



# **YÜK VAGONLARI İÇİN EFEKTİF TARTIM SİSTEMİ TASARIMI VE PROTOTİP ÜRETİMİ**

**2025  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ**

**Önder ŞAKAR**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet CANAN**

**YÜK VAGONLARI İÇİN EFEKTİF TARTIM SİSTEMİ TASARIMI VE  
PROTOTİP ÜRETİMİ**

**Önder ŞAKAR**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet CANAN**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Ocak 2025**

Önder ŞAKAR tarafından hazırlanan “YÜK VAGONLARI İÇİN EFEKTİF TARTIM SİSTEMİ TASARIMI VE PROTOTİP ÜRETİMİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet CANAN .....  
Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 10/01/2025

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Murat AYDIN ( KBÜ)	.....
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet CANAN ( KBÜ)	.....
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYDIN ( PAÜ)	.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN .....  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Önder ŞAKAR

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### YÜK VAGONLARI İÇİN EFEKTİF TARTIM SİSTEMİ TASARIMI VE PROTOTİP ÜRETİMİ

Önder ŞAKAR

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet CANAN

Ocak 2025, 59 sayfa

Bu çalışmada belirli hat üzerinde ilerleyen yük vagonunun üretim sürecini aksatmadan tartım işleminin efektif tartım modülü aracılığıyla gerçekleştirilmesi, yeni nesil haberleşme ve tartım gösterge ekipmanlarının kullanılmasıyla, hassasiyeti ve doğruluğu yüksek tartım sisteminin tasarımı ve prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan tartım sisteminde yüksek performanslı çelik yapıda, IP67 koruma sınıfına sahip özel tip yük hücresi kullanılmıştır. Kullanılan yük hücresi ağır sanayi, madencilik, açık deniz, denizaltı ve havacılık gibi çoğu zorlu ortamda kullanım için uygun olmakla birlikte, tren ve vagon sistemleri için, rayların altına bağlanarak, yüksek hassasiyet ve doğrulukta tartımları için kolay ve efektif bir çözüm sunmaktadır. Bu çalışmanın sonunda, tasarımı yapılan prototip tartım sisteminin işletme içerisine montajı yapılmış, üretim hattının devamlılığı kesintiye uğramadan yük vagonlarının tartım işlemi gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca, demiryolu taşımacılığı alanında daha güvenli ve verimli tartım sistemi önerisi sunularak, mevcut kullanılan tartım sistemlerine kıyasla üstünlüğü ortaya koyulmuştur.

**Anahtar Sözcükler :** Yük vagonu, Tartım, Yük hücresi, Tartım göstergesi.

**Bilim Kodu** : 91419



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **DESIGN AND PROTOTYPE PRODUCTION OF EFFECTIVE WEIGHING SYSTEM FOR FREIGHT WAGONS**

**Önder ŞAKAR**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Machine Education**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Ahmet CANAN**

**January 2025, 59 pages**

In this study, the weighing process of a freight wagon moving on a specific line was effectively carried out using a weighing module without disrupting the production process, and a high-precision and accurate weighing system was designed and prototyped by utilizing next-generation communication and weighing indicator equipment. In the designed weighing system, a special type of load cell with high-performance steel construction and IP67 protection class was employed. The used load cell is suitable for use in most challenging environments such as heavy industry, mining, offshore, submarine, and aviation, and provides an easy and effective solution for weighing with high precision and accuracy by being attached under the rails for train and wagon systems. In the prototype weighing system, the number of load cells in the existing system was reduced, and the weighing process was performed without disrupting the production line's functionality. At the end of the study, the designed prototype weighing system was mounted within the operation, and the weighing of

freight wagons was performed without interrupting the continuity of the production line. Additionally, a safer and more efficient weighing system proposal was presented in the field of railway transportation, demonstrating its superiority compared to existing weighing systems.

**Key Word** : Freight wagon, Weigh, Load cell, Weigh indicator.

**Science Code** : 91419



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmet CANAN'a ve yine bu tezin hazırlanmasında değerli desteklerini esirgemeyen hocam Dr. Öğr. Üyesi Murat AYDIN'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Mekanik tasarım ve imalat konularında bilgi birikimini ve desteğini esirgemeyen BAYKON Endüstriyel Kontrol Sistemleri San. ve Tic. A.Ő.'ye teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
GENEL BİLGİLER .....	4
2.1. YÜK VAGONU .....	4
2.2. YÜK VAGONU TİPLERİ VE KULLANIM SAHASI.....	4
2.3. TARTIM İŞLEMİ .....	6
2.4. YÜK HÜCRESİ .....	7
BÖLÜM 3 .....	17
LİTERATÜR TARAMASI.....	17
BÖLÜM 4 .....	25
MATERYAL VE METOT .....	25
4.1. YÜK HÜCRESİ SEÇİMİ.....	26
4.2. VAGON TARTIM SİSTEMİ ÖZELLİKLERİ VE TASARIMI .....	27
4.3. ELEKTRONİK TARTIM CİHAZLARININ SEÇİMİ .....	28

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 5 .....	33
DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	33
5.1. MUKAVEMET ANALİZİ VE SİMULASYON .....	33
5.2. SİSTEMİN EFEKTİF TASARIM TARTIŞMASI.....	36
5.3. TARTIM SİSTEMİNİN KURULUMU .....	38
5.4. TARTIM SİSTEMİNİN KALİBRASYONU .....	44
5.5. ENDÜSTRİ UYGULAMASI ANALİZİ .....	46
5.6. VERİLERİN ALINMASI VE İŞLENMESİ .....	49
BÖLÜM 6 .....	52
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	52
6.1. SONUÇLAR .....	52
6.2. ÖNERİLER .....	53
KAYNAKLAR .....	54
ÖZGEÇMİŞ .....	59

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1.	Bir demir çelik işletmesinde gerçekleşen yüksek fırın imalat şeması.....	2
Şekil 1.2.	Bir demir çelik işletmesinde genel üretim sürecinin şematik gösterimi ...	3
Şekil 2.1.	Yüksek kenarlı açık vagon .....	6
Şekil 2.2.	U tipi tahıl vagonu.....	6
Şekil 2.3.	Lama tipi yük hücresi .....	8
Şekil 2.4.	Askı tipi yük hücresi .....	9
Şekil 2.5.	Baskı tipi yük hücresi.....	9
Şekil 2.6.	Özel tip yük hücresi.....	10
Şekil 2.7.	Çeşitli ray tartım sistemleri .....	14
Şekil 4.1.	Baykon BY540 model yük hücresi ölçüleri .....	26
Şekil 4.2.	BX23 cihaz görselleri.....	30
Şekil 4.3.	Bx23 teknik ölçüleri .....	30
Şekil 4.4.	RX100 genel görünümü .....	31
Şekil 4.5.	BJS-08A genel görünümü .....	32
Şekil 5.1.	Vagon tartım modül von Mises gerilim dağılımı .....	35
Şekil 5.2.	Vagon tartım modül statik toplam yer değiştirme dağılımı .....	36
Şekil 5.3.	Vagon tartım modül statik birim uzama dağılımı .....	36
Şekil 5.4.	Vagon tartım sistemi modül yerleşim .....	40
Şekil 5.5.	Vagon tartım sistemi hat yerleşim.....	40
Şekil 5.6.	Vagon tartım sistemlerinde genel kurulum .....	41
Şekil 5.7.	Klasik vagon tartım sistemlerinde yük hücresi montajı .....	41
Şekil 5.8.	Yeni tip tartım sistemi zemin yerleşimi .....	42
Şekil 5.9.	Yeni tip tartım sistemi mekanik yerleşimi .....	42
Şekil 5.10.	Yük vagon tartım sisteminin bağlantı şeması .....	43
Şekil 5.11.	Vagon tartım sistemi ağırlık ölçümü.....	47
Şekil 5.12.	Vagon tartım sistemleri yazılım arayüzü .....	50
Şekil 5.13.	Vagon tartım sistemleri girdileri .....	50
Şekil 5.14.	Vagon tartım sistemleri vardiya verileri.....	50
Şekil 5.15.	Vagon tartım sistemleri çıkış verileri .....	51

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1. Yük Vagonu Tipleri ve Kullanım Sahaları .....	5
Çizelge 4.1. Baykon BY540 Model Yük Hücresine ait Teknik Özellikleri.....	27
Çizelge 4.2. RX100 Harici Duvar Göstergesi Teknik Özellikleri .....	31
Çizelge 5.1. Kullanılan Birimler .....	33
Çizelge 5.2. Analiz Özellikleri.....	34
Çizelge 5.3. Etüt Özellikleri.....	34

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$\Omega$  : ohm

kg : kilogram

m  $\Omega$  : mili ohm

$^{\circ}\text{C}$  : santigrat derece

V : volt

mV : mili volt

mA : mili amper

mm : milimetre

t : ton

m : metre

N : newton

sn : saniye

Rad : radyan

MPa : megapaskal

yy : yüzyıl

Hz : hertz

E<sub>max</sub>: maksimum kapasite

## KISALTMALAR

- AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
- ISO : International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu)
- TBİC : Tartım Bilgi İletici Cihaz
- TGP : Tartım Gösterge Paneli
- DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
- IP : Ingress Protection (Giriş Koruması)
- AC : Alternate Current (Alternatif Akım)
- DC : Direct Current (Doğru Akım)
- TSE : Türk Standartları Enstitüsü
- RO : Rated Output (Çıkış Kazancı)
- RH : Relative Humidity (Göreceli Nem)
- SI : The International System of Units (Uluslararası Birim Sistemi)
- MKS : Metre Kilogram Saniye
- I/O : Input/Output (Giriş/Çıkış)

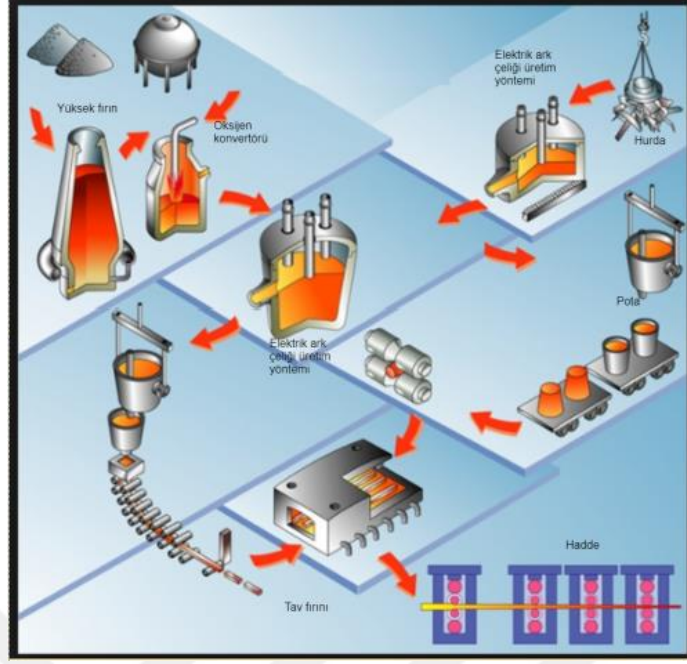
## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Demiryolu taşımacılığı, ekonomik, çevresel ve güvenilir bir taşıma seçeneği olarak giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu bağlamda, vagon tartım sistemleri, yük trenlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi ve verimliliğin artırılması için kritik öneme sahiptir. Bu tez, demiryolu taşımacılığındaki vagon tartım sistemlerinin mevcut durumunu değerlendirmeyi ve gelecekteki gelişmelere yönelik öneriler sunmayı amaçlamaktadır [1].

Ağır sanayi özellikle Demir çelik işletmelerinde üretim akışının seri ve iktisadi olarak gerçekleştirilmesi günümüzün hız ve rekabet ortamında çok daha fazla önem kazanmaktadır. Bu nedenle projemizin konusu olan ve bu üretim sürecinin bir parçası olan yüksek tonajlı metalurji ürünlerinin doğru, hızlı ve kolay tartılması belirtmiş olduğumuz faydaları işletmelere kazandırma noktasında yenilikçi bir çalışma olacaktır. Bu çalışmada en güncel haberleşme ve tartım sistemlerinin kullanılması öngörülmekte olup yük hücrelerinin demiryolları için yapılmış olan modellerinden faydalanılacaktır. Geleneksel yöntemlerde vagonlar manuel olarak ayrılır ve bu şekilde tartım işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu durum, gecikmemesi gereken nakliye işlemlerinde olası gecikmelere ve işletme maliyetlerinde artışa yol açmakta ve aynı zamanda tartım işlemleri için vagonlar üzerinde yapılması gereken ek çalışmalar nedeniyle potansiyel tehlikelere de neden olmaktadır. Çalışmamızda vagonların birbirinden ayrılmadan seri şekilde hareket etmeleri sağlanarak bu sorunların önüne geçilmesi için yenilikçi bir yöntem geliştirilmiş ve incelenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada, mekanik alt yapının kolay montaj ve demontaj yapılması işletmelere kurulum, işletme ve bakım maliyetlerini en aza indirerek rakipleri karşısında avantaj kazanmalarını sağlayacağı düşünülmektedir. Demir çelik işletmelerinde hammaddelerin ya da hurda malzemelerin üretim sürecine başlamadan önce ağırlıklarının ölçülmesi ayrıca üretim işlemi sonunda çıkan son mamulün ve cürufun





Şekil 1.2. Bir demir çelik işletmesinde genel üretim sürecinin şematik gösterimi [1].

Demir cevheri, kok, kireç taşı ve hava kullanılarak yüksek fırında sıvı ham demir (ceviz demiri) üretilir. Bu işlemden cevherdeki oksitler, karbon ile indirgenerek demir elde edilir. Ham demir, karbon içeriğini azaltmak ve çelik haline getirmek için oksijenle işlenir. Oksijenin demirle tepkimesi sonucu, fazla karbon giderilir. Elik, haddehane makinelerinde istenilen boyutlara ve şekillere getirilir. Bu işlemde çelik, yüksek sıcaklıklarda ve büyük kuvvetlerle şekillendirilir. Çelik teller, levhalar, borular veya profiller üretmek için bu işlemlerle son şekil verilmiş olur. Haddeleme sonrasında çelik, bazen soğutulur ve düzgün hale getirilir. Üretilen çeliklerin kalite kontrolü yapılır. Kimyasal bileşim ve mekanik özellikler test edilir. Çelik, istenilen standartlara uygunsa son ürüne dönüşür. Son ürüne, genellikle çelik levha, çubuk, boru, tel vb. şekillerde son şekli verilir. Ürünler, kullanılacağı alanlara gönderilmek üzere paketlenir ve dağıtıma çıkar [1].

## **BÖLÜM 2**

### **GENEL BİLGİLER**

Yük Vagonları 19. yy.'ın ortalarından, 20. yy.'ın ortalarına kadar, başta İngiltere olmak üzere kıta Avrupası ve Amerika Kıtası için ana ulaşım kaynağı olmuştur. Bu özelliğini büyük ölçüde yüksek yük taşıma kapasiteli yük vagonlarına borçludur. Yük vagonları tek seferde daha fazla ürün taşıyabildiği için ucuz bir taşıma seçeneği olmuştur. Endüstri devriminin en önemli sürükleyicisi olan demiryolu sistemleri özellikle ağır sanayi sektöründe günümüzde dahi önemini korumaktadır [2].

#### **2.1. YÜK VAGONU**

Yük ve yolcu taşımak için tasarlanan vagonlar birbirine bağlanarak bir lokomotif vasıtasıyla çekilen demiryolu araçlarıdır. Vagonların ilerleyebilmesini sağlayan kendi motorları mevcut değildir. Her bir vagon birbirine bağlanır ve en başta bulunan vagon bir lokomotifle bağlanır. Vagon tartım sistemleri, demiryolu endüstrisinde önemli bir rol oynayan teknolojik sistemlerdir. Bu sistemler, yük trenlerinin taşıdığı yük miktarını doğru bir şekilde ölçmek ve kontrol etmek için kullanılır. Bu ölçümler, trenlerin güvenli bir şekilde hareket etmesini sağlamanın yanı sıra, taşınan yük miktarının doğru bir şekilde faturalandırılmasını ve izlenmesini sağlar [2].

#### **2.2. YÜK VAGONU TİPLERİ VE KULLANIM SAHASI**

Vagon tartım sistemleri genellikle sabit ve hareketli vagon tartım sistemleri olarak iki ana tipe ayrılırlar. Genellikle demiryolu hatlarının belirli noktalarına kurulmuş sabit bir yapıya sahip olan ve trenlerin geçişi sırasında vagonların ağırlığını ölçmek için kullanılan sistemlere sabit vagon tartım sistemleri denir [2].

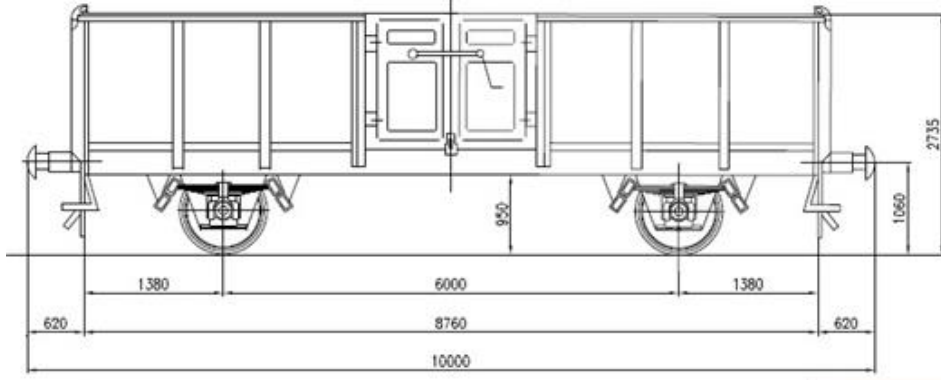
Sabit vagon sistemleri genellikle bir ölçüm kulesi ve sensörlerden oluşur. Vagonlar ölçüm kulesi üzerinden geçerken, sensörler vagonun ağırlığını ölçer [2].

Hareketli vagon tartım sistemleri ise, vagonların yüklenirken veya boşaltılırken doğrudan tartılmasını sağlayan taşınabilir bir yapıya sahiptir [3].

