



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

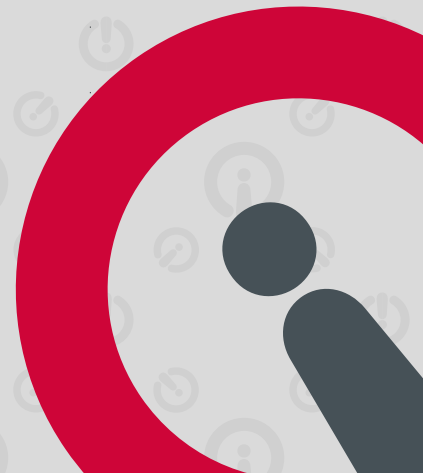
**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**DEMİRYOLLARINDAKİ DERAY
KAZALARI İÇİN NESNELERİN
İNTERNETİ TABANLI
BİLDİRİM SİSTEMİ**

Ahmet BOZAT

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

OCAK 2024





**DEMİRYOLLARINDAKİ DERAY KAZALARI İÇİN NESNELERİN
İNTERNETİ TABANLI BİLDİRİM SİSTEMİ**

Ahmet BOZAT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2024

Ahmet BOZAT tarafından hazırlanan “DEMİRYOLLARINDAKİ DERAY KAZALARI İÇİN NESNELERİN İNTERNETİ TABANLI BİLDİRİM SİSTEMİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat FURAT

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Başkan: Doç. Dr. Lütfü SARIBULUT

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana Alparslan Türkeş Bilim Ve Teknoloji Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Volkan AKDOĞAN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 18 / 01 / 2024

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ahmet BOZAT

18 / 01 / 2024

DEMİRYOLLARINDAKİ DERAY KAZALARI İÇİN NESNELERİN İNTERNETİ
TABANLI BİLDİRİM SİSTEMİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Ahmet BOZAT

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Ocak 2024

ÖZET

Bu çalışmada, demiryollarında yaşanan kazalar arasında en çok görülen deray kazasının erken tespiti için nesnelere tabanlı bir bildirim sistemi geliştirilmiştir. Deray kazası, bir trende vagon ya da lokomotifin tekerlerinin raydan çıkarak demiryolu boyunca tren durana kadar gerçekleşen uzun süren bir kaza türüdür. Bu nedenle, raydan çıkan bir vagonun makinist tarafından erken haberdar edilmesi kazanın oluşturacağı zararların en aza indirilmesi bakımından çok önemlidir. Bu nedenle, bu çalışmada deray kazası olduğunda makiniste kablosuz haberleşme yoluyla bildirim yapan bir sistem geliştirilmiştir. Sistem raydan çıkan vagona oluşan olağan dışı sarsıntı sonucu tetiklenmesi prensibine göre çalışmaktadır.

Yapılan sistem makinist ve vagon modülü olmak üzere iki modülden oluşmakta ve aralarında uzun menzilli kablosuz haberleşmeyi sağlayacak bir donanım ve yazılım bulunmaktadır. Deray kazası meydana gelince vagon modülü kazanın yaşandığı vagon hakkında kablosuz yayın ile bildirim yapmakta ve alıcı tarafında ise lokomotifte bulunan makinist modülü raydan çıkan vagon hakkında makiniste bilgi vermektedir. Böylece trenin hemen durdurulması sağlanarak kazanın daha fazla sürmesinin önüne geçilmektedir. Bu yönü ile geliştirilen sistem deray kazalarının yol açtığı zararın büyümesine de engel olmaktadır.

Bu çalışmada geliştirilen sistemin detayları ve çalışma prensibi detaylarıyla verilmiş ve gelecek çalışmalar için öneriler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Demiryolu ulaşımı, deray kazası, erken uyarı sistemi, nesnelere tabanlı bildirim sistemi.

Sayfa Adedi : 53

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Murat FURAT

INTERNET OF THINGS BASED NOTIFICATION SYSTEM FOR DERAIL
ACCIDENTS ON RAILWAYS
(Master's Thesis)

Ahmet BOZAT

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

January 2024

ABSTRACT

In this study, an internet of things-based notification system was developed for the early detection of derailment accidents, which are the most common accidents on railways. A derailment accident is a long-lasting type of accident that occurs when the wheels of a wagon or locomotive derail on a train and takes place along the railway until the train stops. For this reason, early notification of a derailed wagon by the driver is very important in minimizing the damage caused by the accident. For this reason, in this study, a system that notifies the driver via wireless communication in case of a delay accident has been developed. The system works on the principle that it is triggered as a result of an unusual shaking in the derailed wagon.

The system consists of two modules, the machinist and wagon module, and there is hardware and software between them to provide long-range wireless communication. When a derailment accident occurs, the wagon module notifies the wagon in which the accident occurred via wireless broadcast, and on the receiver side, the machinist module in the locomotive informs the machinist about the derailed wagon. In this way, the train is stopped immediately and the accident is prevented from continuing further. The system developed with this aspect also prevents the damage caused by derailment accidents from increasing.

In this study, the details and working principle of the developed system are given in detail and suggestions are made for future studies.

Key Words : Railway transportation, derailment accident, early notification system, internet of things.
Page Number : 53
Supervisor : Asst. Prof. Dr. Murat FURAT

TEŐEKKÜR

Tez çalıőmamın her aşamasında ilgi ve desteğini esirgemeyen, yönlendirmesiyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren danıőmanım Dr. Öğr. Üyesi Murat FURAT'a, demiryolu bilgisi ve tecrübesi ile tezime katkı sağlayan meslektaőım Y. Müh. Fatih BOZDAĞ'a, her zaman yanımda olan desteğini esirgemeyen aileme ve varlığıyla bana değer katan kıymetli eőime sonsuz teőekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. DEMİRYOLLARI ÜZERİNE YAPILMIŞ BİLİMSEL ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ	4
2.1. Demiryolları İşletmesi Üzerine Çalışmalar	4
2.2. Demiryollarının Altyapı Ve Modernizasyonu Üzerine Teknik Çalışmalar	9
3. DERAY KAZASI	17
3.1. Deray Kazasının Meydana Gelme Şekilleri	19
3.2. Derayın Hat Boyu Elemanlarında Ve Vagonlarda Oluşturduğu Hasarlar	19
3.3. Deray Kazası Üzerine Yapılan Çalışmalar	24
4. MATERYAL VE YÖNTEM	26
4.1. Materyal	26
4.1.1. Arduino mikro denetleyici	26
4.1.2. NRF24L01 modülü	27
4.1.3. Hall effect sensör	28
4.2. Yöntem	28

	Sayfa
4.3. Deray Tespit Sisteminin Montajı	33
4.4. Tasarlanan Sistemin Yazılımı	36
4.4.1. Vagon 1 için hazırlanan yazılım	37
4.4.2. Vagon 2 için hazırlanan yazılım	38
4.4.3. Vagon 3 için hazırlanan yazılım	39
4.4.4. Lokomotif için hazırlanan yazılım	41
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	44
6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR.....	47
KAYNAKLAR	49
DİZİN.....	53

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi 2000 – 2020 arası kaza istatistikleri (TCDD, 2020)	18



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Türkiye’de yıllara göre deray kazası oranları	2
Şekil 4.1. Geliştirilen sistemin akış şeması.....	29
Şekil 4.2. Sarsıntı sensörü tasarım şeması	31
Şekil 4.3. Tasarlanan deray tespit devresine ait şematik diyagram	32
Şekil 4.4. Makinist tarafı deray bildirim devresine ait şematik diyagram	32
Şekil 4.5. Tasarlanan deray tespit sistemine ait şematik diyagram.....	33
Şekil 4.6. Deray tespit sistemi node yapısı	36

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Deray sonucu kırılan boji (TCDD, 2021).....	20
Resim 3.2. Deray eden vagonun bojisi (TCDD, 2021).....	21
Resim 3.3. Deray öncesi ısınma sonucu düşen vagon süspansiyon yatağı (TCDD, 2021).....	21
Resim 3.4. Deray eden vagon dingili (TCDD, 2021).....	22
Resim 3.5. Deray sonucu hasarlanan demiryolu altyapısı (TCDD, 2021).....	22
Resim 3.6. Deray kazası (TCDD, 2021).....	23
Resim 4.1. Arduino mikro denetleyici modülü.....	27
Resim 4.2. Antenli NRF24L01 haberleşme modülü.....	27
Resim 4.3. Hall Effect sensör	28
Resim 4.4. Deray tespit sistemi, 1) Devreye enerji sağlayan güç kaynağı, 2) Enerji bağlantı kablosu, 3) İşlemcinin aktif olduğu gösteren bildiri, 4) Hall effect sensör ve tetikleyici, mekanizması, 5) İletişim sağlayan NRF24L01 modül anteni, 6) Vagona entegre sarsıntı tespit kolu, 7) Vagona montaj uçları....	30
Resim 4.5. Sarsıntı sensörünün tetiklenmesi, 1) Tetikleminin olmadığı durum, 2) Tetikleminin olduğu ve devrenin teklendiği durum.	31
Resim 4.6. Deray tespit sisteminin vagon bodenine montajı.....	34
Resim 4.7. Deray tespit sisteminin vagon bodenine montajı (yakın plan)	35
Resim 4.8. Deray tespit sisteminin çevresel faktörlerden etkilenmeden çalışmasının sağlanması.....	35
Resim 5.1. Deneysel çalışma için seçilen tren.....	44
Resim 5.2. Deneysel çalışma için sistemin vagonlara monte edilmesi.....	45
Resim 5.3. Deneysel çalışma için lokomotif modülünün konumu	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
AI	Artificial Intelligence (Yapay Zaka)
CNN	Convolutional Neural Network (Evrışimli Sinir Ağı)
DT	Decision Tree (Karar Ağıacı)
EST	Elektrifikasyon, Sinyalizasyon ve Telekomünikasyon
GSYİH	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
Hp	Beygir Gücü (Horse Power)
IoT	Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
ML	Machine Learning (Makine Öğrenmesi)
RCSP	Railway Crew Scheduling Problem (Demiryolu Personeli Planlama Problemi)
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TEG	Thermoelectric Generator (Termoelektrik Jeneratör)

1. GİRİŞ

Yeryüzünde devamlı olarak artan insan nüfusu buna bağlı olarak mobilite ihtiyacı hem yük taşımacılığında hem de yolcu taşımacılığında insanoğlunun aşması gereken bir sorun olarak ortaya çıkmıştır. İnsanoğlu mobilite ihtiyacını çeşitli ulaşım türleri bularak ve bunları sınıflandırıp geliştirmiştir. Temel olarak hava, kara ve deniz yolları olarak üç önemli ulaşım türü kullanılmaktadır. Her bir ulaşım türü kendi içinde avantaj ve dezavantajlar barındırmasının yanında her üç ulaşım türü de gelişimlerine devam etmektedir. Hava taşımacılığı zaman bakımından avantaj sağlamakla birlikte yük taşımacılığında maliyet bakımından etkin değildir. Deniz taşımacılığı maliyet etkin olmasına rağmen zaman bakımından dezavantajlıdır. Kara taşımacılığı ise kendi içinde karayolları ve demir yolları olarak ayrılmaktadır. Karayolları araç çeşitliliği ve bireysellik açısından avantajlıdır. Demiryolları basit bir tanımlama ile iki çelik ray üzerinde hareket eden bir demiryolu aracından oluşur ve çevresellik, yük taşıma kapasitesi, maliyet etkin olarak avantajlıdır.

Demiryolu taşımacılığının her geçen gün arttığı ülkemizde 2023 yılından itibaren demiryolu yük taşımacılığı 2035 yılına kadar %457 artış 2035 yılından 2053 yılına kadar %46 artış, demiryolu yolcu taşımacılığında ise 2035 yılına kadar %645 artış 2035 yılından 2053 yılına kadar %85'lik bir büyüme olması öngörülmektedir. Bu durum demiryollarında oluşabilecek risklerin de artması anlamına gelmektedir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2023).

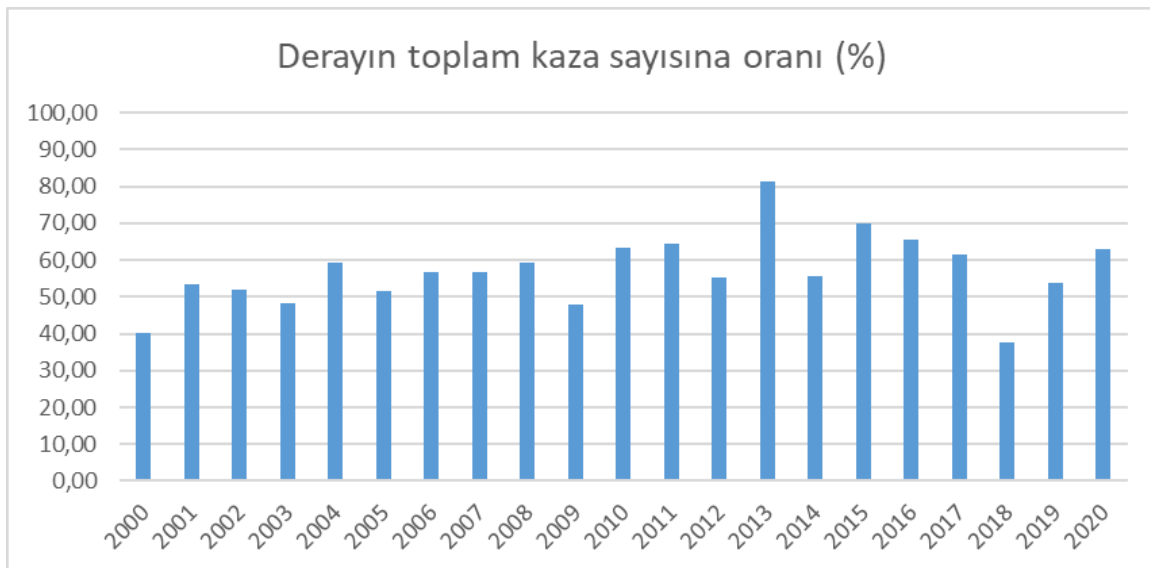
Demiryollarında olay ve kaza olarak isimlendirebileceğimiz olumsuzluklar vardır. Çarpışma, deray, hemzemin geçit kazaları, trenin demiryolunda insana çarpması, demiryolu araçlarında çıkan yangınlar ve benzer durumlar demiryolu kazası olarak ele alınır. Bunun yanında demiryolu raylarında oluşan kırılma veya geometrik bozulmalar, trenlerin dingil ve tekerlerinde oluşan arızalar, sinyalizasyonda ortaya çıkan hatalar ve benzeri durumlar ise demiryollarında olay olarak adlandırılır. (TCDD, 2013).

Demiryollarında kazalar, demiryolu ulaşım türü kullanılan bütün ülkelerde can ve mal kaybı bakımından sorun teşkil etmektedir. Bu konu ile ilgili olarak birçok araştırma yapılmış olup ülkemizdeki kaza ve kaza sonucu ölüm oranlarının oldukça yüksek olduğu ortaya konulmuştur (Akbayır, 2017).

Ortaya konulan olumsuzluklara rağmen demiryollarının gelişmesi ile birlikte hat kapasiteleri, seyrü sefer hızları, yol geometrileri, çeken ve çekilen araç teknolojileri ve emniyet öncelikleyen tedbirler artmaktadır.

Bu çalışmada ele alınan deray problemi, sadece Türkiye’de değil diğer ülkelerde de toplam kazalar içinde önemli yer kaplamaktadır. Deray, bir trenin seferi sırasında lokomotif ya da vagonlarının raydan çıkması olarak tanımlanabilir. Lokomotifin raydan çıkması durumunda tren kısa sürede durabilirken lokomotifin arkasında bir ya da birden fazla vagonun raydan çıkması durumunda makinistin görüş menzili ve fark etme süresine bağlı olarak deray kazasının süresi değişebilir. Her iki durumda da deray kazası boyunca hem raylar hem de deraya uğrayan trenin çeşitli kısımları zarar görür. Dolayısıyla, demiryolu zararın büyüklüğü oranında hizmet dışı kalır. Bu nedenle demiryolları için deray kazası maddi bakımdan oldukça yüklü masraflar açmaktadır.

Şekil 1.1’de Türkiye’de meydana gelen deray kaza sayısının toplam kaza sayısına oranı verilmiştir (TCDD, 2020). Avrupa ülkeleri arasında yapılan istatistiklerde, toplam deray oranının %50’ye ulaştığı yıllar olduğu görülmektedir (Evans, 2021). Ayrıca Kanada yıllık tren kazaları istatistiklerinde, çarpışmadan çok daha fazla kazanın deray kazası olduğu bildirilmiştir (Transportation Safety Board of Canada, 2019, 2021).



