

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**SABİT-BLOK DEMİRYOLU SİNYALİZASYON  
SİSTEMLERİNDE MAKAS EŞ YAŞLANDIRMA VE ENERJİ  
TASARRUF KRİTERLERİNE GÖRE GÜZERGÂH SEÇİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OKAN ŞEREMET**

**DENİZLİ, MAYIS - 2017**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**SABİT-BLOK DEMİRYOLU SİNYALİZASYON  
SİSTEMLERİNDE MAKAS EŞ YAŞLANDIRMA VE ENERJİ  
TASARRUF KRİTERLERİNE GÖRE GÜZERGÂH SEÇİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OKAN ŞEREMET**

**DENİZLİ, MAYIS - 2017**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Okan ŞEREMET tarafından hazırlanan "Sabit-Blok Demiryolu Sinyalizasyon Sistemlerinde Makas Eş yaşlandırma ve Enerji Tasarruf Kriterlerine Göre Güzergâh Seçimi" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 17.05.2017 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Prof. Dr. Sezai TOKAT



.....

Üye  
Yrd. Doç. Dr. İlker ÜSTOĞLU



.....

Üye  
Prof. Dr. Serdar İPLİKÇİ



.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
14/06/2017 tarih ve ...22/17... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tez çalışması TÜBİTAK 115E394 numaralı *Sabit-blok Demiryolu Sinyalizasyon Sistemleri için Arıza Teşhisi yapabilen Anlaşman Sistemi Tasarımı ve Hatada-Güvenli PLC'ler ile Gerçeklenmesi* adlı proje tarafından desteklenmektedir.**

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**OKAN ŞEREMET**



## ÖZET

**SABİT-BLOK DEMİRYOLU SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE  
MAKAS EŞ-YAŞLANDIRMA VE ENERJİ TASARRUF KRİTERLERİNE  
GÖRE GÜZERGAH SEÇİMİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
OKAN ŞEREMET  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. SEZAI TOKAT)**

**DENİZLİ, MAYIS - 2017**

Raylı sistemlerin yaygınlaşması ve geliştirilmesi bu sistemlerin ihtiyaç duydukları enerji miktarının artmasına sebep olmuştur. Bununla birlikte yatırım ve bakım maliyetleri yüksek boyutlara ulaşmıştır. Raylı sistemleri etkin kullanan yönetimler bu maliyetlerin azaltılması ve yatırımların uzun ömürlü olması için Ar&Ge merkezleri ve üniversiteler ile birlikte birçok çalışma yürütmektedir.

Bu tez çalışmasında, sabit-blok sinyalizasyon sistemine sahip bir demiryolu depo sahası için güzergâh seçimi (rezervasyonu) iki farklı kritere göre gerçekleştirilmiştir. İlk kriter, güzergâh üzerinde konum değiştirecek toplam makas sayısının hesaplandığı enerji tasarrufudur. İkinci kriter ise, makasların konum değiştirme sayılarının (makas yaşı) birbirlerine eşitlenmeye çalışıldığı makas eş yaşlandırma kriteridir.

Her iki algoritma gerçekleştirilerek rasgele dispeçer davranışları ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları ile önerilen algoritmaların etkenliği doğrulanmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Sabit-Blok Sinyalizasyon Sistemleri, Makas Eş Yaşlandırma, Enerji Tasarrufu

## **ABSTRACT**

**ROUTE SELECTION IN FIXED-BLOCK RAILWAY SIGNALING  
SYSTEMS ACCORDING TO POINT CO-AGING AND ENERGY  
CONSERVATION CRITERIA  
MSC THESIS  
OKAN ŞEREMET  
PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
COMPUTER ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:PROF. DR. SEZAI TOKAT)**

**DENİZLİ, MAY 2017**

The expansion and the development in railway systems result with the increment of the energy consumption needed in these systems. Moreover, the maintenance costs of the field equipment in fixed-block signaling systems are also escalated. Governments which effectively use railway systems have studies with the universities and the R&D departments to decrease these maintenance costs and increase the lifetime of these systems.

In this thesis, the route selection (reservation) procedure for a railway depot area with fixed-block signaling system is realized by taking into account two different criteria. The first criteria is energy conservation in which the total number of points that will change its position is calculated. The second criteria is point co-aging in which the total number of position changes of each point is equalized with each other.

Both algorithms are realized and compared with random dispatcher behavior. The simulation results also verified the effectiveness of the proposed algorithms.

**KEYWORDS:** Fixed-Block Railway Signaling Systems, Point Co-Aging, Energy Conservation

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1    Literatür Araştırması .....	2
1.2    Kent İçi Raylı Sistemler .....	2
1.2.1    Tramvay Sistemleri .....	3
1.2.2    Hafif Raylı Sistemler .....	4
1.2.3    Metro Sistemleri .....	4
1.3    Kumanda Merkezi .....	5
1.4    Sinyalizasyon Sistemleri .....	5
1.4.1    Sabit Blok Manuel Sürüş Sinyalizasyon Sistemi.....	6
1.4.2    Sabit Blok Otomatik Sürüş Sinyalizasyon Sistemi.....	6
1.5    Anklaşman Sistemi.....	7
1.6    Saha Ekipmanları .....	7
1.6.1    Ray Devreleri.....	7
1.6.2    Makaslar.....	8
1.6.3    Sinyaller .....	8
<b>2. PROBLEMİN TANIMI VE GELİŞTİRİLEN ÇÖZÜM</b> .....	<b>9</b>
2.1    Arıza Kontrol Algoritması.....	10
2.2    Enerji Tasarrufu Kriteri ve Algoritması .....	11
2.3    Eş yaşlandırma Kriteri ve Algoritması .....	14
2.4    Ağırlıklı Ceza Algoritması .....	20
<b>3. ÖRNEK ÇALIŞMA: ESENLER DEPO SAHASI İÇİN UYGULAMA</b>	<b>23</b>
3.1    Esenler Depo Sahası .....	23
3.2    Kumanda Merkezi Yazılımı .....	25
3.2.1    Güzergâh Talebi Yapma ve Tavsiye Listesi .....	27
3.2.2    Paneller ve Simülasyon.....	30
<b>4. SONUÇLAR</b> .....	<b>33</b>
4.1    Enerji Tasarrufu Algoritması Sonuçları .....	33
4.2    Eş Yaşlandırma Algoritması Sonuçları .....	35
4.3    Eşit Katsayılı Ağırlıklı Ceza Algoritması Sonuçları .....	36
4.4    Arıza Enjekte Edilen Sahadaki Algoritma Çalışma Sonuçları .....	36
<b>5. KAYNAKLAR</b> .....	<b>40</b>
<b>6. ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>42</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1: Örnek bir Kumanda merkezi .....	5
Şekil 1.2: Sinyalizasyon sistemi .....	6
Şekil 2.1: Arıza kontrol algoritması .....	10
Şekil 2.2: Makas çevrim sayısını hesaplayan algoritma .....	13
Şekil 2.3: Enerji tasarrufu ceza puanını hesaplayan algoritma .....	14
Şekil 2.4: Eş yaşlandırma algoritması .....	20
Şekil 2.5: Ağırlıklı ceza algoritması .....	22
Şekil 3.1: Esenler depo sahasına ait şematik çizim(kısmi) .....	24
Şekil 3.2: Kumanda merkezi yazılımı ana ekranı .....	26
Şekil 3.3: Kumanda merkezi tavsiye listesi .....	28
Şekil 3.4: Konum değiştirmesi gereken makaslar .....	29
Şekil 3.5: Güzergâh tavsiye listesi .....	29
Şekil 3.6: Tanzim edilmiş güzergâh .....	30
Şekil 3.7: Opsiyonlar ve modlar bölümü .....	30
Şekil 3.8: Simülasyon bölümü .....	31
Şekil 4.1: Enerji tasarruf algoritması makas çevrim sayısı karşılaştırma grafiği .....	34
Şekil 4.2: Enerji tasarruf algoritması maliyet(€) karşılaştırma grafiği .....	34
Şekil 4.3: Eş yaşlandırma algoritması ve dispeçer karşılaştırma grafiği .....	35
Şekil 4.4: Eşit katsayılı ağırlıklı ceza algoritması Dispeçer karşılaştırma grafiği .....	36
Şekil 4.5: Eşit katsayılı ağırlıklı ceza algoritması Dispeçer karşılaştırma grafiği(maliyet).....	36
Şekil 4.6: Arıza enjekteli eş yaşlandırma algoritması Dispeçer karşılaştırma grafiği .....	37
Şekil 4.7: Arıza enjekteli enerji tasarruf algoritması Dispeçer karşılaştırma grafiği .....	38
Şekil 4.8: Arıza enjekteli eşit katsayılı ağırlıklı ceza algoritması Dispeçer karşılaştırma grafiği.....	38

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1:</b> Güzergâh makas ve saha makas konumları tablosu örneği. ....	12
<b>Tablo 2.2:</b> Enerji tasarruf kriterine göre aday güzergâh tavsiye listesi örnek tablo.....	13
<b>Tablo 2.3:</b> Makas yaşları ve ceza katsayıları tablosu .....	15
<b>Tablo 2.4:</b> Güzergâh makas ve saha makas konumları örnek tablosu .....	16
<b>Tablo 2.5:</b> Aday güzergâh ceza puanları örnek tablosu .....	16
<b>Tablo 2.6:</b> Güzergâh 1 tanzimi için sahada konum değiştirmesi gereken makaslar .....	17
<b>Tablo 2.7:</b> Güncellenmiş makas yaşları ve ceza katsayıları tablosu .....	17
<b>Tablo 2.8:</b> Güncellenmiş aday güzergâh ceza puanları örnek tablosu .....	18
<b>Tablo 2.9:</b> 100 iterasyon sonrasında makas yaş ve ceza katsayıları örnek tablosu .....	18
<b>Tablo 2.10:</b> 100 iterasyon sonrasında aday güzergâh ceza puanları örnek tablosu .....	19
<b>Tablo 2.11:</b> Makas başlangıç çevrim sayısı sıfır alınarak çalıştırılan eş yaşlandırma algoritması sonucunda elde edilen makas çevrim sayıları ve makas ceza katsayıları .....	19
<b>Tablo 4.1:</b> Enerji tasarruf algoritması kullanımı ile yıllara göre tasarruf edilen miktarlar .....	39

## SEMBOL LİSTESİ

<b>PM</b>	:	Point machine, makas
<b>KM</b>	:	Kumanda merkezi
<b>AS</b>	:	Anklaşman sistemi
<b>N</b>	:	Makas normal konum
<b>R</b>	:	Makas sapan konum
<b>L</b>	:	En düşük makas çevrim sayısı
<b><math>Z_i</math></b>	:	i. aday güzergâhın tanzimi için gerekli olan makas çevrim sayısı
<b><math>E_i</math></b>	:	i. aday güzergâhın enerji tasarruf ceza puanı
<b><math>C_i</math></b>	:	i. makasın ceza katsayısı
<b><math>Y_i</math></b>	:	i. makasın yaşı
<b>A</b>	:	Sahadaki bütün makasların yaş ortalaması
<b><math>n_i</math></b>	:	i. aday güzergâhın üzerinde bulunan makas sayısı
<b><math>T_i</math></b>	:	i. aday güzergâhın eş yaşlandırma ceza puanı
<b><math>C_j</math></b>	:	i. aday güzergâhın j. makasının ceza puanı
<b><math>P_i</math></b>	:	i. aday güzergâhın ağırlıklı ceza puanı
<b><math>f_i</math></b>	:	i. aday güzergâhın arıza kontrol değişkeni
<b><math>\alpha</math></b>	:	Ağırlıklı ceza algoritması için eş yaşlandırma ceza katsayısı

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada bana destek olan danışman hocam Prof. Dr. Sezai Tokat'a, bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. İlker ÜSTOĞLU, Arş. Gör. Dr. Mustafa Seçkin DURMUŞ ve Dr. Kenan KARAGÜL'e teşekkürü bir borç bilirim.

# 1. GİRİŞ

İnsanlığın enerjiye olan ihtiyacı, medeniyetlerin gelişimi ve yaşam standartlarıyla paralel olarak artış göstermektedir. Bu artışı kirlilik, çarpık kentleşme ve ulaşım sorunları takip etmektedir ki günümüzde nüfusun ve göçlerin de artmasıyla ulaşım, özellikle de kalabalık nüfusa sahip büyük şehirlerde çözülmesi gereken büyük bir problem haline gelmiştir. Bu amaçla gelişmiş ülkeler ve şehirler enerjiyi verimli kullanan, emniyetli, çevreye duyarlı ve hızlı toplu ulaşım sistemlerini kullanmakta ve geliştirmektedir. Raylı sistemler de bu amaç doğrultusunda en çok tercih edilen ulaşım sistemlerinden biridir.

Ancak raylı sistemler her ne kadar yukarıda sayılan avantajlara sahip olsalar da yaygınlaşmaları ve yüksek hızlara ulaşmaları nedeniyle ihtiyaç duydukları enerji miktarı büyük boyutlara ulaşmıştır. Ayrıca toplu taşıma sistemi olarak kullanılmalrı bu sistemlerde emniyet kavramını oldukça önemli hale getirmektedir. Emniyetin temin edilebilmesi için demiryolu saha ekipmanlarının bakımları periyodik olarak yapılmak zorundadır. Bundan dolayı raylı sistem işletmeleri enerji ve bakım maliyetlerine büyük bütçeler ayırmaktadırlar.