Bu sistemler genellikle tren istasyonlarında veya yük depolarında kullanılır. Vagonlar, tartım platformları üzerinden geçerken, platformdaki sensörler vagonun ağırlığını ölçerler. Çizelge 2.1’de yük vagonu tipleri ve bazı vagon resimleri de Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de verilmiştir [3].

Çizelge 2.1. Yük vagonu tipleri ve kullanım sahaları [3].

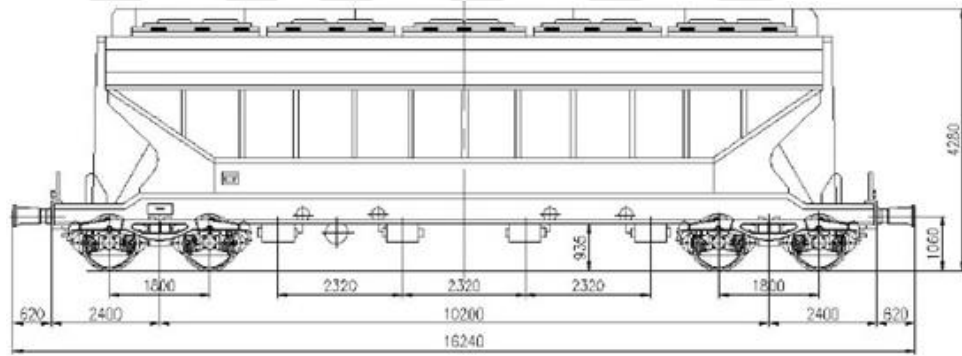
<b>Tipi</b>	<b>İnşa Tarzı</b>	<b>Kullanım Özellikleri</b>
G	Kapalı vagon	Eşya, gıda, torbalı çimento vb.
Uaa	Ağır yük vagonu	Trafo, jeneratör, reaktör
E	Yüksek kenarlı vagon	Konteyner, kömür, maden vb.
K-R	Platform vagon	Taşıt, demir, tarım makineleri vb.
Rilns	Çok amaçlı vagon	Taşıt ve Paletli Araçlar
S	Platform vagon	Tank, ağır iş makineleri vb.
F	Yüksek kenarlı vagon	Kömür ve maden cevherleri
Ta	Dökme yük vagonu	Dökme cevher
Z	Sarnıçlı vagon	Akaryakıt ve sıvı



E Tipi Yüksek Kenarlı Açık Vagon  
E Type High-Sided Open Wagon



Şekil 2.1. Yüksek kenarlı açık vagon [3].



U (Uadgs) Tipi Tahıl Vagonu  
U (Uadgs) Type Grain Wagon



Şekil 2.2. U tipi tahıl vagonu [3].

### 2.3. TARTIM İŞLEMİ

Tartım, bir nesnenin ağırlığını belirleme işlemidir. Herhangi bir nesnenin ağırlığını ölçmek için çeşitli tartım yöntemleri ve cihazları kullanılabilir. Temel olarak, bir nesnenin tartımı, o nesnenin kütlesini ya da ağırlığını belirlemeyi içerir [4].

Tartım, bir nesnenin ağırlığını doğru bir şekilde belirleyerek, ticari, endüstriyel ve bilimsel alanlarda birçok alanda önemli bir rol oynar. Bu işlem, doğru ölçümler

yaparak, ürünlerin kalitesini kontrol etmek, nakliye işlemlerini yönetmek ve güvenlik standartlarını sağlamak gibi birçok alanda kullanılır [4].

Tartımın genel prensipleri ve yaygın yöntemleri aşağıdaki gibidir:

- **Mekanik tartım:** Bu yöntemde, nesnenin ağırlığı, yaygın olarak kullanılan bir referans ağırlığına (genellikle bir ağırlık ölçeği) karşı dengelemek suretiyle belirlenir. Teraziler mekanik tartım için örnek olarak verilebilir. Nesnenin ağırlığı, terazinin bir tarafına yerleştirilir ve diğer tarafına bir karşı ağırlık konur. Ağırlık dengelendiğinde, nesnenin ağırlığı, karşı ağırlığın değeri ile ölçülür [5].
- **Elektronik tartım:** Bu modern yöntemde, yük hücreleri, sensörler ve elektronik bir gösterge birimi kullanılmaktadır. Yük hücreleri, nesnenin ağırlığı altında bükülen veya deforme olan sensörlerdir. Bu değişiklik, elektronik bir sinyale dönüştürülür ve ağırlık gösterge biriminde okunabilir hale gelir. Bu yöntem daha hassas ölçümler sağlar ve genellikle endüstriyel uygulamalarda kullanılır [6].
- **Sıvıların ağırlığını ölçme:** Bu yöntemde, bir nesnenin sıvı içindeki ağırlığı, sıvının itici kuvveti veya Arşimet prensibi kullanılarak belirlenir. Bir nesne sıvıya daldırıldığında, sıvı tarafından kaldırılan kuvvet, nesnenin ağırlığına eşit olur [7].
- **Hava tartımı:** Hava tartımı, nesnenin havadaki yer çekimi etkisiyle ağırlığının ölçülmesi işlemidir. Bu yöntem genellikle balonlar, uçaklar ve diğer hava taşıtlarının ağırlığını ölçmek için kullanılır. Bu yöntemde, ağırlık genellikle sensörler veya ölçüm cihazları aracılığıyla belirlenir. [8].

## 2.4. YÜK HÜCRESİ

Yük hücresi, bir nesnenin ağırlığını ölçmek için kullanılan bir sensör veya transdüserdir. Yük hücresi, nesne üzerine uygulanan kuvveti ölçer ve bu kuvveti

elektrik sinyaline dönüştürür. Bu sayede, ölçüm cihazları tarafından okunabilen bir çıkış sağlar. Yük hücresi, endüstriyel tartı sistemlerinde ve ağırlık ölçüm uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. Yük hücresinin temel prensibi, deformasyona duyarlı bir malzemenin (genellikle metal) üzerine uygulanan kuvvetle birlikte malzemenin direncinin değişmesidir. Bu değişiklik, genellikle bir elektrik direncine dönüştürülür ve bu direnç, ölçüm cihazı tarafından değerlendirilir. Yük hücresinin çalışma prensibi, genellikle gerinim ölçer denilen dört ince tel veya film parçalarından oluşan bir köprü devresi üzerine dayanır. Bu gerinim ölçerler, yük hücresinin belirli noktalarına yapıştırılır ve nesne üzerine uygulanan kuvvet arttıkça gerilir veya sıkışır. Bu gerilme veya sıkışma, gerinim ölçerlerin elektrik direncinde değişikliklere neden olur. Bu değişiklikler, bir köprü devresi aracılığıyla ölçülür ve sonuç olarak bir çıkış sinyali elde edilir. Yük hücreleri, endüstriyel tartı sistemlerinden makinelerin yük kapasitesinin izlenmesine kadar birçok farklı uygulamada kullanılabilir. Yük hücreleri, endüstriyel tartı sistemlerinin yanı sıra, araç tartım sistemleri, asansörler, vinçler, köprülerin ağırlık izleme sistemleri ve laboratuvar test ekipmanları gibi çeşitli uygulamalarda kullanılır [9].

Yük hücreleri kullanım alanlarına göre değişik yapılarda olabilirler. Çeşitli alanlarda kullanılan bazı hücre çeşitleri şu şekildedir:

- **Lama tipi yük hücreleri:** Hafif ve orta kapasiteli yüklerde kullanıma uygun olan mesnet bir mesnet noktasına sahip olan ve kuvvet kolu prensibine göre çalışan yük hücreleridir. Şekil 2.3'te bir lama tipi yük hücresinin örneği verilmiştir.



Şekil 2.3. Lama tipi yük hücresi [4].

- **Askı tipi yük hücreleri:** Çekme ve basma yüklerini ölçmede kullanılan düşük, orta ve yüksek kapasitelerdeki askı tipi yük hücreleri; gerinim ölçerleri askı ve baskı yüklerini elektrik sinyallerine dönüştürerek tartım bilgisini oluştururlar. Vinç kantarları veya eriyik potalarında tercih edilirler. Şekil 2.4’te bir askı tipi yük hücresinin örneği verilmiştir.



Şekil 2.4. Askı tipi yük hücresi [4].

- **Baskı tipi yük hücreleri:** Dış etkilere dayanıklı olarak imal edilen ve yüksek kapasitelerde kullanıma uygun olan bu yük hücreleri, dik kuvvetlerin ölçülmesi için tasarlanmıştır. Doğrusal dik veya açısız olarak gelen kuvvetlerin gerinim ölçer üzerinde oluşturduğu elektriksel sinyallerin iletimi prensibiyle çalışır. Genellikle kamyon kantarları ve yüksek kapasiteli tartım platformlarında kullanılırlar. Şekil 2.5’te bir baskı tipi yük hücresinin örneği verilmiştir.



Şekil 2.5. Baskı tipi yük hücresi [4].

- **Özel üretim yük hücreleri:** Bu yük hücreleri genellikle kullanım alanına göre özel olarak üretilen yük hücreleridir. Çalışma prensipleri lama tipi yük hücreleri ile aynıdır. Demiryolu taşımacılığı, yüksek tonajlı tank ve silo tartımlarında kullanıma uygundur. Şekil 2.6’da bir özel tipi yük hücresinin örneği verilmiştir.



Şekil 2.6. Özel tip yük hücresi [4].

## 2.5. TARTIM CİHAZLARI

Tartım indikatörleri, endüstriyel tartım uygulamalarında kullanılan ve tartım verilerini görsel olarak gösteren, işleyen veya kaydeden cihazlardır. Bu indikatörler, genellikle tartım sistemlerinin bir parçası olarak kullanılır ve kullanıcıların ölçülen ağırlık verilerini izlemesine ve yönetmesine olanak tanır. Tartım indikatörlerinin temel özellikleri ve işlevleri şu şekilde sıralanabilir:

- **Görsel ekranlar:** Tartım indikatörleri genellikle büyük ve kolay okunabilir bir ekran ile donatılmıştır. Bu ekranlar, ölçülen ağırlık değerlerini kullanıcılara görsel olarak gösterir. Ayrıca, bazı modellerde grafiksel ekranlar veya dijital göstergeler de bulunabilir [10].
- **Ağırlık göstergesi:** Tartım indikatörleri, tartım platformlarından veya yük hücresi tabanlı sistemlerden gelen ölçüm verilerini işler ve kullanıcılara gerçek zamanlı olarak ağırlık bilgilerini sunar. Bu göstergeler genellikle kg, lb veya ton gibi farklı birimlerde ölçüm yapabilir [11].
- **Ölçekleme ve kalibrasyon:** Tartım indikatörleri, genellikle ölçekleme ve kalibrasyon işlevlerine sahiptir. Bu işlevler, kullanıcıların farklı malzemeleri

doğru bir Şekilde tartmak ve ölçmek için ölçekleme faktörlerini ayarlamasına olanak tanır. Ayrıca, kalibrasyon işlevleri, cihazın doğruluğunu sağlamak için düzenli olarak kullanılabilir [11].

- **Veri kaydı ve işleme:** Bazı tartım indikatörleri, ölçülen verilerin kaydedilmesi ve işlenmesi için ek iŐlevlere sahiptir. Bu, geçmiŐ ölçümleri kaydetmek, istatistiksel veriler oluŐturmak ve veri analizi yapmak için kullanılabilir [12].
- **Bağlantı seçenekleri:** Tartım indikatörleri, genellikle çeşitli bağlantı seçeneklerine sahiptir. Bu, USB, RS-232, Ethernet veya Wifi gibi farklı arayüzler aracılığıyla bilgisayarlar, yazıcılar veya diğer cihazlarla iletişim kurulmasını sağlar. Bu sayede, ölçüm verileri kolayca paylaŐılabilir veya kaydedilebilir [13].

Tartım indikatörleri, endüstriyel tartım uygulamalarında yaygın olarak kullanılır ve depo, üretim hattı, taşıma ve lojistik gibi çeşitli endüstriyel ortamlarda bulunabilirler. Bu indikatörler, doğru ve güvenilir ölçüm sonuçları sağlayarak işletmelerin verimliliğini artırır ve kalite kontrol süreçlerini iyileŐtirir.

Tartım indikatörleri, endüstriyel tartım uygulamalarında kullanılan ve ölçülen ağırlık verilerini görsel olarak gösteren cihazlardır. Bu indikatörler, farklı özelliklere ve fonksiyonlara sahip çeşitli tiplerde bulunabilir. Yaygın olarak kullanılan tartım indikatörleri aşağıda sıralanmıştır:

- **Dijital tartım göstergeleri:** Gerinim lerler ile ölçülen ağırlık verilerini dijital olarak gösteren cihazlardır. Genellikle büyük ve kolay okunabilir ekranlarla donatılmıştır ve kullanıcıların ölçüm değerlerini net bir Şekilde görmelerini sağlar [14].
- **LCD ekranlı tartım göstergeleri:** Gerinim lerler ile ölçülen ağırlık verilerini LCD ekranlar aracılığıyla gösteren cihazlardır. Bu ekranlar genellikle arka aydınlatmalıdır ve farklı ayar ve özellikler için kullanıcı dostu bir arayüze sahiptir [14].

- **LED ekranlı tartım göstergeleri:** Gerinim ölçerler ile ölçülen ağırlık verilerini LED ekranlar aracılığıyla gösteren cihazlardır. LED ekranlar, yüksek parlaklık ve netlik sunar ve uzaktan görülebilirlik için idealdir [14].
- **Akıllı tartım göstergeleri:** Gerinim ölçerlerden gelen ölçüm verilerini işlemek, kaydetmek ve yönetmek için gelişmiş özelliklere sahip cihazlardır. Bu indikatörler genellikle USB bağlantısı, veri kaydı, uzaktan erişim ve bağlantı seçenekleri gibi özelliklere sahiptir [14].
- **Endüstriyel tartım göstergeleri:** Dayanıklı ve sağlam yapılarıyla endüstriyel ortamlarda kullanılmak üzere tasarlanmış cihazlardır. Bu indikatörler genellikle darbelere, titreşimlere ve aşırı sıcaklık değişimlerine dayanıklıdır [14].
- **Taşınabilir tartım göstergeleri:** Bu tip indikatörler taşınabilirlik ve kullanım kolaylığı sağlayan kompakt cihazlardır. Bu indikatörler genellikle pil ile çalışır ve farklı yerlerde kullanım için idealdir. Ayrıca farklı haberleşme yöntemleri sayesinde kablolu iletim yöntemleri kadar hassas veri alışverişine uygundur [14].
- **Yüksek hassasiyetli tartım göstergeleri:** Çok küçük ağırlık farklarını dahi hassas bir şekilde ölçmek için tasarlanmış cihazlardır. Laboratuvar uygulamaları, hassas endüstriyel prosesler ve kalibrasyon gerektiren uygulamalar için kullanılır [14].

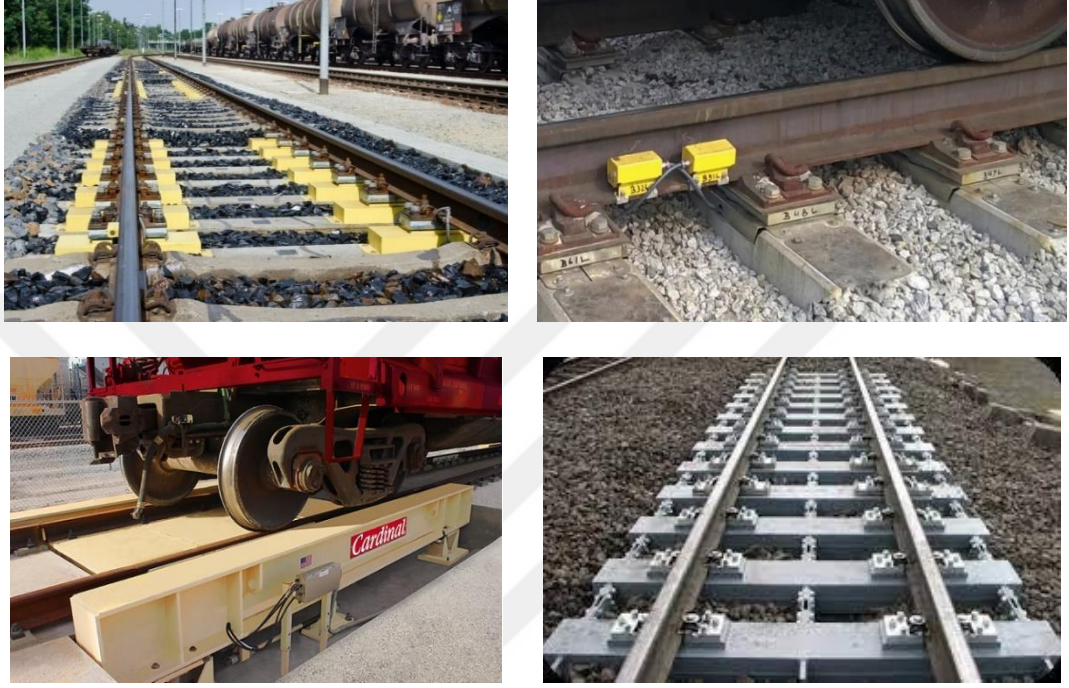
Çeşitli tartım indikatörü tipleri, endüstriyel tartım uygulamalarında farklı gereksinimleri karşılamak için tasarlanmıştır. Her bir indikatör türü, belirli bir ölçüm ortamı veya endüstriyel süreç için en uygun olanı seçmek için dikkate alınması gereken farklı özelliklere sahiptir.