Şekil 1.1. Türkiye’de yıllara göre deray kazası oranları

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: İkinci bölümde demiryolları üzerine yapılmış olan bilimsel çalışmalar, demiryolları işletmesi ve demiryolları altyapı ve modernizasyon olarak iki alt başlıkta verilmiştir. Daha sonra, deray kazası genel çerçevede ele alınarak derayın meydana geliş şekilleri, derayın hat boyu elemanlarına ve demiryolu araçlarında oluşturduğu hasarlar ve deray kazası üzerine yapılan çalışmalar verilmiştir. Deray kazası ile ilgili hem teknik hem de istatistiksel bilgiler de verilmiştir. Ardından, deray kazası erken bildirim için kullandığımız materyaller detaylı şekilde incelenerek açıklamalar yapılmış ve geliştirilen sistem anlatılıp montajlanma aşaması ve yazılımına değinilmiştir. Son bölümde değerlendirme yapılarak deray kazasının erken tespitine yönelik teknolojik imkânların kullanıldığı çözümlerin gerekliliği ortaya konulmuştur.

2. DEMİRYOLLARI ÜZERİNE YAPILMIŞ BİLİMSEL ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ

Demiryolları, birçok yönden kara taşımacılığına üstün yönleri bulunan bir toplu taşımacılık türüdür. Ancak yapısal bakımdan kara yolu gibi esnek bir yapıda değil, çelik rayların üzerinde giden bir çekici lokomotif ve ona bağlanan vagonlar ile yapılır. Dolayısıyla, tüm yükü çelik raylar kaldırmaktadır.

Son yıllardaki demir yolları üzerine yapılan bilimsel çalışmalar iki ana başlıkta yoğunlaştığı görülmektedir. Bunlar demiryolu işletme sorunları ve demiryolu teknik sorunlarıdır. Sonraki bölümlerde bu sınıflandırma kapsamında güncel çalışmalar incelenmiştir.

2.1. Demiryolları İşletmesi Üzerine Çalışmalar

Demiryolu işletmeciliğini farklı mühendislik alanlarının bir arada yürütüldüğü ekosistem olarak tanımlayabiliriz. Bu sebeple yapılmış ve yapılacak olan çalışmalarda her bir mühendislik alanının bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmesi gerekmektedir. İşletmecilik için ele alınan konular tek başına yeterli bir değerlendirmeyi sağlamayacaktır. Bu sebeple işletmecilik ile ilgili olarak farklı çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmaların en önemli konu başlığı şüphesiz güvenlik ve emniyeti ele alan konular olmuştur çünkü her geçen gün demiryolu ağı gelişmekte buna paralel olarak yolcu ve yük trafiği artmaktadır. Diğer taraftan da gelişen teknoloji ve iyileştirilen altyapı ile birlikte demiryollarının hızları da artmakta olup emniyet ve güvenlik konuları öne çıkmaktadır.

İşletme yapılacak hat kesiminde buluşma yapılabilecek istasyon adedinin fazla olması hat kapasitesini doğrudan etkileyeceğinden, talep edilecek trenlerin planlanabilmesinde kolaylık sağlayacaktır. Yapılacak işletmecilikte yük artışı planlandığı durumlarda da taleplerin karşılanabilmesine olanak sağlayacaktır. Hat kesiminde taşınacak yükün cinsi, kullanılacak lokomotif, vagon tipleri ve hattın çeker miktarı belirlendiğinde hatta bulunan istasyonların yol boyu uzunluklarından kaynaklı tren boyu kısıtı nedeniyle göz önünde bulunmalıdır (Kaya, 2017).

Demiryollarının en önemli görevlerinden ve kümülatif fayda sağladığı alanlar biri de yük taşımacılığıdır. Demiryolları ile yük taşımacılığı her ne kadar maliyet etkin olsa da çeşitli

riskleri de içinde barındırmaktadır. Bu nedenle literatürde demiryolu tehlikeli madde taşıma sistemindeki kazaları önlemek amacıyla, 24 modelli risk analizi önerilmiştir. 24 modeli insan odaklı ve organizasyon odaklı bir risk analizi modeli olduğu belirtilmiştir. Bu model uygulandığında emniyetsiz malzeme koşulları, emniyetsiz insan eylemleri, bireysel faktörler, emniyet yönetim sistemi, emniyet kültürü ve dış faktörler tek tek analiz edilmektedir. Daha sonra kaza nedenlerinin karşılıklı etkisi analiz edilmektedir. Yapılan vaka çalışmalarının analiz sonuçları, kazanın risk faktörleri arasındaki dinamik ve doğrusal olmayan etkileşim nedeniyle meydana geldiği görülmektedir. Diğer risk analiz yöntemleri ile kıyaslandığında kazaların kısa sürede etkili ve hızlı şekilde azaltmasından ziyade, kazaları tamamen ortadan kaldırılması isteniyorsa 24 modelin etkili ve uygulanabilir olduğu ortaya konulmuştur (Huang vd., 2019).

Yüksek hızlı demiryolu altyapılarının inşası sorunları dünya çapında giderek daha fazla ilgi görmekte olup yumuşak topraklı alanlardaki zemin oturması özellikle kritik bir sorun haline gelmektedir. Yumuşak toprağın yüksek sıkışabilirliği ve düşük geçirgenliği nedeniyle yumuşak toprak olan yerlerde inşaat sonrası zemin oturmasının kontrol edilmesi son derece zordur ve bu durum yüksek hızlı trenlerin işletme güvenliğini ciddi şekilde tehdit etmektedir. Yapılan bir çalışmada yumuşak toprak bölgelerindeki yüksek hızlı demiryolu temellerinin önemli sorunları ele alınmış olup balastlı ve balastsız hatların temel iyileştirme yöntemleri üzerine teorik ve deneysel çalışmalar irdelenmiştir. Altyapıda kullanılan fore kazık yöntemin daha hassas ve verimlilik esaslı analizlerinin yapılarak uygulanması vurgulanmıştır. Yumuşak zemin temellerinde, özellikle geçiş bölgelerinde ve yanal olarak genişletilmiş dolgularda diğer dolgu uygulamalarına göre hafif dolgu uygulamasının oturma kontrolünde önemli avantajları olduğu belirtilmiştir (Zhou vd., 2020).

Bir başka çalışmada da sayısallaşma ve dijitalleştirme terimleri arasındaki farklar anlatılmıştır. Demiryollarının dijital yönetimiyle bağlantılı olarak dijital ekonominin on iki temel özelliği açıklanmaktadır. Çalışmada dijital demiryolu kontrol sisteminin diğer sistemler arasındaki yeri gösterilmiştir. Temel olarak dijital trafik kontrolünün ilkeleri açıklanmış ayrıca dijital kontrol için temel bir bileşen olarak radyo rölesi bilgi alanının içeriği açıklanmakta olup dijital yönetimin dijital lojistikle ilişkisi gösterilmektedir. Dijital demiryolu yönetiminin uygulanmasının özel bir sistemin oluşturulması yoluyla gerçekleşmesi gerektiği kanıtlanıyor. Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisinin dijital

yönetimin gelişimindeki rolü anlatılıyor. Dijital demiryolu yönetimi, herhangi bir ülkede taşımacılığın verimliliğini artıran yenilikçi bir teknolojidir. Nesnelerin interneti uygulamalarının yanıt verme hızı ve yönetim verimliliği artırdığı gözlemlenmiş olup tavsiye edilmiştir (Tsvetkov vd., 2019).

Gecikme tahmini; tren tarifesi ve sevkiyatı ile ilgili önemli bir konudur. Gerçek dünyadaki operasyon kayıtlarına dayanarak, gecikmelerin doğru tahmin edilmesi, tren operasyonlarında ve dağıtım görevlilerinin kararlarında büyük önem taşımaktadır. Bu konunun ele alındığı bir çalışmada Hollanda demiryolu hattındaki tren tanımlayıcı kayıtları aracılığıyla tren gecikmeleri ve bunları etkileyen faktörler arasındaki etkileşimi gösteren bir model tren gecikmesini ve zaman serisi trendini etkileyen ana faktörlere dayanarak bağımsız ve bağımlı değişkenlerin belirlenmesiyle gerçek gecikme süresinin bağımlı değişkene karşılık geldiği uzun kısa süreli bellek tahmin modeli Python aracılığıyla oluşturulmuştur. Farklı gecikme tahmin modelleri kıyaslanmış, test edilmiş ve sunulan modelin daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir (Wen vd., 2020).

Demiryolu personel çizelgeleme problemi, belirli bir süre boyunca tüm trenleri ve ilgili faaliyetleri kapsayacak şekilde demiryolu mürettebatı için en verimli görev kombinasyonunun bulunmasından oluşur. Ulaştırmadaki personel planlama sorunları taşımacılık endüstrilerinden kaynaklanmaktadır. Değişen koşullara kolay ve hızlı bir şekilde uyum sağlayabilen ve bu koşullar altında planlama yapabilen bir program olan RCSP model ve yöntemleri incelenmiş olup personele görev atayarak personel kadrosunun önemli ölçüde verimli bir şekilde kullanıldığı belirtilmiştir (Heil vd., 2020).

Gecikme yönetiminin ele alındığı bir çalışmada trenle seyahat eden yolcuların güzergahta tren değiştirmesinin gerekebileceği ve yolcunun odak treninin gecikmesi durumunda yolcu diğer bağlantısını kaçırabilir ve yolculuğuna nasıl devam edeceğine karar vermek zorunda kalabilir. Gecikme yönetimi, bağlantılı treninin geciken yolcuları bekleyip beklememesi gerektiği sorusuna cevap aramaktadır. Bağlantılı tren beklerse, gecikmeler ağ üzerinden aktarılacaktır. Literatürde gecikmeleri ve bunların demiryolları üzerindeki etkilerini ve bozulan planların nasıl yeniden programlanacağını ele alan birçok çalışma bulunmaktadır. Gecikme yönetiminin planlanma sürecinde diğer taşımacılık modlarıyla bire bir bağlantılı olduğu bunun sonucunda da bütünsel bir yaklaşım benimsenmiştir. Ayrıca yolcuların gecikmesine odaklanması, önceden belirlenmiş tarifenin yeniden gözden geçirilmesi ve

demiryolundaki aksaklıkların giderilmesi amacıyla en uygun çözümün yolcuların ve taşımacıların ihtiyaçlarını karşılayabilecek bütünsel modellerin çalışılması tavsiye edilmektedir (König, 2020).

Gelişmekte olan ülkelerde demiryolu sistemleri gelişmiş ekonomilere göre geride kalmaktadır. Bu çalışmada, gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilir demiryolu sistemlerinin gelişimini destekleyen gerekli araçlar ve potansiyel yasal çerçeve incelenmiştir. Önerilen metodolojinin en büyük yeniliği teknolojinin gelişmesi ve düzenleme arasındaki uyumdur. Demiryolu taşımacılığının gelişimi, yakıt endüstrisindeki fiyat dinamiklerinden, elektrik enerjisi endüstrisinden, teknolojik gelişmelerden ve ülkenin planlanan yatırım hacminden önemli ölçüde etkilenir. GSYİH 'deki değişiklikler, büyüme oranları, nüfus yapısı, önceliklenen ulaşım modunun cinsi, demiryolu araçlarında meydana gelen değişikliklerin düzenli olarak izlenmesi ve analizi sürdürülebilir demiryolu sistemleri üzerinde etkilidir (Wangai vd., 2020).

Ulaşım ve enerji ağları gibi kritik altyapı ağları, toplumun ve ekonominin işleyişi için gereklidir. Artan ulaşım talebi, demiryolu ağlarındaki sıkışıklığı artırıyor ve dolayısıyla ağlar birbirine daha bağımlı hale gelerek işletilmesi açısından daha karmaşık hale gelmektedir. Bu makale de demiryolu taşımacılığında dayanıklılığının tanımı oluşturulmaya çalışılmıştır. Demiryolu dayanıklılık belgelerinin kapsamlı, güncel bir incelemesini sunulmaktadır. Odak noktası niceliksel yaklaşımlardır. Makalede yazarlar, dayanıklı demiryolu taşımacılığına ilişkin yaklaşımları gözden geçirmiş; hem tekli hem de çoklu aksaklıklara hızlı ve etkili bir şekilde müdahalesi ve bunların giderilmesi, gelecekteki aksaklıklara karşı hazırlıklı olunması, yani doğası gereği esnek ve kolayca uyarlanabilen demiryolu operasyonlarının tasarlanması gibi konular ele alınmıştır. Ayrıca, iklim değişikliği etkisinin, gelecek yıllarda artması beklenen etkileri nedeniyle, uzun vadeli yatırımların gözden geçirilmesi, çok disiplinli tahmin modellerinin geliştirilmesi (kesinti süresi, yağmur/kar beklentisi, su baskını vb.) diğer araştırmaların yapılması önerilmiştir (Bešinović, 2020).

Demiryolu hattına yönelik geleneksel bakım ve yenileme çalışmalarının planlanması, deneysel yöntemlere ve basit çizelgelemeye dayanmaktadır. Demiryollarında teknolojinin gelişmesiyle birlikte birçok veri toplanabilir hale gelmiştir. Bu veriler geleneksel bakımdan ziyade önleyici bakıma yardımcı olmaktadır. Veriler toplanırken en büyük yardımcılar

sensörlerdir. Yapılan çalışma, engelleyici bakımda veriye dayalı bir model ortaya koymuştur. Demiryollarında bakım; ray geometrisi düzensizliği, ray mantarı hataları, eksik ray bileşenlerinin tespiti, veriye dayalı modellerin uygulanmasında en çok dikkate alınan konular olarak öne çıkmaktadır. Literatür incelemesine dayanarak, veriye dayalı modeller, hat bileşenlerinin gereksiz değiştirilmesini önlenemediği, maliyetlerden tasarruf edilemediği ve demiryolu ulaşımının güvenliğini, kullanılabilirliğini ve verimliliğini artırabildiği kanıtlanmıştır (Xie vd., 2020).

Demiryolu operasyonlarındaki geçmiş kazalardan ders almak, demiryolu operasyonlarının gelecekteki emniyetini sağlamak açısından değerlidir. Demiryolu işletme kazaları çarpışma ve raydan çıkma gibi farklı türdedir. Kazalara yol açan tehlikeler arasındaki etkileşimler nedeniyle farklı demiryolu işletme kazaları birbiriyle ilişkilidir. Kazaları bir bütün olarak incelemek çözüm noktasında daha fazla yardımcı olacaktır. Bu çalışmada demiryolu işletme kazalarından öğrenmeye yönelik geliştirilmiş ağ teorisine dayalı bir yaklaşım önerilmiştir. Demiryolu işletme kazalarına araştırmak ve kaza nedenlerini ortaya çıkarmak amacıyla hem geleneksel veriler hem de geleneksel verilerin kök sebepleri tanımlanmıştır. Önerilen yaklaşım gerçek bir dizi demiryolu işletme kazasına uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen yaklaşımın, özel topolojik analiz yoluyla demiryolu operatörlerinin geçmiş kazaları anlamalarına yardımcı olmada etkili olduğunu göstermektedir (J. Liu vd., 2019).

Yapay zekâ (AI) uygulamaları çoğu mühendislik alanında olduğu gibi demiryolu taşımacılığında da giderek yaygınlaşmaktadır. Yapay zeka ile bağlantılı en umut verici yaklaşımlardan birkaçını saymak gerekirse makine öğrenimi, yapay görme ve büyük veri analitiğidir.

Yapılan bir çalışmada, yapay zekânın temel kavramları olası demiryolu uygulayıcılarına tanıtılmaktadır. Araştırmacılara ve uygulayıcılara yapay zekâ tekniklerini, araştırma alanlarını, disiplinlerini ve uygulamalarını hem genel anlamda hem de otonom sürüş, bakım ve trafik yönetimi gibi demiryolu uygulamalarıyla yakın bağlantılı olarak anlama konusunda rehberlik edecektir. Çalışmada farklı olarak, bakım, emniyet, otonom sürüş, ulaşım planlaması, gelir yönetimi, ulaşım politikası ve yolcu hareketliliği dahil olmak üzere demiryolu sistemleri bütünsel olarak ele alınmıştır. Yapılan araştırma yapay

zekânın emniyet, bakım, muayene, otonom sürüş gibi birçok alanda uygulanabilir olduğunu ortaya çıkarmıştır (Besinovic vd., 2021).