Bu tezde, saha ekipmanlarından en önemlisi olan makasların arıza kontrolü, enerji tasarrufu (en az sayıda makasın çevrileceği güzergâhın belirlenmesi) ve eş yaşlandırma (sahada bulunan tüm makasların yer değiştirme sayılarının eşitlenmesi) kriterlerine göre dispeçere en uygun güzergâh tavsiyesinde bulunan bir kumanda merkezi yazılımı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen kumanda merkezi yazılımında enerji tasarruf, makas eş yaşlandırma ve bu iki kriterin aynı anda değerlendirildiği üçüncü bir algoritma bulunmaktadır. Yukarıda bahsi geçen enerji tasarrufu, makas eş yaşlandırma ve her iki algoritmanın ortak kullanıldığı durum için benzetim çalışmaları yapılmış ve önerilen algoritmaların doğrulukları gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasında 1. bölümde literatür araştırması, demiryolu sinyalizasyon sistemlerinin yapısı ve bileşenlerinden bahsedilmiştir. 2. bölümde arıza, enerji ve bakım ile ilgili problemlerin tanımları ve çözüm olarak üretilen algoritmalar anlatılmıştır. 3. bölümde bu algoritmaların bilgisayar ortamında çalıştırılması ve benzetim için seçilen Esenler Tren Deposu hakkında bilgiler verilmiştir. Sonuç bölümünde ise benzetim sonucu elde edilen veriler grafiksel olarak ifade edilmiş ve irdelenmiştir.

## 1.1 Literatür Araştırması

Dünyada artan çevre kirliliği ve sera etkisi, Kyoto Protokolü gibi çalışmalar sonucunda ülkeler daha temiz ve verimli enerji kaynakları kullanma arayışına girmiştir. Bu süreç raylı sistemlerin hareket enerjisini sağlayan fosil yakıt ile çalışan lokomotiflerin enerji dönüşüm sürecini hızlandırmıştır. Lokomotif teknolojisinde elektrik motorlarının kullanımı yaygınlaştırılmış ve elektrik enerjisinin verimli bir şekilde kullanımı için büyük yatırım ve ar-ge bütçeleri ayrılmıştır. Fosil yakıtlar ile çalışan motorlar ile elektrik enerjisiyle çalışan motorları karşılaştıran çalışmalar yapılmış ve bu teknolojilerin avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir (Kothari ve Sudhakar 2015). Dizel elektrikli lokomotiflerde elektrik enerjisinin daha efektif kullanımı, dizel yakıt tüketimini ve  $CO_2$  emisyonunu azaltan yaklaşımlar araştırılmıştır (Agenjos ve diğ. 2009). Elektrik enerjisi ile çalışan sistemlerde enerji tüketimini minimize etmek için sürat optimizasyonu ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Miyatake ve Ko 2010). Enerji tüketimini azaltmak için optimum zaman çizelgeleri tasarlanmıştır (Nag ve Pal 2004). Bilgisayar destekli tren işletme sistemleri hakkında çalışmalar yapılarak büyük ölçüde enerji tasarrufu sağlayan sistemler geliştirilmiştir (Akbayır 2016). Çalışmalar yalnızca elektrik enerjisi alanında yapılan çalışmalar ile kalmamış, raylı sistem araçlarının ağırlığının azaltılması, aerodinamik ve etkili demiryolu otomasyonu alanlarında da araştırmalar bulunmaktadır (Gunselmann 2005). Frenleme stratejilerinin enerji tasarrufu üzerindeki etkileri hakkında çeşitli çalışmalar vardır (Açıkbaş ve Alataş 2006).

Raylı sistemlerde makaslar ile ilgili çalışmalar daha çok emniyet ve hata teşhisi konularında yapılmıştır. Bakım planlama ve maliyet çalışmalarında makasların bakım süreleri, gerekli personel sayısı ile ilgili bilgilere yer verilmiştir (Demirdağ 2007). Makaslarda enerji tasarrufu ve makas eş yaşlandırma konuları ile ilgili çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma ile raylı sistemler alanında yapılan çalışmalara farklılık ve yenilik getirmek amaçlanmıştır.

## 1.2 Kent İçi Raylı Sistemler

Kent içi raylı sistemler 1860'lı yıllardan sonra dünya genelinde gelişmiş ülkelerin gündemine yerleşmeye başlamış ancak 1950'li yıllardan sonra otomobillerin trafikte yaygın hale gelmesi ulaşım talebinin karşılanmasında ağırlığın lastik tekerlekli araçlara kaymasına neden olmuştur. Kent içindeki yollar otomobil ve diğer lastik tekerlekli araçların sayısındaki bu hızlı artışı karşılayamamış ve trafik yoğunluğu ortaya çıkmıştır (Ocak ve Manisalı 2006). Bu

durum dikkatleri tekrar kent içi raylı sistemlere çekmiştir. Kent yönetimleri raylı sistem çalışmaları ile ilgili altyapı ve ar-ge çalışmalarına önem vermiş, bu çalışmalar için büyük bütçeler ayrılmıştır. Sonuç olarak kent içi raylı sistemler günümüz büyük şehirlerinin ulaşım konusunda vazgeçilmezi haline gelmiştir.

Gelişmiş kentlerde raylı sistemler ile ulaşım konusunda büyük atılımlar yapılırken ülkemizde kent içi raylı sistemler ile ilgili çalışmalar ancak 1985 yılında İstanbul'da yapılan 3 adet ulaşım etüdüyle başlamıştır. Bu zamana kadar yürütülen ulaşım politikası, otomobil ve lastik tekerlekli araçların ulaşımını kolaylaştıracak yeni yollar inşa edilmesine dayalı olduğu için kullanılmakta olan raylı sistemlerin atıl kalmasına ve zamanla bu sistemlerin ortadan kalkmasına neden olmuştur. Bu etütlerde, ulaşım probleminin çözümünde özellikle raylı sistemlerinin önemine değinilmiş, mevcut kent içi raylı sistemlerinin ulaşım problemi üzerindeki etkileri tartışılmıştır (Ocak ve Manisalı 2006). Bu dönemden sonra ülkemizde kent içi raylı sistemlere gereken önem kısmen de olsa verilmiştir. Yapılan girişimler sonucunda günümüzde başta İstanbul olmak üzere birçok kentimizde kent içi raylı sistemler etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Kent içi raylı sistemler sabit bir ray üstünde veya raya asılarak seyreden, elektrik enerjisi ile çalışan sistemlerdir. Kapasite, hat ve hız kriterlerine göre tramvay, hafif raylı, metro, monoray, banliyö sistemler altında sınıflandırılırlar. Otobüs ve metrobüs gibi lastik tekerlekli toplu taşıma araçlarına kıyasla dakik ve emniyetli olduğu için yüksek nüfus ve trafik yoğunluğuna sahip kentlerde etkin olarak kullanılmaktadırlar. Yüksek ve artırılabilir taşıma kapasitesi, çevreye duyarlı enerji tüketimi özellikleriyle ön plana çıkan kent içi raylı sistemler genellikle yapılarına özel bir yol tahsis edilerek işletilmektedir (Kasımoğlu 2015). Ülkemizdeki nüfusun yoğun olduğu şehir merkezlerinde Tramvay, hafif raylı sistemler ve metrolar toplu taşımacılıkta etkin olarak kullanılmaktadır (Şenlik 2006).

### **1.2.1 Tramvay Sistemleri**

Karayolu trafiği ile aynı alanı kullanabilen, trafik durumunu ve sinyalizasyonu göz önünde bulunduran bir sürücü tarafından kumanda edilen sistemlerdir (Baştürk 2014). Gerekli olan elektrik enerjisini katener veya rijid katener olarak havai hattan temin etmektedirler. Saatte 10.000 ila 20.000 arasındaki yolcu taşıma kapasitesiyle en düşük yolcu kapasitesine sahip kent içi raylı sistem türüdür. Kentin yoğun olan caddelerinde hizmet vermek için tasarlanmıştır.

Bir adım ile binilebilecek kadar düşük araç yüksekliğine sahip olan bu sistemler kent içi trafiğine oldukça bağımlı olarak işletilmek zorundadır. Bu nedenle yüksek fren ivmesine sahiptirler. Korumasız olan hatlarda (*cadde tramvay hattı*) 20 km/saat sürat ile seyrederken taşıt yolundan ayrılmış ve yaya girişine kapalı hatlarda (*tüneller*) 70 km/saat süratle ulaşabilmektedirler (Kasımoğlu 2015).

### **1.2.2 Hafif Raylı Sistemler**

Hafif raylı sistemler, tramvay sistemlerinin günümüz teknolojisi ile enerji tasarrufu, taşıma kapasitesi ve konfor açısından verimli hale getirilmiş modern raylı sistemlerdir. Kent içinde yer seviyesinde veya yükseltilmiş özel bir yol sistemine sahip olan bu sistemler şehirlerin yüksek nüfus yoğunluğu olan ve şehir planlanması tamamlanmış bölgelerinde etkin olarak kullanılmaktadır. Kent içindeki konutlara yakın istasyonlara sahip hafif raylı sistemlerin saatlik yolcu kapasiteleri 10000-30000 kişi arasında değişmektedir. Tahsisli bir hatta şehir trafiğinden bağımsız olarak işletildikleri için tramvaylara göre yüksek yatırım maliyetlerine sahiptirler. Sinyalizasyon sisteminin kontrolü altında 60-80 km/saat sürat ile yolculuk yapabilmektedirler. (Baştürk 2014).

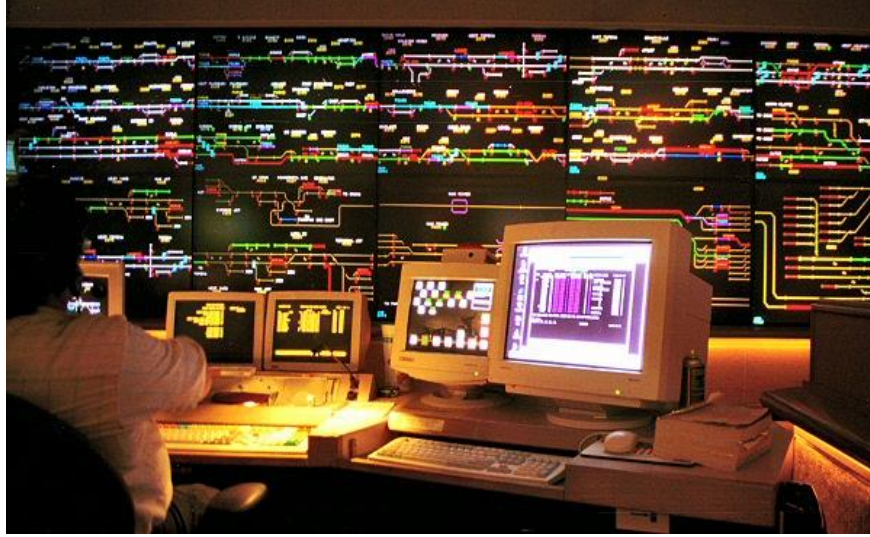
### **1.2.3 Metro Sistemleri**

Kent içi raylı ulaşımda 60000-70000 yolcu taşıma kapasitesi ile en büyük trafik potansiyelini gerçekleştiren sistemlerdir. Yeraltında veya bazen yer üstünde hareket eden ve tahsisli hat üzerinde işletilen metro sistemleri, kendi içinde kapalı bir yapıya sahiptir. Dünyanın büyük şehirlerinde (Tokyo, New York, Paris vb.) yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer türlerin ulaşamadığı yüksek hızlara ulaşabilen tam korumalı metro sistemleri yüksek düzeyde otomasyon gerektirmektedir. Altyapı yatırım maliyetlerinin diğer sistemlere göre çok yüksek olmasına rağmen verdiği hizmet miktarına göre düşük işletme giderleriyle çalışması bu sistemi kullanılabilir kılmaktadır (Baştürk 2014).



### 1.3 Kumanda Merkezi

Tren trafiğinin ve saha durumunun izlendiği ve yönetildiği merkezdir. AS ile sürekli bir iletişim halindedir. Dispeçer güzergâh taleplerini KM aracılığıyla AS'ye iletir. Tüm saha ekipmanlarının durumları KM'den görülebilmektedir.



Şekil 1.1: Örnek bir Kumanda merkezi [1]

### 1.4 Sinyalizasyon Sistemleri

Sinyalizasyon sistemleri, ulaşım ağının büyümesi ve araçların süratlerinin giderek artmasıyla seyir halindeki araçların takip ettikleri yolda etkili ve emniyetli bir şekilde ilerlemeleri için geliştirilmiş sistemlerdir. Raylı sistemlerde sinyalizasyonun esas problemi, demiryolunda tren karşılaşmalarını göz önüne alarak trafiği düzgün ve ekonomik bir tarzda yönetmektir (Ürün ve Gülbahar 2004).