## 2.6. DEMİR ÇELİK SANAYİSİ TARTIM YÖNTEMLERİ

Demir-çelik fabrikalarında, malzeme akışının doğru bir şekilde izlenmesi, işlenmesi ve yönetilmesi için çeşitli tartım yöntemleri kullanılır. Bu tesislerde tartım hem ticari işlemler hem de üretim süreçlerinin kontrolü için önemlidir. Demir-çelik fabrikalarında yaygın olarak kullanılan tartım yöntemlerinden bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- **Giriş çıkış tartımı:** Malzeme girişi ve çıkışı sırasında yapılan tartımlar, fabrikanın envanterini yönetmek ve ürünlerin stok seviyelerini izlemek için önemlidir. Ham demir, demir cevheri, hurda metal ve diğer hammaddelerin giriş tartımı, tedarikçilerle yapılan ticari işlemlerin doğruluğunu sağlamak için kullanılır. Aynı şekilde, üretilen demir-çelik ürünlerinin çıkış tartımı, müşterilere doğru miktarda ve kalitede ürünlerin sağlandığını doğrulamak için yapılır [15].
- **Proses kontrol tartımı:** Demir-çelik üretim süreçlerinde, ham maddelerin karışımı, ergitme işlemi, döküm işlemi ve haddeleme gibi aşamalarda tartım yapılır. Bu süreçlerde doğru miktarlarda malzeme kullanımı önemlidir. Çelik kalitesini ve ürün özelliklerini etkiler. Bu nedenle, süreç kontrolü için hassas tartım sistemleri kullanılır [15].
- **Ambalaj tartımı:** Üretilen demir-çelik ürünlerinin ambalajlanması ve sevkiyatı sırasında tartım yapılır. Bu, ürünlerin doğru miktarlarda paketlenmesinden ve taşındığından emin olmak için önemlidir. Ayrıca, taşıma maliyetlerinin doğru hesaplanması ve müşterilere doğru faturalamanın yapılabilmesi için tartım bilgileri gereklidir [15].
- **Hurda metal tartımı:** Demir-çelik fabrikaları genellikle hurda metal kullanır. Hurda metalin tartımı, hammaddelerin doğru miktarlarda ve kalitede kullanılmasını sağlar. Bu da ürün kalitesini ve üretim verimliliğini etkiler. Hurda metalin tartımı, genellikle giriş tartımı olarak yapılır ve fabrikanın tedarikçilerle olan anlaşmalarını doğrulamak için kullanılır [15].

Bu tartım işlemleri, demir-çelik fabrikalarında üretim süreçlerinin doğru bir şekilde yönetilmesini sağlar ve ticari işlemlerin güvenilirliğini artırır. Hassas tartım sistemleri ve otomasyon teknolojileri, bu işlemlerin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesine yardımcı olmaktadır. Şekil 2.7’de farklı tartım yöntemleri için örnekler verilmiştir.



Şekil 2.7. Çeşitli ray tartım sistemleri.

Endüstriyel tartım cihazları, endüstriyel ortamlarda çeşitli ölçüm uygulamalarında kullanılan cihazlardır. Bu cihazlar, malzemelerin ağırlığını doğru bir şekilde ölçmek ve izlemek için kullanılır. Endüstriyel tartım cihazları genellikle yüksek hassasiyet, dayanıklılık ve güvenilirlik gerektiren endüstriyel uygulamalar için tasarlanmıştır. Endüstriyel tartım cihazlarının genel özellikleri ve kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır:

- **Yük Hücresi Tabanlı Tartım Sistemleri:** Endüstriyel tartımın temelini oluşturan yük hücresi tabanlı sistemlerdir. Yük hücresi, malzeme üzerine uygulanan kuvveti ölçen bir sensördür. Bu sensörler genellikle bir tartım platformuna entegre edilir ve malzemenin ağırlığını hassas bir şekilde ölçer. Yük hücresi tabanlı tartım sistemleri depo tartıları, palet tartıları, kamyon

tartıları ve endüstriyel proseslerde kullanılan tartım sistemleri gibi birçok farklı uygulamada kullanılır [15].

- **Bant Tartıları:** Bant tartıları bir taşıma bandı üzerindeki malzemelerin ağırlığını ölçmek için kullanılan endüstriyel tartım cihazlarıdır. Bu sistemler, taşıma bandının altına yerleştirilen yük hücreleri veya sensörler kullanılarak çalışır. Bant tartıları madencilik, tarım, paketleme tesisleri ve taşıma endüstrisi gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılır [15].
- **Dinamik Tartım Sistemleri:** Dinamik tartım sistemleri yük trenleri, kamyonlar veya taşıma araçlarının hızla geçişi sırasında tartım yapılmasını sağlayan sistemlerdir. Bu sistemler genellikle özel olarak tasarlanmış tartım rayları veya sensörler kullanılarak çalışır. Dinamik tartım sistemleri, taşıma işlemlerinin hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar [15].

Endüstriyel tartım cihazları endüstriyel süreçlerde verimliliği artırmak, ürün kalitesini kontrol etmek ve ticari işlemleri doğru bir şekilde gerçekleştirmek için önemlidir. Bu cihazlar güvenilirlik, dayanıklılık ve hassasiyet gibi özelliklere sahip olmalıdır ve çeşitli endüstriyel ortamlara uyum sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.

Yük hücresi tabanlı tartım sistemleri, endüstriyel uygulamalarda kullanılan ve malzemelerin ağırlığını doğru bir şekilde ölçmek için kullanılan sistemlerdir. Bu sistemler, genellikle bir veya birden fazla yük hücresinin entegre edildiği bir tartım platformu veya yapı üzerine kurulur. Yük hücreleri, malzeme üzerine uygulanan kuvveti ölçen ve bu kuvveti elektrik sinyaline dönüştüren sensörlerdir ve yük hücresi tabanlı tartım sistemlerinin çalışma prensibi aşağıda sıralanmıştır:

- **Yük Platformu:** Yük hücresi tabanlı tartım sistemlerinde tartım yapılacak olan malzemelerin yerleştirildiği bir tartım platformu veya yapı bulunur. Bu platform, genellikle dayanıklı ve sağlam bir yapıya sahiptir ve yüklerin güvenli bir şekilde yerleştirilmesini sağlar [15].

- **Yük Hücreleri:** Tartım platformunun altına yerleştirilen yük hücreleri, malzemenin üzerine uygulanan kuvveti ölçer. Yük hücreleri genellikle metal alaşımlarından yapılmakta ve belirli bir ağırlık aralığında hassas ölçümler yapılabilmektedir. Malzeme üzerine uygulanan kuvvet arttıkça, yük hücresinin içindeki direnç değişir ve bu değişiklik ölçülerek malzemenin ağırlığı belirlenir [15].
- **Veri Toplama ve İşleme:** Yük hücresi tabanlı tartım sistemleri, ölçülen kuvvetleri elektrik sinyallerine dönüştüren ve bu bilgileri bir veri toplama cihazına ileten elektronik bileşenler içerir. Bu bileşenler, ölçüm verilerini işleyerek malzemenin ağırlığını belirler ve genellikle bir kontrol paneli veya bilgisayar aracılığıyla kullanıcıya gösterir [15].
- **Okuma ve Kontrol:** Yük hücresi tabanlı tartım sistemleri, ölçülen ağırlık verilerini bir kullanıcı arabirimi veya kontrol paneli üzerinden kullanıcıya sunar. Bu sayede, malzemelerin ağırlığı kolayca izlenebilir ve kontrol edilebilir. Ayrıca, sistem genellikle belirli bir ağırlık aralığının dışında olan yükleri algılayarak uyarı verebilir [15].

Yük hücresi tabanlı tartım sistemleri depo tartıları, palet tartıları, kamyon tartıları gibi birçok endüstriyel uygulamada kullanılır.

## BÖLÜM 3

### LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, demiryolu taşımacılığındaki vagon tartım sistemlerinin sağlayacağı avantajlar ile kullanılacak iletişim ve malzeme teknolojilerine yönelik yapılan araştırmalar incelenmiştir. Bu doğrultuda, literatürde yer alan demiryollarının önemi, tartı tasarımı ve malzeme seçimi konularındaki makaleler aşağıda paylaşılmaktadır.

Tunçay vd. efektif bir ray çeliği malzemesinin incelendiği çalışmalarında, A55 standart ölçülerine uygun olarak haddeleme yöntemiyle üretilen R260 ray çeliğinin kullanımının uygun olacağı sonucuna ulaşmışlardır. Bu çalışmada, haddeleme süreci sırasında R260 çeliğinin özelliklerinde belirli yapısal değişikliklerin meydana geldiği gözlemlenmiştir. Özellikle, R260 ray çeliğinin çekme test sonuçları doğrultusunda, maksimum çekme dayanımı, akma dayanımı ve yüzde uzama değerleri üzerinde belirgin bir etki ortaya çıkmıştır [16].

Kocabekir ve arkadaşları, yük vagonu tartımının önemli bileşenlerinden biri olan ray malzemesi seçimi üzerine yaptıkları çalışmada, özellikle sıcak ortamda çalışacak sistemler için sıcaklık radyasyonunun raylarda kalıcı deformasyonlara yol açabileceğini vurgulamışlar ve bu nedenle standart ray malzemeleri ile diğer ray malzemelerine ilişkin yapılan araştırmaların detaylı bir şekilde incelenmesi gerektiği sonucuna varmışlardır. Araştırma bulgularına göre, ray malzemesi olarak R260 kalite ray çeliğinin, %0,60-0,82 arasında karbon ve %0,65-1,25 arasında mangan içeren bir bileşime sahip olmasının uygun olduğu belirtilmiş ve bu karbon oranının, çeliğin perlitik bir mikroyapıya ulaşmasını sağladığı ifade edilmiştir. Bu mikroyapının, malzemenin sertlik ve mukavemet özelliklerini artırdığı sonucuna ulaşılmıştır [17].

Yu ve arkadaşları, ideal ray çeliğinin özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, CZECH TZ IH malzemesinin ray başı ve ray ayağı bölgelerindeki mekanik özellikler

üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonuçları, -40, -10 ve 23 °C’de yapılan üç farklı sıcaklık koşulunda da ray başı ve ray ayağı için uygun mekanik değerlere ulaşıldığını göstermiştir. Bu bulgular, söz konusu malzemenin ray yapımında kullanılmaya uygun olduğunu ortaya koymuştur [18].

Harak ve arkadaşları, çalışmalarında yük taşıyıcılarının mekanik modeli için kullanılan materyallerin incelemesini yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, %0,03 karbon içeriğine sahip SM-44 çeliğinin mekanik özelliklerinden akma dayanımının 350-450 MPa arasında, çekme dayanımının ise yaklaşık 500 MPa olduğu tespit edilmiştir. [19].

Press ve arkadaşları, vagon akslarının efektif çalışma yüklerini hesapladıkları çalışmalarında, ölçülen yanıt  $Yanıt(t)$  ile teorik uyumlu yanıt  $f(t) = A_1I(t-t_1) + A_2I(t-t_2) + \dots$  arasındaki farkı incelemişlerdir. Burada  $A_1$  I’inci aksın yükünü,  $t_i$  ise I’inci aksın koordinat sistemi başlangıç noktasına varış zamanını temsil etmektedir. Tartı sensörleri  $I(t)$  fonksiyon etki çizgisi (IL) olarak tanımlanmakta olup, köprünün tepkisini açıklamaktadır. Sensörün konumu, birim ağırlıktaki bir geçişe kadar belirli bir düzende olmalıdır. Bu yaklaşım, fonksiyonun bilinmeyenlerle doğrusal bir şekilde açıklanmasını amaçlamaktadır. Aks yüklerinin belirlenmesi için tekil değer ayrışımının kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır [20].

Obrien ve arkadaşları, çalışmalarında demiryolu hatlarının yük ve salınım ilişkisini incelemişlerdir. Yapılan detaylı analiz, entegre edilen sistemler aracılığıyla elde edilen veri paketlerine dayanarak, 20 Hz frekansına kadar araç gövdesi yapılarının baskın elastik deformasyonlarını içeren beş farklı mod şeklinin varlığını ortaya koymuştur. En düşük frekans, ilk mod şeklinin temsil ettiği 8,94 Hz olarak belirlenmiştir. Bu salınım, hareketin yan duvarların yatay salınımı olarak tanımlanabilir ve araç diyagonal kesitinde bozulmaya yol açtığı için "diyagonal bozulma" olarak adlandırılmıştır. İlk mod frekansına karşılık gelen salınım frekansları altında, yan duvarların maksimum yer değiştirme bölgesinde bulunan nesnelere sallanacağı ve dolayısıyla bu frekans aralığındaki herhangi bir uyarımın dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır [21].

Caredda ve arkadaşları, çalışmalarında asma köprü yapıların mukavemet özelliklerini belirlemek amacıyla demiryolu köprülerinin bazı mukavemet özelliklerinden faydalanmayı incelemişlerdir. Ardından, çeşitli hasar senaryoları doğrultusunda, bu senaryoların yapının mekanik tepkisi üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir [22].

Calderon ve arkadaşları, sonlu elemanlar yöntemiyle hasara karşı yapısal sağlamlık analizini gerçekleştirdikleri çalışmalarında, kompozit malzemelerin tasarımsal faydalarını inceleyerek elde ettikleri sonuçları gözlemlemişlerdir [23].

Antori ve arkadaşları, çalışmalarında demiryolları için alternatif yük yollarının etkinleştirilmesinin ardından, yapısal davranış ve başarısızlığın özel bir öneme sahip olduğunu tespit etmişlerdir [24].

Torres ve arkadaşları, demiryollarında kullanılan malzemelerin mekanik tepkisini etkileyen etmenleri inceledikleri çalışmalarında, hasar uyarılarının güvenlik önlemleri açısından önemli bir gereklilik olduğunu belirlemişlerdir. Bu bulgu, hasar uyarı sistemlerine duyulan ihtiyacın önemli olduğunu ortaya koymuştur [25].

Calderon ve arkadaşları, çalışmalarında çelikler üzerinde uygulanan dışsal etkilerin, çelik malzemelerde meydana gelen hasarları nasıl oluşturduğunu incelemişlerdir. Bu hasarlar, ilgili öğelerin modelden çıkarılmasıyla simüle edilmiştir. Çalışma, çelik elemanların kullanım ömürleri boyunca farklı hasar türlerinden etkilenebileceğini ve bu hasarların modellenmesinin önemini vurgulamaktadır. Ayrıca, farklı arıza senaryolarının simüle edildiği araştırmalar da detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Çalışmada, tekerlek çeliği ve dökme demirin yenilikçi bir test yöntemiyle yapılan analizi sunulmuş; dökme demir ve organik kompozit fren bloğu malzemeleri, normal koşullar altında gerçekleştirilen testlerle incelenmiştir. Bu testlerde, farklı çalışma süreleri, sıcaklık, sürtünme katsayıları, yüzey özellikleri ve ağırlık gibi faktörler değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, dökme demir malzemesinin kullanım için uygun olduğu belirlenmiştir [26].

Ghidini ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada inceledikleri tekerlek numunelerindeki kayıp ve mikroyapısal özelliklerdeki değişiklikleri gözlemlemiş ve bu malzemelerin

farklı davranışlarının nasıl oluştuğunu araştırmışlardır. Fren uygulamaları sonucunda malzeme üzerindeki hasarları dikkate alarak, kompozit malzemelerin dökme demir malzemelere kıyasla daha üstün performans gösterdiğini tespit etmişlerdir [27].

Abdullah ve arkadaşları, çalışmalarında raylar ve üzerinde hareket eden vagon veya demiryolu aracının ağırlığını taşıyabilecek bir betonarme yapının inşa edilmesinin önemini araştırmışlardır. Bu bağlamda, travers malzemesinin yapısal özelliklerinin en az C45 standardına uygun olarak grobeton şeklinde yapılması gerektiği sonucuna varmışlardır [28].

Robinson vd. çalışmalarında platform tasarımlarında atalet momentinin önemini incelemişlerdir. Atalet montenin  $I_x/F > 18 \text{mm/N}$  koşulunu karşılaması gerektiği sonucuna varmışlardır [29].

Weija ve arkadaşları, yük vagonu altyapı sistemlerinde malzeme seçiminin nasıl yapılması gerektiğini inceledikleri çalışmalarında, öncelikle yük vagonunun taşıma kapasitesinin belirlenmesinin gerekliliğine vurgu yapmışlardır. Çalışmada, malzeme seçimlerinin vagonun boyutlarına, yapısal özelliklerine ve kullanım amacına bağlı olarak değişeceği, ayrıca taşınacak yüklerin türü, miktarı ve dağılımının da analizde dikkate alınacağı belirtilmiştir. Yük vagonlarının tasarımında kullanılacak malzemelerin, bu değişkenlere uygun mukavemet özelliklerinin belirlenmesi gerektiği ve bu özelliklerin, vagonun gövde, platform ve destek yapılarına yönelik malzeme seçimlerini de kapsayacağı ifade edilmiştir. Sonuç olarak, malzeme özelliklerinin, vagonun taşıma kapasitesi ve dayanıklılığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir [30].

Wittke ve arkadaşları, çalışmalarında tren hatlarında frekans ölçümlemesinin yapılabilmesi için yük hücresi özelliklerinin belirlenmesinin gerekliliğini incelemişlerdir. Bu bağlamda, yüksek hassasiyetli yük hücrelerinin mekanik sertliklerinin araştırılmasının önemli olduğu sonucuna ulaşmışlardır [31].

Sinna ve arkadaşları, yük hücresi seçimi sırasında sertliğin ölü ağırlık kuvveti ve yük hücresi üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmalarında, sonlu elemanlar analizi

yöntemi ile deneyler gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, yük hücresi sertliğinin doğru ölçüm yapılabilmesi için önemli bir değişken olduğu sonucuna varmışlardır [32].

Zinidarc ve arkadaşları, köprü yüklerinin tartımını inceledikleri çalışmalarında, araçların tam hızla köprüyü geçerken tartılmasını sağlamak amacıyla mevcut köprü terazilerini kullanarak bir analiz simülasyon ortamı oluşturmuşlardır. Çalışma kapsamında, yapının yüzeyi boyunca, genellikle orta kısımda yoğunlaşacak şekilde bir dizi gerinim sensörü yerleştirilmiştir. Bu sensörler, yanıtların en yüksek ve doğru olduğu bölgeler olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, gerinim sensörlerinin ağırlık ölçümünde güvenilir sonuçlar sağladığı sonucuna ulaşılmıştır [33].

Moses ve arkadaşları, çalışmalarında efektif taşıma mimarisi üzerine bir inceleme yapmışlar ve kullandıkları modelin bir dizi kendine özgü avantaj sunduğunu ortaya koymuşlardır. Tartım platformu tasarımları, diğer yöntemlere kıyasla çok daha uzun olup, platformlar tamamen taşınabilir özellik göstermektedir ve trafiği kesintiye uğratmadan köprülerin alt kısmına monte edilebilmektedir. Bu sistemin algoritmasının temel prensibi, aks yüklerinin minimuma indirilerek hesaplanmasıdır; bu sayede, doğru tartım işlemleri gerçekleştirilebilmektedir [34,35].