Yüksek hızlı demiryolunda, trende yemek sipariş etmek giderek daha popüler hale gelen bir taleptir. Sipariş edilen yemeğin; zamanında hazır olması ve ekonomik olarak fiyat avantajı sağlaması gerekmektedir. Stoklama, talep sayılarındaki belirsizlik, teslimat süreleri göz önüne alınmıştır. Mevcut sipariş sisteminde zaman ve teslimat gibi belirsizlikler olmakla birlikte önerilen modelde bu konular sorun olmaktan çıkmıştır (Luo & Xu, 2023).

Yapılan başka bir çalışmada çift hatlı bir demiryolu ağındaki bakımlar için optimizasyon modeli önerilmiştir. Modeli çözmek için Lagrange modeli kullanan sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. Modeli ve algoritmayı uygulamak ve test etmek Çin demiryollarındaki veriler kullanılmıştır. Hesaplamalı sonuçlar, önerilen model ve algoritmanın etkinliğini ve verimliliğini göstermekte, tren sayısının artmasıyla birlikte hesaplama süresinin ve çözüm kalitesinin tamamının kabul edilebilir aralıklarda olduğunu göstermektedir. Bu durum önerilen yöntemin büyük ölçekli bir demiryolu ağında çok sayıda trenin programlanabileceğini göstermektedir (Zhang vd., 2020).

2.2. Demiryollarının Altyapı Ve Modernizasyonu Üzerine Teknik Çalışmalar

Altyapıların dayanıklılığının artırılması, altyapıların risk hassasiyetini azaltmak ve farklı düzeylerdeki tehlikelerin (örneğin, iklim değişikliğinin neden olduğu artan aşırı olaylardan kaynaklanan) etkilerini hafifletmek açısından önemlidir. Demiryollarında güvenilirliğin en önemli yönlerinden biri de ekstrem olay ve eylemlere hazırlıklı olmaktır.

Bu amaçla yapılan bir çalışmada, mobil haritalamadan toplanan verileri kullanarak karasal ulaşım ağlarının izlenmesi için LiDAR sensörleriyle donatılmış sistemler kullanılmıştır. Lidar sensörlü sistemler karşılaştırılan sistemlerden daha etkin sonuçlar vermesine rağmen toplanan verilerin boyutunun büyük miktarda olmasından dolayı tam verimle çalışmadığı durumlar söz konusu olmaktadır (Soilán vd., 2019).

Trenlerin ağır tonajlara sahip olması, büyük dingil yüküne sahip çekerlerin ve yüksek yoğunluk ve hacme sahip araçların demiryollarında aktif olarak taşımacılık yaptığı düşünüldüğünde güvenlik, demiryolları için tartışılmaz bir önceliktir. Demiryollarında tren

geçtiğinde fiber optik etrafındaki ortam titreşiminin değişeceğinden, ağır yük treninin çalışma durumunun izlenmesi için yeni bir yöntem olarak demiryolu dağıtılmış akustik sensör teknolojisi kullanılarak izleme ve konumlandırma çalışması yapılmıştır. Gerçek zamanlı izleme ve konumlandırma için ortam tarafından üretilen titreşim sinyalinin fiber optik tarafından algılanabildiği üzerine çalışma yapılmıştır. Sahada yapılan deneyler ve testler aracılığıyla, yöntemin, trenlerin uzunluğu, hızı, konumu ve yönü gibi çalışma durumu bilgileri gerçek zamanlı ve sürekli olarak elde edilebiliyor ve konumlandırma hatası çok az olabilmektedir. Orijinal sinyaldeki ortam gürültüsünü filtrelemek için çok seviyeli dalgacık ayrıştırma yöntemi kullanılmıştır. Sinyal öncesi ve sonrası arasındaki fark hesaplanarak zaman alanı özelliği çıkarılmış ve dinamik eşige göre trenlerin etkin sinyali elde edilmiştir. Önerilen yöntem, çalışan treni doğru bir şekilde tanımlayabilmekte ve trenlerin uzunluğu, hızı, konumu ve yönü gibi çalışma durumu bilgilerini gerçek zamanlı olarak elde edebilmektedir. Trenlerin güvenliği için fiber optik sensörün uzun mesafeli dağıtılmış algılama, pasiflik, anti-elektromanyetik girişim ve yüksek konumlandırma doğruluğu gibi avantajları göz önüne alındığında, DAS, ağır yüklü trenlerin çalışması için güvenilir bir yardımcı olabileceği ve potansiyel uygulama değerine sahip olduğu görülmüştür (He vd., 2019).

Son yıllarda demiryolu altyapıları ve sistemlerinin, hem yük hem de yolcu taşımacılığında artan talebin karşılanmasında yüksek verimli bir ulaşım türü olarak önemli bir rol oynamaktadır. Demiryolu altyapıları ve sistemleri; trafiğin artması, aksların ve araçların ağırlaşması ve hız artışı gibi faktörlerden kaynaklı olarak bozulmaya karşı son derece duyarlı hale gelmektedir.

Yapılan bir çalışmada, fiber optik sensörlere dayanan önemli sayıda yenilikçi algılama teknolojisi, küçük boyut, hafiflik, elektromanyetik etkileşim ve korozyona karşı dayanıklılık gibi kendine özgü avantajlarından dolayı yapı sağlığı izleme amacıyla kullanılmıştır. Fiber optik tabanlı izleme sistemleri, yapısal özelliklerin gerçek zamanlı ölçümü ve uzun vadeli değerlendirmesi için yarı dağıtılmış ve sürekli dağıtılmış algılama tekniklerini kullanmıştır. Kullanılan yöntem, erken aşamada hasar tespitine ve sınıflandırılmasına olanak tanımakta, yıkıcı arızaların zamanında giderilmesine ve önlenmesine yardımcı olmaktadır. Çeşitli fiber optik sensörlerin temel prensipleri, yeni algılama ve hesaplama metodolojileri ve demiryolu altyapısının izlenmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca bu teknolojilerin sıcaklık, gerilim, yer değiştirme, gerinim

ölçümleri, tren hızı, kütle ve konum, aks sayımı, tekerlek sayımı, ray oturumları, demiryollarında aşınma, yıpranma, demiryolu köprüleri ve tünellerinin emniyeti fiber optik sensörlere dayalı algılama yöntemi kullanılarak izlenebilmektedir (Du vd., 2020).

Güvenli ve sürdürülebilir demiryolu taşımacılığı için doğru ve uygun bakım yapmak şarttır. Geleneksel bakım uygulamaları maliyetli ve büyük ölçüde insan gücüne dayanmaktadır. Verimli olmayan genel bakım uygulamaları ve önleyici bakım programındaki aksaklıklar, demiryolu hizmetinin kesintiye uğramasına ve güvensiz taşımacılığa yol açabilir. Bu sebepten dolayı bilgisayar destekli sistematik bakımlar önem kazanmaktadır. Otonom bir bakımın ön koşulu, konumsal farkındalık açısından yüksek derecede doğruluğa sahip olmasıdır. Demiryolu ağı boyunca konumu belirlemek için farklı sistemler tarafından kullanılan stratejileri, teknikleri, yapılar incelenmiştir. Bu çalışmada demiryolu ağına karşılaşılan zorluklarla başa çıkmak için daha fazla otonom hat tabanlı sistem tasarımı ve yöntemlerinin geliştirilmesine yönelik genel bir yön sağlamaktadır. Demiryolu hattı varlıklarının periyodik muayenesi ve bakımı, altyapının güvenli bir şekilde işletilmesi ve varlıkların düzenli olarak arızalanmasının ve eskimesinin önüne geçmek açısından kritik öneme sahiptir. Otonom ve güvenilir metodolojiler, uygun maliyetli ve verimli varlık yönetimini kolaylaştırabilir. Raylı taşıtların hassas ve gerçek zamanlı konumlandırılması, robotik komuta ve kontrol, görev yürütme, güvenlik ve verimlilik açısından çok önemlidir. Bakım amacıyla demiryolu hattında otonom araç konumlandırması için gerekli donanım ve yazılım metodolojileri araştırılmıştır. Demiryolu altyapısı bakım gereklilikleri ve stratejileri, bakım hedefleri ve genel önleyici ve düzeltici iş akışları gözden geçirilerek, yerleştirmede doğruluğun özerklik için gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır. Hat boyu konumlandırma stratejisinin uygulanmasının, yalnızca gerçek zamanlı uygulamalar için verimlilik ve doğruluktan yoksun olmakla kalmayıp, aynı zamanda yapım ve periyodik bakım için büyük inşaat yatırımı gerektirmektedir (Rahimi vd., 2022).

Demiryolu istasyonları, demiryolu sistemlerinin temel unsurlarıdır ve kamusal günlük yaşamda hayati bir rol oynarlar. İnsanların ve varlıklarının güvenliğini sağlamak için birçok alanda çeşitli yapay zekâ teknolojileri kullanılmıştır. Ancak tren istasyonlarında risk yönetimi zordur çünkü istasyonlar dinamik ve karmaşık koşullara sahiptir. Bilgisayarlı görü ve örüntü tanımayı kullanan yeni bir çerçeve öneriyoruz. Riskleri tanımlamak demiryolu sistemlerinde risk yönetimini gerçekleştirmek için denetimli bir makine

öğrenme modeli olarak evrişimsel sinir ağının (CNN) uygulanmıştır. Uygulanan modelde önerilen CNN modelinin riskli davranışları otomatik olarak çıkarabildiğini ve sınıflandırabildiğini göstermektedir (örn. platform üzerine düşme). Yöntem, bir veri dizisindeki tüm nesnelere algılanıp tanındığına dair yüksek güven taşır. Bununla birlikte, insan davranışıyla ilgili riskli eylemleri otomatik olarak tespit edebilir. Elde edilen sonuçlar, programcılara, operatörlere ve karar vericilere doğrudan görsel sonuçlar sağlayabilir ve operasyonları daha güvenli bir şekilde gerçekleştireceklerini öğrenmelerine olanak sağlamak için kullanılabilir (Alawad vd., 2020a).

Hat düzensizlikleri demiryolu araçlarının çalışma güvenliğini ve sürüş konforunu etkiler, dolayısıyla hizmetteki araçların dinamik tepkilerini kullanarak hat düzensizliklerinin belirlenmesi büyük ilgi görmektedir. Çin'deki yüksek hızlı demiryolu hatları esas olarak köprülerden oluştuğundan, araç dinamiğini önemli ölçüde etkileyen araç-köprü etkileşimleri yol düzensizliklerinin belirlenmesindeki tepkiler dikkate alınmalıdır. Bu makalede, gerçek zamanlı araç-köprü etkileşimlerini göz önünde bulundurarak araç dinamik tepkilerini kullanarak demiryolu köprülerindeki hat düzensizliklerini tanımlamak için bir Kalman filtre algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritma, hizmetteki araçların hızlanma tepkilerini kullanarak demiryolu köprülerindeki hat düzensizliklerinin etkin bir şekilde izlenmesine olanak sağlar. Ayrıca önerilen algoritma, aracın üç tipik çalışma durumu, sabit hız durumu, hızlanma durumu ve yavaşlama durumu için de etkilidir (Xiao vd., 2020).

Demiryolu araçlarına yönelik daha yüksek hız, daha iyi sürüş konforu ve daha düşük bakım maliyeti gibi yeni taleplerle birlikte aktif süspansiyonlar oldukça ümit verici teknolojilerdir. Sensörlerin ve aktüatörlerin teknik olgunluğunun artmasıyla aktif süspansiyon, benzeri görülmemiş geliştirme fırsatlarına sahiptir. Demiryolu araçlarına yönelik aktif süspansiyon, sensörler, kontrolörler ve aktüatörler gibi elektroniklerin dahil olduğu bir teknoloji olarak tanımlanır. Geçtiğimiz 40 yıl boyunca, aracın dinamik davranışlarını farklı açılardan önemli ölçüde iyileştirebilen çeşitli teknolojilerin kapsamlı bir kombinasyonu haline gelmiştir.

Son on yılda trenlerin devrilmesi dışında birçok klasik kavram, teoriden uygulamaya kadar çok sayıda yeni ilerleme kaydetti ancak aktif süspansiyon teknolojisinin tren işletme operasyonlarında yaygın şekilde benimsenmesi gerçekleşmedi. Sektöre dayalı maliyet-

Fayda analizleri, olası etkiyi tam olarak belirlemek için gereklidir. Mükemmel bakım ve uygulama çözümleri sağlayan, uygun fiyatlı, güvenli ve güvenilir çözümlerin geliştirilmesi kritik öneme sahiptir (Fu vd., 2020).

Raylı sistemlerde istasyon güvenliği genel yapının kritik bir unsuru olmasına rağmen istasyonlarda kazalar hala meydana gelmektedir. Kazaları analiz etmek ve güvenlik sistemlerini geliştirmek için makine öğrenimi (ML) gibi en son teknolojiyi kullanılmıştır. ML, mühendislik sistemleri de dahil olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır ve günlük yaşamımızda bizimle etkileşime girmektedir. Yapılan bir çalışmada güvenlik sınıflandırmasında karar ağacı (DT) yönteminin kullanımını ve kazalardan etkilenen yolcuların özelliklerini tahmin etmek için tren istasyonlarındaki kazaların analizi yapılmıştır. Bu çalışmada, makine öğreniminin güvenliği sağlamak, otomatikleştirilmiş süreçleri kullanmak ve bu güçlü teknolojiden fayda sağlamak için nasıl uygulanması gerektiği üzerine durulmuştur. Bu yöntemi uygulamak ve araştırmak için tren istasyonlarındaki kazaların neden olduğu ölümlere odaklanan bir vaka çalışması seçilmiştir. Demiryolu endüstrisi için emniyet analizinde makine öğreniminin yenilikçi uygulamasının büyük potansiyeli olduğu gösterilmektedir. Demiryolu endüstrisindeki emniyet görevlerine çeşitli makine öğrenimi yöntemleri uygulanabilir. Bu çalışmada, istasyonların güvenliğini artırmak amacıyla makine öğreniminin gerçek potansiyellerinden demiryolu endüstrisi tarafından yararlanılmasına yönelik yenilikçi bir öneri sunulmaktadır. Yapılan çalışma da makime öğreniminin uygulanmasını kanıtlamak için oldukça küçük bir veri kümesi kullanmış olmasına rağmen yüksek ve kabul edilebilir bir performans elde edilmiştir fakat pratikte uygulamayı kullanmak için çok büyük miktarda test verisi ve kaza ayrıntısı gerekmektedir. Ayrıca uygulamanın kullanılabilmesi ve istasyonlarda uygulanabilmesi zorlu bir iş olduğu ve detay teknik çalışmalar yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır (Alawad vd., 2020b).

Demiryolu emniyetini sağlamak amacıyla hatta oluşan çatlağın tespiti hakkında yapılan bir çalışmaya göre LED–LDR düzeneğini kullanan IoT tabanlı bir çatlak tespit sistemi önerilmiştir. LED–LDR düzeneği, RF vericisi ve alıcısı dahil basit bileşenleri kullanılan etkili demiryolu çatlak tespit sistemi olarak sunulmuştur ve bildiri iletimi için daha fazla bilginin yüksek hızda ve uzun mesafelerde aktarılmasına olanak tanıyan güneş enerjisiyle çalışan RF alıcı-vericisi kullanılmıştır. Uzun vade de maliyet etkin ve daha güvenilir sonuçların alınacağı belirtilmiştir (Benazer vd., 2021).