Günümüzde birçok sistemden bahsedilirken temelde hafif metro ve metrolarda, sabit-blok manuel sürüş, sabit blok otomatik sürüş, hareketli-blok (moving-block) blok otomatik sürüş olmak üzere üç tür sinyalizasyon sistemi kullanılmaktadır (Söyler ve Açıkbaz 2015).

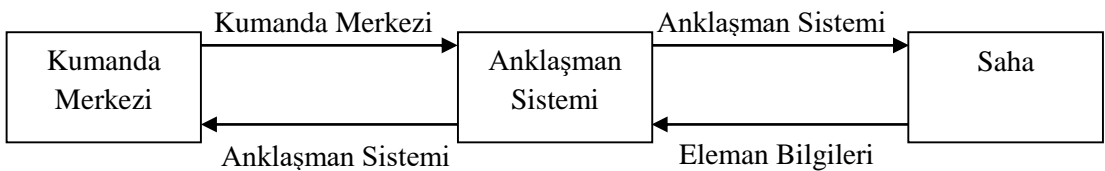
### 1.4.1 Sabit Blok Manuel Sürüş Sinyalizasyon Sistemi

Bu sinyalizasyon sisteminde makinist sinyal lambaları vasıtası ile yönlendirilmektedir. Günümüzde genelde 10 dakikanın altında sefer aralığı olan sistemlerde zaman çizelgesi uygulama mecburiyeti doğmuştur. Bir sistemde 10 dakikanın altında bir sefer aralığı (Headway Time – HT) varsa trenler arasındaki mesafenin korunması gerekmektedir. Bu tür sistemlerde genelde sefer aralıklarını maksimum oranda tutturmak için makinistlerin deneyimlerine güvenilmektedir (*İstanbul ve İzmir Hafif Metro hatları*). Fakat makinist tecrübelerine göre bir sürüş eğer hattın kapasitesi 10 dakikalık HT'den düşükse tren aralıkları tutturulamamakta ve Makinist Bilgilendirme Sistemleri (DIS) ve Araç Takip Sistemleri kullanılması gerekmektedir (*Ankara ve Bursa Hafif Metro hatları*) (Söyler ve Açıkbaş 2015)

### 1.4.2 Sabit Blok Otomatik Sürüş Sinyalizasyon Sistemi

Otomatik tren işletme (Automatic Train Operation – ATO) sistemine sahip bu sistemlerde trenler kumanda merkezi tarafından bilgisayar vasıtasıyla otomatik olarak sürülmektedir. Zaman çizelgesine göre tren hareket saatleri işletme programına kaydedilir. Trenin hangi hızda nasıl gideceği bazen blokların başında veya devamlı trenle haberleşme yoluyla alınmaktadır. Merkezi anlaşıman (interlocking) trenlerin konumunu algılar ve durması gerektiği noktayı ve nasıl güvenli olarak duracağını trene bildirir. Trende aldığı bilgiye göre duracağı yeri, uygulaması gereken fren gücünü hesaplar ve ona göre bir fren gücü uygular (Söyler ve Açıkbaş 2015).

Bir demiryolu sinyalizasyon sistemi genel olarak KM, AS ve saha olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler arası haberleşme de emniyet standartlarına uygun olmalıdır.



Şekil 1.2: Sinyalizasyon sistemi

## 1.5 Anlaşman Sistemi

Dispeçer tarafından KM'den yapılan güzergâh açma, makas çevirme, saha ekipmanları bloke etme gibi talepleri sahanın o andaki durumuna göre değerlendirip bir karar üreten sistemlerdir. Bu kararlar aynı zamanda KM'ye iletilerek dispeçer bilgilendirilmektedir. Eğer yapılan bir güzergâh talebi ise, AS talebi kabul ettikten sonra güzergâh üzerindeki makasları en sondaki makası ilk hareket ettirecek şekilde makas konumlarını ayarlar, güzergâhı elektronik olarak kilitler (güzergâha dahil hiçbir ekipmanın başka bir güzergâh tarafından kullanılmasına izin vermez), güzergâh giriş sinyalinin anlaşman tablosuna uygun renk bildirimini vermesini sağlar ve güzergâhı tanzim eder. Makinist de bu renk bildirimine göre belirlenmiş hız ile yola devam eder. Bu güzergâh ile çakışan ve/veya tanzim edilmeyen tüm güzergâh giriş sinyallerinin kırmızı renk bildirimini vermesi sağlanarak geçişler yasaklanır ve olası karşılaşma veya çarpışmanın önüne geçilmiş olur (Durmuş ve Söylemez, 2008). Bunlara ek olarak AS, saha ekipmanlarından aldığı sensör bilgilerini periyodik olarak kontrol ederek ilgili ekipmanda arıza durumu olup olmadığına karar vermektedir.

## 1.6 Saha Ekipmanları

Demiryolu sinyalizasyon sistemlerine ait saha ekipmanları ray devreleri, makaslar ve sinyallerden oluşmaktadır. Bu ekipmanlar trene, hedefine ulaşması için etkili ve güvenli bir hareket kabiliyeti sağlar.

### 1.6.1 Ray Devreleri

Ray devreleri trenin ray bloğu üzerinden geçerken tren milinin kısa devreye sebep olmasını sağlayan elektrik devreleridir. Bu devreler tren mili tarafından kısa devre edilir ve trenin ray üstündeki varlığı bu şekilde anlaşılır. (MEGEP, 2013). Trenin takip edeceği güzergâhın tanzimi, hareket halinde ve durmakta olan trenin belirlenmesi, trenlerin KM tarafından izlenmesi gibi fonksiyonları vardır. Ray devreleri:

- DC ray devresi
- AC ray devresi
- Kodlu ray devresi

- HF ray devresi
- Eskiz ray devresi
- Aks sayıcı olarak 6 tip altında sınıflandırılmaktadır (Hall 2001).

### 1.6.2 Makaslar

Trenleri diğer tekerlekli araçlardan ayıran en önemli özelliklerden biri kendi yönlendirme sistemlerine sahip olmamalarıdır. Trenlerin bir yoldan başka bir yola geçmeleri makaslar ile sağlanır. Makasların konum bilgileri, arıza durumları, kilit durumları üzerlerinde bulunan sensörler vasıtası ile algılanabilmektedir. Makaslar sahada makas çevirme kolu yardımı ile, KM'den de güzergâh açma veya direk makas konum değiştirme komutları ile yönlendirilebilmektedirler (Mecitoğlu 2013).

### 1.6.3 Sinyaller

Sinyaller, trenlerin ilerledikleri yol üzerinde bulunan meşguliyet bilgilerini makiniste farklı renk kombinasyonları ile bildiren saha ekipmanlarıdır. Makinist yol boyunca (TCDD yönetmeliğine göre gidiş yönünün sağında) bulunan sinyallerin verdiği renk bildirimlerine göre hareket eder (MEGEP 2013). Kırmızı sinyal, tanzim edilen bir güzergâh olmadığını, ilerideki ray bloğunun meşgul olduğunu ve tehlike arz eden bir durum olduğunu, sarı sinyal iki blok sonraki ray bloğunun meşgul veya bir sonraki sinyalin kırmızı olduğunu ve hızını düşürmesi gerektiğini, son olarak yeşil sinyal ise, güzergâhın tanzim edildiğini ve trenin o ray bloğunda hareket etmesine bir engel olmadığını bildirmektedir. Sinyaller, tiplerine göre aşağıda belirtilen sınıflara ayrılmaktadır (MEGEP 2013).

- İkili cüce sinyaller
- Üçlü cüce sistemler
- Üçlü yüksek sinyaller
- Dörtlü yüksek sinyaller

Bu tezde gerçekleştirilen benzetim çalışmasında kullanılan demiryolu sahası bir depo olarak kullanıldığından dolayı yalnızca ikili ve üçlü yüksek sinyaller bulunmaktadır.

## 2. PROBLEMİN TANIMI VE GELİŞTİRİLEN ÇÖZÜM

Demiryolu makasları trenin güvenli olarak yolculuk yapmasında hayati öneme sahip bileşenlerden bir tanesidir. Konum değiştirmede meydana gelen bir arıza trenin raydan çıkması veya kopması gibi istenmeyen durumlar ile sonuçlanabilir. Bunun için elektrikli demiryolu makasları dışarıdan yanlış bir müdahale veya sabotaj tehlikesine karşı özel olarak tasarlanmışlardır.

Dispeçer tarafından güzergâh talebi yapıldığında öncelikle sahadaki sinyal, makas gibi ekipmanlarda herhangi bir arıza olup olmadığı kontrol edilmektedir. Üzerindeki ekipmanlarda arıza olan güzergâhlar aday güzergâh listesinden çıkarılmakta ve geriye kalan aday güzergâhlar üzerinden seçilen kritere (eş yaşlandırma, enerji tasarrufu veya her ikisi) göre farklı algoritmalar çalıştırılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Geliştirilen algoritmalar hesaplama yaparken makas değişim sayısını veya aday güzergâhların üzerinde bulunan tüm makasların yaşını esas almaktadır. Makas yaşı ilgili makasın o gün içerisinde kaç kere konum değiştirdiğini ifade etmektedir.

Enerji tasarruf kriterince her aday güzergâha tanzim edilmesi durumunda üzerinde konumu değişecek makas sayısına göre ceza puanı verilmektedir. Makas konum değişim sayısı arttıkça aday güzergâhın aldığı ceza puanı artacaktır ve tavsiye listesinde alt sıralara düşecektir. En az ceza puanını alan güzergâh birinci sıraya yerleşecektir. Eş yaşlandırma algoritmasında güzergâh üzerinde bulunan bütün makasların yaşı hesaba katılarak bir ceza puanı belirlenmektedir. Güzergâh üzerindeki makasların yaşı ne kadar büyükse -makas ne kadar çok kullanılmış ise- aldığı ceza puanı artacaktır. Böylelikle daha düşük yaştaki makaslara konum değiştirme fırsatı verilerek makaslar adaletli bir şekilde kullanılmış olacaktır. Bu iki algoritmanın ceza puanlarının beraber kullanıldığı üçüncü algoritmada hem enerji tasarrufu hem de makas eş yaşlandırma kriterini göz önünde bulundurulmaktadır.

## 2.1 Arıza Kontrol Algoritması

Dispeçer talep yapmak istediği güzergâhın başlangıç sinyali ve varış sinyaline tıkladığında treni hedefe ulaştıracak güzergâhlar aday güzergâh olarak belirlenmektedir. Arıza Kontrol algoritması aday güzergâhların içinde ray bloğu, sinyal ve makas arızası olanları tespit edip aday güzergâh listesinden çıkarmaktadır (Şekil 2.3). Arızalar giderildiğinde tekrar güzergâh talebi yapıldığında bu güzergâhlar tekrar aday listesine girebilmektedir.

```
1: Start
2: Class Point
3:   bool isFault
4: Class Track
5:   bool isFault
6: Class Signal
7:   bool isFault
8: Class Route
9:   List<Point> points
10:  List<Track> tracks
11:  List<Signal> signals
12: end Class
13: Function CheckFault ( List<Route> Allroutes )
14: CandidateRoutes = null
15: if ( Allroutes != null )
16:   for each ( route in Allroutes )
17:     for each ( points in route )
18:       if points.isFault
19:         break
20:       end if
21:     end for
22:     for each ( tracks in route )
23:       if tracks.isFault
24:         break
25:       end if
26:     end for
27:     for each ( signals in route )
28:       if signals.isFault
29:         break
30:       end if
31:     end for
32:     if there is no fault in route
33:       CandidateRoutes[] ← route
34:     end if
35:   end for
36: end if
```

Şekil 2.1: Arıza kontrol algoritması

## 2.2 Enerji Tasarrufu Kriteri ve Algoritması

Demir yollarında güzergâh tanzimi için konumu değişen bir makas saniyede 960 Watt gibi yüksek güç tüketmektedir. Bu miktar günümüzde yaklaşık olarak 0,40 Türk Lirası'na tekabül etmektedir. Bu nedenle güzergâh tanzim edilmesi için gereken makas değişim sayısı arttıkça ihtiyaç duyulan enerji miktarı ve maliyeti artmaktadır. Enerji tasarruf kriterine göre en az makas çevrim sayısına sahip güzergâhı bularak maliyetin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Algoritma, treni hedefe götürecek aday güzergâhların makas değişim sayısını göz önünde bulundurarak güzergâhlara ceza puanı vermektedir. En az ceza puanını alan aday güzergâh tavsiye listesinde en üst sıraya yükselmektedir. Makas değişim sayısı hesaplanırken makas çevrim algoritması kullanılmaktadır. Bu algoritma enerji tasarruf algoritmasının bir parçasıdır ve aday güzergâhın tanzimi için gerekli makas konumları ile sahadan alınan güncel makas konumları karşılaştırılmaktadır. Aynı isme sahip makasların konumları farklı ise makasın konumun değişmesi gerektiği anlaşılmakta ve ilgili aday güzergâhın makas çevrim sayısı bir arttırılmaktadır.