Hansen ve arkadaşları, demir yolu taşımacılığı ve büyük miktarda yük taşıma kapasitesi üzerine yaptıkları çalışmada, taşıma yük kapasitesinin aşılması durumunda altyapı üzerinde ciddi zararların meydana gelebileceğini vurgulamışlardır. Bu bağlamda, taşınan yüklerin doğru bir şekilde ölçülmesi ve kontrol edilmesinin hayati bir öneme sahip olduğunu belirtmişlerdir. Vagon tartım sistemlerinin, vagonların taşıdığı yüklerin doğru bir şekilde tespit edilmesine olanak tanıyarak, taşıma süreçlerinin güvenliğini sağladığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca, vagon tartım sistemlerinin tasarımında kullanılan teknolojilerin, taşıma süreçlerinin hızını ve doğruluğunu artırırken, demir yolunun verimli kullanımını desteklediğini tespit etmişlerdir [36].

Raphael ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada vagon tartım sistemlerinde yeni geliştirilen teknolojik materyallerin kullanımını incelemişlerdir. Sensör teknolojileri,

veri analitiği ve otomasyon sistemleri gibi yenilikçi teknolojilerin entegrasyonunun teŖvik edilmesi gerektiğine dikkat çekmiŖlerdir. alıŖma, bu teknolojilerin, demiryolu taŖımacılıđının daha akıllı ve verimli hale gelmesini sağlayacağı sonucuna ulaŖmıŖtır [37].

Leopold ve arkadaŖları, vagon tartım sistemlerinin uzun vadeli yatırım getirisi üzerine yaptıkları alıŖmada, bu sistemlerin verimlilik artıŖı, iŖletme maliyetlerinde azalma ve operasyonel verimlilikteki iyileŖme sağladığını ortaya koymuŖlardır. alıŖmalarına göre, vagon tartım sistemlerinin maliyetinin hızla kendini amorti ettiği sonucuna ulaŖmıŖlardır [38].

Theodor ve arkadaŖları, vagon tartım sistemlerini, farklı yük türleri ve vagon tipleri açısından inceledikleri alıŖmalarında, bu sistemlerin eŖitli endüstriyel uygulamalarda ve lojistik senaryolarında esneklik sağladığını ortaya koymuŖlardır. Ayrıca, demir-elik endüstrisindeki ilgili deđiŖkenlerin, endüstri içinde geçerli olan fayda ve avantajlarını ele almıŖlardır. alıŖmalarına göre, bu sistemlerin kullanımı, demir-elik endüstrisi için kritik bir öneme sahiptir ve vagon tartım sistemlerinin tasarımlarının daha ucuz ve efektif bir yapıya sahip olacak Ŗekilde gerekleŖtirilmesi gerektiği sonucuna varmıŖlardır [39].

Zhang ve arkadaŖları, demiryolu taŖımacılıđının verimliliğini, güvenliğini ve evre dostu özelliklerini artıran yönleri inceledikleri alıŖmalarında, bu unsurların endüstriye sağladığı önemli avantajları ve demiryolu pazar gücü ile demiryolu endüstrisine olan etkisini ele alan eŖitli araŖtırmalardan yararlanmıŖlardır. Elde ettikleri veriler iŖıđında, verimlilik endeksi üzerine önemli çıkarımlarda bulunmuŖlar ve bu verilere dayanarak, demiryolu taŖımacılıđının gelecekte olumlu sonuçlar vereceğini ngrmŖlerdir [40].

Yunpeng ve arkadaŖları, yaptıkları alıŖmada, tartım sistemi montajı ve yapısının efektif tasarım yöntemlerini incelemiŖlerdir. alıŖmalarında, hattın genel yapısını bozmadan, yalnızca bölgesel olarak yapılan modül montajı ile gerekleŖtirilen kurulumun, bakım, teknik servis ve arıza durumlarına kolayca müdahale edilmesine olanak tanıdığını ve bu sayede maliyetlerin dŖrlebileceđini tespit etmiŖlerdir [41].

Mette ve arkadaşları, çalışmalarında vagon tartım sistemi tasarımının temel bileşenlerini, işleyişini, sağladığı yararları ve tasarım sürecindeki karşılaşılan zorlukları incelemişlerdir. Demir yolu taşımacılığı, küresel ölçekte büyük bir öneme sahip olup, bu çalışmada, sektörün taşınan yüklerin güvenli ve verimli bir şekilde taşınmasını sağlamak için birçok teknolojik yeniliği içermesi gerektiği vurgulanmıştır. Araştırmalarına göre, vagon tartım sistemleri, demir yolunun kapasitesinin verimli kullanılması, altyapı güvenliğinin sağlanması ve taşımacılığın optimizasyonu açısından kritik bir rol oynamaktadır [42].

Pedro ve arkadaşları, çalışmalarında demiryolu taşıma süreçlerinin güvenliğini ve verimliliğini artırırken, aynı zamanda altyapının korunmasını ve taşıma kapasitesinin optimum seviyede kullanılmasını sağlamak gerektiğini vurgulamışlardır. Tasarım sürecinde karşılaşılan zorlukların, doğru mühendislik çözümleriyle aşılabileceğini belirtmişlerdir. Vagon tartım sistemlerinin doğru bir şekilde uygulanmasının, demir yolunun uzun vadede verimli ve güvenli bir şekilde çalışmasını sağladığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca, gelecekte bu sistemlerin daha da geliştirilmesi ve daha hassas ölçümler yapılabilmesi için teknolojik yeniliklerin entegrasyonunun büyük bir öneme sahip olduğunu belirtmişlerdir [43].

Costa ve arkadaşları, çalışmalarında yük hücresinin uygun seçiminden ziyade, elektronik olarak alınan verilerin kullanışlı hale gelmesi için cihazlar arası haberleşme sistemlerinin önemini incelemişlerdir. Haberleşme, kablolu veya kablosuz (radyo sinyalli veya kablosuz) olmak üzere iki farklı yöntemle gerçekleştirilebilmektedir. İki aşamalı bir çalışmada, kablolu ve kablosuz ağların karşılaştırılması yapılmış ve sonuç olarak, kablosuz iletim hatlarının sistem yapılarındaki verimliliğin etkin bir şekilde sağlandığı gözlemlenmiştir [44].

Zhou ve arkadaşları, çalışmalarında, demir yollarında sensör kullanımının altyapı bakımını, güvenliğini, verimliliğini ve yönetimini iyileştirmede önemli bir rol oynadığını ortaya koymuşlardır. Sensörler, demir yolu sistemlerinde çeşitli alanlarda kullanılarak, operasyonel süreçlerin daha verimli, güvenli ve sürdürülebilir olmasına önemli katkılarda bulunmuştur [45].

Wang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, metrolojik teknik özelliklere ilişkin veri tolerans aralığı ve istatistiksel teori yöntemlerini, özellikle JJG907-2006 ve OIML R 134-1 gibi standartlar çerçevesinde analiz etmişlerdir. Elde ettikleri bulgular, bu standart parametrelerin uygulanmasının gerekliliğini vurgulamaktadır [46].

Mao ve arkadaşları, çalışmalarında dinamik vagon tartım sistemlerinde vagonun hareket hızını algılayan sensörlerin kullanımını incelemişlerdir. Yapılan analizler, bu sensörlerin doğru ve hızlı ölçüm yapılabilmesi için gerekli temel parametreler olduğunu ortaya koymuştur [47].

Oscar ve arkadaşları, veri işleme sürelerinin yapısal deformasyon ve güvenlik üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmalarda, geliştirdikleri yöntemlerin veri işleme hızını 0,15 saniyeden daha kısa bir süreye düşürdüğünü gözlemlemişlerdir [48].

## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE METOT

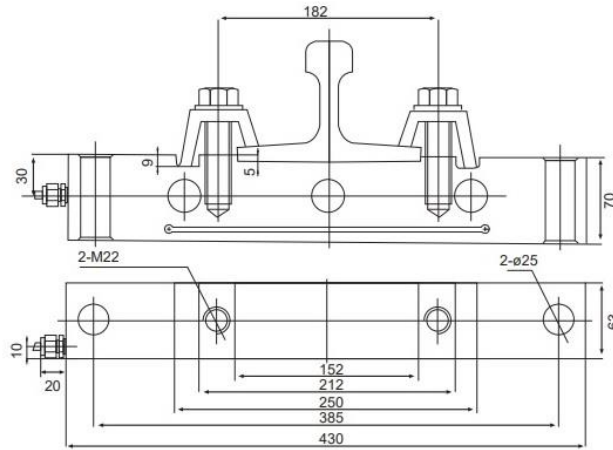
Tez çalışması kapsamında, iki aks ve dört teker üzerinde hareket eden demir cürufu veya eriyik metal taşıma vagonunun tartımı için tartım modülünün tasarımı, ekipmanların seçimi ve prototip üretimi incelenmiştir. Tasarımı yapılan tartım sisteminde her biri iki adet yük hücresinden oluşan dört tartım modülü kullanılmıştır. Tartım modül sistemleri tartım ünitesi olarak görev yapacak ve vagonların çeşitli noktalarından tartım değerlerini alacak şekilde yerleştirilmiştir. Tartım modülünde toplam ağırlık, her bir aksın ağırlığının ölçülmesi, analiz edilmesi ve doğrulanması yoluyla elde edilmektedir. Tartım sisteminin tasarımında aşağıda verilen kriterler göz önünde bulundurulmuştur.

- **Aks Tartımı:** Vagonun her iki yanına yerleştirilen tartım modülleri, her aksın üzerinde taşınan yükü ölçmekte olup, bu yöntemi tartım sisteminin taşıma kapasitesinin aşılmaması için önemlidir.
- **Yük Dağılımı:** Tartım modülleri, yükün vagon boyunca homojen bir şekilde dağılıp dağılmadığını kontrol etmekte, bu sayede her bir modül, vagonun yük dağılımını denetleyerek daha doğru veriler elde edilmektedir.
- **Toplam Ağırlık Ölçümü:** Vagonun bütün tartım modüllerinden alınan veriler birleştirilerek toplam ağırlık elde edilmektedir.
- **Veri Toplama ve Analiz:** Modüller tarafından sağlanan veriler, merkezi bir kontrol sistemine gönderilmekte ve bu veriler, analiz edilerek vagonun yük durumu hakkında bilgiler anlık olarak kaydedilmektedir.

Tasarımı yapılan tartım sistemi, özellikle taşımacılıkla ilgili işlemlerde güvenliği ve verimliliği artırmak için tasarlanmıştır. Diğer yandan, bu tür sistemler, vagonların her birinin belirli sınırları aşmaması gerektiği için yasal düzenlemelere uygunluğun kontrol edilmesinde de kullanışlı bir araç olarak ortaya çıkmaktadır.

#### 4.1. YÜK HÜCRESESİ SEÇİMİ

Ray tipi yük hücreleri, özellikle demir yolu taşımacılığı ve endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan hassas tartım cihazlarıdır. Bu yük hücreleri, genellikle araçların veya makinelerin yükünü ölçmek amacıyla raylar üzerinde veya raylı sistemler ile bütünleşmiş şekilde çalışmaktadırlar. Ray tipi yük hücreleri, genellikle büyük yükleri ölçmek için tasarlanırlar. Yük kapasitesi, genellikle birkaç ton ile birkaç yüz ton arasında değişebilmektedir. Bu, demir yolu taşımacılığında kullanılan vagonların, araçların veya makinelerin taşımacılık kapasitesine göre belirlenmektedir. Ray tipi yük hücreleri, raylı sistemlere entegre edilmek için tasarlanmış özel montaj elemanları ve bağlantı parçalarına sahiptirler. Bu elemanlar, yük hücresinin raylara sabitlenmesini ve vagon veya araçla doğru şekilde etkileşimde bulunmasını sağlamaktadırlar.



Şekil 4.1. Baykon BY540 model yük hücresi ölçüleri [4].

Tez çalışmasında, tartım sistemi tasarımında, yüksek performanslı çelik yapıda, çift mesnetli lama tipi 12,5 ton kapasiteye sahip, Baykon marka BY540 model, IP67

koruma sınıfına sahip özel tip yük hücresi kullanılmıştır. Ağır sanayi, madencilik, açık deniz, denizaltı ve havacılık gibi çoğu zorlu ortamda kullanımlar için tasarlanan bir yük hücresi çeşididir. Kullanılan yük hücresine ait geometrik ölçüler Şekil 4.1’de, yük hücresine ait teknik özellikler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Baykon BY540 model yük hücresine ait teknik özellikleri [4].

Özellik	Birim	Değer
Kapasite (Emax)	t	12,5/20/30
Çıkış kazancı (RO)	mV/V	2,0/±0,002
Toplam hata	%RO	±0,1
Sıfırda sıcaklık etkisi	%RO/10°C	±0,3
Kazançta sıcaklık etkisi	%RO/10°C	±0,5
Güvenli Yükselme Sınır	%Emax	150
Aşırı yükleme Kırılma sınırı	%Emax	200
Sıfır dengesi	%RO	±1
Yük altında kayma (30dk)	%RO	±0,05
Besleme voltajı (Önerilen DC)	V	5-12
Besleme voltajı (Maksimum DC)	V	15
Giriş direnci	Ω	750±10
Çıkış direnci	Ω	702±10
İzolasyon direnci (50V DC de)	m Ω	≥5000
Çalışma sıcaklığı aralığı (Kompanse edilmiş)	°C	-10 ile +40 arasında
Çalışma sıcaklığı aralığı	°C	-30 + 70 arasında
Malzeme	-	Alaşımli Çelik
Koruma sınıfı	-	IP67
Kablo	-	Uzunluk :12m / Çap: 6mm

## 4.2. VAGON TARTIM SİSTEMİ ÖZELLİKLERİ VE TASARIMI

Yük vagonu tartımı mekanik tasarımı yapılırken, literatür taramasından elde edilen veriler doğrultusunda, ray malzemeleri, yük hücresi, standart olarak kullanılacak malzemeler ve tartım platformunu oluşturan komponentlerin mekanik özelliklerinin sistematik açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır.

Yük vagonu tartım sisteminin üç boyutlu katı model tasarımı ve mukavemet analizleri Solidworks bilgisayar destekli tasarım programında gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyonlarda, modül malzemesi olarak AISI 1015 standartında çelik malzeme seçilmiş olup, ray türü olarak DIN 536 standardında A55 tipi ray kullanılmıştır. Ayrıca, bütün parçaların montajının yapılmasında M24x3 mm ebatlarında cıvata ve 10.9 kalite cıvata malzemesi kullanılmıştır.

Tasarımı yapılan tartım sistemiyle, üretim hattının genel yapısı bozulmadan, sadece bölgesel olarak yapılan modül montajı sayesinde, kurulum, bakım, teknik servis ve arıza durumlarında kolay bir şekilde müdahale edilmesi sağlanmış olup, aynı zamanda sayede maliyetlerin düşürülmesi de gerçekleştirilmiştir.

Demiryolu ray mekaniğinde, güvenliğin, dayanıklılığın ve düşük bakım maliyelerinin sağlanmasının yanında, konfordan taviz verilmemesi önemli bir faktördür. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte geliştirilen mühendislik malzemeleri, dayanımı daha yüksek ray malzemeleri ve yeni nesil ray profilleri, ayrıca akıllı bakım yöntemleri bu alanda sıklıkla kullanılmaktadır.

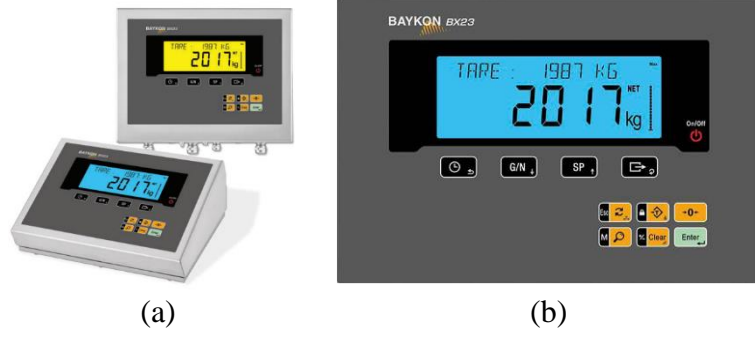
Prototip tartım sisteminde, toplamda dört adet blok ve her blokta ikişer adet yük hücresi kullanılmıştır. Kullanılan blokların her biri bir tartım noktasını oluşturmaktadır. Bloklar arası A55 tip raylar ile döşenmiş, vagon ya da taşıma arabalarının geçişine hazır halde konumlandırılmıştır. Tartım bloğu toplamda 100 ton kapasiteli kantara dönüşmüş ve her bloğun üzerine düşen yük 25 ton olarak hesaplanmıştır. Her bloğun içinde iki adet yük hücresi bulunduğu için tek yük hücresi için oluşacak tartım kapasitesi 12,5 ton olarak elde edilmiştir. Bu bilgiler ışığında mukavemet analizi için tek tartım bloğuna maksimum 25 ton yük geleceği ön görülmüş ve emniyet katsayısının 0,6 seçilmesiyle, 40 ton yüke dayanımı olan bir konstrüksiyon tasarımı yapılmıştır.