Yüksek hızlı tren işletmeciliği insanlara kolaylık sağlarken, özellikle demiryoluna yakın yerleşim alanlarında gürültü kirliliği gibi çevresel etkileri de olabilmektedir. Özellikle gürültü, elektrik üretmek için toplanabilecek yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle eş zamanlı olarak gürültüyü azaltmak ve elektrik üretmek için gürültü bariyerlerinin kullanılması anlamlı bir araştırma konusu olmakla birlikte yüksek hızlı demiryollarından gelen düşük frekanslı gürültünün akustik enerjisini elektriğe dönüştürmek için bir Helmholtz rezonatörü ve Poliviniliden Florür (PVDF) filmi kullanan yeni bir yenilenebilir enerji toplayan gürültü bariyeri incelenmiştir. Yenilenebilir enerji toplama sistemi şeması temel olarak dört bileşenden oluşur: Gürültü toplama giriş modülü, ses basıncı yükseltme modülü, elektrik jeneratörü modülü ve güç depolama modülü. Ses basıncı bir Helmholtz rezonatöründe güçlendirilir ve elektrik jeneratörü modülündeki bir PVDF filmi akustik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürebilir. Testlere dayanarak, sistemin bir ünitesinin 110 dB'de anlık maksimum 74,6mV çıkış voltajı üretebilmesi, yüksek hızda yenilenebilir enerji için uygulanan önerilen akustik enerji toplayan gürültü bariyeri sisteminin verimliliğini ve uygulanabilirliğini göstermektedir. Testler sonucunda PVDF filmi kullanarak ses enerjisini elektriğe çevrilmesinde diğer yöntem olan Helmholtz rezonatöründen elektrik üretilmesinden yaklaşık %10 daha fazla elektrik enerjisi üretildiği görülmüştür. Yakın bir gelecekte özellikle yerleşim alanlarının çevresinde, geleneksel gürültü bariyerinin yerine enerji toplayan gürültü bariyeri hızlı tren hatlarına uygulanabilir (Wang vd., 2018).

Demiryolu hattının izlenmesi için servis treninden alınan ölçümler bir makalede kullanılmıştır. Uygulamalar için İrlanda demiryollarına ait bir servis treni ivmeölçer ve küresel konumlandırma sistemi ile donatılmıştır. Hilbert dönüşümü, ivme sinyallerinin anlık genliklerini elde etmek için kullanılmıştır. Tren hızının sinyallerin enerji seviyesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle verilere iki aşamalı hız düzeltilmesi uygulanmıştır. Öncelikle son hızı belirli bir sınırın altında olan geçişlerden elde edilen veriler veri setinden çıkarılmıştır. Daha sonra geri kalan sinyaller için bir ölçeklendirme faktörü tanımlanır ve çevrimiçi hız ölçümleri kullanılarak bu sinyallerin enerji seviyeleri ölçeklenmiştir. Trenin hızı saatte 50 km'nin altında olduğunda enerji göstergesinin artık güvenilir olmadığı gösterilmiştir. Her 1 km'lik veri bölümü için bu düşük hızlı geçişler kaldırılarak veri seti temizlenir ve geri kalan geçişler trenin ileri hızı kullanılarak ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirilmiş genliklerin çoklu ölçümler için iyi bir tekrarlanabilirlik sağladığı ve geçiş izlemesi için önemli bir potansiyel gösterdiği gösterilmiştir (Malekjafarian vd., 2019).

Demiryolu taşımacılığının güvenliğinin sağlanması için arızaların düzenli olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Görsel denetimler ve geleneksel tespit yöntemleri daha düşük iyileştirmeye yardımcı olur. Bu çalışma da görsel muayene alanı incelenmiş olup geleneksel algılama yöntemleriyle karşılaştırıldığında görüntü işleme teknolojisinin birçok avantaja sahip olduğu görülmüştür. Demiryolu bileşenlerine yönelik pratik kullanıma sunulabilecek bir görsel muayene sisteminin, kısa işlem süresi, düşük hesaplama miktarı ve yüksek güvenilirlik özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Ayrıca böyle bir sistemde kullanılan yöntemin, veri toplama ekipmanının kurulum konumu, araç hareketinin neden olduğu görüntü gürültüsü ve yüksek tren hızının neden olduğu görüntü bulanıklığı gibi müdahalelere karşı yeterince dayanıklı olması gerekir. Gölge sorunu, algılanmak istenilen nesnenin genellikle orijinal rengini ve görünümünü değiştiren toz ve yağ leke kirlerinden kaynaklı yanlış algılama sorunları görsel denetim teknolojisinin uygulanabilirliğini sınırlamaktadır. Her ne kadar uygulamanın kısıtlamaları olsa da gelişen GPU teknolojisi ile birlikte görüntü işleme hızlarının ve tespitlerdeki doğruluğun arttığı görülmüştür (Liu vd., 2019).

Yapılan bir çalışmada ankrajsız montaj özelliğine sahip demiryolu enerji toplayıcısının; tasarımı, modellemesi, laboratuvar testi ve saha uygulamaları ele alınmıştır. Önerilen sistem, demiryolu hattı sapmalarından enerji toplayarak demiryolunun hat kenarı boyunca alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Genellikle elektrikli yolcu trenleriyle karşılaştırıldığında, yük trenlerinin çoğu, mesafelerin uzun olması nedeniyle hala uygun maliyetli elektriğe erişimden yoksundur. Bu makale iki zorluğun üstesinden gelmeyi amaçlamaktadır: güç kapasitesinin artırılması ve kurulum kolaylığı. Önerilen sistemde traversin demiryolu temeline sabitlenmesi ihtiyacını ortadan kaldırmak için bir yay ve sıfırlama mekanizması kullanılır. Önerilen tasarım, hat kenarındaki birçok elektrikli cihazı destekleme potansiyeline ve demiryolunun operasyonel güvenliğini artırmak için alternatif bir enerji kaynağı olarak hizmet vermektedir. Tasarım kendi kendine güç sağlayan bir sistem oluşturmaktadır. Ayrıca sabit güç kaynaklarının bulunmadığı taşra yerlerde veya tünelli bölgelerde demiryolu güvenliğini artırmak için birçok demiryolu hat kenarı ekipmanına ve altyapıdaki elektrik sistemine güç verme potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir (Lin vd., 2018).

Yapılan bir çalışmada, demiryolu hattında meydana gelen sıcaklık azalması ve artmasından kaynaklı değişimleri yakalayıp termoelektrik enerji elde etmek amaçlanmıştır.

Termoelektrik enerji, termoelektrik jeneratör (TEG) aracılığıyla elektrik üretmek için kullanılabilir. Çalışmada uygulanan yöntem ile sıcaklık değerlerinin değişiminden kullanılabilir güç elde edilebildiği görülmüştür ve %60'lara varan verimlilik oranına sahip bir sistem kurulmuştur. Toplanan enerji demiryolu sürdürülebilirliği açısından izlenmesi gereken bilgileri alan sensörlere güç sağlamış ve böylece demiryollarına alternatif bir enerji önerilmiştir. Yenilenebilir ve çevreci bir kaynak alternatifi verilmiştir (Gao vd., 2019).

Kompozit travers mevcut ahşap traversle şekil, sertlik ve ağırlık yönünden benzerlikler göstermektedir ancak dayanıklılık, çevre dostluğu, maliyet etkinliği ve daha uzun kullanım ömrü gibi ek avantajlara sahiptir. Bu nedenle bazı durumlarda ahşap veya beton traverslere alternatif olarak kompozit traverslerin de kullanılmasının uygun olacağı başka bir makalede vurgulanmıştır. Laboratuvar ortamı ve sahada yapılan test çalışmalarında da direnç ve konumu koruma konusunda da kompozit traverslerin avantajlı olduğu görülmüştür. Ancak kompozit traversli balast yatağı, hat yapısının jeolojik ve iklimsel faktörlerden dolayı önemli değişikliklere açık olduğu bölgelerde kullanıma uygun olmadığı da belirtilmiştir (Ferro vd., 2020).

Demiryolu tren/tünel yapısı tren hızının artmasıyla deforme olur bu da aerodinamik sürtünme, kayma akışı, basınç dalgası ve mikro basınç dalgası gibi bir dizi aerodinamik problem üretir. Tünellerin aerodinamik etkileri, tren enerji tüketiminde önemli bir artışa, demiryolu tren/tünel sisteminin ömrünün kısılmasına ve bakım maliyetinin artmasına neden olacağı belirtilmiştir. Bu makalede demiryolu tren/tünel sisteminin aerodinamiğinin incelemesi ele alınarak tünellerdeki aerodinamik etkileri azaltmak amacıyla tren şekillerinin tasarım aşamasında değiştirilmesi tavsiye edilmiştir. Ayrıca, tünellere şaft, davlumbaz gibi yardımcı tesislerin kurulmasının faydalı olacağı belirtilmiştir (Niu vd., 2020).

Bu çalışmaların dışında, bu tezde ele alınan deray kazası üzerine yapılan bilimsel çalışmalar ayrı bir bölümde değerlendirilmiştir. Konunun önemi ve mevcut durum sonraki bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

3. DERAY KAZASI

Demiryolları taşımacılığında hareket sırasında ortaya çıkabilen deray kazası, demiryolu kazalarında önemli bir yer tutmaktadır. Genel olarak, demiryollarında çeken veya çekilen araçların, yani lokomotifin veya vagonun, raydan çıkması olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle deray, tren tekerlerinden en az birinin çeşitli sebepler ile raydan çıkması ile oluşan kazadır (TCDD, 2013).

Demiryolu operasyonlarındaki geçmiş kazalardan ders almak, demiryolu operasyonlarının gelecekteki emniyetini sağlamak açısından değerlidir. Demiryollarında meydana gelen kazalar ve sebepleri araştırıldığında; deray kazası ve buna bağlı kazaların ön planda olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.1’de verilen T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi tarafından tutulan kaza istatistikleri incelendiğinde toplam kazalar içinde deray kazasının önemli yer tuttuğu görülmektedir (TCDD, 2020). İstatistikler yüzde cinsinden incelendiğinde, her yıl meydana gelen kazaların yaklaşık yarısının deray olduğu sonucu çıkmaktadır (Şekil 1.1).

Ülkemiz demiryollarında meydana gelen kazaları ve sebeplerini araştırmak amacıyla 2013 yılında TCDD tarafından Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu kurulmuştur. Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu meydana gelen kazaları sınıflandırarak 100’den fazla kaza sebebi bulmuştur. Kurul tarafından düzenli olarak kazalar hakkında istatistiksel veriler sunulmaktadır. Kök nedeni deray olan kazaların azaltılması amacıyla yenilikçi teknolojiler ortaya konulması gerekliliği açıktır.

Deray kazasının sebepleri konusu oldukça karmaşık bir durum olmakla beraber literatürde farklı açılardan ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Bu sebeplerin herhangi birisi meydana geldiğinde lokomotif ya da vagon atalet kuvvetleri etkisinde kalarak rayların dışına çıkmaya zorlanır ve raylardan çıkar.

Çizelge 3.1. T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi 2000 – 2020 arası kaza istatistikleri (TCDD, 2020)

Yıl	Türüne Göre Kaza Sayısı				Toplam
	Çarpışma	Deray	Trenden Düşme	Diğer	
2000	42	87	67	21	217
2001	19	104	56	16	195
2002	21	71	36	9	137
2003	21	90	59	16	186
2004	14	115	47	18	194
2005	16	88	60	6	170
2006	11	96	41	21	169
2007	7	89	49	12	157
2008	16	104	47	8	175
2009	5	63	54	9	131
2010	8	52	18	4	82
2011	8	51	17	3	79
2012	4	32	13	9	58
2013	2	22	2	1	27
2014	2	10	3	3	18
2015	4	28	2	6	40
2016	4	23	4	4	35
2017	2	8	2	1	13
2018	6	6	1	3	16
2019	4	14	2	6	26
2020	9	22	-	4	35

Hali hazırda vagonlarda bulunan fren sistemi makinist tarafından aktif edilerek sabo adı verilen frenleme pabuçları kondüvit hattından kendisine gelen havanın kesilmesiyle tekerlek (boden) yüzeyini sıkarak frenlemeyi sağlar. Deray kazası, kazanın şiddetine bağlı olarak vagonlardan birine ait hava hortumunun kopmasıyla nedeniyle vagon dizisinin meydana yavaşlamadan makinistlerin farkındalığı ile haberdar olunabilmektedir. Ancak, lokomotifler yüksek çekme kuvvetine sahip olduğundan dolayı (2400, 3300, 4300, 6300, 8000 Hp) makinistlerin deray kazasını fark etmesi çok zayıf bir ihtimaldir. Örneğin, yüklü vagon dizisinin son vagonu olarak bağlanan boş bir vagonun deray etmesi durumunda kazanın farkındalığı küçük bir ihtimaldir ve onarılmaz can ve mal kayıplarına sebep olabilecektir. Bu yöntem, pratiklik ve teknolojiye yoksun, güvensiz ve riskli bir tespit

yöntemidir. Yüksek hızlı veya ağır tonajla ilerleyen bir trende derayın ilkel yollarla tespit edilmesinin beklenmesi günümüz şartlarına uymamaktadır.

Dolayısıyla, deray kazası meydana geldiği andan itibaren en kısa süre de algılanarak makinistlere bildirim de bulunmak ve treni emniyetli olarak durdurmak buna yönelik sistem oluşturmak temel amaç olmalıdır.

Lokomotif ve arkasında lokomotifine bağlı vagonların bulunduğu en az 1 vagonlu olmak üzere demiryolunda çeken ve çekilen araçların bütününe dizi denilmektedir. Tezin bundan sonraki kısmında dizi kelimesi de kullanılacaktır.

3.1. Deray Kazasının Meydana Gelme Şekilleri

Deray kazası sebeplerine bakıldığında boden yüzey aşınmaları, ray yüzeyi aşınmaları, demiryolu hattı geometrisinin bozulması gibi etmenler görülmektedir. Deray olması durumunda iki durumla karşılaşabiliriz. Birincisi; demiryolu aracının tekerlekleri ray yüzeyi dışında hareket etmeye devam edebilir ve seyrüsefere devam eden tekerlek demiryolu hattını oluşturan altyapı elemanlarının ağır hasarlanmasına neden olur ve demiryolu işletmecisi için ciddi mali sonuçlar doğurur. İkinci durumda ise deray kazası meydana geldiğinde demiryolu aracının tamamen hat harici olmasıdır. Her iki senaryoda da demiryolu taşımalığı büyük zararlarla karşı karşıya kalmaktadır.

Trende bulunan herhangi bir vagon deray olduğunda, deray meydana gelen vagon ile birlikte kendinden sonra gelen vagonlarda raylardan çıkmaktadır ancak sadece derayın olduğu vagonun raylardan çıkması kendisinden önce ve sonra gelen vagonların normal seyrüseferine devam ettiği durumlarla da karşılaşılabilir. İkinci senaryonun olduğu deray durumlarının olması ilk senaryoya göre daha fazla maddi-manevi sonuçları olmaktadır ve geleneksel yöntemlerle fark edilmesi çok daha zordur.

3.2. Derayın Hat Boyu Elemanlarında Ve Vagonlarda Oluşturduğu Hasarlar

Demiryolu altyapısı elemanları; ray, travers, balast ve bağlantı malzemelerinden (cebire, rondela, trifon, selet vb.) oluşmaktadır. Deray olduğunda altyapıyı oluşturan irili ufaklı tüm malzemelerde hasar oluşmaktadır ve bu malzemeler demiryolları için özel üretim dayanaklı malzemeler olduğu için ciddi maliyet kalemlerini teşkil etmektedir. Vagonlarda

ise boden (tekerlek takımı), boji (boden takımı), frenleme tertibatı, vagonların genel fiziki durumu bozulmaktadır. Aynı şekilde vagonlarda demiryollarına özel üretim olduğu için hasarlanmaları durumunda demiryolu işletmecisine ciddi maliyet oluşturmaktadır. Derayı daha iyi anlamak için kaza raporlarından çeşitli resimler verilmiştir. Resim 3.1 ve Resim 3.2’de deray kazası sonucu kırılan bojiler görülmektedir. Resim 3.3’de deray olmuş şekilde bir müddet hareket etmiş vagona ait boji setinde bulunan vagon süspansiyon yatağının hasarlı hali Resim 3.4’de ise deray eden vagonun hattın uzağında bir yerde ayrık vaziyette vagon dingili görülmektedir. Deray kazasının demiryolu hattında travers, ray ve bağlantı ekipmanlara verdiği ağır hasarlar Resim 3.5’te görülmektedir.



Resim 3.1. Deray sonucu kırılan boji (TCDD, 2021).



Resim 3.2. Deray eden vagonun bojisi (TCDD, 2021)



Resim 3.3. Deray öncesi ısınma sonucu düşen vagon süspansiyon yatağı (TCDD, 2021)



Resim 3.4. Deray eden vagon dingili (TCDD, 2021)



Resim 3.5. Deray sonucu hasarlanan demiryolu altyapısı (TCDD, 2021)

Trenler, vagonların uzunluğuna bağı olarak ve yapıları gereğı yüzlerce parçadan oluştuğundan ağır ve kontrolü zor olan araçlardır. Özellikle yük vagonlarının seyir sırasında raylar üzerinde olup olmadığının takibi hayati öneme sahiptir. Resim 3.6’da deray sonucu yan yatmış trenler görülmektedir.