Esenler depo sahasına ait şematik çizimde, treni SL3004 etiketli üçlü başlangıç sinyalinde SL4003 üçlü varış sinyaline ulaştıran 8 adet güzergâh bulunmaktadır (Bkz. Şekil 3.1). Güzergâhların numaralandırılması güzergâh üzerinde bulunan ikili sinyaller baz alınarak yapılmıştır. Örneğin SL0081 ve SL0082 etiketli ikili sinyallerin üzerinde bulunduran güzergâh, güzergâh 1, SL0071 ve SL0072 etiketli ikili sinyalleri üzerinde bulunduran güzergâh, güzergâh 2 olarak numaralandırılmıştır. Tanzim edilip yeşil renk ile gösterilen güzergâhın 6 numaralı güzergâh olduğu açık bir şekilde görünmektedir (Bkz. Şekil 3.6). Tablo 2.1'de 8 adet güzergâhın üzerinde bulunan makaslar ve bu güzergâhların tanzimi için makasların konumlarının nasıl olması gerektiği gösterilmektedir. Güzergâh 1'in tanzimi için değişmesi gereken makaslar, güzergâh 1 satırıyla en alt satırdaki saha güncel makas konumlarının karşılaştırılmasıyla elde edilmektedir. Güzergâh 1 örneğinde PM9, PM12, PM23 makaslarının konumlarının değişmesi gerektiği ve güzergâh 1 aday güzergâhının toplam makas çevrim sayısı 3 olarak hesaplanacağı açıkça görünmektedir. Tablodaki "-" işareti o makasın aday güzergâh tarafından kullanılmadığını belirtmektedir. "N" normal konum, "R" ise sapan konumu temsil etmektedir.

**Tablo 2.1:** Güzergâh makas ve saha makas konumları tablosu örneği.

Güzergâh/PM	5	8	9	10	11	12	13	16	17	18	19	22	23	25
Güzergâh 1	N	-	R	-	-	N	-	-	-	-	N	-	N	N
Güzergâh 2	N	-	R	-	-	R	-	-	-	-	N	-	N	N
Güzergâh 3	N	-	N	-	-	-	N	-	-	N	-	-	R	N
Güzergâh 4	N	-	N	-	-	-	R	-	-	R	-	-	R	N
Güzergâh 5	R	N	-	-	R	-	-	R	-	-	-	N	-	R
Güzergâh 6	R	N	-	-	N	-	-	N	-	-	-	N	-	R
Güzergâh 7	R	R	-	R	-	-	-	-	R	-	-	R	-	R
Güzergâh 8	R	R	-	N	-	-	-	-	N	-	-	R	-	R
Saha	N	N	N	R	N	R	N	R	R	N	N	N	R	N

Makas çevrim algoritması en düşük ve en yüksek makas çevrim sayısına ulaşmamızı sağlamaktadır. En düşük makas çevrim sayısı ceza limiti olarak belirlenmekte ve bu limiti aşan aday güzergâhlar ceza almaktadır. Bir güzergâhın aldığı ceza puanı makas çevrim sayısı ile ceza limitinin farkına eşittir.

$L$ : En düşük makas çevrim sayısı

$Z_i$ :  $i$ . aday güzergâhın tanzimi için gerekli olan makas çevrim sayısı

$E_i$ :  $i$ . aday güzergâhın enerji tasarruf ceza puanı

$$E_i = Z_i - L \quad (2.1)$$

olarak hesaplanmaktadır.

Tablo 2.1’de güzergâh 3 için herhangi bir makasın konum değiştirmesine gerek olmadığı için makas çevrim sayısı sıfırdır ve en düşük çevrim sayısına sahiptir. Çünkü Tablo 2.1’in son satırındaki saha güncel makas konumlarıyla birebir eşleşmektedir. Makas çevrim algoritması ceza limitini sıfır olarak belirleyecek ve diğer aday güzergâhların makas çevrim sayılarını sıfırdan çıkarıp bu güzergâhların ceza puanını belirleyecektir. Güzergâh 1 örneğinde 3 makasın değişmesi gerektiği için enerji tasarruf algoritmasının güzergâh 1’e vereceği ceza puanı 3 olacaktır. Bu şekilde her aday güzergâha ceza puanı verilip puanı düşük olandan yüksek olana doğru bir sıralama yapılmaktadır.



**Tablo 2.2:** Enerji tasarruf kriterine göre aday güzergâh tavsiye listesi örnek tablo

Güzergâh	Ceza Puanı( $E_i$ )	Değişmesi Gereken Makaslar
Güzergâh 3	0	-
Güzergâh 4	2	PM13, PM18
Güzergâh 1	3	PM9, PM13, PM23
Güzergâh 2	3	PM9, PM19, PM23
Güzergâh 5	3	PM5, PM11, PM25
Güzergâh 6	3	PM5, PM16, PM25
Güzergâh 7	4	PM5, PM8, PM22, PM25
Güzergâh 8	6	PM5, PM8, PM10, PM17, PM22, PM25
Min. Makas çevrim sayısı(L)	0	

```
1: Start
2: Class Point
3:   string name
4:   string position
5: end Class

6: Class Route
7:   Point[] Points
8:   int pointCycleCount
9: end Class

10: Function CalculatePointCycleCount ( List<Route> CandidateRoutes )
11: List<Route> CandidateRoutes
12: List<Point> Allpoints
13: int pointCycleCount  $\leftarrow$  0
14: if ( CandidateRoutes != null )
15:   for each ( route in CandidateRoutes )
16:     for each ( point1 in route.Points )
17:       for each ( point2 in Allpoints )
18:         if ( point1.Name equal point2.name )
19:           if ( point1.position != point2.position )
20:             pointCycleCount++;
21:           end if
22:         end if
23:       end for
24:     route.pointCycleCount  $\leftarrow$  pointCycleCount
25:   end for
26:   pointCycleCount  $\leftarrow$  0
27: end for
28: end if
29: end
```

**Şekil 2.2:** Makas çevrim sayısını hesaplayan algoritma

```

1: Start
2: Class Route
3:   Double EcoPenaltyScore
4: end Class

5: Function CalcPenaltyScoreEcoMode ( List<Route> CandidateRoutes )
6: int penaltyLimit  $\leftarrow$  LowestCycleCount ( )
7: int penalty  $\leftarrow$  0
8: for each ( route in CandidateRoutes )
9:   route.EcoPenaltyScore  $\leftarrow$  0
10:  penalty  $\leftarrow$  route.pointCycleCount - penaltyLimit
11:   if Numberofpenalty > 0
12:     route.EcoPenaltyScore +  $\leftarrow$  penalty
13:   else
14:     route.EcoPenaltyScore  $\leftarrow$  0
15:   end if
16: end for
17: end

```

Şekil 2.3: Enerji tasarrufu ceza puanını hesaplayan algoritma

### 2.3 Eş yaşlandırma Kriteri ve Algoritması

Makaslar, sahip oldukları sinyalizasyon sisteminde hayati öneme sahip olması nedeniyle dayanıklı malzeme ve bileşenlerden üretilmekte ve periyodik olarak bakım yapılması gerekmektedir. Bu bakımlar genelde yıllık olarak yapılmaktadır. Konum değiştirme sayısı fazla olan makaslar daha erken yıpranmaktadır ve periyodik bakım beklenmeden gerekli bakımlar yapılmaktadır. Bakım süreci başladığında veya arıza durumlarında makasın üzerinde bulunduğu hat, makas kullanılır hale gelene kadar ulaşıma kapatılmaktadır. Yukarıda sayılan faktörler makasların ve makas bakım maliyetlerinin demiryolu işletmelerinin bütçelerinde büyük bir yere sahip olduğunu açıkça göstermektedir. Bu tez çalışmasında önerilen makas eş yaşlandırma kriteriyle makasların çevrim sayıları birbirine yaklaştırılarak, makas ömürlerinin uzatılması ve planlanan periyodik bakımdan daha erken bakıma giren makasların sayısının azaltılarak bakım maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmaktadır.

Makas eş yaşlandırma algoritması sahada bulunan bütün makaslara yaşlarına göre ceza katsayısı atamaktadır. Bir makasın ceza katsayısı, ilgili makasın çevrim sayısının talep geldiği anda sahadaki bütün makasların çevrim sayılarının ortalamasına bölünerek elde edilmektedir. Çevrim sayısı büyük olan makasın ceza katsayısı da büyük olmaktadır.

$C_i$ : i. makasın ceza katsayısı

$Y_i$ : i. makasın çevrim sayısı

A: Sahadaki bütün makasların talep geldiği anda hesaplanan yaş ortalaması

$$C_i = \frac{Y_i}{A} \quad (2.2)$$

olarak hesaplanır. Tablo 2.3' de sahada bulunan bütün makasların yaşları ve (2.2) formülüne göre ceza katsayıları gösterilmektedir.

**Tablo 2.3:** Makas yaşları ve ceza katsayıları tablosu

Makaslar	Makas çevrim sayısı ( $Y_i$ )	Ceza Katsayıları ( $C_i$ )
PM5	27	0,779
PM8	43	1,241
PM9	32	0,924
PM10	55	1,587
PM11	76	2,194
PM12	21	0,606
PM13	54	1,559
PM16	21	0,606
PM17	33	0,952
PM18	43	1,241
PM19	14	0,404
PM22	24	0,693
PM23	23	0,664
PM25	30	0,866
<b>Ort. (A)</b>	34,647	

Makas eş yaşlandırma kriterine en uygun güzergâh tavsiye edilirken aday güzergâhların üzerindeki makasların ceza katsayıları toplanarak her güzergâha bir ceza puanı verilmektedir. Ceza puanları düşükten yükseğe doğru sıralanarak bir tavsiye listesi oluşturulmakta ve en düşük ceza puanına sahip aday güzergâh ilk sırada yer almaktadır. AS, güzergâh talebini kabul edip güzergâhı tanzim ettiğinde konum değiştiren makasların yaşı bir artırılmaktadır.

$r_i$ : toplam güzergâh sayısı

$n_i$ : i. aday güzergâhın üzerinde bulunan makas sayısı

$T_i$ : i. aday güzergâhın ceza puanı

$C_{ij}$ : i. aday güzergâhın j. Makasının ceza katsayısı

$$T_i = \sum_{i=1}^{r_i} \sum_{j=1}^{n_i} C_{ij} \quad (2.3)$$

olarak hesaplanır.

**Tablo 2.4:** Güzergâh makas ve saha makas konumları örnek tablosu

Güzergâh/PM	5	8	9	10	11	12	13	16	17	18	19	22	23	25
Güzergâh 1	N	-	R	-	-	N	-	-	-	-	N	-	N	N
Güzergâh 2	N	-	R	-	-	R	-	-	-	-	N	-	N	N
Güzergâh 3	N	-	N	-	-	-	N	-	-	N	-	-	R	N
Güzergâh 4	N	-	N	-	-	-	R	-	-	R	-	-	R	N
Güzergâh 5	R	N	-	-	R	-	-	R	-	-	-	N	-	R
Güzergâh 6	R	N	-	-	N	-	-	N	-	-	-	N	-	R
Güzergâh 7	R	R	-	R	-	-	-	-	R	-	-	R	-	R
Güzergâh 8	R	R	-	N	-	-	-	-	N	-	-	R	-	R
Saha	N	N	N	R	N	R	N	R	R	N	N	N	R	N

Tablo 2.3 ve Tablo 2.4 örnek tablolarından alınan veriler ele alınarak aday güzergâh ceza puanları (2.3) formülüne göre hesaplanıp sıralama yapıldığında Tablo 2.5 elde dilmektedir. En düşük ceza puanını alan aday güzergâh tavsiye listesinde en üst sıraya çıkmaktadır. Bu örnekte makas eş yaşlandırma kriterine göre en uygun aday güzergâh 1 veya güzergâh 2 olduğu görülmektedir.

**Tablo 2.5:** Aday güzergâh ceza puanları örnek tablosu

Güzergâhlar	Ceza Puanları
Güzergâh 1	4,243
Güzergâh 2	4,243
Güzergâh 3	6,032
Güzergâh 4	6,032
Güzergâh 7	6,119
Güzergâh 8	6,119
Güzergâh 5	6,379
Güzergâh 6	6,379

Tablo 2.5' te güzergâh 1 ve güzergâh 2 aday güzergâhları ve sıralı şekilde devam eden aday güzergâhların aynı ceza puanlarını almaları -Tablo 2.4'te de açıkça görüldüğü şekilde- bu güzergâhların üzerinde aynı makasların bulunmasından kaynaklanmaktadır. Dispeçer tarafından güzergâh 1 seçilmesi durumunda tanzim edilen güzergâhın üzerindeki konum değiştirmesi gereken makaslar AS tarafından uygun konuma getirilir ve konumu değişen makasların yaşları bir artırılır. Tablo 2.6'da güzergâh1 tanzim edilirken sahada konum değiştirmesi gereken makaslar koyu renkle gösterilmektedir.