### **4.3. ELEKTRONİK TARTIM CİHAZLARININ SEÇİMİ**

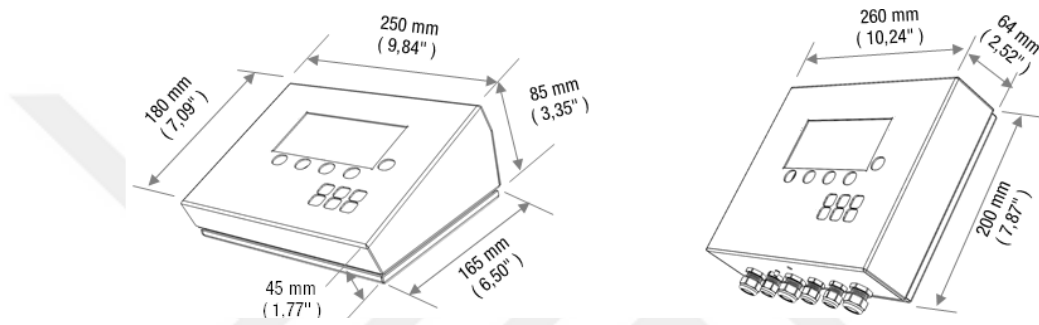
Elektronik tartım cihazları, çeşitli ağırlık ölçüm işlemleri için kullanılan ve modern teknolojilerle donatılmış hassas sistemlerdir. Bu cihazlar, geleneksel mekanik tartım

yöntemlerine göre daha hızlı, daha doğru ve daha verimli sonuçlar sunmaktadırlar. Elektronik tartım cihazları, genellikle dijital sensörler, mikroişlemciler ve ekranlar kullanarak ağırlık verilerini ölçmekte, ölçülen verileri işlemekte ve kullanıcıya iletmektedir. Elektronik tartım cihazları, dijital sinyallerle çalışmakta olup, ağırlık, sensörler aracılığıyla dijital sinyallere dönüştürülmekte ve bu sinyaller mikroişlemciler aracılığıyla işlenmektedir. Bu sayede, daha kısa zamanda daha hassas ve doğruluğu yüksek sonuçlar elde edilmektedir. Elektronik tartım cihazları, çok yüksek hassasiyetle çalışabilir ve çok küçük ağırlık değişimlerini bile algılayabilirler. Bu özellik, endüstriyel, ticari ve laboratuvar ortamlarında kullanılan cihazlar için çok önemlidir. Elektronik tartım cihazları, dijital ekranlar kullanarak tartım verilerinin anlık olarak izlenmesine olanak tanırırlar. Bu ekranlar, ağırlık değerini sayısal olarak sunmakta ve bazı modellerde, tartım verilerini birim değişimiyle (kg, lb vb.) kullanıcıya iletebilmektedir. Elektronik tartım cihazları, veri iletişimi için çeşitli teknolojilere ve protokollere sahiptirler. Bu protokoller sayesinde, tartım sistemlerinin bilgisayar veya başka cihazlarla entegre edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca bazı modellerde, ölçülen veriler belleğe kaydedilmekte veya bir veri kaydediciye aktarılmaktadır. Elektronik tartım cihazları, doğru ölçüm yapabilmek için düzenli olarak kalibre edilmelidir. Kalibrasyon, cihazın doğru çalışmasını ve ölçüm hatalarını minimize etmeyi sağlamaktadır. Çoğu elektronik tartım cihazı, kalibrasyonu kolaylaştırmak için otomatik kalibrasyon özelliklerine sahiptir.

Tez çalışmasında, tartım sistemi için Baykon marka BX23 model tartım göstergesi modeli kullanılmıştır. BX23 tartım terminali, endüstriyel tartım ve etiketleme uygulamaları için tasarlanmıştır. Farklı limit değerlerin kaydedildiği hafızası endüstriyel tartım uygulamalarında kolaylıkla kullanılmaktadır. Cihazın dijital giriş ve çıkışları, haberleşme üzerinden uzak I/O olarak kullanılmak üzere programlanabilmektedir. Bu özellik sayesinde panoda sadece bir uzak I/O için ilave bir PLC kullanımına gerek duyulmamaktadır. BX23 tartım terminalinin uluslararası esaslara ve yönetmeliklere uygun olarak imal edilmiş olması, kolay ve etkili olarak temizlenebilmesi, ıslak ve zorlu endüstriyel ortamlardan hijyenik ortamlara kadar geniş bir alanda kullanım imkanı sunması sebebiyle tercih edilmiştir. Şekil 4.2’de kullanılan BX23 marka tartım göstergesi, Şekil 4.3’te ise tartım göstergesine ait ölçüler verilmiştir.



Şekil 4.2. BX23 cihaz görselleri, (a) genel görünüm, (b) ön görünüş [4].

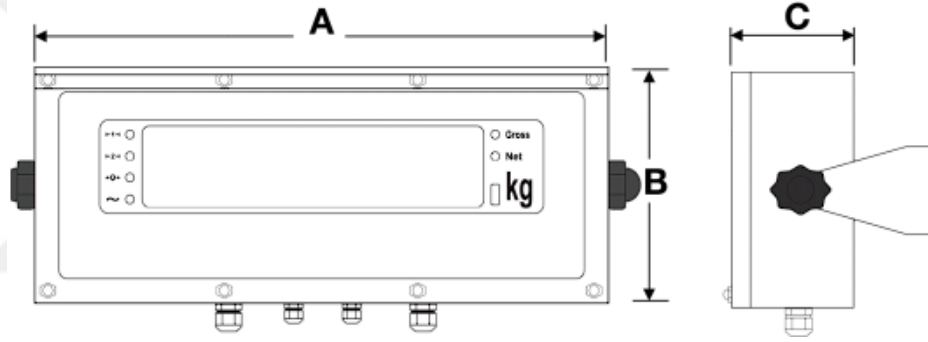


Şekil 4.3. Bx23 teknik ölçüleri [49].

İndikatör tartım odası için belirlenmiş tartım göstergesi BX23 dışında, üretim sahası içerisinde kullanılmak üzere gösterge paneli kullanılmıştır. Gösterge paneli için Baykon marka RX100 model duvar gösterge paneli cüruf döküm atelyesinde montajı yapılmıştır. RX100 duvar gösterge paneline ait özellikler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Kullanılan duvar gösterge paneli, atölye ortamında kullanımına uygun olması, dış ortamda mükemmel okunabilirlik sağlaması, ilave güneş siperliği ile de desteklenmesi ve otomatik parlaklık kontrolüne sahip olması sebebiyle tercih edilmiştir. Duvar gösterge paneli üzerinde RS-232C, RS-485 ve 20mA CL ASCII arayüzleri standart olarak sunulmakta olup, wifi ve bluetooth arayüzleri sayesinde diğer cihazlarla bağlantı sağlayabilmektedir. Şekil 4.4’te kullanılan RX100 duvar gösterge paneli şematik görünüşü verilmiştir.

Çizelge 4.2. RX100 harici duvar göstergesi teknik özellikleri [4].

Özellik	Değer
Model	Rx100
Teknoloji	Kırmızı LED gösterge
LED tipi	7 segment
Karakter boyu	100 mm
Seri arayüzler	RS232C, RS485 ve 20mA CL, Opsiyon olarak Wi-Fi ve Bluetooth
Haberleşme	9600 baud rate (sabit), 8, N, 1
Çalışma sıcaklığı	-15°C ile +55°C arasında
Nem	85% RH
Güç kaynağı	100 - 240 VAC ve 24VDC (Opsiyonel)
Boyutlar	A:200, B:700, C:80 mm



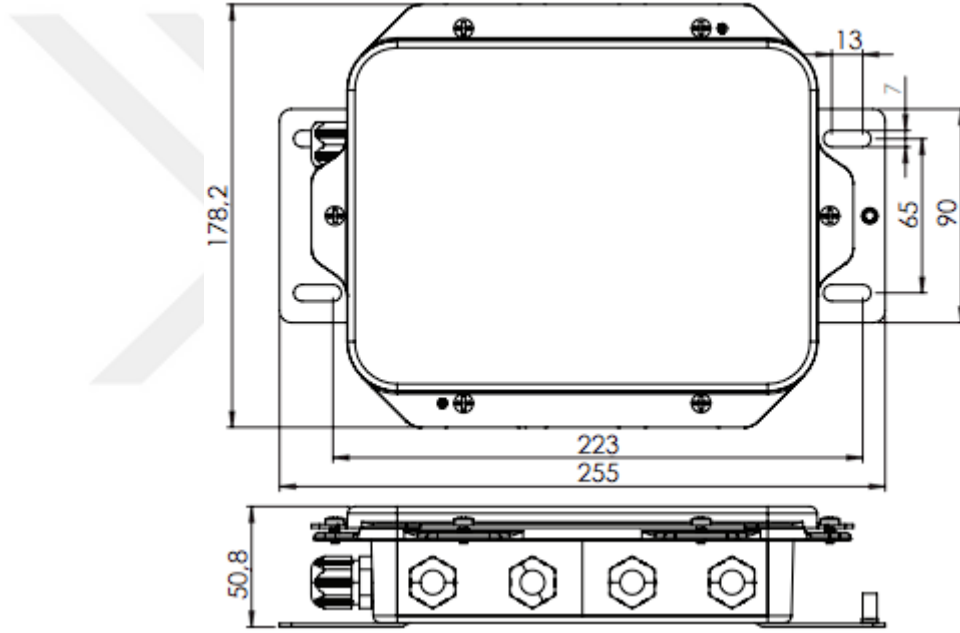
Şekil 4.4. RX100 genel görünümü [4].

Tasarımı yapılan tartım sisteminde, elektriksel bağlantıları korumak ve düzenlemek için bağlantısı kutusu ekipmanı kullanılmıştır. Bağlantı kutusu, genellikle bütün cihazların birbirleriyle olan bağlantılarının yapıldığı, kabloların birleştiği, kabloların birbirine bağlandığı veya dağıtıldığı bir birleştirme noktasıdır. Bağlantı kutusu sayesinde kablolar güvenli bir şekilde bağlanmakta ve dış ortam etkilerinden muhafaza edilmektedir. Bağlantı kutusu bağlantı şekli, elektriksel bağlantıların güvenli ve düzgün bir şekilde yapılabilmesi için önemlidir. Tez çalışmasında kullanılan bağlantı kutusu tasarımında aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulmuştur.

- Bağlantı yapılacak kabloların sayısına ve türüne göre uygun boyutta bir bağlantı kutusu seçilmiştir.

- Kutu, dış etkenlere karşı dayanıklı malzemeden seçilmiş (su geçirmez, toz geçirmez vb.) ve kullanılacak alanın gereksinimlerin uygun olarak boyutlandırılmıştır.

Tartım sistemi tasarımında, sekiz adet giriş ve bir adet çıkış noktasına sahip olan bağlantı kutusu kullanılmıştır. Bağlantı kutusu olarak, paslanmaz çelikten su geçirmezlik özelliği (IP67) olan malzemeden imal edilen, dış ortamda çalışmaya uygun Baykon marka BJS-08A model tercih edilmiştir. Şekil 4.5'te BJS-08A model bağlantı kutusuna ait şematik görünüş verilmiştir.



Şekil 4.5. BJS-08A genel görünümü

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında, prototip üretimi yapılan vagon tartım sisteminin performansını değerlendirmek amacıyla saha çalışmaları gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler analiz edilmiştir. Ayrıca, uzman görüşleri ve endüstri paydaşlarının görüşleri kullanıcı firma aracılığıyla toplanmış ve tasarım analizi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Ayrıca, vagon tartım sistemlerinin mevcut performansı ve kullanımı ile ilgili bilgiler ışığında, tasarımı yapılan tartım sistemi karşılaştırılarak analizi yapılmıştır.

#### 5.1. MUKAVEMET ANALİZİ VE SİMULASYON

Tasarımı yapılan tartım sisteminin mekanik komponentlerinin dayanımlarını belirlemek için sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizi uygulamasında Solidworks programı kullanılmıştır. Mevcut sistemde toplam 100 tonluk bir yükün, iki aks üzerinde toplam dört modüle uygulanması durumunun incelenmesi için hazırlanan simülasyonlarda kullanılan birimler Çizelge 5.1’de, analiz özellikleri Çizelge 5.2’de ve etüt özellikleri Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kullanılan birimler.

Özellik	Değer
Birim sistemi	SI (MKS)
Uzunluk/Yer Değiştirme	mm
Sıcaklık	Kelvin
Açısal hız	Rad/sn
Basınç/Gerilim	N/m <sup>2</sup>

Çizelge 5.2. Analiz özellikleri.

Özellik	Değer
Ad	AISI 1045 çelik, soğuk çekilmiş
Model tipi	İzotropik doğrusal elastik analizi
Varsayılan hata kriteri	Maksimum von Mises Gerilimi
Akma mukavemeti	5,3E+08 N/m <sup>2</sup>
Çekme mukavemeti	6,25E+08 N/m <sup>2</sup>
Elastik modül	2,05E+11 N/m <sup>2</sup>
Poisson oranı	0,29
Kütle yoğunluğu	7,850 kg/m <sup>3</sup>
Yırtılma modülü	8E+10 N/m <sup>2</sup>
Termal genleşme katsayısı	1,15E-05 /Kelvin

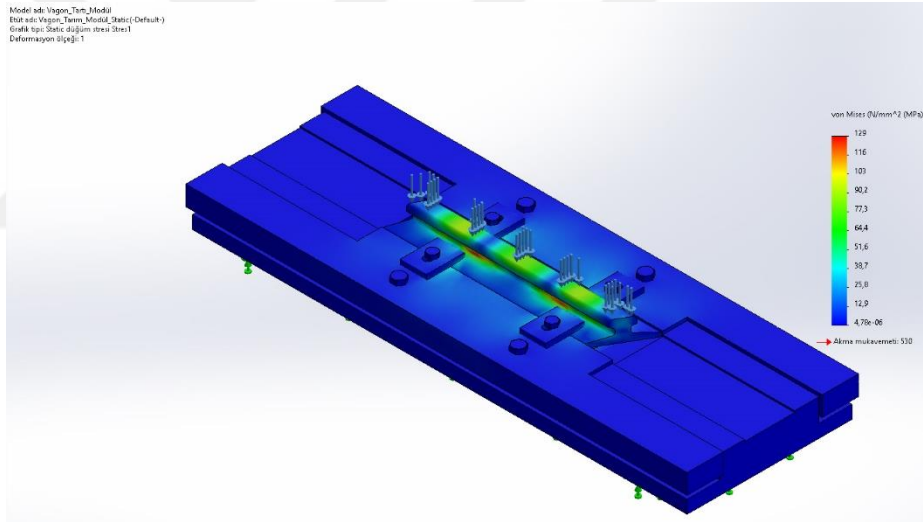
Çizelge 5.3. Etüt özellikleri.

<b>Etüt adı</b>	Vagon_tarım_modül_statik
<b>Analiz tipi</b>	Statik
<b>Mesh tipi</b>	Katı mesh
<b>Termal etki</b>	Açık
<b>Termal seçenek</b>	Sıcaklık yüklerini ekle
<b>Sıfır gerilim sıcaklığı</b>	298 Kelvin
<b>SOLIDWORKS Flow Simulation'dan akışkan basınç etkilerini ekle</b>	Kapalı

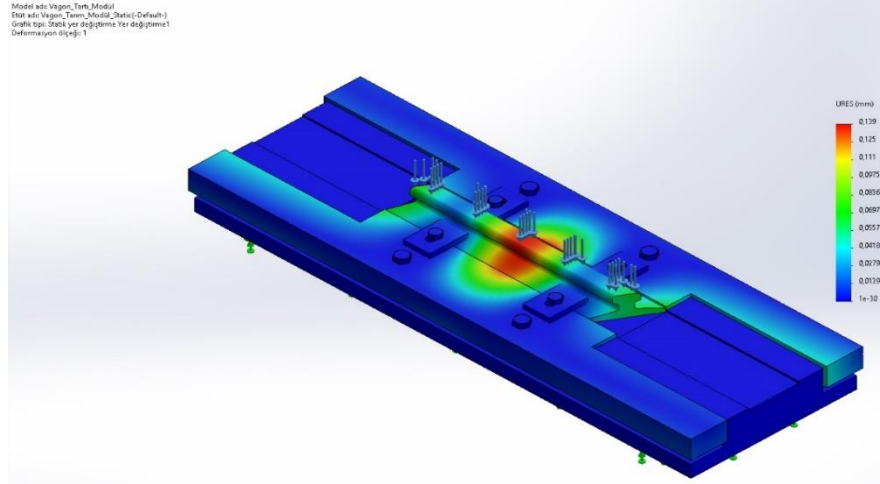
Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te sırasıyla, sonlu elemanlar analizi sonuçlarına göre, von Mises gerilim dağılımı, toplam yer değiştirme ve birim uzama değerleri verilmiştir. Kullanılan mekanik aksama ait malzeme özelliklerinde akma dayanımı 530 MPa'dır. Şekil 5.1 incelendiğinde, mekanik konstrüksiyon üzerinde meydana gelen maksimum von Mises gerilim değeri 129 MPa olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak, mekanik konstrüksiyon üzerinde meydana gelen gerilme değeri, renk ölçeğinden görüldüğü üzere, ağırlıklı olarak 51,6 MPa ile 77,3 MPa arasında değiştiği görülmekte olup, bu değerler akma dayanımı sınırının altındadır. Bu sebeple mekanik konstrüksiyon ekipmanlarının uygulanan yük altında, von Mises gerilim değerleri açısından emniyetli olduğu düşünülebilir.

Diğer yandan, Şekil 5.2'de görüleceği üzere, yük altında sistemde toplam deformasyon değeri 0,139 mm olarak hesaplanmış ve bu değer sadece konstrüksiyonun orta

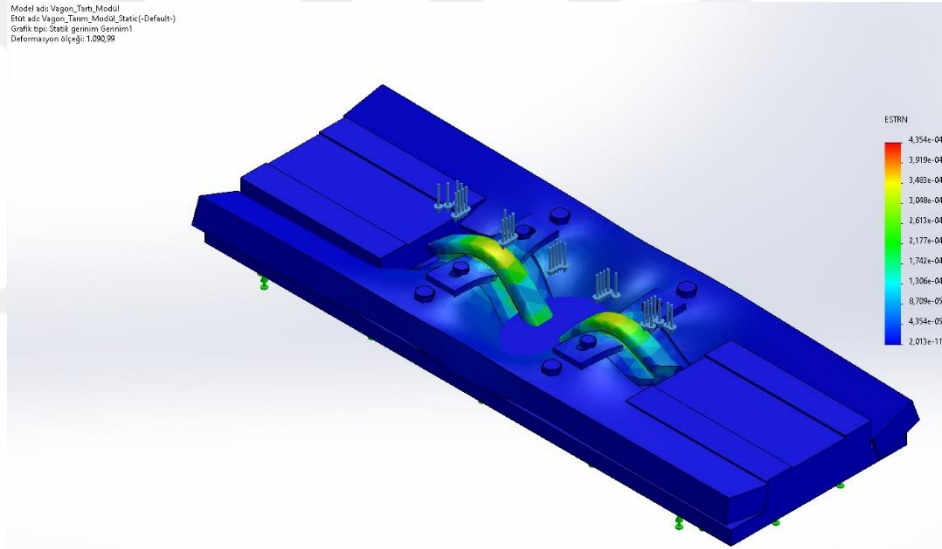
noktasında oluşmaktadır. Benzer şekilde meydana gelen toplam deformasyon, uygulanan yük değeri göz önüne alındığı kabul edilebilir değerde olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, Şekil 5.3'te sistemde meydana gelen birim uzama değeri verilmiştir. Tasarımı yapılan mekanik konstrüksiyonda maksimum  $4,354E-04$  birim uzama elde edilmiş olup, renk ölçeğinden görüldüğü üzere, mekanik konstrüksiyon üzerinde ağırlıklı olarak birim uzama  $1,742E-04$  ile  $3,483E-04$  değerleri arasında olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda, tasarımı yapılan sistemin yapısal olarak uygulanan yükü taşıyabileceğini gösteren bir diğer faktör olarak  $1,742E-04$  ile  $3,483E-04$  değerleri arasında homojen dağılmış birim uzama değerleri gösterilebilir. Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'ten elde edilen verilen ışığında tasarımı yapılan yük vagonu tartım sisteminin mekanik gövde tasarımının, uygulanacak 40 tonluk yüke karşı mukavemet açısından emniyetli olduğu söylenebilir.