(a)



(b)

Resim 3.6. Deray kazası (TCDD, 2021)

3.3. Deray Kazası Üzerine Yapılan Çalışmalar

Literatürde yer alan deray kazasına odaklı çalışmalar incelendiğinde, daha çok deray kazasına sebep olan etmenlerin tespiti üzerinde durulduğu görülebilir. Ancak, deray kazası makinist fark edene kadar uzun süre devam edebilen bir kaza türü olduğundan, sebepleri kadar deray süresini kısaltmaya yönelik çalışmalar da hem maddi zararın hem de can kaybının azaltılması bakımından önemlidir.

Karaduman ve arkadaşları (2013) raylardaki arızaları teşhis etmek için temassız bir yöntem önermiştir. Bir CCD kamera ve bir lazer tarayıcı içeren özel bir yazılımla birleştirilmiş lazer tarayıcılı kamera kullanılarak üç boyutlu ray görüntüsü elde edilmektedir. Elde edilen görüntüler görüntü işleme teknikleri ile işlenerek ray profili elde edilmekte ve raydaki arızalar tespit edilmektedir. Fakat bu çalışma, yalnızca bozuk rayları tespit etmekle birlikte deray anının tespiti için yetersiz kalmaktadır (Karaduman vd., 2013).

Macucci ve arkadaşları (2016) yaptıkları çalışmada kablosuz algılayıcı ağları yardımı ile veri toplayarak derayı tespit etmeyi denemiştirler. Buna göre yük vagonları üzerine yerleştirdikleri algılayıcılar ile deray olayı tespit edilmesi ve lokomotif kabini içerisine bir uyarım gönderilmesi hedeflenmiştir. Bunun için 2 adet algılayıcı (LIS3DH ve ADXL362) ve haberleşme protokolü kullanarak bir prototip geliştirmişlerdir. Bu çalışma daha çok, seyrüsefer anında meydana gelen titreşimler üzerinden enerji toplama üzerine odaklanmıştır. Çalışma içerisinde derayın tespit edilmesi, bilginin makiniste ulaştırılmasına dair hiçbir bilgi bulunmamakla birlikte, çalışma içerisinde sunulan veriler daha çok düşük genlikli titreşimlerin toplanması ve toplam güç tüketimi analizi üzerinedir. Yazarların yaptıkları çalışmada en büyük eksiklik, dönme esnasında eğimli yollarda belirlenen referans eşik değerleri değişebileceğinden, tren deray olmasa bile deray bilgisine ulaşılabilir. Oysaki sunulan projede bu durum ivme, titreşim ve manyetik algılayıcıların bir arada kullanılması ile deray anının hatasız olarak tespit edilmesini sağlayabilmektedir (Macucci vd., 2016).

Deray gibi demiryolu kazalarının önüne geçmek için kameralarla ray görüntülerinin incelenmesi ve ray kusurlarının tespit edilmesine yönelik yöntemler önerilmiştir (Çelik, 2020). Bir başka çalışmada ise, kavramsal tasarımı verilen bir sistem ile makinisti uyarıcı bir sistem önerilmiş ve gerçekleştirildiği takdirde maddi ve can kaybına sebep olan bu

kazaların önüne geçileceği bildirilmiştir (Sümbül vd., 2021). Bir başka çalışmada ise demiryolu ulaşımında çalışan personelin kazaların oluşumuna olan etkisi ele alınmıştır (Yavuz, 2018).

Demiryolundaki deray kazasının en önemli nedenlerinden biri raylarda meydana gelen kusurlardır. Çatlak, çökme, aşınma, kabuklanma ve boşluk gibi ray kusurlarının görüntü işleme ve derin öğrenme yöntemleri ile tespitinin yapıldığı bir çalışmada görüntüler kırık ve sağlam olmak üzere sınıflandırılmıştır. Bu amaçla iki farklı iki evrimsel sinir ağı modeli seçilmiştir. Bunlar GoogleNet ve SqueezeNet'tir. Drone ile alınan görüntü sonuçlarında GoogleNet'in daha iyi sonuç verdiği bildirilmiştir (Aydın vd., 2022)

Deray kazasında yolun ve taşıtın durumu, özellikle de boden geometrisinin korunması büyük önem taşımaktadır. Çeken/çekilen araçların bakımlarının periyodik olarak yapılması, araçlarda meydana gelebilecek sorunları önceden belirlemeye ve önlem almaya fırsat verecektir. Yoldaki kusurların tespiti, eskimiş yol ekipmanlarının (traversler, raylar, bağlantı ekipmaları vb.) yenilenmesi, ekartman bozukluklarının düzeltilmesi, balastın istenilen granülometride olması gibi işlemlerin yapılması deray kazası riskini azaltacaktır. Deray kazası riskini azaltmak için en büyük görevlerden biri de işletmeye düşmektedir. Çeken/çekilen araçların yol kesimlerinde yapabilecekleri maksimum hızların belirlenip, belirli bir emniyet faktörü altında livreye yansıtılması da yol üstyapısının aşınmasını azaltacak ve yüksek hız nedeniyle oluşan deray kazalarını engelleyici rol oynayacaktır. Oldukça fazla muhtelif sebebi olan deray kazaları tamamen önlemek olası değildir. Demiryolu taşımacılığına ileri seviyede önem veren ülkelerde dahi deray kazaları zaman zaman gerçekleşmektedir.

Bu tez çalışmasında önerilen deray sorununa çözümde ise, literatürden farklı olarak, geliştirilen bir sensör yapısı ile deray durumunun makinist tarafından anında fark edilmesini sağlamaya yönelik bir bildirim sisteminin tasarlanması ve gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Böylece deray nedeni ile meydana gelen maddi manevi kayıpların mümkün olduğunca azaltılabilmesi için vagonun raydan çıkma anının hızlı bir şekilde tespit edilip, makinistin trenin yavaşlatılması yönünde hareket etmesini sağlayacak bir uyarı sistemi geliştirilmiştir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmamızda deray olayını erken haber almak ve en az hasarla kazaya son vermek amacıyla IoT tabanlı bir sistem geliştirilmiştir. Deraydan kaynaklı dikey ekseninde meydana gelen sarsıntı belirli bir eşik değerin üzerine çıktığında, sarsıntı sensörünün deray tespit devresini tetiklemesi ve tetiklenen devrenin makinist kabini üzerinde bulunan devreyi uyarmasıyla makinistin deray kazasını ilgili vagon bilgisi ile birlikte haberdar olması sağlanır. Böylece, kazanın en az hasarla kısa sürede durdurulması hedeflenmiştir.

Her bir vagon yaklaşık 20 metre uzunlukta olmak beraber istasyon uzunluklarına bağlı olarak maksimum 50 vagonluk bir dizi oluşabilmektedir. Bu nedenle, deray kazasının tespiti ve kaza bildirimini makinist kabinine aktarılması kablosuz gerçekleştirilmiştir.

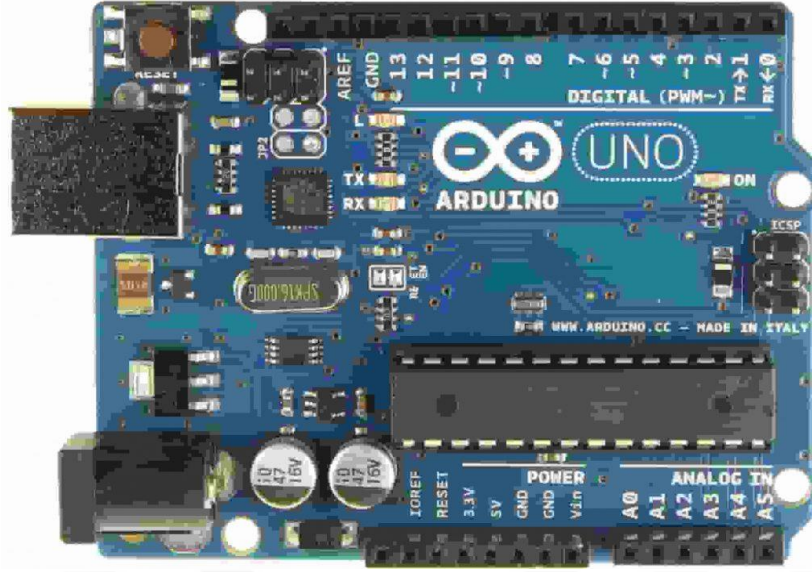
4.1. Materyal

Deraydan kaynaklı meydana gelen sarsıntılardan haberdar olmak amacıyla geliştirilen sistem için birer mikro denetleyici, haberleşme için NRF24L01 haberleşme modülü, sarsıntıyı algılamak için hall effect sensör ve bildirim için çeşitli renklerde LED'ler kullanılmıştır. Bunlarla ilgili teknik detaylar aşağıda verilmiştir.

4.1.1. Arduino mikro denetleyici

Açık kaynaklı geliştirme platformu olan Arduino, diğer mikro denetleyicilere göre kullanımı daha kolaydır. Kullanım kolaylığının yanında maliyeti, açık kaynaklı oluşu ve örnek projelerin fazla olması nedeniyle projelerde daha çok kullanılmaktadır.

Arduino, mikro denetleyicisi üzerinde çeşitli elektronik elemanların bulunduğu bir anakarttan oluşmaktadır ve kullanılmak istenilen yazılım bir USB kablo vasıtasıyla işlemciye aktarılarak mikro denetleyici aktif hale getirilmektedir (Resim 4.1). Açık kaynaklı onlarca yazılım olmasının yanında, kullanıcı kendi yazılımını kullanabilmektedir. Kullanıcı kendi yazılımını kullanmak istediğinde ise Arduino mikro denetleyici içerisinde hazır bulunan kütüphaneler ile kodlama yapabilmektedir. Mikro denetleyici üzerinde var olan analog veya dijital girişlere sensörler bağlanabilir. Ayrıca bu girişler kullanılarak haberleşme de yapılabilir.



Resim 4.1. Arduino mikro denetleyici modülü

4.1.2. NRF24L01 modülü

NRF24L01 haberleşme modülü düşük güç tüketimine sahip, 2.4 GHz frekansında kablosuz haberleşme yapılmasına imkân sağlayan alıcı-verici modüldür (Resim 4.2). Antenli ve antensiz olmak üzere iki modeli vardır. İki modelin haberleşme menzillerinin farklılığı dışında hiçbir farkları yoktur. Antenli model 1 km'den daha fazla haberleşme menziline sahiptir. Arduino mikro denetleyici modelleriyle uyumlu çalışabilmektedir.



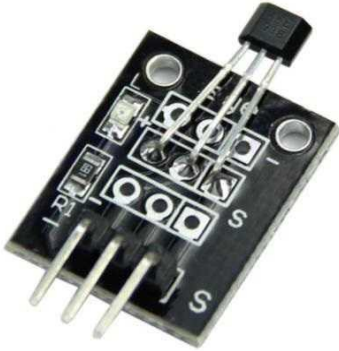
Resim 4.2. Antenli NRF24L01 haberleşme modülü

4.1.3. Hall effect sensör

Hall Effect Sensör manyetik bir sensördür ve manyetik olarak kodlanmış bilgileri elektronik devreler tarafından işlenmek üzere elektrik sinyallerine dönüştürür. Alan etkisine giren manyetiği algılayarak bağlı bulunduğu devreye bildirim gönderir (Resim 4.3).

Sensör de ince bir metal şeride akım uygulanır. Akım yönünün manyetik alanına dik bir manyetik alan var olduğunda mevcut akımın yönü sapar ve akım şeridinin iki uç noktasında elektrik potansiyel farkının oluşmasıyla algılama yapar. Potansiyel farkı meydana gelen manyetik alanın gücüyle orantı olarak artmak veya azalmaktadır. 100 kHz ve üzeri frekanslarda çalışabilir. Lineer (doğrusal) sensör olarak kullanılabilir. Bazı tipleri N Kutbu ile bazı tipleri (çoğunlukla) S Kutbu ile çalışır.

Sensör başlıca; akım dengesizliğini belirleme, güncel konum bilgisi izleme, operatör/kullanıcı emniyeti ve güvenliği, aşırı akım algılama/sistem koruması, sistem ve arıza tespiti, test ve ölçüm gibi çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadır.

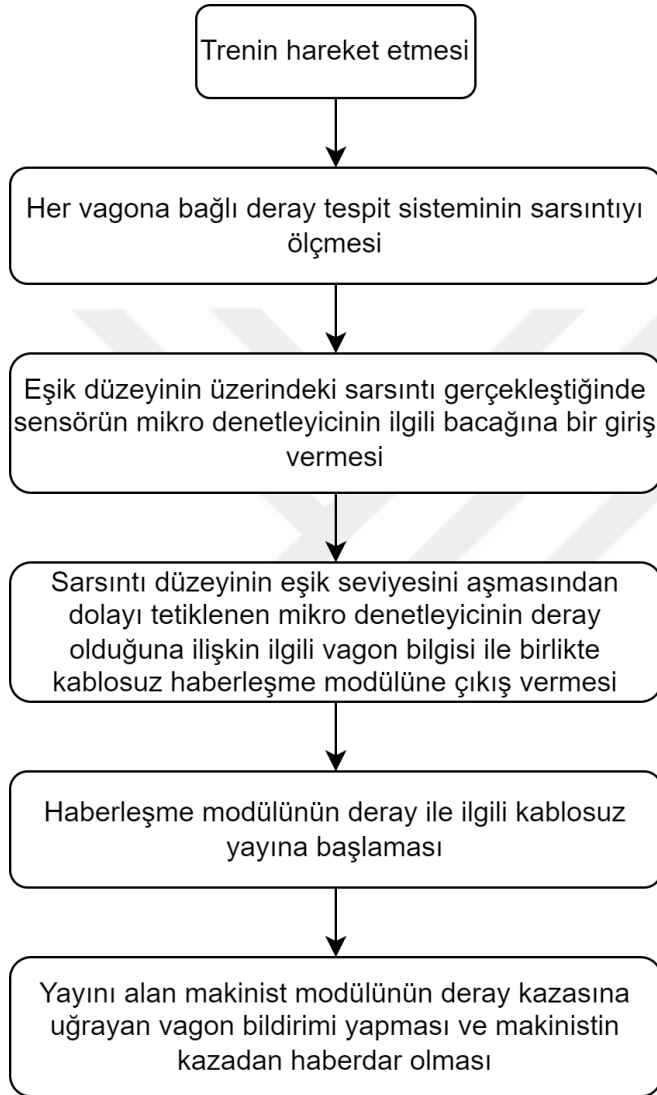


Resim 4.3. Hall Effect sensör

4.2. Yöntem

Bu çalışmada, deray kazasının tespiti ve makiniste erken bildirilmesi amacıyla bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, tren giderken herhangi bir vagonun dikey ekseninde belirlenen bir eşik düzeyinin üstüne sarsıntı gerçekleştiğinde kablosuz haberleşme ile

makiniste durumun deray olarak bildirilmesini sağlamaktadır. Sistemin çalışması IoT prensibine dayalı olup deraya uğrayan vagon ile lokomotifin haberleşmesi ile kazadan makinistin haberdar edilmesidir. Geliştirilen sistemin çalışma prensibini gösteren akış diyagramı Şekil 4.1’de verilmiştir.



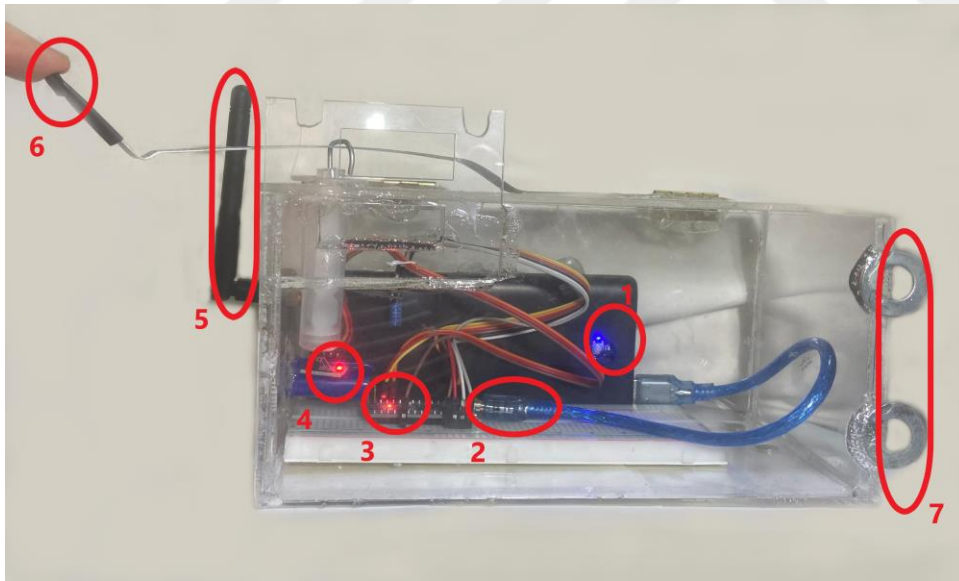
Şekil 4.1. Geliştirilen sistemin akış şeması

Şekil 4.1’den de anlaşılacağı üzere her bir vagona bir deray tespit sistemi kurulumu gereklidir. Böylece, lokomotifin çektiği vagonlardan hangisinin ya da hangilerinin deray kazası yaptığı makinist tarafından görülebilecektir.