**Tablo 2.6:** Güzergâh 1 tanzimi için sahada konum değiştirmesi gereken makaslar

Güzergâh/PM	5	8	<b>9</b>	10	11	<b>12</b>	13	16	17	18	19	22	<b>23</b>	25
Güzergâh 1	N	-	R	-	-	N	-	-	-	-	N	-	N	N
Saha	N	N	<b>N</b>	R	N	<b>R</b>	N	R	R	N	N	N	<b>R</b>	N

Sahadaki makaslar güzergâh 1'e göre tanzim edildiğinde Tablo 2.7'de konumu değişen makasların yaşının ( $Y_i$ ) ve sahadaki tüm makasların ortalama yaşının ( $A$ ) arttığı görülmektedir. Yaşı artan makasların (2.2) formülüne göre ceza katsayıları da artmaktadır. Makas yaş ortalaması arttığı için güzergâh 1 tanziminde konum değiştirmeyen makasların ceza katsayıları ( $C_i$ ) azalmaktadır. Sonuç olarak ceza katsayıları azalan makaslara sahip olan aday güzergâhlar sıralamada öne geçme hakkını elde etmektedir.

**Tablo 2.7:** Güncellenmiş makas yaşları ve ceza katsayıları tablosu

Makaslar	Makas yaşları ( $Y_i$ )	Ceza Katsayıları ( $C_i$ )	Ceza Katsayıları ( $C_i$ )-ilk
PM5	27	0,775	0,779
PM8	43	1,235	1,241
<b>PM9</b>	<b>33</b>	<b>0,948(+)</b>	0,924
PM10	55	1,579	1,587
PM11	76	2,182	2,194
<b>PM12</b>	<b>22</b>	<b>0,632(+)</b>	0,606
PM13	54	1,551	1,559
PM16	21	0,603	0,606
PM17	33	0,948	0,952
PM18	43	1,235	1,241
PM19	14	0,402	0,404
PM22	24	0,689	0,693
<b>PM23</b>	<b>24</b>	<b>0,689(+)</b>	0,664
PM25	30	0,861	0,866
<b>Ort. (A)</b>	<b>34,824(+)</b>		

Güzergâh 1 tanzim edilip sonlandırıldıktan sonra Dispeçer'in yeni bir güzergâh açma talebinde bulunması halinde aday güzergâh ceza puanları değişimi Tablo 2.8'de görülmektedir. Burada güzergâh 1 ve güzergâh 2'nin ceza puanının artması normal bir durumken güzergâh 3 ve güzergâh 4'ün 0,057'lik bir ceza puanı artışı beklenmeyen bir durum olarak düşünülebilir. Bu durum güzergâh 1, güzergâh 2, güzergâh 3 ve güzergâh 4'ün üzerinde ortak makasların olmasından ve bu makasların konum değiştirmesinden kaynaklanmaktadır (Tablo 2.4). Güzergâh 1 veya güzergâh 2'deki makas konum değişimi güzergâh 3 ve güzergâh 4 üzerindeki ortak makasların ceza katsayılarını ( $C_i$ ) ve dolayısıyla aday güzergâh ceza puanlarını ( $T_i$ ) da

etkilemektedir. Güzergâhların sahip oldukları ortak makas sayıları arttıkça tanzim edilmeyen komşu güzergâhların da ceza puanı ( $T_i$ ) artmaktadır. Ancak bu durum eş yaşlandırma algoritmasının yanlış çalışması gibi bir duruma sebep olmamaktadır.

**Tablo 2.8:** Güncellenmiş aday güzergâh ceza puanları örnek tablosu

Güzergâhlar	Ceza Puanları( $T_i$ )	Ceza Puanları( $T_i$ )-ilk
Güzergâh 1	4,307	4,243
Güzergâh 2	4,307	4,243
Güzergâh 3	6,059	6,032
Güzergâh 4	6,059	6,032
Güzergâh 7	6,088	6,119
Güzergâh 8	6,088	6,119
Güzergâh 5	6,346	6,379
Güzergâh 6	6,346	6,379

Dispeçerin 100 tane güzergâh talebinden ve en iyi 100 güzergâhın tanziminden sonra makas çevrim sayıları, ceza katsayıları ve aday güzergâh ceza puanları Tablo 2.9 ve Tablo 2.10'da görülmektedir. Tablo 2.9'da güncel makas yaşlarının 100 iterasyon sonucunda istenilen yakınlıkta olmamasının sebebi makas başlangıç yaşlarının rastgele ve düzensiz bir dağılıma sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Bkz. Tablo 2.3). Makas başlangıç yaşlarının sıfır olarak alınması durumunda algoritma daha etkili sonuçlar vermektedir.

**Tablo 2.9:** 100 iterasyon sonrasında makas yaş ve ceza katsayıları örnek tablosu

Makaslar	Yaş ( $Y_i$ )	Yaş ( $Y_i$ )-İlk	Ceza Kat. ( $C_i$ )	Ceza Kat. ( $C_i$ )-ilk
PM5	64	27	1,265	0,779
PM8	58	43	1,147	1,241
<b>PM9</b>	<b>50</b>	32	0,988	0,924
PM10	65	55	1,285	1,587
PM11	83	76	1,641	2,194
<b>PM12</b>	<b>62</b>	21	1,226	0,606
PM13	63	54	1,245	1,559
PM16	27	21	0,534	0,606
PM17	43	33	0,850	0,952
PM18	52	43	1,028	1,241
PM19	53	14	1,048	0,404
PM22	39	24	0,771	0,693
<b>PM23</b>	<b>41</b>	23	0,810	0,664
PM25	67	30	1,324	0,866
<b>Ort. (A)</b>	50,588	34,647		

Makas ceza katsayılarının değişimine bağlı olarak aday güzergâhların ceza puanlarının birbirine yaklaştığı ve aday güzergâh tavsiye listesinin sıralamasının değiştiği Tablo 2.10'da görülmektedir.

**Tablo 2.10:** 100 iterasyon sonrasında aday güzergâh ceza puanları örnek tablosu

Güzergâhlar	Ceza Puanları( $T_i$ )	Ceza Puanları( $T_i$ )-ilk
Güzergâh 7	6,642	4,243
Güzergâh 8	6,642	4,243
Güzergâh 1	6,662	6,032
Güzergâh 2	6,662	6,032
Güzergâh 3	6,662	6,119
Güzergâh 4	6,662	6,119
Güzergâh 5	6,681	6,379
Güzergâh 6	6,681	6,379

Makas başlangıç yaşlarının sıfır olarak alınıp eş yaşlandırma algoritması ile güzergâh tavsiye listesi hazırlandığında Tablo 2.11'deki sonuçlar elde edilmektedir. Bu şartlar altında iterasyon sayısı ne kadar artırılsa da makas yaşları arasındaki denge korunmaktadır.

**Tablo 2.11:** Makas başlangıç çevrim sayısı sıfır alınarak çalıştırılan eş yaşlandırma algoritması sonucunda elde edilen makas çevrim sayıları ve makas ceza katsayıları

Makaslar	Yaş ( $Y_i$ )	Yaş ( $Y_i$ )-İlk	Ceza Kat. ( $C_i$ )	Ceza Kat. ( $C_i$ )-ilk
PM5	50	0	2,184	NaN
PM8	25	0	1,436	NaN
PM9	26	0	1,436	NaN
PM10	12	0	0,689	NaN
PM11	13	0	0,747	NaN
PM12	13	0	0,747	NaN
PM13	12	0	0,689	NaN
PM16	12	0	0,689	NaN
PM17	12	0	0,689	NaN
PM18	12	0	0,689	NaN
PM19	12	0	0,689	NaN
PM22	25	0	1,436	NaN
PM23	26	0	1,436	NaN
PM25	50	0	2,184	NaN
<b>Ort. (A)</b>	17,412	0,000		

Bütün makasların aynı yaşa veya yaş grubuna getirilip bu dengenin korunması makasların sahadaki konumlarından dolayı mümkün olmamaktadır. Aday güzergâhlar tarafından ortak kullanım düzeyi yüksek olan makasların konum değiştirme sayıları artmaktadır. PM5 ve PM25 makasları bu duruma örnek olarak verilebilir (Bkz. Tablo 2.9).

Esenler depo sahası şematik çiziminde görüldüğü gibi bu iki makasın sahadaki konumları sürekli kullanımlarını zorunlu hale getirmektedir (Bkz. Şekil 3.6). Çünkü bütün güzergâhlar bu iki makası ortak olarak kullanmaktadır. Buna rağmen eş yaşlandırma algoritması bu iki makasın arasındaki yaş dengesini korumayı başarabilmektedir.

```

1: Start
2: Class Point
3:   int PointAge
4:   double coefficientOfPoint
5: end Class
6: Class Route
7:   double Co_AgingPenaltyScore
8:   List<Point> Points
9: end Class

10: function CalcAverageofPointAges( List<Point> Points )
11:   double sumOfPointAge ← 0
12:   for each ( point in Points )
13:     sumOfPointAge +← point. PointAge
14:   end for
15:   return sumOfPointAge / Points.Count
16: end function

17: function CalcCoefficientofPoint( List<Point> Points )
18:   double Average = CalcAverageofPointAges( AllPoints )
19:   for each ( point in Points )
20:     point.coefficientOfPoint=point.PointAge / Average;
21:   end for
21: end function

23: function CalcPenaltyScoreCo_AgingMode ( List<Route> CandidateRoutes )
24:   for each( candRoute in CandidateRoutes )
25:     candRoute.Co_AgingPenaltyScore ← 0
26:     for each( point in candRoute.Points )
27:       candRoute.Co_AgingPenaltyScore +← point.coefficientOfPoint
28:     end for
29:   end for
30: end function
31: end

```

Şekil 2.4: Eş yaşlandırma algoritması

## 2.4 Ağırlıklı Ceza Algoritması

Ağırlıklı ceza algoritması, enerji tasarruf ve eş yaşlandırma algoritmalarının aday güzergâhlara verdikleri ceza puanlarını belirli katsayılar ile çarpmakta ve bu çarpımları toplayarak yeni bir ceza puanı elde etmektedir. Böylelikle iki kriter birlikte kullanılarak hem enerji tasarrufu hem de makasların eş yaşlandırılarak kullanımına olanak sağlanmaktadır. Ağırlıklı ceza algoritması hangi kritere (enerji tasarrufu veya eş yaşlandırma) daha çok ağırlık verilmek isteniyorsa o kriterin ceza puanının katsayısını artırmakta, diğer kriterin ceza puanı



katsayısını azaltmaktadır. Elde edilen tavsiye güzergâh listesi seçilen kritere göre şekillenmektedir. Bu algoritma enerji tüketim ve makas yaşlanması kriterlerini aynı anda göz önünde bulundurmasından dolayı daha etkin sonuçlar elde edilmektedir.

$P_i$ : i. güzergâhın ağırlıklı ceza puanı

$f_i$ : i. güzergâhın arıza kontrol değişkeni

$T_i$ : i. güzergâhın eş yaşlandırma ceza puanı(Co-Aging Penalty)

$E_i$ : i. güzergâhın enerji tasarrufu ceza puanı(Energy Saving Penalty)

$\alpha$ : ağırlıklı ceza algoritması için eş yaşlandırma katsayısı

$$P_i = [(-1)^{f_i}](\alpha * T_i + (1 - \alpha) * E_i)$$

$f_i$  kontrol değişkeni arıza kontrol algoritmasının çalışması sonucu dönen değere göre 1 ya da 2 değerini almaktadır. Herhangi bir aday güzergâhın sahadaki ekipmanlarından bir veya daha fazlasında arıza olması durumunda -1 değerini alarak ilgili aday güzergâhın ağırlıklı ceza puanının ( $P_i$ ) negatif bir reel sayıya eşit olmasını sağlamaktadır. Böylece KM yazılımı ilgili aday güzergâhın Dispeçer'e tavsiye edilmeye uygun olmadığını anlayıp güzergâhı tavsiye listesinden çıkarmaktadır. Güzergâhta herhangi bir arıza olmaması durumunda 1 değerini alarak ( $P_i$ ) değerinde herhangi bir değişikliğe neden olmamaktadır.