Şekil 5.1. Vagon tartım modül von Mises gerilim dağılımı.



Şekil 5.2. Vagon tartım modül statik toplam yer değiştirme dağılımı.



Şekil 5.3. Vagon tartım modül statik birim uzama dağılımı.

## 5.2. SİSTEMİN EFEKTİF TASARIM TARTIŞMASI

Ray malzemesinin seçiminde, uzun vadeli dayanıklılığı ve bakım gereksinimlerini de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Tez çalışmasında yapılan prototip vagon tartım sisteminde az bakım gerektiren, kolay temizlenebilen ve uzun ömürlü olan DIN 536 standardında A55 tipi ray tercih edilmiştir. Diğer yandan, maliyet ise yine ray malzemelerinin seçiminde dikkate alınması gereken diğer bir faktördür. Yapılan incelemelerde farklı ray malzemelerinin maliyetleri ve performansları arasında karşılaştırma yapılmış ve A55 tip rayın fiyat/performans dengesini daha iyi sunduğu

görülmüştür. Yüksek kaliteli ve dayanıklı ray malzemelerinin maliyetleri yüksek iken, maliyet olarak daha düşük olanlar ise dayanımları düşük, ömürleri kısa ve sık bakım gerektirmektedirler. Diğer yandan, yük hücrelerinin mekanik özellikleri de tartım sistemi tasarımında önemli bir yer tutmaktadır. Yük hücrelerinde, mikron altı ölçekteki değişimlere mili saniye içerisinde cevap verebilmek için, nano Newton kuvvet algılama özellikleri gerektirmektedir. Prototip üretimi yapılan tartım sisteminde, mekanik olarak ayarlanabilir sertliğe sahip, uyumlu yük hücresi için yeni bir uygulama tasarımı sunulmuştur. Tartım sisteminde, kuvvet hassasiyetinin belirli bir uygulamanın gereksinimlerine uyarlanmasına olanak sağlanmıştır. Sertlik ayarının çalışma prensibi, yük hücresinin esnek yapısını saptırmak için gereken çabayı telafi etmekte kullanılan potansiyel enerjiyi depolayan önceden yüklenmiş bir yaya dayanmaktadır. Mikro-Elektro-Mekanik Sistemlerden (MEMS) farklı olarak bu sunulan yeni mekanizma santimetre ölçeğinde üretilebilmektedir. Bu sayede, sistemin kırılabilirliği azaltılmakta ve uç efektörlerin değişimi kolaylaştırılmaktadır. Bu teknolojinin temel avantajı, biyoteknoloji, yarı iletken nano problama veya mikro montaj gibi çeşitli ölçeklerdeki farklı uygulamalar için ortak bir kuvvet algılama cihazının kullanımına imkân sağlamasıdır. Tez çalışmasında, yük hücresinin analitik modeli tanımlanmış ve bu analitik model sertlik ayarlama mekanizmasının performansını simüle etmek için kullanılmıştır. Ampirik sonuçlar, genel sertliğin sifıra yakın ve ötesine ayarlanabileceğini ve bunun sonucunda iki durumlu bir modun elde edilebileceğini göstermiştir. Sunulan model, hassasiyet ayarının tasarlanması için özgürlük sağlamakta, test aşamasında ise, prototipin sertliğini yaklaşık 200 kat azaltarak 0,41'lik bir kuvvet algılama çözünürlüğü elde edileceğini göstermiştir. Elastomer temelli yük hücreleri, uygulanan bir yüke yanıt olarak şekil değiştiren ve bu değişimi ölçebilen cihazlardır. Ayarlanabilir sertlik özelliği olan bu yük hücreleri, genellikle yük miktarını ölçmek için kullanılmaktadır.

Ayarlanabilir sertlikte elastomer temelli yük hücresi tasarımına ilişkin temel faktörler, gövde malzeme seçimi, gövde için uygun elastomerik malzeme seçimi olarak sıralanabilir. Silikon kauçuk, poliüretan gibi malzemeler, esneklik ve dayanıklılıkları nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir [50]. Dinamik tartım yönteminde ürünler hareket halinde tartıldığından ve birim zamanda tartılan ürün sayısında artış meydana geldiğinden dolayı, hızlı ve ekonomik tartım yöntemi tercih edilmektedir. Dinamik

tartım sistemleri seri üretim yapan sistemlerde (gıda, eczacılık, tıp, kimya vb.) ve ulaşım sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Dinamik tartım sistemleri birçok sektörde yaygın olarak kullanılmasından dolayı farklı yapı ve formlarda üretilmektedir [51]. Tez çalışmasında prototip üretilen tartım sisteminin endüstriyel diğer uygulamalar ile karşılaştırması yapıldığında, AX tren tartım sistemlerinin kullanılabilir olduğu görülmüştür. AX tartım sistemi aynı anda 20 tekerleğe / 10 aksa kadar tartım yapabilmekte ve gösterebilir statik ekranlarla desteklenebilir şekilde oluşturulabilmektedir. Ayrıca, AX gösterge ekranı dizüstü bilgisayarda yanıtlanabilmekte ve bu özellik geliştirme ve analiz olanakları uzak bir bölgede hatta başka bir ülkede görüntüleme ve bilgilerin işlenmesini olanak sağlamaktadır [52]. Bir diğer farklı sistemde, TD teknolojisinin kullanıldığı durumlarda sistem spesifikasyonları optimize edilerek sistemler verimli hale getirilebilmektedir. Orijinal özelliklerin spesifikasyonları İsveç ulusal demiryolu idaresi tarafından belirlenmiş standartlara göre yenilenmiş spesifikasyonlar doğrultusunda üretimi mümkündür. Ayrıca, tren hareket halindeyken hatta yükleme aşamasındayken WIM sistemi verimlilik ve güvenilirliği temsil etmektedir. Çıkış verileri, örneğin otomatik yükleme sistemlerini optimize etmek ve ana hatlardaki üretim hacimleri ve Gtk ayrıştırılması için kullanılmaktadır. WIM işleminin gelen verileri kabinin eşit şekilde kullanılmasını sağlamak ve aşırı yüklemeyi engellemek olarak belirtilmektedir. Bu veriler de trenin akışını sağlaması için tekerlek arızalarının zamanında tespit edilmesi için çok önemlidir [53].

### 5.3. TARTIM SİSTEMİNİN KURULUMU

Prototip yük vagonu tartım sisteminin kurulumu, kullanılacak olan tartım cihazının tipi, uygulama alanı ve gereksinimlere bağlı olarak değişebilmektedir. Ancak genel çerçevede, prototip yük vagonu tartım sisteminin kurulumunda aşağıda belirtilen işlem basamakları takip edilmiştir.

- **Gerekli ekipmanın seçimi:** Başlangıçta, uygulanacak olan tartım sistemi için gerekli ekipmanların seçimi yapılmıştır. Ekipmanların seçimi işlem basamağı, tartım cihazları, sensörler, veri toplama cihazları, yazılım ve diğer bileşenleri

içermektedir. Uygulanacak olan alan, işletme gereksinimleri ve ölçüm hassasiyeti dikkate alınarak gerekli ekipmanlar seçilmiştir.

- **Kurulum yeri ve montaj:** Tartım sistemi kurulumu için uygun bir yer seçimi yapılmış ve bu seçilen yerin montajlamaya uygun hale getirilmiştir. Bu aşamada, zemin montajı, duvara montajı veya asma montaj gibi farklı montaj yöntemler kullanılmıştır. Montaj işlemi, cihazların güvenli bir şekilde sabitlenmesi, doğru bir şekilde konumlandırılması ve ölçüm doğruluğunun etkilenmemesi için uygun bir tasarımın kullanılması işlem basamaklarını içermekte olup, kurulum bu ilkelere bağlı olarak yapılmıştır.
- **Bağlantılar ve kablolama:** Kurulum sırasında, tartım cihazları, sensörler ve diğer elektronik ve mekanik bileşenler arasındaki bağlantılar ve kablolamalar uygun bir şekilde yapılmıştır. Kablolama ve bağlantıların montajlanmasında, veri iletimi için gerekli kabloların bağlanması, güç kaynaklarının sağlanması işlem basamakları doğru bir şekilde yapılmıştır.

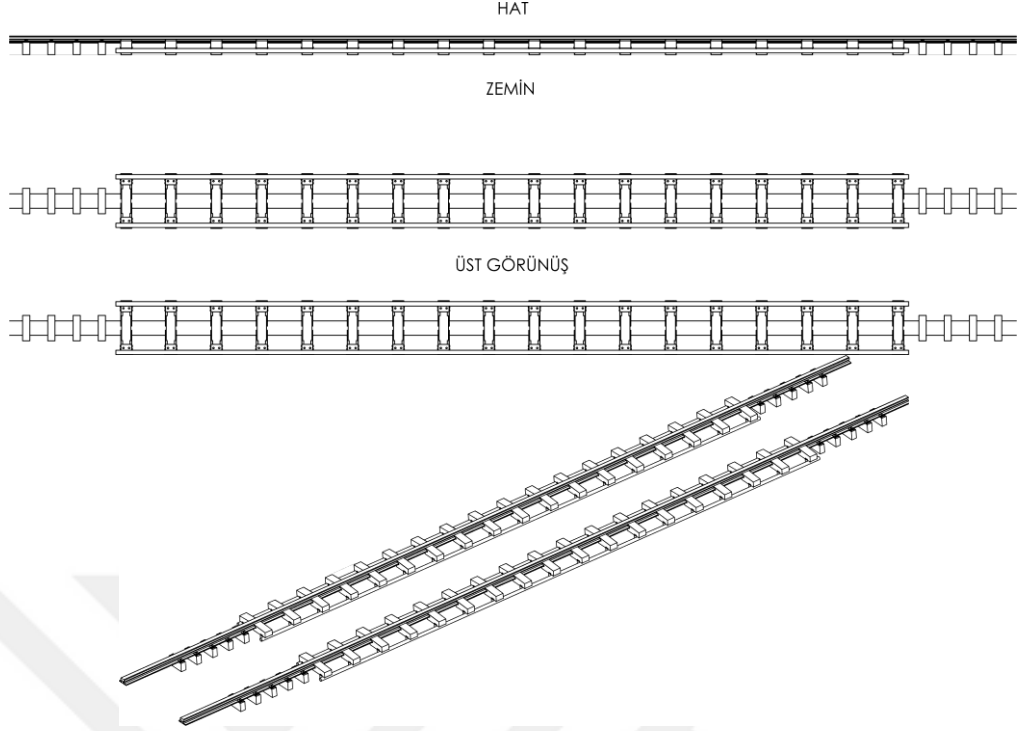
Yük vagonu tartım sisteminin kurulumu işleminde, öncelikle zeminin montajlama için uygun hale getirilmesi ve iskelet montajı yapılmıştır. Zeminde meydana gelebilecek deformasyonlar, arazi engebeleri ve ileride oluşabilecek toprak kayması ve çökmelerine karşı kurulacak alan betonla doldurularak düz bir yüzey elde edilmiştir. Şekil 5.4'te yük vagonu tartım sistemi için kullanılan modülün, işletme içerisindeki kullanılacak zeminde ve raylara yapılmış montajı, Şekil 5.5'te ise tartım sisteminin hat üzerine yerleşimi gösterilmiştir. Tartım sistemi kurulumu esnasında, uzman bir ekip, yasal düzenlemeler ve güvenlik standartlarını göz önünde bulundurarak, üretici firmanın yönergeleri doğrultusunda kurulumu tamamlamıştır. Şekil 5.6'da yük vagonu tartım sistemlerinde genel kurulum şeması, Şekil 5.7'de klasik vagon tartım sistemlerinde yük hücresi montajı gösterilmiştir.



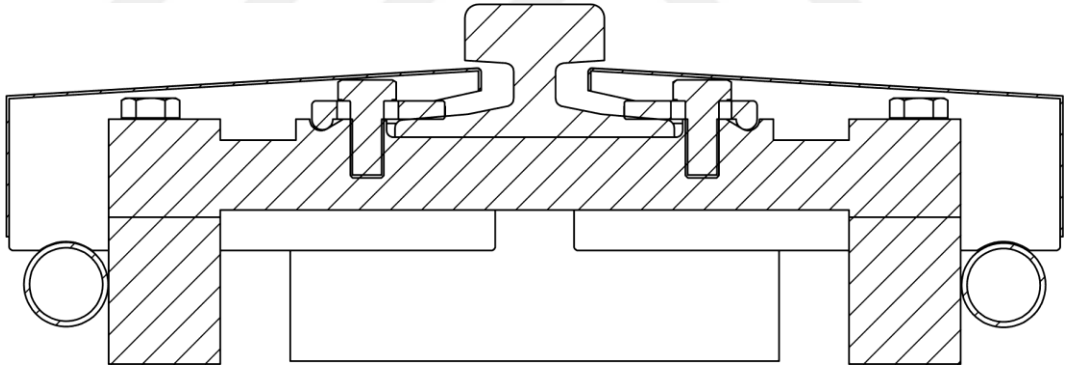
Şekil 5.4. Vagon tartım sistemi modül yerleşim.



Şekil 5.5. Vagon tartım sistemi hat yerleşim.



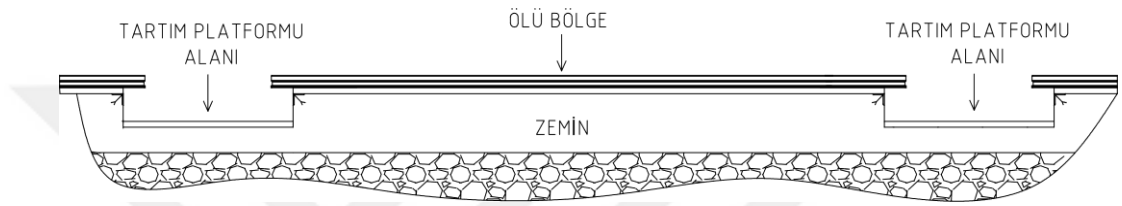
Şekil 5.6. Vagon tartım sistemlerinde genel kurulum.



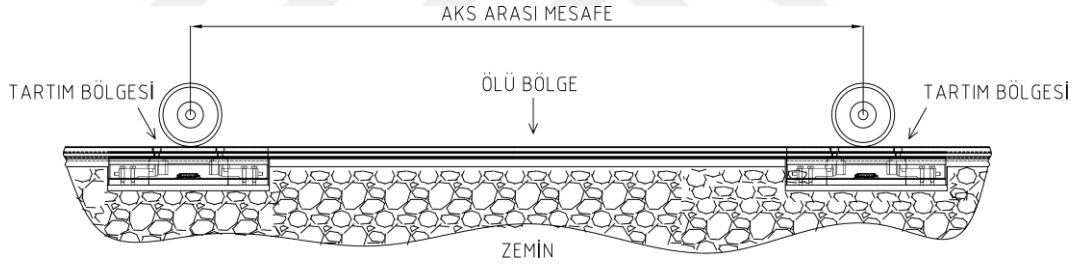
Şekil 5.7. Klasik vagon tartım sistemlerinde yük hücresi montajı.

Mevcut yük vagonu tartım sistemlerinde, Şekil 5.6'da ve Şekil 5.7'de görüldüğü gibi demiryolu ray hattı üzerinde ilerleyen vagonların tartımını sağlamak amacıyla, hat boyunca yerleştirilen yük hücreleri ile ağırlık ölçümünün gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Bu ölçüm metodu tartım alanının genişliği nedeni ile alansal avantaj sağlamakla birlikte, ölü bölgelerde gereksiz yük hücresi kullanımına sebebiyet vererek yüksek maliyetlere neden olmaktadır. Vagon aks noktalarında ağırlık ölçümü yapılırken diğer bölgeler kısmen âtil olarak sistem maliyetini artırmaktadır, bu maliyet düşük kapasiteli yük hücreleri kullanılmasına rağmen hem kurulum hem de sonradan

oluşabilecek bakım maliyetleri açısından dezavantajlı bir durum oluşturmaktadır. Basitleştirilmiş maliyet analizi yapıldığında, aks arası mesafelerin krapo adedine bölünmesi ile kullanılacak yük hücresi adedi bulunmakta ve bulunan bu adet yük hücresi birim maliyeti ile çarpılmaktadır. Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da tez çalışması kapsamında önerilen yük vagonu tartım sisteminin, zemin yerleşimi ve mekanik yerleşimi gösterilmiştir. Önerilen yük vagonu tartım sisteminde, yük hücresi adedinin azaltılması ve ölçü bölgelerde yük hücresi kullanılmaması, maliyet açısından avantajlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.8. Yeni tip tartım sistemi zemin yerleşimi.