Demiryolu araçlarının hareketinin temel bileşenleri raylar ve bu rayların üzerinde dönen tekerleklerdir. Tekerleklerin yüzeylerinin pürüzsüzlüğü ve raylarda temas ettikleri yüzeyin

pürüzsüzlüğü ideal bir seyrüsefer emniyeti sağlamaktadır. Ancak bu ideal durum çoğu zaman çeşitli sebeplerden ötürü elde edilememektedir. Bu yüzden deray kazaları meydana gelmektedir. Deray kazası meydana geldiğinde ideal durumda oluşan titreşimin kat ve kat fazlası derayın meydana geldiği vagonlarda hissedilmektedir.

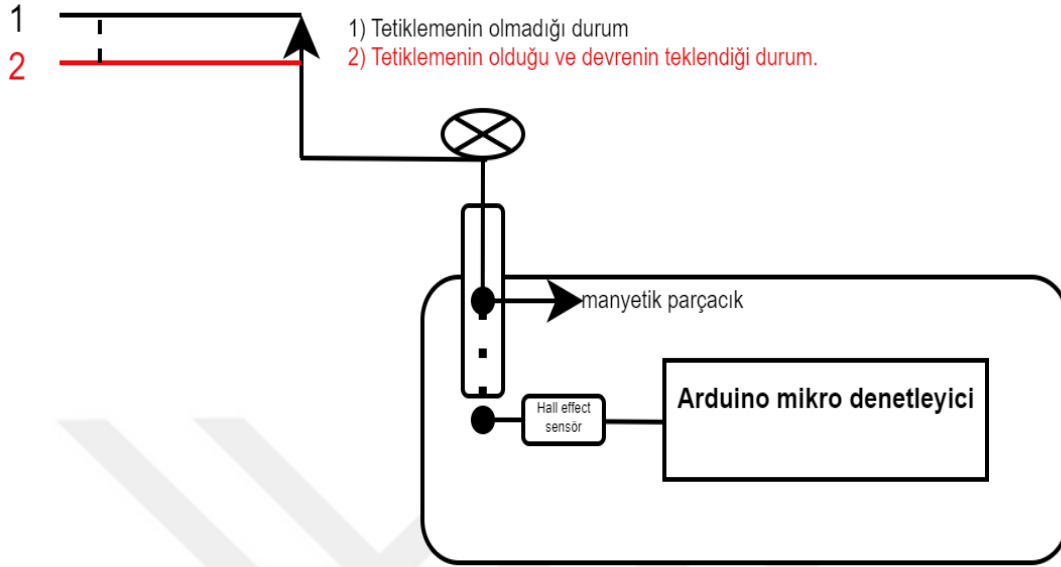
Sistemin vagon tarafında sarsıntının algılanması ve eşik değerinin üstüne çıktığında tespiti için Resim 4.4'te gösterilen sarsıntının oluşturacağı kuvvetin ölçümüne dayanan bir prototip mekanizma geliştirilmiştir. Bu mekanizma ile dikey eksendeki aşırı hareket algılanarak hall effect sensör tetiklenir. Hall effect sensör dikey eksendeki aşırı hareketi algılayarak mikro denetleyiciye bildirim gönderir ve mikro denetleyici bu bildirim NRF24L01 modülü aracılığıyla makinist kabininde bulunan node00 dediğimiz alıcı devresine iletir. Makinist kabininde bulunan alıcı devresi kendisine gelen bildirim üzerinde bulunan mikro denetleyici sayesinde işleyerek bildirim hangi vagona ait olduğunu belirler ve bildirim gelen vagona ait uyarı ikaz ledini yakarak makinistin deray kazasından haberdar olması sağlanır.



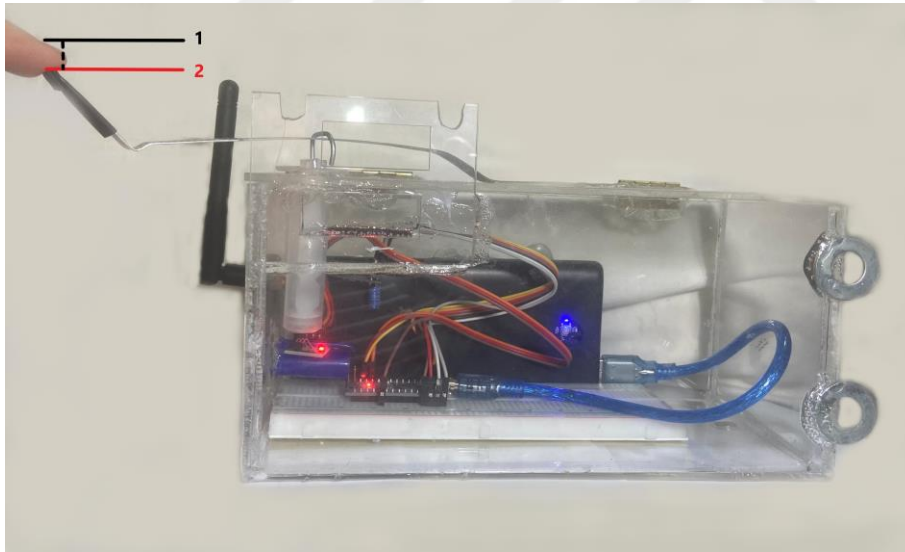
Resim 4.4. Deray tespit sistemi, 1) Devreye enerji sağlayan güç kaynağı, 2) Enerji bağlantı kablosu, 3) İşlemcinin aktif olduğu gösteren bildiri, 4) Hall effect sensör ve tetikleyici mekanizması, 5) İletişim sağlayan NRF24L01 modül anteni, 6) Vagona entegre sarsıntı tespit kolu, 7) Vagona montaj uçları

Bu tez çalışmasında önerilen sistem ile raydan ayrılma anlık tespiti sağlamaktadır. Şekil 4.2'de şematik olarak sistemin tasarımında gösterildiği gibi Arduino mikro denetleyici kart ile kullanılan hall effect sensör ve bu sensörü deray olması durumunda tetikleyen ucu

mıknatıslı mekanizma derayı anlık olarak tespit edebilmektedir. Tasarlanan çizim dahilinde prototip mekanizma gerçekleştirilmiştir (Resim 4.5).

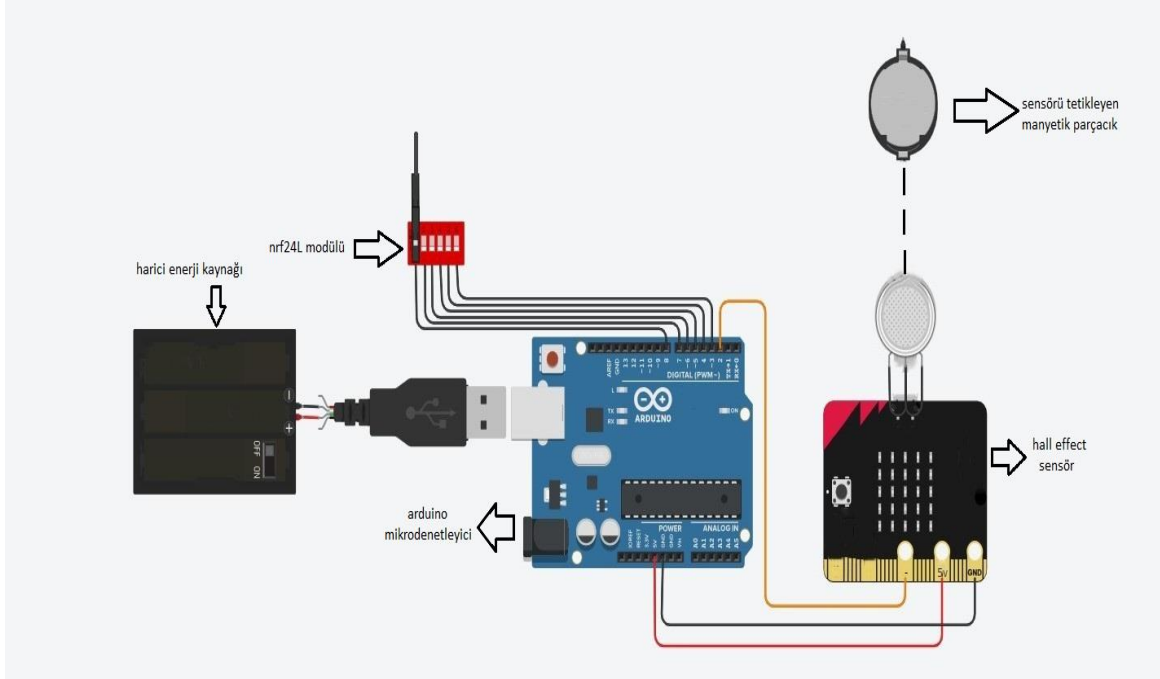


Şekil 4.2. Sarsıntı sensörü tasarım şeması

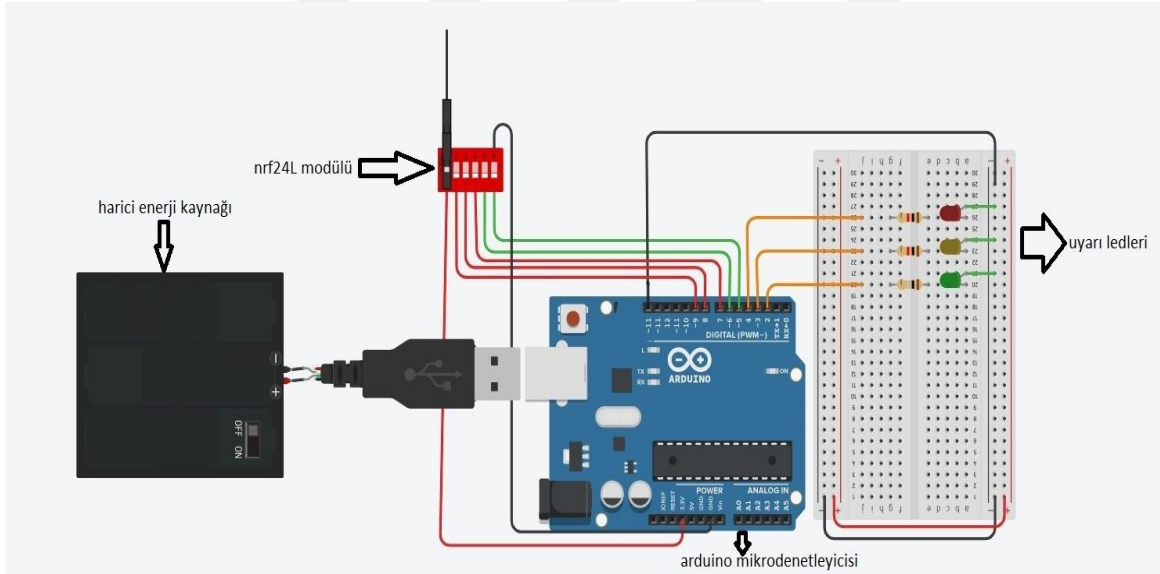


Resim 4.5. Sarsıntı sensörünün tetiklenmesi, 1) Tetiklemenin olmadığı durum, 2) Tetiklemenin olduğu ve devrenin teklendiği durum.

Prototip olarak tasarladığımız sistem dikdörtgen formunda fiberglas bir kutu içerisinde muhafaza edilmektedir. Böylece devremiz yağmur, rüzgar, çamur, ortamdaki diğer katı etkenler vb. dış müdahaleye karşı koruma sağlanmıştır. Şekil 4.3'te tasarımı yapılan vagon tarafında bulunan deray tespit devresi ile Şekil 4.4'te makinist tarafı deray bildirim devresine ait şematik diyagramlar verilmiştir.

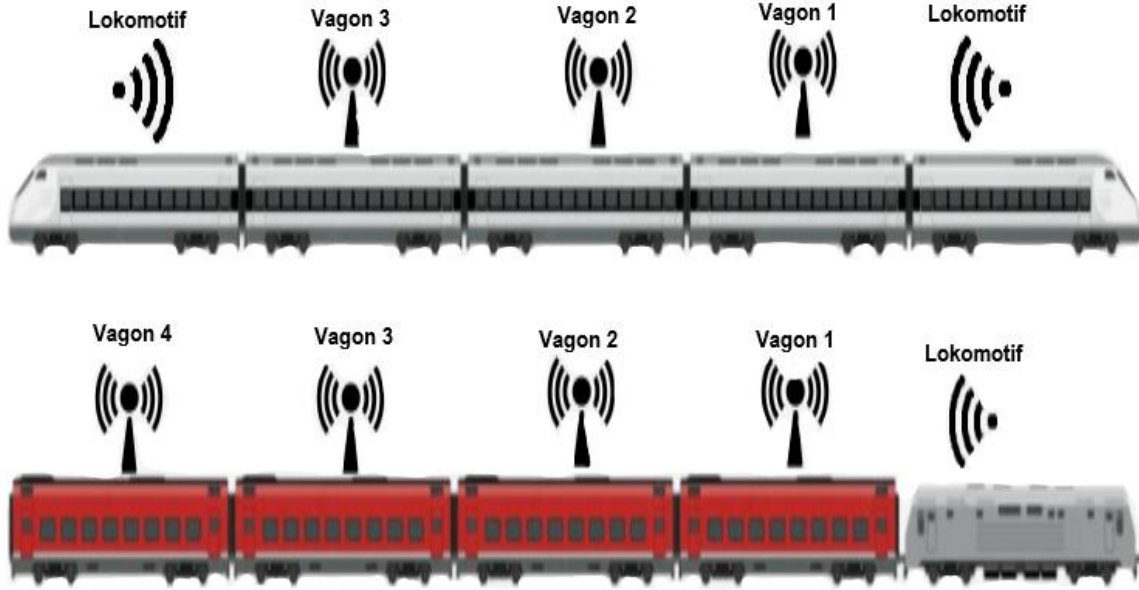


Şekil 4.3. Tasarlanan deray tespit devresine ait şematik diyagram



Şekil 4.4. Makinist tarafı deray bildirim devresine ait şematik diyagram

Hem makinist tarafı hem de vagon tarafı devrelerin enerjilendirilmesinde 5V çıkışa sahip paket batarya (powerbank) kullanılmıştır. Şekil 4.5'te görülebileceği üzere tasarlanan uyarı sistemi hem yük hem de yolcu vagonlarında kullanılması öngörülmektedir.



Şekil 4.5. Tasarlanan deray tespit sistemine ait şematik diyagram

4.3. Deray Tespit Sisteminin Montajı

Bu çalışmada hedeflenen deray kazasının tespiti, vagonun normalin üzerinde bir sarsıntı ile hareketine dayalıdır. Vagon ray üzerinde hareket ederken oluşan sarsıntının çok az olması ancak raydan çıktığında sarsıntının aşırı düzeyde artması deray kazasının tespitini kolaylaştıran iki durumdur. Dolayısıyla, tasarımı yapılan sistem vagonun boden adı verilen teker takımının üzerine montajı yapılmıştır (Resim 4.6). Resim 4.7’de görüldüğü gibi, montajlama esnasında sensörün bodenin üzerinde olması, sarsıntılarda montajlanan yerinden ayrılmayacak olması, çevresel faktörlerden etkilenmeyecek olması vb. gibi hususlara dikkat edilmiştir. Ayrıca sensörümüze bütünlük kazandıran şeffaf kutunun dizaynında ek materyaller konularak sensörümüzün farklı tipteki vagonlara entegre edilmesi kolaylaştırılmıştır (Resim 4.8).



