., and Tu, M., 2005. Layout design for flexible manufacturing system considering single – loop directional flow patterns, *European Journal of Operational Research*, 164, sf. 440 -455.
- Zeigler, B. P.**, Praehofer, H., Kim, T. G., 2000. Theory of Modelling and Simulation, San Diego, CA. *Academic Press*.

(<https://www.ismakinesiehliyetsrc.com/>)  
(<https://www.arnikon.com.tr/>)  
(<https://www.kaizen40.com/>)  
(<https://dergipark.org.tr/tr/>)

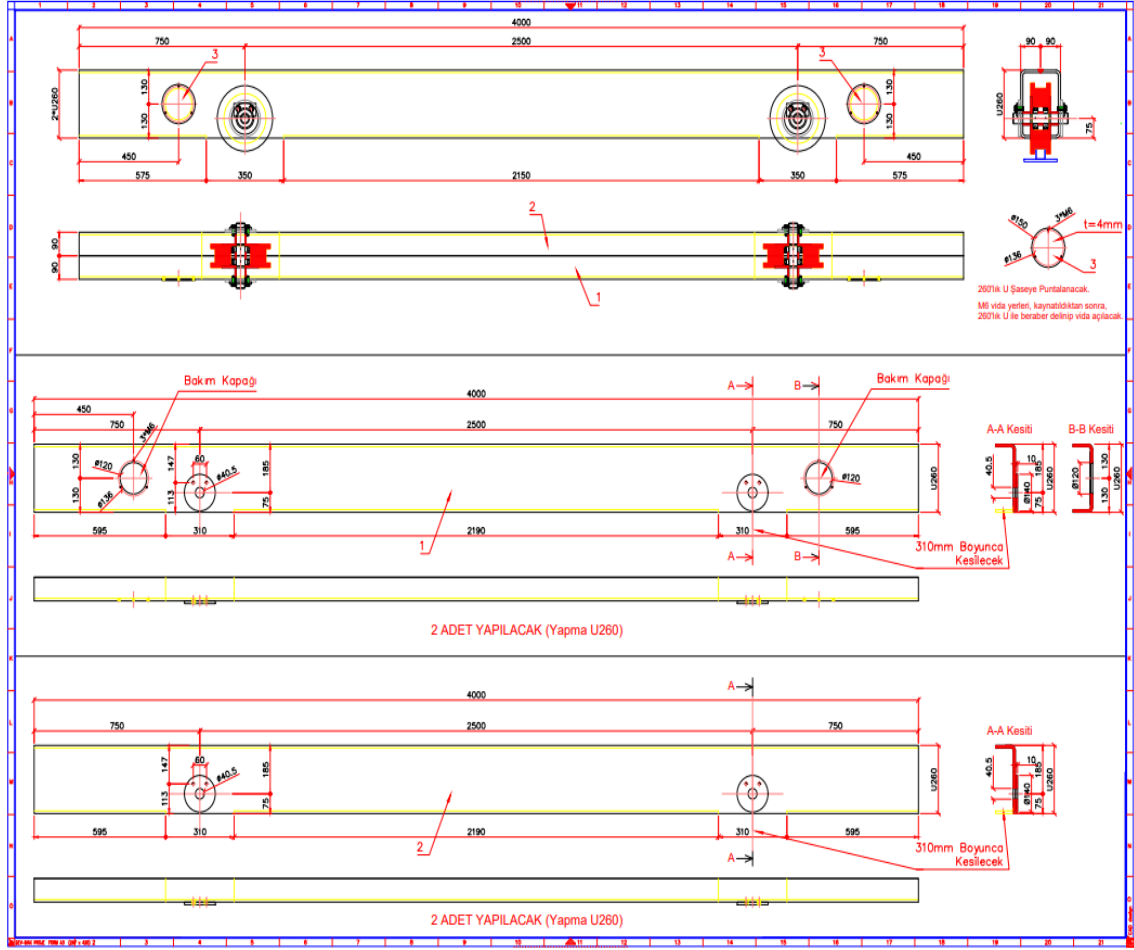




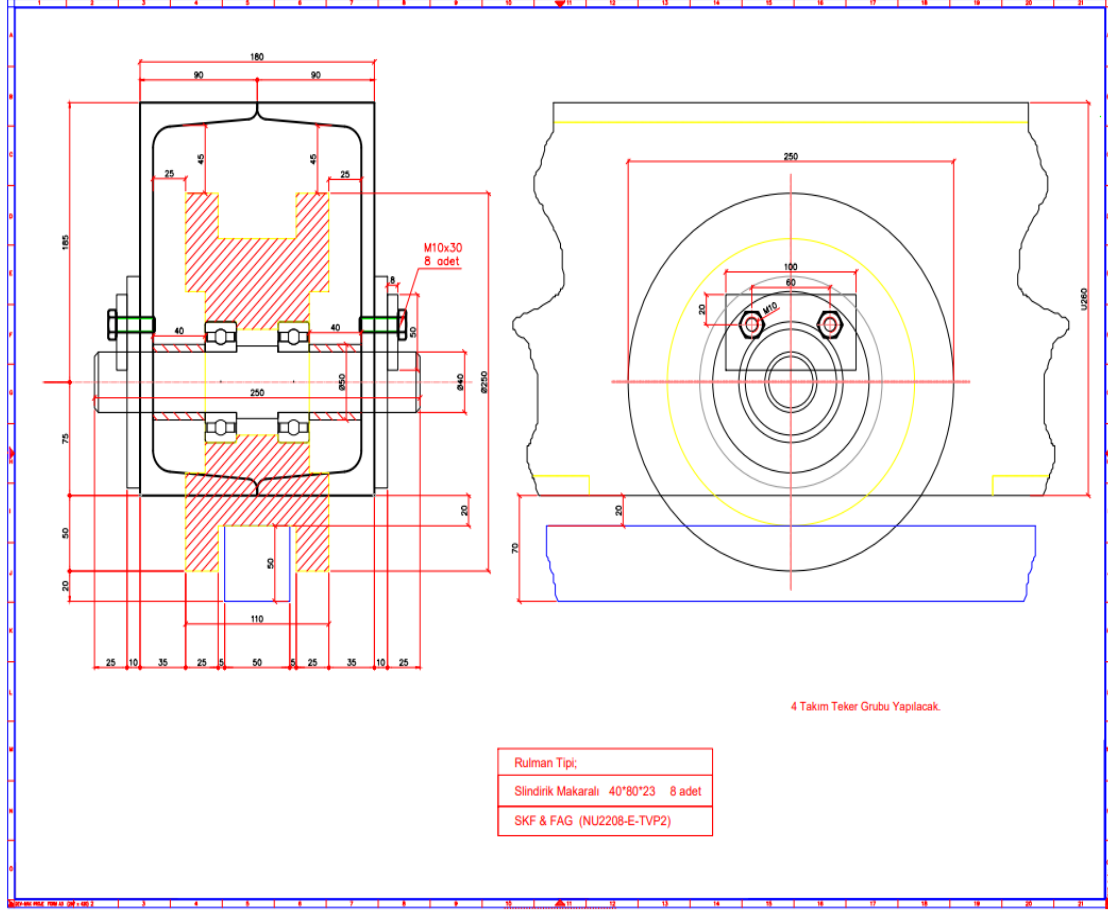
### EK – 1 Raylı Transfer Arabası Yan, Ön ve Üst Görünüşü (AutoCAD)