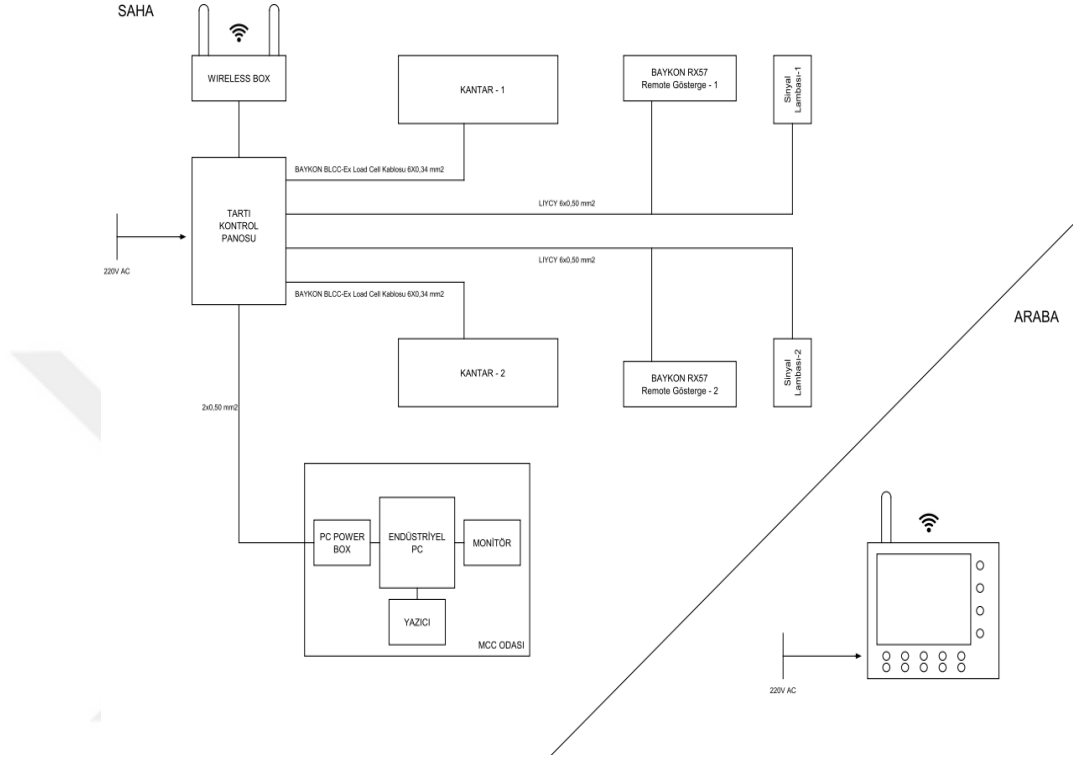


Şekil 5.9. Yeni tip tartım sistemi mekanik yerleşimi.

Önerilen yük vagonu tartım sistemi prototipinde, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da görüldüğü gibi, hat boyu üzerine seri bir şekilde bağlanan yük hücreleri yerine, daha yüksek kapasiteli yük hücreleri kullanılarak oluşturulan ve temel amaç olarak, konumları aks arası mesafelere göre belirlenmiş, vagon teker yüklerini ölçmek için geliştirilen mekanik tartım modülleri aracılığıyla daha efektif tartım sağlayacak bir sistem oluşturulmuştur. Bu sayede gereksiz olarak kullanılmakta olan yük hücreleri sistemden çıkartılmış, bu sayede kurulum maliyeti ve daha sonra oluşacak bakım ve arıza maliyetleri minimize edilmiştir.

Prototip yük vagonu tartım sisteminin kurulumunda, diğer bir aşama tartım ekipmanlarının bağlantılarının yapılarak, tartım sürecinin tamamlanmasını

sağlamaktır. Bu nedenle yük hücresi kabloları bağlantı kutusunda birleştirilerek göstergelere iletimin sağlanması gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.10'da kullanılan ekipmanlar, ekipmanların birbirleriyle olan bağlantıları ve şemaları verilmiştir.



Şekil 5.10. Yük vagon tartım sisteminin bağlantı şeması.

Tez çalışmasında yük vagonu tartım sisteminin devreye alma ve işletme süreci aşağıdaki verilen işlem basamakları ile özetlenebilir.

- **Kalibrasyon ve ayarlar:** Tartım sisteminin kurulumunun ardından, kalibrasyon işleminin yapılması ve gerekli ayarlamaların güncellenmesi gerekmektedir. Kalibrasyon, tartım işlemi için hayati öneme sahip olup, ölçüm doğruluğu tamamen bu adımın başarılı bir şekilde yapılmasına bağlıdır. Tartım sisteminde kalibrasyon işlemi, standart ve onaylı ağırlıklar kullanılarak yapılmış ve cihazların hassasiyetini ve ölçüm doğruluğu sağlamak için kontrol edilmiştir.
- **Test ve doğrulama:** Tartım sisteminin kurulumunun tamamlanmasından sonra, tartım sisteminin test edilmesi ve doğrulanması gerçekleştirilmiştir. Bu

işlem, sistemin doğru bir şekilde çalıştığından ve ölçümlerin istenilen hassasiyette olduğundan emin olmak için yapılmaktadır. Doğrulama adımında, gerekli olan ayarlamalar yapılmış, kullanıcıların ihtiyaçları doğrultusunda doğrulama testleri tekrar edilmiştir.

- **Eğitim ve dokümantasyon:** Tartım sisteminin kurulumunun ve kalibrasyonunun başarılı bir şekilde yapılmasından sonra, kullanıcılar için eğitim verilmiş ve kullanıcılara tartım sistemin kullanımı ile ilgili dokümantasyon sağlanmıştır. Bu işlemde, sistemin nasıl kullanılacağı, bakım işlem basamakları ve sorun giderme adımları gibi başlıklar kullanıcılara ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

#### 5.4. TARTIM SİSTEMİNİN KALİBRASYONU

Kurulumu yapılan yük vagonu tartım sisteminde, işletmenin tartım için kullanacağı ekipmanların kapasiteleri ve ağırlıklarına göre, sekiz adet yük hücresi montaj prosesine uygun şekilde yataklara yerleştirilmiştir. Tartım sisteminin boyutsal özelliklerine göre belirlenmiş platform bileşenleri, iskelet üzerine yerleştirilerek montajlanmış ve böylece mekanik kurulum tamamlanmıştır. Böylece, tartılacak ekipmanların uyguladığı baskı, yük hücreleri üzerinde gerilme meydana getirerek, dijital sinyali değişimi ile tartım işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tartım işleminden elde edilen baskının bilinen ağırlık birimlerine çevrilmesi, yük hücrelerinin gerilme oranına paralel elde edilen çıkış voltaj seviyelerinin uygun şekilde dönüştürülmesiyle gerçekleşmektedir. Yük hücreleri, tiplerine göre 5V ile 15V arasında bir gerilim kaynağı ile beslenmektedir. Yük hücrelerini çalıştıran bu gerilim değeri aynı zamanda, yük hücreleri üzerine yerleştirilmiş gerilim bölücü sistem olan wheatstone köprülerini de beslemektedir. Yük hücresi herhangi bir gerilime maruz kaldığında, lineer 18 oranda wheatstone köprüleri de şekil değişikliğine maruz kalmakta, boylarındaki değişime paralel direnç değerleri değiştiğinden, çıkış voltaj seviyeleri de değişmektedir. Tartım sisteminin kurulmasında, birden fazla yük hücresi kullanıldığı için tek bir çıkış yerine, çok çıkışlı sistem kullanılmıştır. Çoklu çıkışlar, en yaygın kullanılan “bağlantı kutusu” adı verilen birleştirme kutusu ile

birleştirilmiştir. Bu birleştirme kutusunda, trimpotlarla uygun seviyede direnç değerleri ayarlanarak birleştirme sağlıklı bir şekilde elde edilmiştir. Bu sayede analog veya dijital çeviriciye, diğer bir ismiyle indikatöre, tartım sistemi üzerinden tek bir giriş elde edilmiştir. Böylece, sistem üzerinde tartılacak ekipmanın uyguladığı yük, tartım sistemi üzerindeki tüm yük hücrelerinden elde edilen ortalama lineer bir değer olarak çıkış verilmiştir. Yük vagonu tartım sisteminde, tartılacak ürünün ağırlığının çıkış voltajı olarak değerinin ne kadar kilograma eş değer olduğunu belirlemek ve ölçülen ağırlığın gerçek değerinin indikatör üzerinde okuyabilmek için, tartım sisteminin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Kurulan tartım sistem, üzerine baskı yapan iskelet ve platformlar nedeni ile yük altında olduğu için çıkış voltaj değeri sıfırdan farklı bir seviyededir. Tartım sisteminin üzerinde uygulanan herhangi bir yük bulunmasa bile, yük hücreleri tam olarak sıfır voltaj çıkışı verememekte, mili volt seviyelerinde bile olsa sapmalar meydana gelmektedir. Kalibrasyon işlemiyle bu sapmalar minimize edilmiş, indikatör ekranında gerçek ürünün ağırlığı ölçülebilmektedir.

Birleştirme kutusu içerisinde, trimpotlar sayesinde yük hücreleri çıkışları birleştirilerek, ölçüm için tek bir çıkış elde edilmiştir. Bu çıkış, toplam çıkışların bir ortalaması şeklinde olup, tartım sisteminin yapısı ve üzerine gelen yüklerin dağılımı nedeniyle, yük hücreleri üzerine, birbirine yakın değerlerde baskı uygulanmaktadır. Sistemde kullanılan yük hücrelerinin besleme gerilimleri, çıkış omaj değerleri ve birim voltaj değerine karşı üretmiş oldukları çıkış voltaj seviyeleri aynı olmalıdır. Bu değerler farklı yük hücrelerinde aynı olsa bile, hassasiyetlerinde farklılık gösterebilecekleri için sistemde kullanılan tüm yük hücreleri aynı tip ve marka olarak kullanılmıştır. Bu sayede eşdeğere yakın uygulanan baskı ile yük hücreleri birbirine yakın değerlerde çıkış vermiş, montaj ve mekanik yapısı nedeniyle meydana gelen farklılıklar, birleştirme kutusu üzerindeki trimpotlarla hassas ayar yapılarak giderilmiştir. Kalibrasyon işleminin başlangıcında, sıfır değerinin belirlenmesi için, tartım sistemi üzerinde herhangi bir yük yok iken kararlı konumda ölçüm yapılmış ve ölçülen çıkış gerilim değeri kaydedilmiştir. Ölçülen bu değer aynı zamanda tartım sistemi için “Ölü Ağırlık” olarak adlandırılmaktadır. İkinci adımda ise, değeri bilinen bir yükün, tartım sistemi üzerinde ölçülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Burada, yük hücrelerinin birbirleri üzerine olan etkileri göz önünde bulundurularak, uygulanan yükün platformlar üzerine eş dağılımları sağlanmıştır [54].

Denklem 5.1’de görüldüğü üzere,  $AD_0$ , sıfır çevrim sonucu,  $AD_x$ , X kilo değerinin çevrim sonucu olmak üzere eğim (a);

$$a = \frac{AD_x - AD_0}{X} \quad (5.1)$$

eşitliği ile belirlenmektedir. Böylece, tartılan herhangi bir yük için sonuç,  $AD_y$ , Y kilo değerinin çevrim sonucu olmak üzere,

$$Y = \frac{AD_y - AD_0}{a} \quad (5.2)$$

Denklem 5.2 ile belirlenmektedir [53].

## 5.5. ENDÜSTRİ UYGULAMASI ANALİZİ

Tartım sistemlerinin doğruluğu ve hassasiyeti için yapılan deneyler ve analizler, vagon tartım sistemlerinin yüksek doğruluk ve hassasiyete sahip olduğunu göstermektedir. Bu sistemler, taşınan yüklerin doğru bir şekilde ölçülmesini sağlayarak ticari işlemlerin güvenilirliğini artırmıştır. Sistemin verimlilik ve operasyonel faydaları vagon tartım sistemlerinin kullanımı, demiryolu taşımacılığındaki operasyonel verimliliği artırılmıştır. Trenlerin durmadan tartım yapılmasını sağlayarak zaman ve iş gücü tasarrufu sağlamış, ayrıca, aşırı yükleme veya alt yükleme durumlarını tespit ederek güvenliği artırmıştır. Sistemin maliyet etkinliği ve yatırım getirisini belirlemek için yapılan maliyet-fayda analizi, vagon tartım sistemlerinin uzun vadeli maliyet etkinliğini ve yatırım getirisini göstermektedir. Bu sistemler, işletme maliyetlerini azaltırken gelirleri artırmış ve demiryolu taşımacılığı şirketlerine önemli tasarruflar sağlamıştır.

Şekil 5.11’de kurulum ve kalibrasyon işleminin ardından tartım sonuçlarının izlendiği duvar göstergeleri ve tartım işlemi gösterilmiştir. Kurulumu yapılan yük vagonu tartım sisteminde ağırlık ölçümleri üretim alanında RX100 duvar gösterge paneli ile takip edilmektedir. Şekil 5.11’de gösterilen örnek tartım işleminde 33 ton ağırlığa sahip yük vagonu için tartım sisteminde 33010 kg değeri ölçülmekte olup,  $\pm 10$  kg hata payı

içerisindeki veriler elde edilmektedir. Üretim sahası içerisinde bulunan gösterge paneli sayesinde, işletme çalışanlarının verileri anlık olarak takip etmesi ve üretim sürecinin doğru ilerleyebilmesi sağlanmıştır.



Şekil 5.11. Vagon tartım sistemi ağırlık ölçümü.

Yük vagonu tartım sisteminin doğruluk oranı, imalat sürecindeki verimlilik açısından önemli olmakla birlikte, bu verimlilik tartım cihazlarındaki hassasiyet ile sağlanmaktadır. Prototip tartım sistemi ile, ürün girdi ve çıktılarının doğruluk paylarının en iyi düzeye çıkmasını sağlanmış, bunu sağlarken kalibre işlemleri Türkiye Akreditasyon Kurumu'nun belirlediği TS EN ISO 17025 standardına uygun şekilde son kez 3. sınıf kaba teraziler için 40 tona kadar yapılan M1 sınıfında ağırlıklar ve 80 tona kadar üretilmiş ağırlıklarla doğrulanarak devreye alınmıştır.

Prototip üretimi yapılan yük vagonu tartım sisteminin sahip olduğu maliyet avantajının yanı sıra, kullanılan modüllerin ikili yük hücrelerinden oluşan dört ayrı tartım bloğundan oluşması, birbirinden bağımsız olarak monte ve demonte edilebilmeleri, montajdan sonra bütünleşik olarak çalışarak sıralı yük hücresi sistemleri gibi verim verebilmesi diğer avantajları olarak sıralanabilir. Bu özellikleri sayesinde, tartım grubunun kurulum ve arıza sırasındaki pratik işleyişi ile üretim sürecinin zamanlama kısıtına önemli bir alternatif olma özelliği kazandırılmıştır. Önerilen tartım sisteminde,

zemin durumunun uygunluğu ve mevcut durumundaki engebe ve deformasyonlar, inşaat maliyetlerine yol açması nedeniyle dezavantaj olarak görülebilmektedir. Ancak ilk kurulum maliyetinden sonra daha az bakım ve arıza maliyetleri göz önüne alındığında, önerilen tartım sisteminin daha verimli olduğu düşünülmektedir.

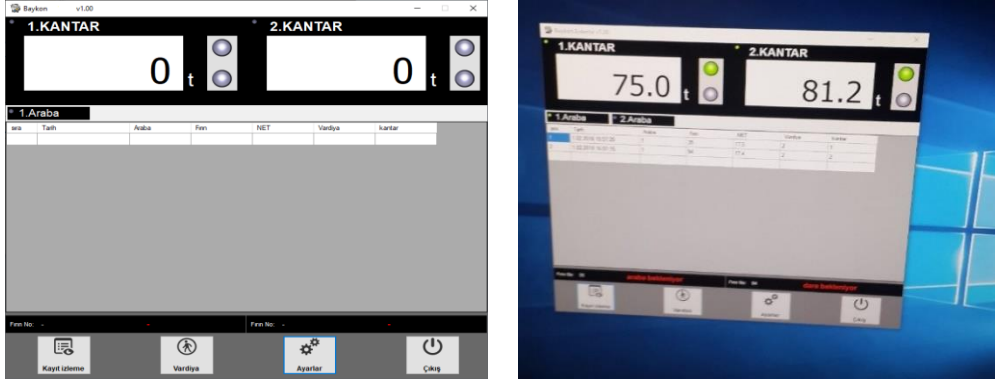
Mevcut demir yollarında kullanılan tartım sistemlerinde, raylara krapo benzeri seri bağlantı şeklinde oluşturulan tartım hatları kullanılmaktadır. Bu şekilde oluşturulan tartım sistemleri yüksek maliyet ve düşük verimliliği sahip sistemler olduğu görülmektedir. Vagon tartım sistemleri, demiryolu taşımacılığında önemli yenilikler ve avantajlar getirmiştir. Önerilen yük vagonu tartım sistemi ile elde edilen avantajlar ve yenilikler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- **Sürekli tartım imkânı:** Prototip yük vagonu tartım sisteminde, trenlerin durmadan ve hızla tartılmasını sağlanmıştır. Bu sayede, trenlerin yüklenmesi ve boşaltılması sırasında sürekli bir akış elde edilmekte ve işletme verimliliği arttırılmaktadır.
- **Hassas ölçüm:** Gelişmiş sensör teknolojileri ve veri analitiği kullanılmasıyla, prototip yük vagonu tartım sistemiyle yüklerin kısa sürede, hassas bir şekilde ölçülmesi sağlanmıştır. Bu sayede, ticari işlemlerin doğruluğu arttırılmış, hatalı ölçümler önlenmiştir.
- **Verimlilik artışı:** Prototip yük vagonu tartım sistemiyle, demiryolu taşımacılığında operasyonel verimlilik arttırılmıştır. Trenlerin durmadan ve hızla tartılması, zaman ve iş gücü tasarrufu sağlamış ve taşıma süreçlerini hızlandırmıştır.
- **Güvenlik ve güvenilirlik:** Prototip yük vagonu tartım sistemiyle, yüklerin doğru bir şekilde ölçülmesini sağlayarak aşırı yükleme veya alt yükleme durumları önlenmiştir. Böylece taşıma güvenliği arttırılmış, taşıma sırasında olası hasar riskleri azaltılmıştır.