$\alpha$  katsayısı ilgili güzergâhın eş yaşlandırma ceza puanı ile çarpılarak yeni bir ceza puanı hesaplamaktadır. Bu katsayı KM yazılımında dispeçerin seçimine göre 0.15, 0.85, 0.5 değerlerini alabilmektedir. Dispeçer güzergâh tavsiyesinde eş yaşlandırma ağırlıklı tavsiye almayı tercih ederse 0.85, enerji tasarrufu ağırlıklı tavsiye için 0.15, her iki ceza puanı türünden eşit ağırlıklı tavsiye almayı tercih ettiğinde bu değer 0.5 olarak alınmaktadır.

```
1: Start
2: Class Route
3:   int f
4:   double TtlPenaltyScore
5:   double Co_AgingPenaltyScore
6:   double EcoPenaltyScore
7: end Class

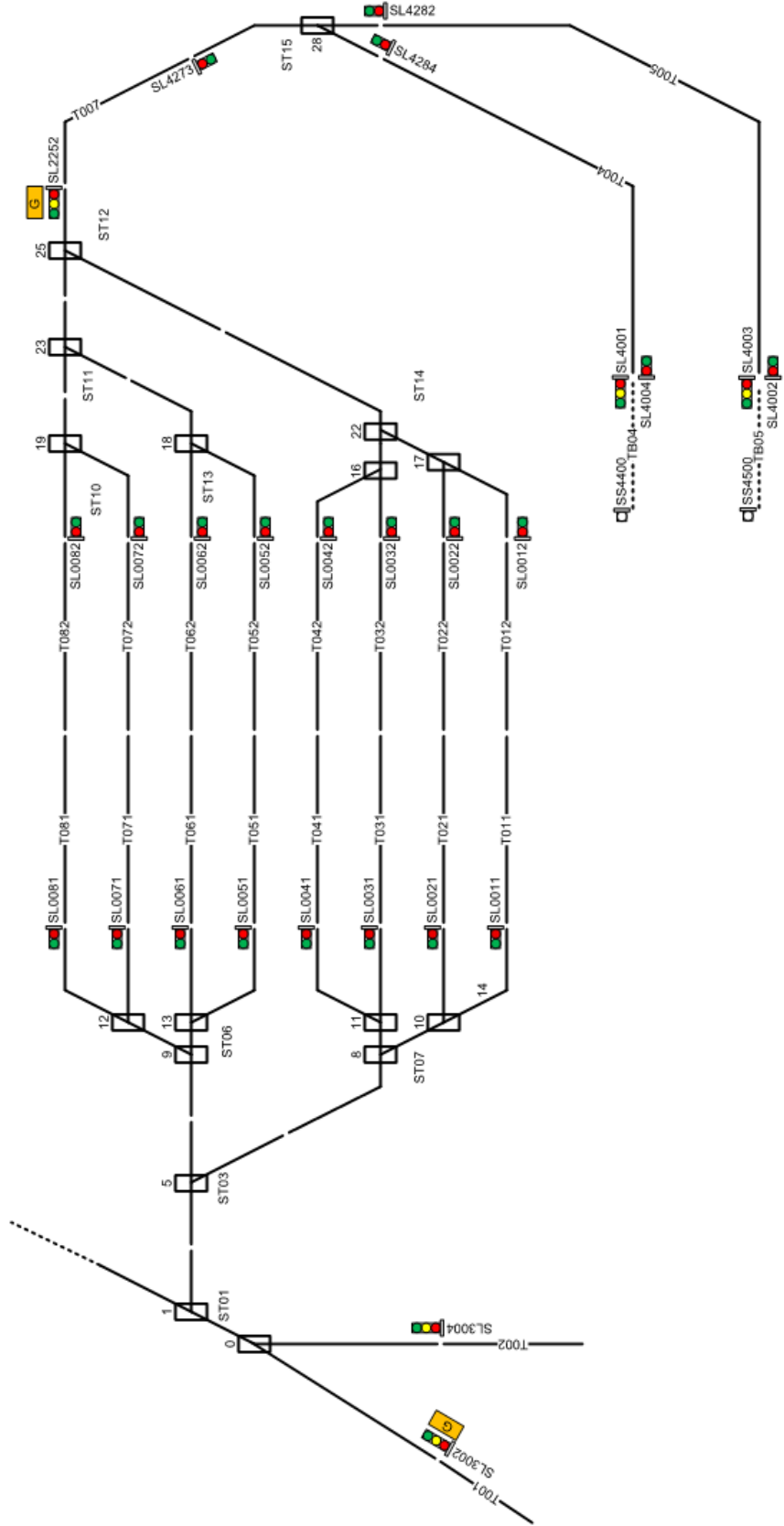
7: function CalcTotalPenaltyScore ( List<Route> CandidateRoutes, double a)
8:   for each ( route in CandidateRoutes)
9:     route.TtlPenaltyScore  $\leftarrow$  0
10:    route.TtlPenaltyScore  $\leftarrow$  route.f ( a * route.Co_AgingPenaltyScore
11:      + (1 - a) * route.EcoPenaltyScore )
12:   end for
13: end function
```

**Şekil 2.5:** Ağırlıklı ceza algoritması

### **3. ÖRNEK ÇALIŞMA: ESENLER DEPO SAHASI İÇİN UYGULAMA**

#### **3.1 Esenler Depo Sahası**

Metro İstanbul AŞ. M1 Hattı yolcu taşımacılığında kullanılan metro araçları ve hat bakım araçları Esenler yerleşkesindeki depo sahasına park edilmektedir. Aynı zamanda yerleşke de bulunan atölyede araç bakımları yapılırken, yıkama yolunda da araç temizlikleri yapılmaktadır. Depo sahası 105 ABB aracının parkı için kullanılmaktadır (Şekil 3.1). Araçlar sahaya 2 ayrı giriş noktasından (nizamiyeden ve yıkama bölgesi) giriş yapabilmektedir. Bu girişler, 29 adet makas ile genişlemekte ve toplamda 14 yol üzerine araçlar park etmektedir. Araç park durumlarının yönetiminin yapıldığı KM Esenler Depo Sahası A Blok binasında yer almaktadır. Sistem sürekli olarak KM personeli tarafından izlenmekte ve kontrol edilmektedir. Esenler Depo sahası sinyalizasyon sisteminin tamamı Metro İstanbul AŞ. ArGe departmanı tarafından geliştirilmiştir.

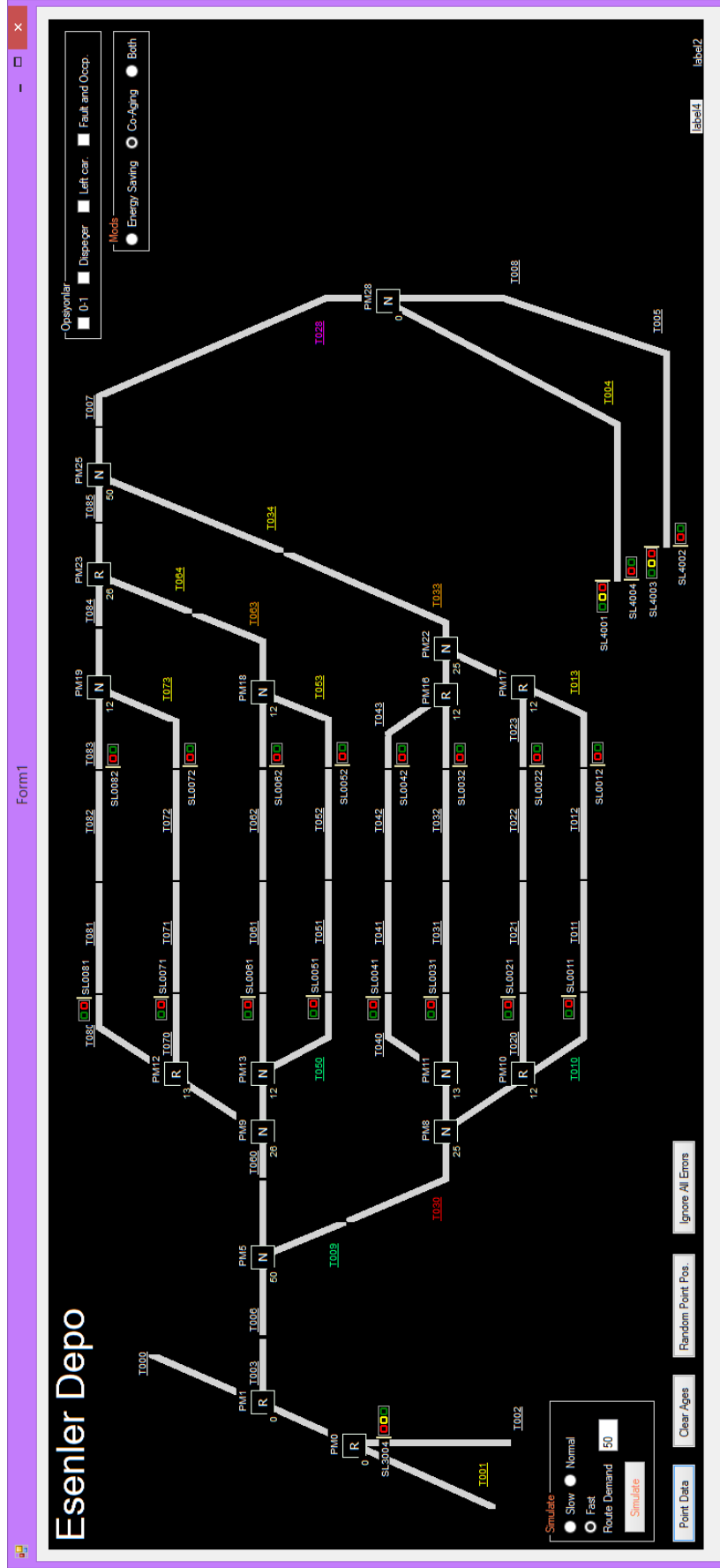


Şekil 3.1: Esener depo sahasına ait şematik çizim(kısmi)

### 3.2 Kumanda Merkezi Yazılımı

Kumanda merkezi yazılımı C# programlama dili kullanılarak .NET ortamında geliştirilmiştir. Dispeçerin güzergâh, makas, sinyal ve ray ekipmanları ile ilgili taleplerini bilgisayar üzerinden değerlendirerek dispeçere bilgi verebilmekte ya da taleplerini yerine getirebilmektedir. Yukarıda bahsedilen algoritmalar ile alakalı olarak makasların çevrim sayıları veri tabanına kaydedilmekte ve yazılım çalışırken makas çevrim sayıları yine veri tabanından almaktadır. Bunlara ek olarak yazılıma algoritmaların test edilmesi için simülasyon özelliği de eklenmiştir. Bu özellik ile birlikte algoritma olmadan ve algoritmalar belirli bir sırayla çalıştırılıp birbirleriyle karşılaştırılabilmektedir. Ayrıca karşılaştırma sonuçları grafiksel olarak gösterilmektedir.

Şekil 3.2’de tez çalışması kapsamında geliştirilen KM yazılımına ait ana ekran görülmektedir. Saha ekipmanları siyah ekran üzerinde çeşitli çizimler ile temsil edilmektedir. Beyaz renk çizgiler ray bloklarını, kare şeklindeki kutular makasları, kutuların içindeki “R” veya “N” sembolleri makasların konumlarını, küçük dikdörtgenler içindeki renkli daireler sinyalleri temsil etmektedir. Ayrıca her ekipmanın altında, üstünde veya yanında ismini belirten etiketler bulunmaktadır. Bu ekipman çizimlerinin üstlerine farenin sol veya sağ tuş ile tıklanınca çeşitli talepler yapılabilmektedir.