## EK – 2 Raylı Transfer Arabası Detay Görünümü (AutoCAD)

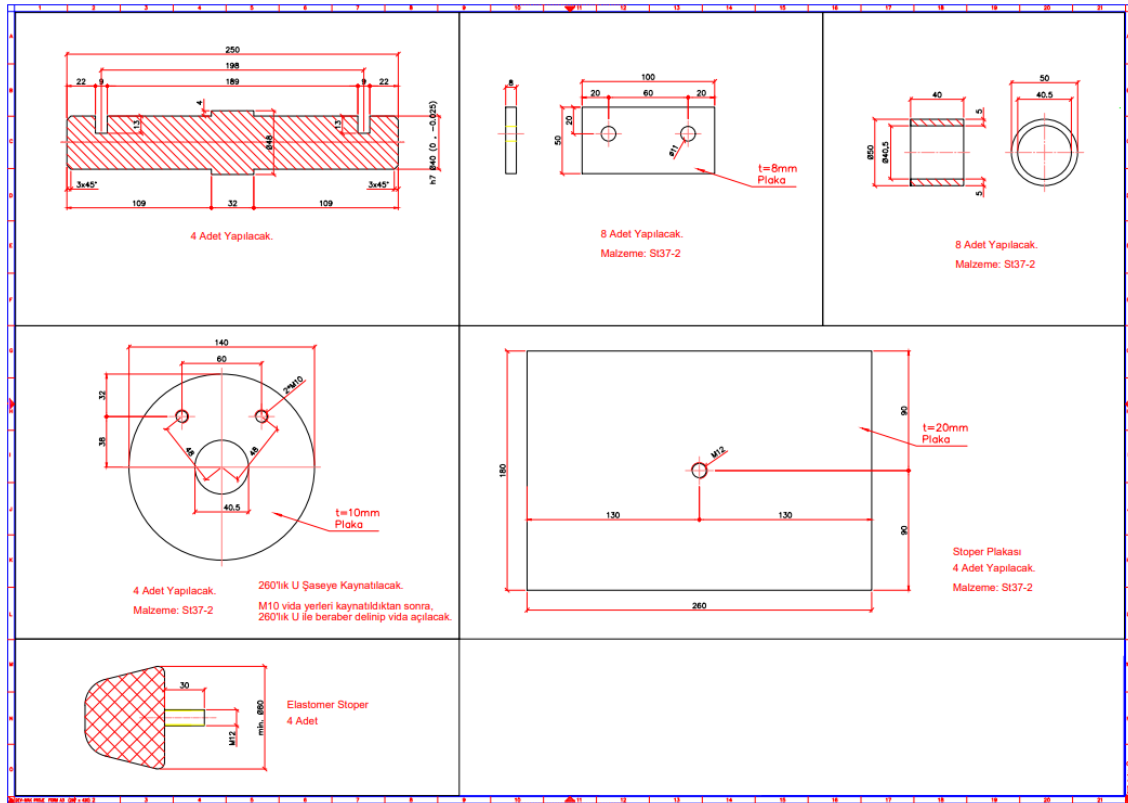


### EK – 3 Raylı Transfer Arabası Teker Detay Görünümü (AutoCAD)





## EK – 5 Raylı Transfer Arabası Teker Talaşlı İmalat ve Konstrüksiyon Detayı (AutoCAD)



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Orhan AKGÜNDÜZ  
**Uyruğu** : T.C.

### EĞİTİM

| Derece        | Adı, İlçe, İl                 | Bitirme Yılı |
|---------------|-------------------------------|--------------|
| Üniversite    | : Batman Üniversitesi, Batman | 2017         |
| Yüksek Lisans | : Batman Üniversitesi, Batman | Devam ediyor |
| Doktora       | : -                           | -            |

### İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl  | Kurum                                 | Görevi                   |
|------|---------------------------------------|--------------------------|
| 2017 | Proted Protez – Ortez Merkezi, Ankara | Kalite Kontrol Sorumlusu |
| 2018 | Devmak Galvaniz, Diyarbakır           | Üretim Saha Sorumlusu    |
| 2021 | Odabaşı Makine, Diyarbakır            | Üretim Müdürü            |