Resim 4.6. Deray tespit sisteminin vagon bodenine montajı



Resim 4.7. Deray tespit sisteminin vagon bodenine montajı (yakın plan)

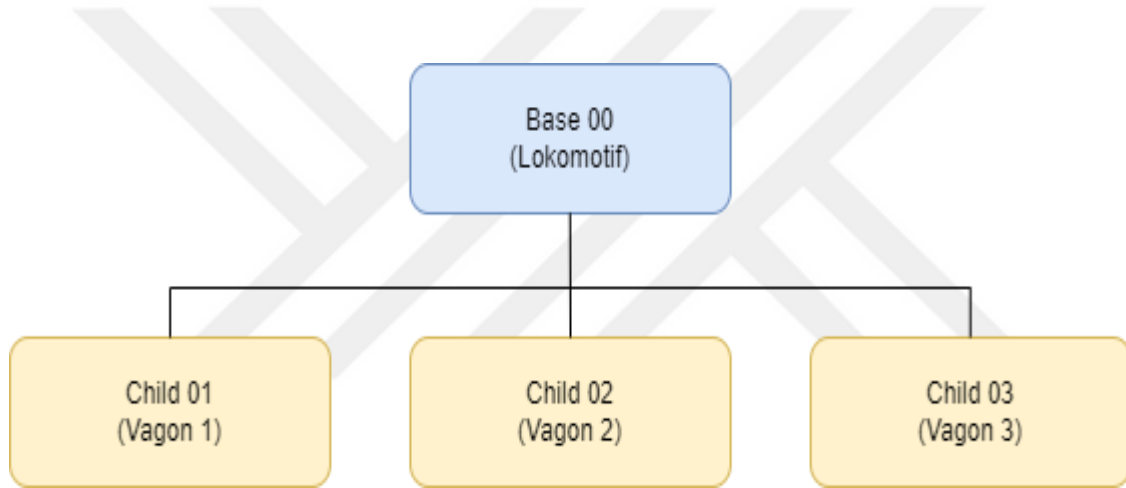


Resim 4.8. Deray tespit sisteminin çevresel faktörlerden etkilenmeden çalışmasının sağlanması

4.4. Tasarlanan Sistemin Yazılımı

Tasarımı yapılan sistem sayesinde anında tespit edilen deray kazası yine Arduino üzerine entegre NRF24L01 modül üzerinden makinist kabinindeki alıcı devreye deray bilgisini iletmekte ve bu sayede makinist raydan çıkan vagona haberdar olmaktadır.

Tasarladığımız sistemde node yapısı oluşturulmuştur. Node yapısına göre 1 adet base ve buna bağlı 5 node yapısı her bir node yapısına bağlı 5 adet node oluşturulabilmektedir ve sistem 1024 adet verici node desteklemektedir. Buna göre tasarlanan sistemde base olarak lokomotif için hazırlanan sistem ve ona bağlı 3 node vagona bağlı deray tespit sistemi olarak düşünülüp yazılımı hazırlanmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Deray tespit sistemi node yapısı

NRF24L01 modülü kullanmak için NRF24L01 Arduino Kütüphanesi kullanılmıştır. Sistemin birden fazla vagona için çalışmasını sağlamak için 3 adet vagon deray tespit sistemi ile bir adet lokomotifteki makinist için sistem tasarımı yapılmıştır. Her birinin yazılımı alt bölümlerde verilmiştir.

4.4.1. Vagon 1 için hazırlanan yazılım

Vagon 1 için hazırlanan sistemin mikro denetleyici yazılımı üç tane kütüphanenin dahil edilmesi ile başlar. Bu kütüphaneler Network ağı için bağlantı kütüphanesi, NRF24L01 wireless modülü ile arabirim oluşturma kütüphanesi, Serial Peripheral Interface (SPI) iletişim kurma kütüphanesidir. Başlangıçta tren hareket etmediğinden gönderilecek sinyal durumları sıfır olarak atanır. Mikro denetleyicinin buttonPin1 bacağı giriş pini olarak tanımlanır. Gelen sinyal sürekli okunarak vagon durumu hakkındaki bilgi kablosuz yayın ile aktarılır. Vagon 1 mikro denetleyicisi için hazırlanan kodun tamamı aşağıda verilmiştir:

```

/*
  Arduino Wireless Network - Multiple NRF24L01 Tutorial
  == Node 01 (Child of Master node 00) ==
*/

#include <RF24Network.h>// Network ağı için bağlantı kütüphanesi
#include <RF24.h>//NRF24L01 wireless modülü ile arabirim oluşturma kütüphanesi
#include <SPI.h>// Serial Peripheral Interface (SPI) iletişim kurma kütüphanesi
int buttonState = 0;//NODE 00 üzerindeki led dijital konumu 0 olarak
tanımlanması
int buttonState1 = 0;//NODE 01 üzerindeki sensörün dijital konumu 0 olarak
tanımlanması

#define buttonPin1 2 //NODE 01 üzerindeki sensörün bağlandığı pin numarası

RF24 radio(10, 9);          // radio isimli bir cihaz tanımlama ve
nRF24L01 kartı üzerindeki CE ve CSN pinlerin bağlantı terminalleri
RF24Network network(radio); // radio isimli tanımlanan cihaz network
ağına tanımlanması
const uint16_t this_node = 01; // Octal formatında (sekizli sayı sistemi)
tanımlanan adres bilgisi, node 01 için
const uint16_t master00 = 00; // Octal formatında (sekizli sayı sistemi)
tanımlanan adres bilgisi, node 00 için

void setup() {
  SPI.begin();// Serial Peripheral Interface (SPI) iletişiminin başlaması
  radio.begin();// ridio olarak tanımlanan nRF24L01 kartı üzerindeki CE ve CSN
pinlerin haberleşmeye başlaması
  network.begin(90, this_node); //(channel, node address)
  radio.setDataRate(RF24_2MBPS);
  pinMode(buttonPin1, INPUT);//relayPin1 giriş pini olarak tanımlandı
}

```

```

void loop() {
    network.update();

    buttonState1 = digitalRead(buttonPin1); //sensörün dijital konumunun
tanımlanması
    if (buttonState1 == 1)
    {
        buttonState = 1;
    }
    else if (buttonState1 == 0)
    {
        buttonState = 0;
    }
    unsigned long buttonState1 = digitalRead(buttonPin1); //sensörün dijital
durumunun tanımlanması
    RF24NetworkHeader header(master00); // bilginin gideceği node00 in
tanımlanması
    bool ok = network.write(header, &buttonState, sizeof(buttonState)); //
sensörden gelen bilginin ana karta gönderilmesi
}

```

4.4.2. Vagon 2 için hazırlanan yazılım

Vagon 1 için hazırlanan yazılımda olduğu gibi aynı kütüphaneler tanımlanmış ve mikro denetleyicinin bir bacağı giriş pini olarak ayarlanarak hall effect sensör bağlanmıştır. Vagon 1, 01 numaralı node olarak ayarlanırken vagon 2 de 02 numaralı node olarak ayarlanmıştır. Benzer şekilde sonsuz döngü içinde gelen bilgi kablosuz yayın ile iletilmiştir. Vagon 2 mikro denetleyicisi için hazırlanan kodun tamamı aşağıda verilmiştir:

```

/*
    Arduino Wireless Network - Multiple NRF24L01 Tutorial
    == Node 02 (Child of Master node 00) ==
*/

#include <RF24Network.h> // Network ağı için bağlantı kütüphanesi
#include <RF24.h> //NRF24L01 wireless modülü ile arabirim oluşturma kütüphanesi
#include <SPI.h> // Serial Peripheral Interface (SPI) iletişim kurma kütüphanesi
int buttonState2 = 0; //NODE 02 üzerindeki sensörün dijital konumu 0 olarak
tanımlanması
int buttonState = 0; //NODE 00 üzerindeki led dijital konumu 0 olarak
tanımlanması
#define buttonPin2 2 //NODE 02 üzerindeki sensörün bağlandığı pin numarası

RF24 radio(10, 9); // ridio isimli bir cihaz tanımlama ve
nRF24L01 kartı üzerindeki CE ve CSN pinlerin bağlantı terminalleri

```

```

RF24Network network(radio);      // radio isimli tanımlanan cihaz network
ağına tanımlanması
const uint16_t this_node = 02;   // Octal formatında (sekizli sayı sistemi)
tanımlanan adres bilgisi, node 02 için
const uint16_t master00 = 00;   // Octal formatında (sekizli sayı sistemi)
tanımlanan adres bilgisi, node 00 için

void setup() {
    SPI.begin();// Serial Peripheral Interface (SPI) iletişiminin başlaması
    radio.begin();// radio olarak tanımlanan nRF24L01 kartı üzerindeki CE ve CSN
pinlerin haberleşmeye başlaması
    network.begin(90, this_node); //(channel, node address)
    radio.setDataRate(RF24_2MBPS);
    pinMode(buttonPin2, INPUT);//relayPin2 giriş pini olarak tanımlandı
}

void loop() {
    network.update();

    buttonState2 = digitalRead(buttonPin2);//sensörün dijital konumunun
tanımlanması
    if (buttonState2 == 1)
    {
        buttonState = 3;
    }
    else if (buttonState2 == 0)
    {
        buttonState = 2;
    }
    unsigned long buttonState2 = digitalRead(buttonPin2);//sensörün dijital
durumunun tanımlanması
    RF24NetworkHeader header(master00);    // bilginin gideceği node00 in
tanımlanması
    bool ok = network.write(header, &buttonState, sizeof(buttonState)); //
sensörden gelen bilginin ana karta gönderilmesi
}

```

4.4.3. Vagon 3 için hazırlanan yazılım

Vagon 3 için hazırlanan yazılım ilk iki vagon için hazırlanan yazılımın aynısı olup node numarası 3 olarak atanmıştır. Vagon 3 mikro denetleyicisi için hazırlanan kodun tamamı aşağıda verilmiştir:

```

/*
    Arduino Wireless Network - Multiple NRF24L01 Tutorial
    == Node 03 (Child of Master node 00) ==
*/

#include <RF24Network.h> // Network ağı için bağlantı kütüphanesi
#include <RF24.h> // NRF24L01 wireless modülü ile arabirim oluşturma kütüphanesi
#include <SPI.h> // Serial Peripheral Interface (SPI) iletişim kurma kütüphanesi
int buttonState3 = 0; // NODE 03 üzerindeki sensörün dijital konumu 0 olarak tanımlanması
int buttonState = 0; // NODE 00 üzerindeki led dijital konumu 0 olarak tanımlanması
#define buttonPin3 2 // NODE 03 üzerindeki sensörün bağlandığı pin numarası

RF24 radio(10, 9); // radio isimli bir cihaz tanımlama ve nRF24L01 kartı üzerindeki CE ve CSN pinlerin bağlantı terminalleri
RF24Network network(radio); // radio isimli tanımlanan cihaz network ağına tanımlanması
const uint16_t this_node = 03; // Octal formatında (sekizli sayı sistemi) tanımlanan adres bilgisi, node 03 için
const uint16_t master00 = 00; // Octal formatında (sekizli sayı sistemi) tanımlanan adres bilgisi, node 00 için

void setup() {
    SPI.begin(); // Serial Peripheral Interface (SPI) iletişiminin başlaması
    radio.begin(); // radio olarak tanımlanan nRF24L01 kartı üzerindeki CE ve CSN pinlerin haberleşmeye başlaması
    network.begin(90, this_node); // (channel, node address)
    radio.setDataRate(RF24_2MBPS);
    pinMode(buttonPin3, INPUT); // relayPin3 giriş pini olarak tanımlandı
}

void loop() {
    network.update();

    buttonState3 = digitalRead(buttonPin3); // sensörün dijital konumunun tanımlanması
    if (buttonState3 == 1)
    {
        buttonState = 5;
    }
    else if (buttonState3 == 0)
    {
        buttonState = 4;
    }
    unsigned long buttonState3 = digitalRead(buttonPin3); // sensörün dijital durumunun tanımlanması
}

```

```

    RF24NetworkHeader header(master00);    // bilginin gideceği node00 in
    tanımlanması
    bool ok = network.write(header, &buttonState, sizeof(buttonState)); //
    sensörden gelen bilginin ana karta gönderilmesi
}

```

4.4.4. Lokomotif için hazırlanan yazılım

Lokomotif tarafında makinist modülü mikro denetleyicisi için hazırlanan yazılım aşağıda verilmiştir. Haberleşme kanalı olarak NRF24L01 kullanıldığından aynı kütüphaneler burda da eklenmiştir. 3 vagonan gelen deray bilgisinin ayıklanması şu yolla yapılmaktadır: 1 ve 0, sırasıyla, vagon 1 de deray kazası olup olmadığına ilişkin bilgileri; 3 ve 2, sırasıyla, vagon 2 de deray kazası olup olmadığına ilişkin bilgileri; 5 ve 4, sırasıyla, vagon 3 de deray kazası olup olmadığına ilişkin bilgileri temsil etmektedir. Kablosuz yayın ile gelen bu bilgi her bir vagonu temsil eden led ışığı yakılır veya sönmük kalır. Makinist modülü için hazırlanan kodun tamamı aşağıda verilmiştir:

```

/*
  Arduino Wireless Network - Multiple NRF24L01 Tutorial
  == Base/ Master Node 00==
*/

#include <RF24Network.h> // RFNetwork.h kütüphanesi
#include <RF24.h> // NRF24L01 wireless modülü ile arabirim oluşturma kütüphanesi
#include <SPI.h> // Serial Peripheral Interface (SPI) iletişim kurma kütüphanesi

#define relayPin1 2 // NODE 00 Ana kart üzerindeki NODE 01 e ait led için 2 nolu
pin ucu
#define relayPin2 4 // NODE 00 Ana kart üzerindeki NODE 02 e ait led için 4 nolu
pin ucu
#define relayPin3 6 // NODE 00 Ana kart üzerindeki NODE 03 e ait led için 6 nolu
pin ucu

int buttonState = 0; // NODE 01, 02 ve 03 üzerindeki sensörün dijital konumu 0
olarak tanımlanması

RF24 radio(10, 9); // radio isimli bir cihaz tanımlama ve
nRF24L01 kartı üzerindeki CE ve CSN pinlerin bağlantı terminalleri
RF24Network network(radio); // radio isimli tanımlanan cihaz network ağına
tanımlanması
const uint16_t this_node = 00; // Octal formatında (sekizli sayı sistemi)
tanımlanan adres bilgisi, node 00 için

```

```

const uint16_t node01 = 01;    // Octal formatında (sekizli sayı sistemi)
tanımlanan adres bilgisi, node 01 için
const uint16_t node02 = 02;    // Octal formatında (sekizli sayı sistemi)
tanımlanan adres bilgisi, node 02 için
const uint16_t node03 = 03;    // Octal formatında (sekizli sayı sistemi)
tanımlanan adres bilgisi, node 03 için

void setup() {
    SPI.begin();// Serial Peripheral Interface (SPI) iletişiminin başlaması
    radio.begin(); // radio olarak tanımlanan nRF24L01 kartı üzerindeki CE ve CSN
pinlerin haberleşmeye başlaması
    network.begin(90, this_node); //(channel, node address)
    radio.setDataRate(RF24_2MBPS);
    pinMode(relayPin1, OUTPUT); //relayPin1 çıkış pini olarak tanımlandı
    pinMode(relayPin2, OUTPUT); //relayPin2 çıkış pini olarak tanımlandı
    pinMode(relayPin3, OUTPUT); //relayPin3 çıkış pini olarak tanımlandı
    digitalWrite(relayPin1, LOW); //relayPin1 çıkış pinine verilen enerji sona
erdirildi
    digitalWrite(relayPin2, LOW); //relayPin2 çıkış pinine verilen enerji sona
erdirildi
    digitalWrite(relayPin3, LOW); //relayPin3 çıkış pinine verilen enerji sona
erdirildi
}

void loop() {
    network.update();
    //===== Receiving =====//
    while ( network.available() ) {
        RF24NetworkHeader header;
        unsigned long buttonState;
        network.read(header, &buttonState, sizeof(buttonState)); //NODE 01,02 ve 03
üzerindeki sensörün dijital konumlarının tanımlanması
        Serial.println(buttonState);

        if (buttonState == 1) {
            digitalWrite(relayPin1, HIGH);//node01 sensörü dijital olarak 1 ise node00
daki ledi yak
        }
        else if (buttonState == 0) {
            digitalWrite(relayPin1, LOW);//node01 sensörü dijital olarak 0 ise node00
daki ledi söndür
        }
        else if (buttonState == 3) {
            digitalWrite(relayPin2, HIGH);//node02 sensörü dijital olarak 1 ise node00
daki ledi yak
        }
        else if (buttonState == 2) {

```

```
    digitalWrite(relayPin2, LOW); //node02 sensörü dijital olarak 0 ise node00
daki ledi söndür
  }
  else if (buttonState == 5) {
    digitalWrite(relayPin3, HIGH); //node03 sensörü dijital olarak 1 ise node00
daki ledi yak
  }
  else if (buttonState == 4) {
    digitalWrite(relayPin3, LOW); //node03 sensörü dijital olarak 0 ise node00
daki ledi söndür
  }
}
}
```



5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde deray kazalarının makiniste erken bildirim için tasarımı yapılan sistemin sahada çalışması anlatılmıştır. Saha ortamındaki çalışma için bir lokomotif ve ona bağlı üç vagonlu bir seçilmiştir (Resim 5.1). Lokomotif ve vagonlar için tasarlanan deray bildirim sistemleri lokomotifte ön tarafa vagonlarda ise deray kazasının en iyi tespit edileceği tekere yakın bir yere monte edilmiştir. Resim 5.2’de kırmızı daireler ile vagonlardaki yerleri işaretlenmiştir. Lokomotif tarafında ise makinist modülü lokomotifin önüne konumlandırılarak sistemin çalışmasının kolay gözlenmesi amaçlanmıştır (Resim 5.3).