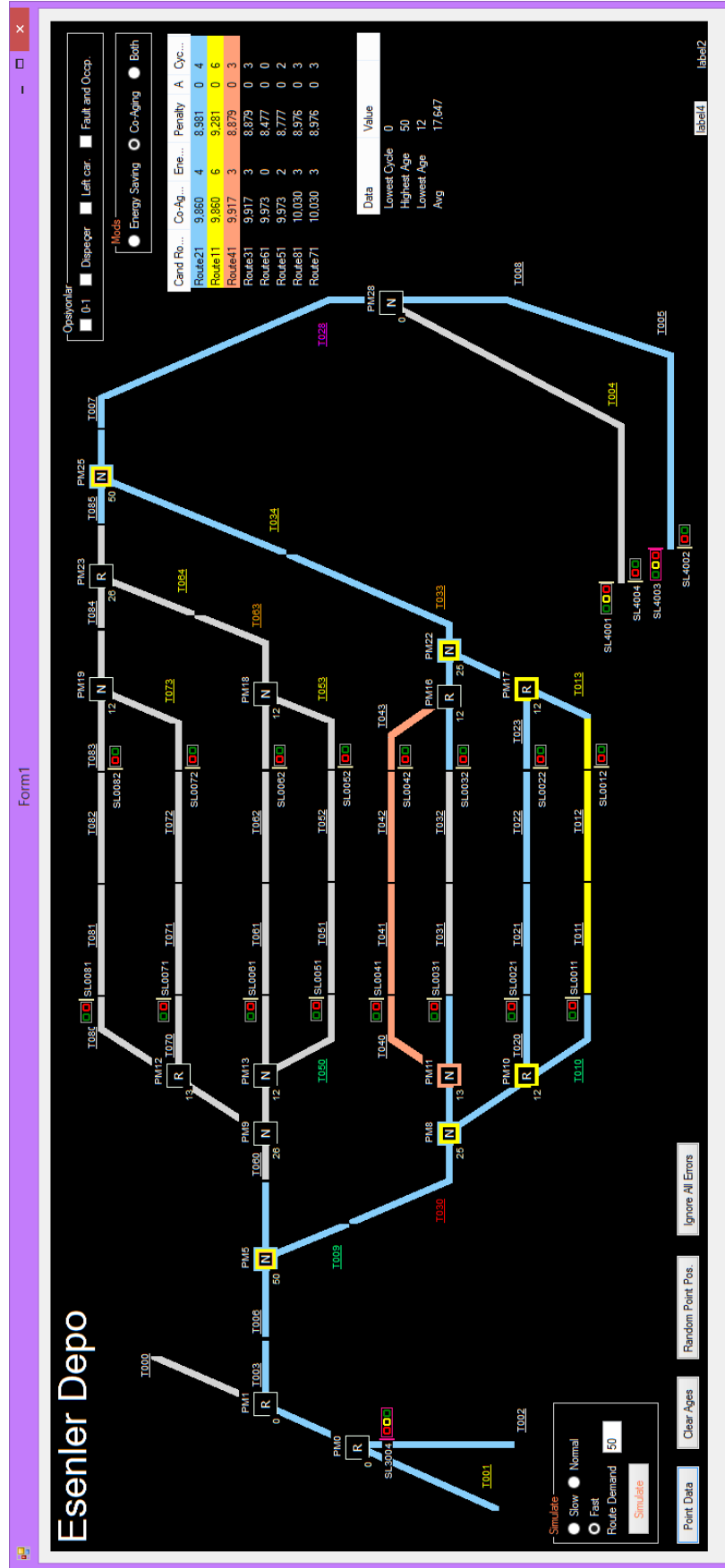


Şekil 3.2: Kumanda merkezi yazılımı ana ekranı

### 3.2.1 Güzergâh Talebi Yapma ve Tavsiye Listesi

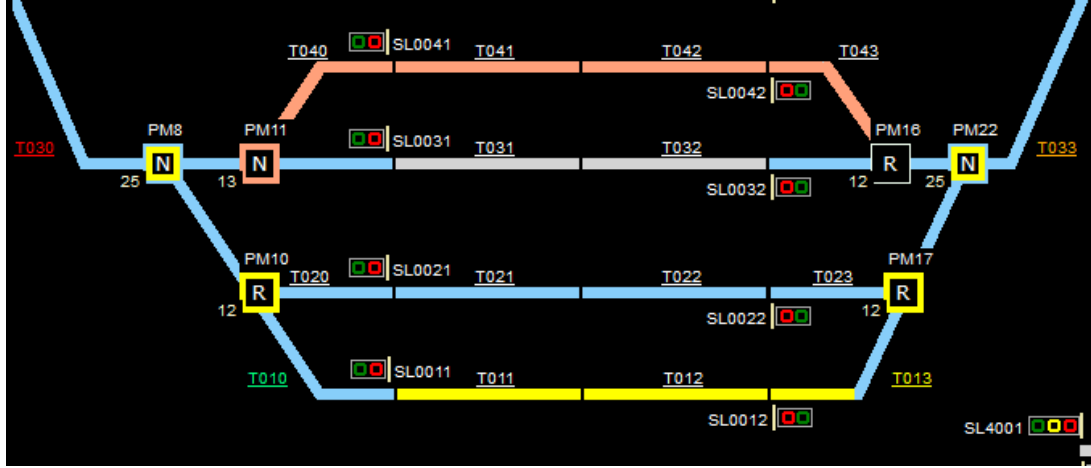
Güzergâh talebi yapabilmek için sinyaller kullanılmaktadır. Trenin izleyeceği güzergâhın başlangıç sinyaline ve varış sinyaline sırasıyla tıkladığında Bölüm 2’de tanımlanan algoritmalar çalışmaya başlayarak uygun aday güzergâhları KM yazılımının sağ üst köşesinde listelemektedir.

Aday güzergâh tavsiye listesindeki en uygun ilk üç güzergâh en iyiden başlayarak mavi, sarı ve turuncu renkler ile gösterilmektedir. Bu renkler aynı amaçla ray blokları ve makaslar üzerinde de kullanılmaktadır. Örneğin makasın sarı renk yanıp sönmesi tavsiye listesindeki en uygun ikinci güzergâh için o makasın konum değiştirmesi gerektiğini belirtmektedir. Makas üzerinde mavi ve sarı renk, mavi ve kırmızı renk veya kırmızı ve sarı renklerin beraber yanıp sönmesi o makasın aday güzergâhların ikisi için de aynı konuma gelmesi gerektiğini belirtmektedir.



Şekil 3.3: Kumanda merkezi tavsiye listesi





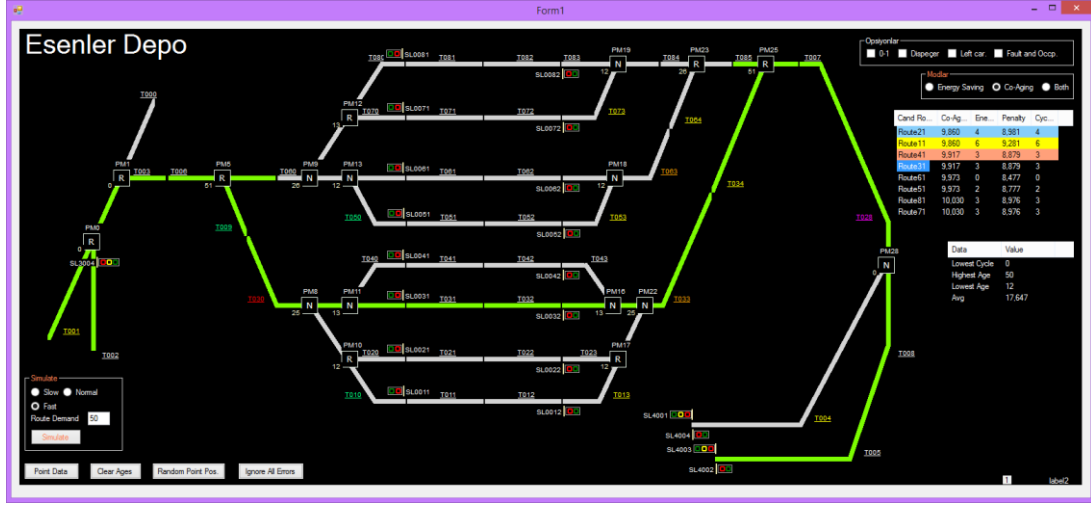
Şekil 3.4: : Konum değiştirmesi gereken makaslar

Aday güzergâh tavsiye listesinde beş adet sütun bulunmaktadır. Birinci sütun güzergâh isimlerini, ikinci sütun eş yaşlandırma ceza puanını, üçüncü sütun enerji tasarrufu ceza puanını dördüncü sütun ağırlıklı ceza puanını ve beşinci sütun makas çevrim sayısını göstermektedir. Dispeçer aday güzergâh tavsiye listesinden herhangi bir aday güzergâha çift tıklayarak güzergâh talebi yapabilmektedir.

Cand Ro...	Co-Ag...	Ene...	Penalty	Cyc...
Route21	9,860	4	8,981	4
Route11	9,860	6	9,281	6
Route41	9,917	3	8,879	3
Route31	9,917	3	8,879	3
Route61	9,973	0	8,477	0
Route51	9,973	2	8,777	2
Route81	10,030	3	8,976	3
Route71	10,030	3	8,976	3

Şekil 3.5: Güzergâh tavsiye listesi

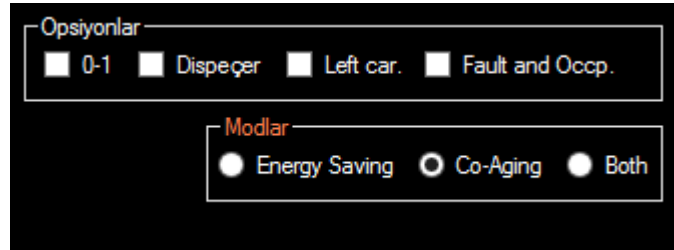
Şekil 3.5'te herhangi bir güzergâha çift tıklandığında ilgili güzergâhın tanzimi için gerekli makasların konum değişiklikleri yapılmakta ve güzergâh tanzim edilmektedir. Güzergâh tanzim edildikten sonra yeşil renk ile gösterilmekte ve tavsiye edilmekte olan diğer güzergâhlar tekrar beyaz renklerine geri dönmektedir.



Şekil 3.6: Tanzim edilmiş güzergâh

### 3.2.2 Paneller ve Simülasyon

Kumanda merkezi yazılımında üç farklı algoritma modu ve simülasyon sonuçlarını gerçeğe yakınlaştırmak için dört tane opsiyon bulunmaktadır. Bu modlar ve opsiyonlar kullanılarak farklı sonuçlar ve grafikler elde edilebilmektedir.



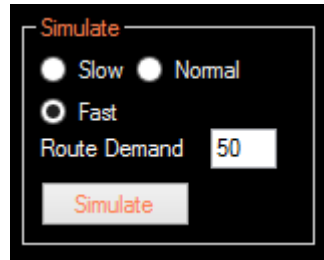
Şekil 3.7: Opsiyonlar ve modlar bölümü

Opsiyon panelinde “0-1” isimli checkbox işaretlendiğinde ağırlıklı ceza puanı hesaplama algoritmasının çalışması engellenmektedir. “Dispeçer” isimli checkbox, simülasyon esnasında yazılımın dispeçer gibi tavsiye listesinden rastgele seçim yapılmasını sağlamaktadır. “Left car.” isimli checkbox ile trenin tanzim edilen güzergâhı tamamlarken belirli ray blokları üzerine araç bırakmasını sağlayarak simülasyonun gerçeğe yakınsanması amaçlanmıştır. Bu çalışmada Esenler tren hattının depo bölümü ele alındığı için trenler bu bölümde vagon veya yük bırakıp alabilmektedir. “Left car.” opsiyonu bu durumu simülasyon üstünde gerçekleştirmemize yardımcı olmaktadır. “Fault and Occp.” isimli checkbox ise saha

ekipmanlarında zamansız ve belirli bir düzene bağlı olmayan arızalar ve meşguliyetler meydana getirerek kumanda merkezi yazılımının ve algoritmaların bu arıza ve durumlarında verdiği tepkiler ve sonuçlar analiz edilmektedir.

Şekil 3.7’de modlar panelinde üç adet algoritma modu bulunmaktadır. Güzergâh talebi yapmadan önce bu modlardan birisi seçilerek tavsiye listesi bu seçim doğrultusunda şekillenmektedir. “Both” isimli modda enerji tasarruf ve eş yaşlandırma ceza puanları ağırlıklı olarak hesaplanmakta ve liste, bu ceza puanlarına göre oluşturulmaktadır. Liste sıralaması aday güzergâh listesinin 4. sütunu baz alınarak yapılmaktadır (Şekil 3.5).

Simülasyon panelinde üç adet hız seçeneği ve simülasyon sırasında kaç tane güzergâh talebi yapılacağını belirleyen bir kutucuk bulunmaktadır. “Simulate” butonuna basıldığı anda opsiyon ve modlar belirli bir senaryoya göre eşit sayıda güzergâh talebi yapılarak çalıştırılmaktadır (Şekil 3.8). Simülasyon esnasında sonuçlar yeni bir pencerede grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.8: Simülasyon bölümü

Simülasyonun takip ettiği senaryoda yazılım öncelikle makas çevrin sayılarını sıfırlamaktadır daha sonra herhangi bir algoritma çalıştırılmadan önce “Dispeçer” seçeneğini işaretleyerek aday güzergâh tavsiye listesinden “Route Demand” kutucuğundaki değer adedinde rastgele seçimler yapmakta ve bunları grafiğe kaydetmektedir (Şekil 3.5 ve Şekil 3.8).

Bu aşama tamamlandıktan sonra ikinci olarak makas yaşlarını tekrar sıfırlayıp ve Şekil 3.7’de opsiyonlar panelinden “Dispeçer” seçimini kaldırıp “0-1” opsiyonunu seçmekte, modlar panelinden enerji tasarruf algoritmasını işaretleyerek tekrar aynı sayıda güzergâh talebi yapmaktadır ve bunları grafiğe kaydetmektedir. “0-1” opsiyonu işaretlendiğinde ağırlıklı ceza algoritmasının çalışması engellenmektedir. Yazılım her algoritmayı “0-1” opsiyonu işaretli olarak ve işaretsiz olarak çalıştırmaktadır. Böylece ağırlıklı ceza algoritması ile ağırlık hesabı eklenmeden çalışan algoritmaların sonuçları karşılaştırılabilmektedir. Aynı şekilde yazılım

“Dispeçer” opsiyonunu her algoritma için bir kere işaretlemekte ve çalıştırmaktadır. Bu işlem de rastgele seçimler ile algoritmaların yaptığı seçimler arasında karşılaştırma yapma imkânı sunmaktadır. Yukarıda bahsedilen iterasyonların tümü eş yaşlandırma ve ağırlıklı ceza algoritması için de uygulanmakta ve sonuçlar anlamlandırılarak grafiğe dökülmektedir.

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, sabit-blok sinyalizasyon sistemine sahip tren depo sahalarında gelen trenler için güzergâh talep ve tanzim aşamasında enerji tasarrufu ve makas eş yaşlandırma kriterlerini göz önüne alarak Dispeçer'e güzergâh seçiminde yardımcı olan bir KM yazılımı geliştirilmiştir. Bu kriterleri gerçekleştirmek için üç farklı algoritma kullanılmıştır. Nesne tabanlı programlama yöntemi ile geliştirilen yazılıma, bahsi geçen algoritmaların istenilen amaca ulaşip ulaşmadığının anlaşılması için simülasyon özelliği eklenmiş ve simülasyon sonuçları grafiksel olarak ifade edilmiştir. Grafiksel olarak ifade edilen veriler algoritmalara paralel olarak üç bölümden oluşmaktadır. Her bölümde bir algoritmanın ağırlıklı ve ağırlıksız hesaplamaları ve dispeçer seçimleri sonucunda yapılan hesaplamalar karşılaştırılmıştır.

Bununla birlikte enerji tasarruf ve ağırlıklı ceza algoritmasının sonuçlarını maliyet cinsinden ifade edip karşılaştıran birer grafik daha bulunmaktadır. Sonuç bölümünde verilen grafikler her algoritmanın iki yüz adet güzergâh talep ve tanzim testinden elde edilmiştir.