- **Maliyet tasarrufu:** Prototip yük vagonu tartım sistemiyle, işletme maliyetleri ve giderleri azaltılarak, gelirlerin arttırılabilmesi mümkün hale getirilmiştir. Sürekli tartım imkânı, zaman ve iş gücü tasarrufu ve operasyonel verimliliği arttırılması işletme gelirlerinin arttırılmasında öne çıkan faktörler arasında olduğu görülmüştür.
- **Çevresel faydalar:** Prototip yük vagonu tartım sistemiyle, demiryolu taşımacılığının çevresel etkileri azaltılmış, daha verimli ve hızlı taşıma süreçleri ile yakıt tüketiminin azaltılarak, karbon emisyonlarının düşürülmesi elde edilmiştir.
- **Operasyonel esneklik:** Prototip yük vagonu tartım sistemiyle, farklı yük türleri ve vagon tipleri desteklenmektedir. Bu sayede, çeşitli endüstriyel ve lojistik uygulamalarda esneklik sağlanmıştır.

## 5.6. VERİLERİN ALINMASI VE İŞLENMESİ

Prototip yük vagonu tartım sisteminde, BX23 model tartım göstergesi için kontrol odasında uygun bir alana kurulum gerçekleştirilmiştir. Tartım göstergesi ile cihazın sağladığı özelliklere göre istenilen şekilde veriler görüntülenebilir ve ayrıca kurulan bilgisayar arayüzü sayesinde bu veriler dahili olarak işletme bünyesindeki bilgisayar altyapısına kaydedilerek gerekli görülecek şekilde işlenmektedir. Özellikle onaylı tartım cihazları için yasal yükümlülükleri karşılama çerçevesinde bu özellikler önemli olmakla birlikte, kayıtlı bilgiler yine istenilen şekilde bilgisayara bağlı endüstriyel yazıcılardan somut veriler olarak çıktıya dönüştürülmektedir. Şekil 5.12’de bilgisayar ortamına kurulan yazılımın arayüzü ve gelen temel tartım verilerini gösteren ekran verilmiştir. Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’te Rs485 protokolü üzerinden haberleşme verisi gösterilmiştir. Rs485 protokolü üzerinden tartım sisteminin tara bilgileri ve vardiya bilgilerinin girişleri yapılabilmektedir. Şekil 5.15’te ise girilen veriler baz alınarak yapılan tartım işlemlerinin görüntülediği ve son işleme tabi tutulduğu işlem sayfası gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Vagon tartım sistemleri yazılım arayüzü.

ayarlar

Araba sayısı

Rs485 portu

Baudrate

	ölçüm kabul alt sınırı (D)	Dara Alt Sınır	Dara Üst Sınır	Max Ağırlık	Cihaz Adresi
1. araba	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="890"/>	<input type="text" value="1500"/>	<input type="text" value="1"/>
2. araba	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="90"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="2"/>

log tut

Şekil 5.13. Vagon tartım sistemleri girdileri.

Vardiya

vardiya adet

tanım	başlangıç saati	bitiş saati
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="00:30"/>	<input type="text" value="08:29"/>
<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="08:30"/>	<input type="text" value="16:29"/>
<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="16:30"/>	<input type="text" value="00:29"/>

Şekil 5.14. Vagon tartım sistemleri vardiya verileri.



## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 6.1. SONUÇLAR

Tez çalışmasında, geleneksel yük vagonu tartım sistemlerine ait, yüksek teknoloji ve düşük maliyete sahip yeni nesil bir tartım sisteminin tasarımı ve endüstriyel kurulumu gerçekleştirilmiştir. Geleneksel tartım sistemlerine kıyasla, kullanılan yük hücrelerinin azaltılması ve maliyetlerin düşürülmesinin yanı sıra, ayarlanabilir yük hücrelerinin kullanılmasıyla çeşitli endüstriyel uygulamalara uygulanabilecek endüstriyel tip bir tartım sisteminin üretimi gerçekleştirilmiştir. Baykon Endüstriyel Kontrol Sistemleri A.Ş. firmasının desteği ile üretimi yapılan yeni nesil tartım sistemi, bilgisayar ortamında ve üretim sahasında tartım işleminin anlık olarak takip edilmesine olanak sağlayan haberleşme özelliğine sahip olup, ağır sanayide hizmet veren demir çelik firmasına kurulumu tamamlanmıştır. Yapılan tez çalışmasının sonucunda;

- Prototip üretilen yük vagonu tartım sisteminin yüksek doğruluk ve hassasiyete sahip olduğunu belirlenmiştir. Bu sistemler, taşınan yüklerin doğru bir şekilde ölçülmesini sağlayarak ticari işlemlerin güvenilirliğini artırmaktadır.
- Prototip üretilen yük vagonu tartım sisteminin demiryolu taşımacılığındaki operasyonel verimliliğinin artmasına neden olduğu görülmüştür. Trenlerin duraksamadan tartımlarının yapılmasının zaman ve iş gücü tasarrufu sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca, aşırı yükleme veya alt yükleme durumlarını tespit ederek iş güvenliğini artırılmıştır.
- Prototip üretilen yük vagonu tartım sistemiyle, 100 tonluk yük altında  $\pm 10$  kg hata payı içerisinde tartım işleminin yapıldığı belirlenmiştir. Elde edilen bu

değerler ile onaylı tartım standartları içinde kalarak endüstriyel onaylı tartım cihazları sınıfına girmiştir.

- Prototip üretilen yük vagonu tartım sistemiyle, iki akslı, dört tekerli bir vagonun efektif tartımı için gerekli olan yük hücresi sayısı %50 oranında azaltılmıştır. Ayrıca ek modül imalatı ve çukur inşaat maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda, toplam maliyet açısından %40 oranında bir avantaj sağlanmıştır. Maliyetlerdeki bu azalma birden fazla sayıda kurulacak hattın varlığı göz önüne alındığında sektöre önemli bir katkı sağladığı görülmüştür.

## 6.2. ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasının devamında, aşağıda verilen hususlar doğrultusunda öneriler sunulabilir. Bu öneriler sıralanırsa;

- İki'den fazla aks bulunduran vagonlarda modül sayısı aks sayısı kadar artırılarak ek maliyetlerin önüne geçilebilir.
- Daha düşük kapasiteli hatlarda (bobin tartım arabaları veya cüruf toplama vagonları gibi) düşük kapasiteli standart lama yük hücreleri kullanılarak üretim ve kurulum maliyetleri düşürülebilir.
- Vagon tartım sistemlerinin teknolojik olarak geliştirilmesi ve yenilenmesi için sensör teknolojileri üzerine çalışmalar yapılması, veri analitiği uygulamaları, otomasyon sistem çalışmaları tartım sistemlerinin performansını verimliliğini arttırabilir.
- Vagon tartım sistemlerinin standartları ve kalibrasyon yöntemleri geliştirilebilir. Bu sayede, daha hızlı ve kolay bir şekilde kalibrasyon yaparak sistemlerin doğruluğunun sağlanması ve endüstri standartlarına uygun hale getirilmesi işletmelerin verimliliğini önemli derecede arttıracığı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. İnternet: Makine Eğitimi, “2023 Çelik Üretim Yöntemleri”, <https://www.makinaegitimi.com/ceLIK-uretim-yontemleri/> (2023).
2. İnternet: Oden Lojistik, “2023 Vagon nedir? Vagon türleri nelerdir?”, <https://www.odenlojistik.com/vagon-nedir-vago-turleri-nelerdir> (2023).
3. İnternet: Türkiye Devlet Demir Yolları, “2019 Yük vagon rehberi”, [https://adminapi.tcddtasimacilik.gov.tr/files/pdfs/vg%20rehberi%20d%C3%BCzenleme%2006\\_2019.pdf](https://adminapi.tcddtasimacilik.gov.tr/files/pdfs/vg%20rehberi%20d%C3%BCzenleme%2006_2019.pdf) (2019).
4. İnternet: Baykon Endüstriyel Kontrol Sistemleri A.Ş., “2023 BY540 yük hücresi”, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=416> (2023).
5. İnternet: Özlem Ticaret A.Ş., “Mekanik tartım nedir? Mekanik tartım türleri nelerdir?”, <https://www.ozlemticaret.com.tr/tartim-sistemleri-nedir-?srsltid=AfmBOoq28fIWAwyUZyAssbjlqsuDHCqQRTFapEDGLBWpcsZrFunzx5E> (2023).
6. Zhonghang, D., Qiang, Y., Ping, C. and Zhigang, S., “Measuring and modeling of liquid water transport in a carbon paper with the aid of centrifuge experiment” *International Journal of Multiphase Flow*, 174 (1): 104793, Shanghai, (2024).
7. Savina, M., Schäppi, B., Molnar, P., Burlando, P. and Sevruck, B., “Comparison of a tipping-bucket and electronic weighing precipitation gage for snowfall” *Atmospheric Research*, Zurich, 103 (1): 45-51 (2012).
8. Yi, S., Liyuan, C. and Zhongqi, X., “Research regarding the double-weighing in air volume determination method” *Measurement: Sensors*, 1 (1): 101357 (2024).
9. Mahbub, A., “A note on flow-induced force measurement of oscillating cylinder by loadcell”, *Ocean Engineering*, 245 (1): 110538 (2022).
10. William, B., Michaela, S., Paolo, P. and Ine, V., “Weights and importance in composit indicators: Closing the gap” *Ecological Indicators*, 80 (1): 12-22 (2017).
11. Henriette, N. and Elisabeth, E., “Indicator-driven data calibration of expert interviews in a configurational study” *MethodsX*, 9 (1): 101699 (2022).
12. Valev, A., “Condition monitoring based on locating defects via strain gauge”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 182 (1): 109587 (2023).

13. Wu, Z., Lei, F., Wang, L. and Felgueiras, Fu Y., “Research on the zero calibration gauge device”, *Heliyon*, 10 (4): e26123 (2023).
14. Gorbushin, A., Kozik, A. and Anokhina, E., “Non-stationary load measurement using six component strain – gauge balances”, *Measurement*, 226 (1): 114176 (2024).
15. Baykon Endüstriyel Kontrol Sistemleri A.Ş., “Tartım cihazları ve yöntemleri teknik klavuzu”, *Baykon Cihaz El Kitapları*, İstanbul, (2020).
16. Tunçay, T. ve Yıldız, M., “R260 ray çeliğinin haddeleme operasyonunun mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisi”, *VI. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendis. Sempozyumu*, Karabük, 341-350 (2018).
17. Kocabekir, İ., Tunca, N., Özer, O., Tümer, C., Eker, C., Özçelik, S., Çuğ, H. ve Ahlatçı, H., “Demiryolu ray sistemlerinde kullanılan hadfield çeliğinin aşınma davranışı”, *II. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyum*, Karabük 1-7 (2013).
18. Yu, F., Ben Jar, P.Y. and Hendry, M., “Effect of temperature on deformation and fracture behaviour of high strength rail steel”, *Engineering Fracture Mechanics*, 146 (1): 41-55 (2015).
19. Harak, S., Sharma, S. and Harsha, S., “Structural dynamic analysis of freight railway wagon using finite element method”, *3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation*, Rooke, 1891-1898 (2014).
20. Press, H., Teukolsky, A., Vetterling, T. and Flannery, P., “Weigh in motion latest devop. And applications world wide”, *The Art of Scientific Computing 3rd Education*, Cambridge, (2007).
21. OBrien, E. and Znidaric, A., “Weigh in motion latest developments and applications world wide”, *Bridge WIM Report of Work Package*, Ljubljana (2001).
22. Caredda, G., Porcu, M., Buitrago, M., Bertolesi, E. and Adam, J., “Analysing local failure scenarios to assess the robustness of steel truss-type bridges”, *Engineering Structures*, 262 (1): 114341 (2022).
23. Calderon, P., Buitrago, M., Bertolesi, E. and Adam, J., “Robustness of steel truss bridges Laboratory testing of a full-scale 21-metre bridge span”, *Structures*, 29 (1): 691-700 (2021).
24. Antori, G., Casas, J. and Ghosn, M., “Redundancy and robustness in the design and evaluation of bridges: European and North American perspektive”, *Journal of Bridge Engineering*, 18 (12): 1241-1251 (2013).

25. Torres, B., Poveda, P., Ivorra, S. and Estevan, L., “Long-term static and dynamic monitoring to failure scenarios assessment in steel truss railway bridges: A case study”, *Engineering Failure Analysis*, 152 (1): 107435 (2023).
26. Calderon, P., Buitrago, M. and Bertolesi, E. Adam, “Fatigue assessment of steel riveted railway bridges: Full-scale tests and analytical approach”, *Journal of Constructional Steel Research*, 182 (1): 106664 (2021).
27. Ghidini, L., Mazzü, A. and Faccoli, M., “Experimental study of wear and rolling contact fatigue in railway wheel steels coupled with various brake block materials: Insights from innovative small-scale testing”, *Wear*, 558-559 (1): 205558 (2024).
28. Abdullah, M., Ferdous, W., Banerjee, S., Mohammed, A. and Manalo, A., “Waste-based Panels with cement grout as an infill material for composite railway sleepers”, *Results in Engineering*, 24 (1): 102924 (2024).
29. Robinson, G., “Errors due to axisymmetric non-uniform loading of column loadcells”, *Measurement*, 7 (1): 30-34 (1989).
30. Weija, D., Shirui, L., Ping, W. and Bing, Y., “Study on fatigue damage tolerance of rail steel materials using peridynamics”, *Engineering Failure Analysis*, 159 (1): 108138 (2024).
31. Wittke, M., Malgarejo, M., Darnieder, M. and Theska, R., “Investigation of a novel monolithic stiffness-compensated mechanism for high-precision load cells”, *60th Ilmanau Scientific Colloquium*, Ilmenau, 1-12 (2023).
32. Sinna, A., Park, Y., Kong, D. and Kim, S., “The influence of loading frame stiffness on loadcell-deadweight force machine interaction”, *Measurement*, 42 (6): 830-835 (2024).
33. Znidaric, A., Lavric, I., Kalin, J. and Kulauzovic, B., “Next generation of bridge weigh in motion system”, *SiWIM Bridge in Motion Manuel, Fourth Edition*, Ljubljana, (2011).
34. Moses, F., “Weigh in motion system using instrumented bridges”, *ASCE Transport Engineering Journal*, 105 (3): 233-249 (1979).
35. OBrien, E., Znidaric, A. and Ojio, T., “Weigh in motion latest developments and app. world wide”, *5rd International Conferance Weigh in Motion*, Paris, 39-56 (2008).
36. Hansen, H. and Dong, Y., “Development and design of an affordable field scale weighing lysimeter using a microcontroller system”, *Smart Agricultural Technology*, 4 (1): 100147 (2017).
37. Raphael, N., Veronica, G., Anne, A., Arjan, B. and Lorant, T., “A system dynamics model for analyzing modal shift policies towards decarbonization in

- freight transportation”, *Research in Transportation Business & Management*, 48 (1): 100966 (2023).
38. Leopold, S. and Paul, E., “Central limit theorems and inference for sources of productivity change measured by non parametric Malmquist indices”, *European Journal of Operational Research*, 277 (2): 756-769 (2024).
  39. Theodor, I., “System and structural analysis concerning rail motor vehicles”, *Mechanism and Machine Theory*, 22 (5): 473-480 (1987).
  40. Zhang, H., Zhu, J., Zhou, Y. and Shen, Z. “Non-contact weigh-in-motion approach with an improved multi-region of interest method”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 212 (1): 111323 (2024).
  41. Yunpeng, D., Jihao, D. and Zhidong, C., “Research on the temperature rise characteristic and material fatigue damage of steel rail under different contact slip ratios”, *Engineering Failure Analysis*, 169 (1): 109234 (2024).
  42. Mette, A., Torben, H., Jens, H. and Dorte, K., “Railway reforms: Do they influence operating efficiency”, *Transportation*, 36 (08-05): 617-638 (2009).
  43. Pedro, S., Rafael, M. and Jose, M., “Market power of railway operators under different vertical structures”, *Transport Economics and Management*, 1 (1): 67-76 (2023).
  44. Costa, A., Martin, R., Santos, M., Felgueiras, C. and Calçada, R. “Weighing-in-motion wireless system for sustainable railway transport”, *Energy Procedia*, 136 (1): 408-413 (2017).
  45. Zhou, X., Zhao, X., Zhao, W. and Hongjun, Z., “Study on highway WIM instrument Intermediate check method based on weighing data of social hides”, *Mod. Electron Techol.* China, 126-132 (2023).
  46. Wang, J. and Liu, X., “Analysis and discussion on improving the precision of highway Automatic weighing scales”, *China Metrol.*, China, 62-64 (2023).
  47. Mao, D., “Evaluation of uncertainty in dynamic indication error measurement of dynamic highway automatic weighing instrument”, *Metrol. Test. Technol.*, China, 64-65 (2017).
  48. Oscar, S., Pedro, S., Rafael, M. and Jose, M., “Efficiency versus market power in the rail industry”, *Research in Transportation Economics*, 108 (1): 101477 (2024).
  49. Baykon Endüstriyel Kontrol Sistemleri A.Ş., “BX23 tartım terminali teknik klavuzu”, *Baykon Cihaz El Kitapları*, İstanbul, (2021).
  50. Smereczak, M., Rubbert, L. and Baur, C., “Design of a compliant loadcell with adjustable stiffness”, *Precision Engineering*, 72 (1): 259-271 (2021).

51. Yanık, M., “Dinamik ağırlık ölçümü için filtre tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 13-14 (2017).
52. Trainweigh Precision Engineering, “AX series mobile train weighing system”, *Technical Manuel*, Sheffield, (2019).
53. Trainweigh Precision Engineering, “Force WIM train weighing”, *Technical Manuel*, Sheffield, (2019).
54. Eneç, H. İ., “Elektronik tartım sistemlerinde çevresel ve mekanik hata etkilerinin minimize edilmesi için yapay sinir ağlarına dayalı yeni indikatör tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 13-14 (2017).



## ÖZGEÇMİŞ

Önder ŞAKAR ilk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2002 yılında Tuzla Teknik Lisesi Elektrik Bölümü'nden mezun oldu. 2004 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp, 2008 yılında iyi derece ile mezun oldu. Lisans eğitimini tamamladıktan sonra çeşitli şirketlerde Mekanik Tasarım Uzmanı olarak görev aldı ve şu anda Baykon Endüstriyel Kontrol Sistemleri A.Ş bünyesinde Mekanik Tasarım Sorumlusu olarak çalışmaktadır. Çalışmakta olduğu şirket bünyesinde ARGE Merkezi kurulduğundan birçok ARGE projesinde aktif görev olarak görev almaktadır.