Resim 5.1. Deneysel çalışma için seçilen tren



Resim 5.2. Deneysel çalışma için sistemin vagonlara monte edilmesi

Deray kazası maddi hasarı büyük süreklilik durumu olan bir kaza türü olduğundan tasarımı yapılan sistemin bildirim testi yapay sarsıntı ile gerçekleştirilmiştir. Bunun için, son vagona monte edilen sistem deray kazasında yaşanacak şiddette yapay olarak sarsıntıya maruz bırakılmıştır. Böylece, sensörün tetiklemesi sağlanmıştır. Tetiklenen sensör ile deray bilgisi yayını başlamış ve lokomotif tarafındaki makinist modülündeki ışıklı bildirim ile ilgili vagonun deray kazasına maruz kaldığı gözlemlenmiştir. Her ne kadar lokomotif modülü lokomotifin önünde kalsa da seçilen NRF24L01 ile deray bilgisinin sorunsuz bir şekilde iletimi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, sistem başarıyla çalıştırılmıştır.



Resim 5.3. Deneysel çalışma için lokomotif modülünün konumu

6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında demiryollarında ağır maddi hasar ve zaman zaman can kaybına yol açan deray kazasının hızlı tespiti ve treni kullanan makinistin haberdar edilip gereğini yapabilmesi için IoT tabanlı bir sistem geliştirilmiştir. Sistemin en önemli kısıtları treni oluşturan lokomotif ile vagonlar arasında uzun mesafelerin olabilmesi ve mesafelerin uzamasıyla birlikte makinistin deray kazasını görebilme ihtimalinin azalmasıdır. Bu iki durum göz önünde bulundurularak IoT tabanlı kablosuz haberleşmeye dayalı her vagona bir deray tespit sistemi monte edilmesi düşünülmüş ve sistemin deray anında kablosuz yayın yaparak makinisti uyarması amaçlanmıştır. Mevcut çalışmalar yoğunlukla demiryollarının sağlıklı işleyişi için problemleri ele alsa da demiryolu ulaşımı ağır mekanik yük altında gerçekleştiğinden deray gibi kazalar günümüzde bile sayı bakımından en üst düzeyde oluşabilmektedir. Dolayısıyla, kazayı önlemek kadar kazanın süresini azaltmak da önemlidir. Deray kazasının hızlı tespiti ve durdurulmasına yönelik geliştirilen sistem bu bakımdan önemli bir boşluğu doldurmak için önemli bir adımdır.

Geliştirilen sistem ile birlikte makinist herhangi bir kaygı gütmeden seyrüseferine devam edebilmekte olası deray durumunda lokomotif kabininde otomatik olarak uyarılarak deray durumundan haberdar olabilmektedir. Haberdar olduğu durumda ivedi bir şekilde treni durdurarak can ve mal emniyetini sağlayabilmekte altyapı ve vagonları en az hasarla bu kazadan koruyabilmektedir.

Geliştirilen sistem aşağıda verilen yönler bakımından gelişmeye açıktır:

- Geliştirilen sistem ile vagonlardan elde edilen sarsıntı verileri kayıt altına alındığı takdirde, yük ve yolcu vagonları ile onların geçtikleri demiryolunun durumu hakkında önemli bilgiler verebilir.
- Geliştirilen sistem çevirim içi takip edildiğinde deray kazası, makinist tepkisi ve kaza anı ve sonrası durumlar daha iyi analiz edilebilir.
- Geliştirilen sistem vagonlar için özelleştirilebilir. Daha açık bir ifade ile her vagonun eşsiz vagon numarası ile vagon-lokomotif-makinist bilgileri eşleştirilerek daha sağlıklı sefer bilgileri kayıt altına alınabilir.
- Geliştirilen sistem çevirim içi takip edildiğinde lokomotif ve vagonların bakım periyodu için daha sağlıklı kararlar verilebilir. Bu da lokomotif veya vagonların kendisinden kaynaklı kazaların önüne geçilmesinde önemli katkı sağlar.
- Prototip olarak geliştirilen sistemin enerjisi sadece paket batarya ile sağlanmaktadır. Bunun yerine vagonların her birine tekerlerinden hareket enerjisini alarak elektrik

enerjisi üreten bir DC jeneratör ile besleme yapıldığı takdirde daha sürdürülebilir bir deray takibi gerçekleştirmek mümkündür.

Yukarıda sayılan gelişmeye açık yönleri ile geliştirilen sistem, deray kazasının verdiği hasarı azaltmakta ve can kayıplarının en aza indirilmesinde önemli rol oynama potansiyeline sahiptir.



KAYNAKLAR

- Akbayır, Ö. (2017). Dünyada ve Türkiye ' de Demiryolu Kazaları Nedeniyle Meydana Gelen Ölüm Oranlarının Karşılaştırılması. *Demiryolu Mühendisleri Dergisi*, 5, 45–52.
- Alawad, H., Kaewunruen, S., & An, M. (2020a). A Deep Learning Approach towards Railway Safety Risk Assessment. *IEEE Access*, 8, 102811–102832. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2997946>
- Alawad, H., Kaewunruen, S., & An, M. (2020b). Learning from Accidents: Machine Learning for Safety at Railway Stations. *IEEE Access*, 8, 633–648. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2962072>
- Aydın, İ., Kirat, S. S., & Akın, E. (2022). İki Derin Öğrenme Yöntemiyle Ray Yüzeyi Kusurlarının Tespiti : Karşılaştırmalı Analiz Detection of Rail Surface Defects with Two Deep Learning Methods : Comparative Analysis. *2022 30th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/SIU55565.2022.9864863>
- Benazer, S. S., Dawood, M. S., Ramanathan, S. K., & Saranya, G. (2021). Efficient model for IoT based railway crack detection system. *Materials Today: Proceedings*, 45, 2789–2792. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.743>
- Bešinović, N. (2020). Resilience in railway transport systems: a literature review and research agenda. *Transport Reviews*, 40(4), 457–478. <https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1728419>
- Besinovic, N., De Donato, L., Flammini, F., Goverde, R. M. P., Lin, Z., Liu, R., Marrone, S., Nardone, R., Tang, T., & Vittorini, V. (2021). Artificial Intelligence in Railway Transport: Taxonomy, Regulations and Applications. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(9), 14011–14024. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3131637>
- Çelik, A. (2020). Demiryolu Ray ve Kusurlarını Tespit Etmek İçin Geliştirilen İki Yeni Yöntem. *Demiryolu Mühendisliği*, Temmuz 202(12), 52–63. <https://doi.org/10.47072/demiryolu.737624>
- Du, C., Dutta, S., Kurup, P., Yu, T., & Wang, X. (2020). A review of railway infrastructure monitoring using fiber optic sensors. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 303, 111728. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2019.111728>
- Evans, A. W. (2021). Fatal train accidents on Europe's railways: An update to 2019. *Accident Analysis and Prevention*, 158(December 2020), 106182. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106182>
- Ferro, E., Harkness, J., & Le Pen, L. (2020). The influence of sleeper material characteristics on railway track behaviour: concrete vs composite sleeper. *Transportation Geotechnics*, 23(February), 100348. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100348>

- Fu, B., Giossi, R. L., Persson, R., Stichel, S., Bruni, S., & Goodall, R. (2020). Active suspension in railway vehicles: a literature survey. *Railway Engineering Science*, 28(1), 3–35. <https://doi.org/10.1007/s40534-020-00207-w>
- Gao, M., Su, C., Cong, J., Yang, F., Wang, Y., & Wang, P. (2019). Harvesting thermoelectric energy from railway track. *Energy*, 180, 315–329. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.087>
- He, M., Feng, L., & Zhao, D. (2019). Application of distributed acoustic sensor technology in train running condition monitoring of the heavy-haul railway. *Optik*, 181(November 2018), 343–350. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.12.074>
- Heil, J., Hoffmann, K., & Buscher, U. (2020). Railway crew scheduling: Models, methods and applications. *European Journal of Operational Research*, 283(2), 405–425. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.06.016>
- Huang, W., Shuai, B., Zuo, B., Xu, Y., & Antwi, E. (2019). A systematic railway dangerous goods transportation system risk analysis approach: The 24 model. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 61(December 2018), 94–103. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.05.021>
- Karaduman, G., Karaköse, M., & Akın, E. (2013). Ray Arızalarının Teşhisi İçin Deneysel Bir Yaklaşım Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, 1350–1355.
- Kaya, Ş. T. (2017). Demiryolu İşletmeciliği ve Demiryolu Mühendisliği. *Demiryolu Mühendisliği*, 6, 47–51.
- König, E. (2020). A review on railway delay management. *Public Transport*, 12(2), 335–361. <https://doi.org/10.1007/s12469-020-00233-1>
- Lin, T., Pan, Y., Chen, S., & Zuo, L. (2018). Modeling and field testing of an electromagnetic energy harvester for rail tracks with anchorless mounting. *Applied Energy*, 213(October 2017), 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.01.032>
- Liu, J., Schmid, F., Zheng, W., & Zhu, J. (2019). Understanding railway operational accidents using network theory. *Reliability Engineering and System Safety*, 189(November 2018), 218–231. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.04.030>
- Liu, S., Wang, Q., & Luo, Y. (2019). A review of applications of visual inspection technology based on image processing in the railway industry. *Transportation Safety and Environment*, 1(3), 185–204. <https://doi.org/10.1093/tse/tdz007>
- Luo, C., & Xu, L. (2023). Online-to-offline on the railway: Optimization of on-demand meal ordering on high-speed railway. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 152(April), 104143. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104143>
- Macucci, M., Di Pascoli, S., Marconcini, P., & Tellini, B. (2016). Derailment detection and data collection in freight trains, based on a wireless sensor network. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 65(9), 1977–1987. <https://doi.org/10.1109/TIM.2016.2556925>

- Malekjafarian, A., OBrien, E., Quirke, P., & Bowe, C. (2019). Railway track monitoring using train measurements: An experimental case study. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(22). <https://doi.org/10.3390/app9224859>
- Niu, J., Sui, Y., Yu, Q., Cao, X., & Yuan, Y. (2020). Aerodynamics of railway train/tunnel system: A review of recent research. *Energy and Built Environment*, 1(4), 351–375. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.03.003>
- Rahimi, M., Liu, H., Cardenas, I. D., Starr, A., Hall, A., & Anderson, R. (2022). A Review on Technologies for Localisation and Navigation in Autonomous Railway Maintenance Systems. *Sensors*, 22(11), 1–24. <https://doi.org/10.3390/s22114185>
- Soilán, M., Sánchez-Rodríguez, A., Del Río-Barral, P., Perez-Collazo, C., Arias, P., & Riveiro, B. (2019). Review of laser scanning technologies and their applications for road and railway infrastructure monitoring. *Infrastructures*, 4(4). <https://doi.org/10.3390/infrastructures4040058>
- Sümbül, H., Böğrek, A., & Tunçer, A. (2021). Demiryolu Ulaşım Güvenliği için Makinist Uyarım Sistemi Kavramsal Tasarımı ve Simülasyonu. *Demiryolu Mühendisliği, Temmuz 2021*(14), 1–13. <https://doi.org/10.47072/demiryolu.832113>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2023). *2053 Ulaştırma ve Lojistik Ana Planı*. 89. <http://www.nber.org/papers/w16019>
- TCDD. (2013). *Ulaştırma Kaza İstatistikleri 2013, Kaza Araştırma ve İnceleme Kurumu*.
- TCDD. (2020). *TCDD 2016-2020 İstatistik Yıllığı*.
- TCDD. (2021). *16 Şubat 2020 Tarihindeki 53519 Numaralı Yük Treni Deray Kazasına İlişkin Kaza İnceleme Raporu*.
- Transportation Safety Board of Canada. (2019). Statistical summary: Rail transportation occurrences in 2018. İçinde *Transportation Safety Board of Canada*. <http://www.bst-tsb.gc.ca/eng/stats/aviation/2018/ssea-ssao-2018.html#1.0>
- Transportation Safety Board of Canada. (2021). Statistical Summary: Rail transportation occurrences in 2021. İçinde *Transportation Safety Board of Canada*.
- Tsvetkov, V. Y., Shaytura, S. V., & Ordov, K. V. (2019). *Digital management railway. 105(Iscde)*, 181–185. <https://doi.org/10.2991/iscde-19.2019.34>
- Wang, Y., Zhu, X., Zhang, T., Bano, S., Pan, H., Qi, L., Zhang, Z., & Yuan, Y. (2018). A renewable low-frequency acoustic energy harvesting noise barrier for high-speed railways using a Helmholtz resonator and a PVDF film. *Applied Energy*, 230(April), 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.080>
- Wangai, A. W., Rohacs, D., & Boros, A. (2020). Supporting the sustainable development of railway transport in developing countries. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/SU12093572>
- Wen, C., Mou, W., Huang, P., & Li, Z. (2020). A predictive model of train delays on a railway line. *Journal of Forecasting*, 39(3), 470–488. <https://doi.org/10.1002/for.2639>

- Xiao, X., Sun, Z., & Shen, W. (2020). A Kalman filter algorithm for identifying track irregularities of railway bridges using vehicle dynamic responses. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 138, 106582. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106582>
- Xie, J., Huang, J., Zeng, C., Jiang, S. H., & Podlich, N. (2020). Systematic literature review on data-driven models for predictive maintenance of railway track: Implications in geotechnical engineering. *Geosciences (Switzerland)*, 10(11), 1–24. <https://doi.org/10.3390/geosciences10110425>
- Yavuz, S. (2018). Demiryolu Kazalarında Sistem ve İnsan Etkeni. *Demiryolu Mühendisliği*, 7, 54–55.
- Zhang, C., Gao, Y., Yang, L., Gao, Z., & Qi, J. (2020). Joint optimization of train scheduling and maintenance planning in a railway network: A heuristic algorithm using Lagrangian relaxation. *Transportation Research Part B: Methodological*, 134, 64–92. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2020.02.008>
- Zhou, S., Wang, B., & Shan, Y. (2020). Review of research on high-speed railway subgrade settlement in soft soil area. *Railway Engineering Science*, 28(2), 129–145. <https://doi.org/10.1007/s40534-020-00214-x>

DİZİN

A

Arduino · vii, 27, 28, 31, 37, 38, 39, 41, 42

C

Canada · 2

D

Demiryolları · vii, ix, xii, 1, 4, 18, 19

deray kazası · iv, x, 2, 3, 17, 18, 20, 21, 25, 26, 30, 37,
48

E

erken uyarı · iv

G

Gecikme yönetimi · 6

GSYİH · 7

H

Hall Effect Sensör · 29

K

karar ağacı · 13

L

LiDAR · 9

M

makine öğrenimi · 8, 13

N

Node · 37, 38, 39, 41, 42

NRF24L01 · vii, 27, 28, 31, 37, 38, 39, 41, 42, 46

T

TCDD · ix, xii, 1, 2, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 52

Termoelektrik enerji · 16

U

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı · 1, 52

Y

Yapay zekâ · 8



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