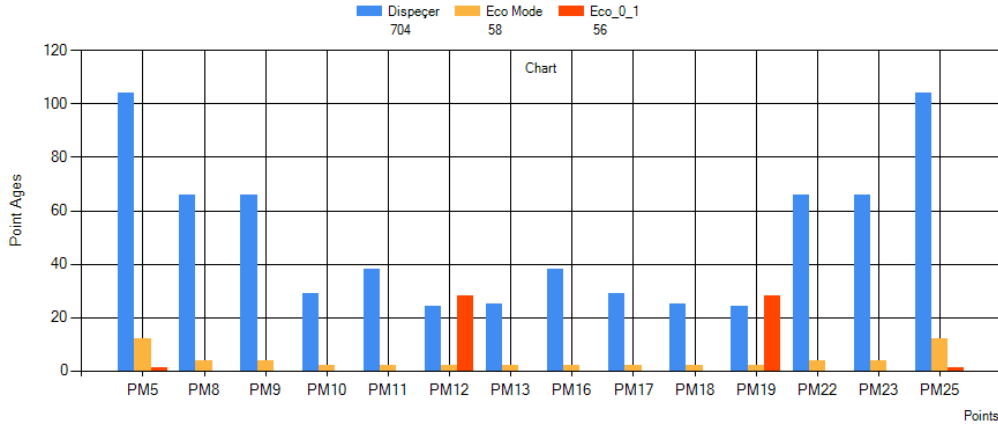
Son bölümde karşılaştırmalar sahadaki ekipmanlara arıza ve meşguliyet enjekte edilerek de tekrar edilmiş ve sonuçları analiz edilmiştir.

### 4.1 Enerji Tasarrufu Algoritması Sonuçları

Enerji tasarruf algoritması trenin başlangıç noktasından varış noktasına en az sayıda makasın çevrimi ile ulaştıran güzergâhı tespit etmeyi hedeflemektedir. Şekil 4.1'deki grafik, aday güzergâh seçimlerine bağlı olarak makas çevrim sayılarında meydana gelen değişimleri göstermektedir. Mavi renkli sütun dispeçerin rastgele yaptığı seçimler sonucunda meydana gelen makas çevrimlerini, sarı renk sütun ağırlıklı ceza algoritmasının enerji tasarruf ağırlıklı hesaplaması, kırmızı sütun da enerji tasarruf algoritmasının ağırlıksız olarak hesaplanması sonucu elde edilen makas çevrim sayılarıdır. Legendlerin altındaki sayılar ilgili modda yapılan toplam makas çevrim sayısını göstermektedir.

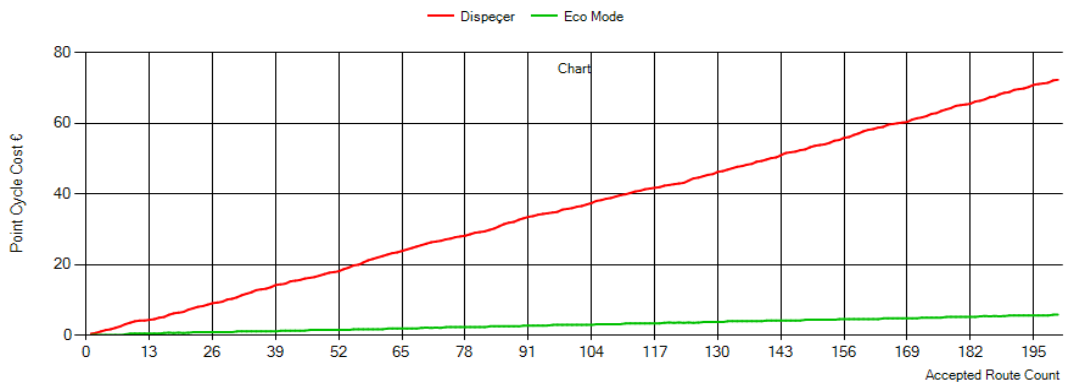
Şekil 4.1'de mavi renk olan Dispeçer sütununun rastgele 200 güzergâh seçimi yapması sonucu makas çevrim sayıları artmış ve buna bağlı olarak ihtiyaç duyulan enerji miktarı artmıştır. Ayrıca makas yaşları düzensiz bir artış göstermiştir. Makas çevrim sayısı ve enerji tüketim miktarının ciddi bir düşüş göstermesi Kırmızı renkli olan Eco\_0\_1 sütununda açıkça

görülmektedir. Enerji tasarruf algoritması en az makas çevrim sayılarını gözeterek güzergâh seçimi yapmış ve toplam makas çevrim sayısını elli altı sayısına çekmiştir. Ancak ağırlıklı ceza algoritması hesaplamanın içine dahil edilmediği için kırmızı makas kullanımındaki düzensizlik devam etmiştir. Bunu engellemek için hem enerji tasarrufu hem de makasların yaşlarını birbirine yaklaştırmamıza olanak sağlayan ağırlıklı ceza algoritması çalıştırılarak sarı renk olan Eco Mode sütunu elde edilmiştir.



Şekil 4.1: Enerji tasarruf algoritması makas çevrim sayısı karşılaştırma grafiği

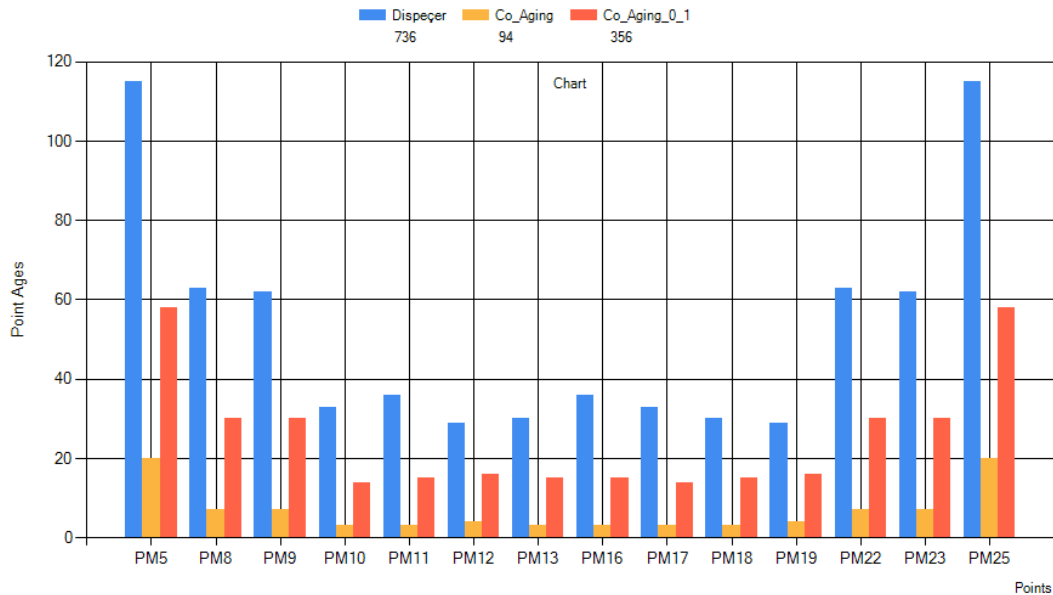
Şekil 4.1'deki grafikten de faydalanılarak elde edilen Şekil 4.2'deki grafik dispeçer ve enerji tasarruf modlarının tanzim edilen güzergâh sayısına bağlı enerji maliyetini Euro cinsinden ifade etmektedir. İki yüz adet güzergâh talep ve tanziminden sonra enerji tasarruf algoritması rastgele güzergâh talebine göre yaklaşık olarak yetmiş iki Euro değerinde enerji tasarrufu sağlamıştır. Ağırlıklı ceza algoritması da kullanılarak makaslar üzerinde eş yaşlandırma gözetilmiş ve makasların bakım periyodları uzatılarak bakım maliyetleri de düşürülmüştür.



Şekil 4.2: Enerji tasarruf algoritması maliyet(€) karşılaştırma grafiği

## 4.2 Eş Yaşlandırma Algoritması Sonuçları

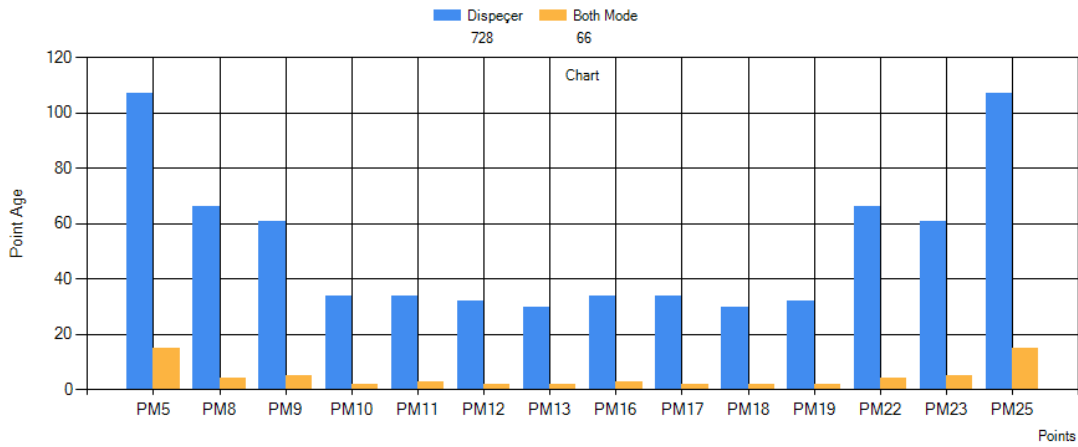
Eş yaşlandırma algoritması, sahadaki tüm makas yaşlarını göz önünde bulundurarak her bir makasın toplam çevrim sayısının birbirine yaklaştırılmaya çalışıldığı bir güzergâh tavsiye listesi oluşturmayı amaçlamaktadır. Şekil 4.3’de mavi renk olan sütun Dispeçer’in rastgele seçimlerinin, kırmızı renk ağırlıksız eş yaşlandırma, sarı renk sütun ise ağırlıklı eş yaşlandırma algoritmalarının çalışması sonucu elde edilen makas çevrim sayılarını ifade etmektedir. Rastgele Dispeçer seçimlerinin makas yaşlarındaki düzensiz dağılımındaki etkisi açıkça görülmektedir. Ağırlıksız eş yaşlandırma algoritmasının sonuçlarını temsil eden kırmızı renkli sütunlar belirli makas gruplarının yaşlarını birbirine yakınsamış, ayrı grupların arasındaki farkın azaltılmasını sağlamıştır. Eş yaşlandırma algoritması enerji tasarruf algoritmasının ile aynı güzergâh talep sayılarına sahip olmasına rağmen ağırlıksız eş yaşlandırma algoritmasındaki toplam makas çevrim sayısının 356 gibi bir değere ulaşması eş yaşlandırma algoritmasının makas yaşlarını birbirine yaklaştırmak için ekstra makas çevrimine ihtiyaç duymasından kaynaklanmaktadır. Makas çevrim sayısını azaltmak için ağırlıklı ceza algoritması kullanılarak enerji tasarruf ceza puanı da hesaba katılmıştır. Böylece ağırlıklı eş yaşlandırma algoritmasının kullanılması sonucu sarı renk sütunlar elde edilmiş ve makasların adaletli ve tasarruflu kullanımları sağlanmıştır.



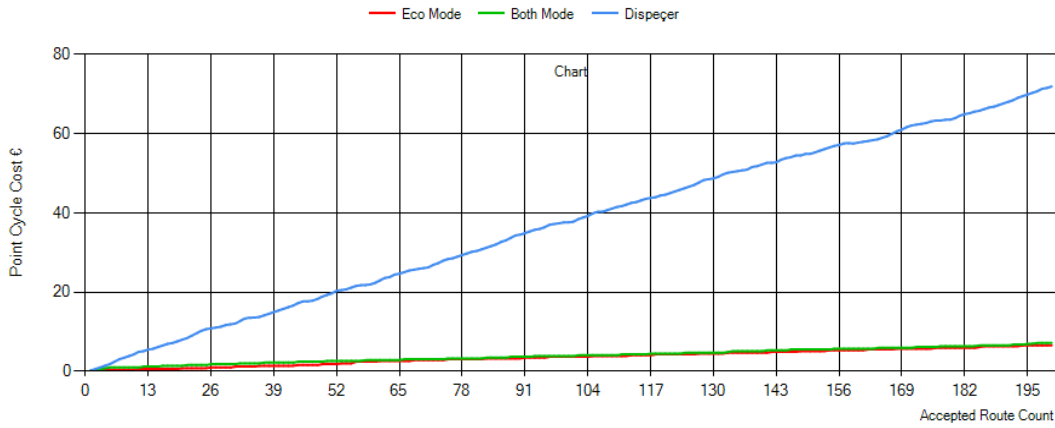
Şekil 4.3: Eş yaşlandırma algoritması ve dispeçer karşılaştırma grafiği

### 4.3 Eşit Katsayılı Ağırlıklı Ceza Algoritması Sonuçları

Bu bölüme kadar kullanılan ağırlıklı ceza algoritmalarının katsayıları 0.15 ve 0.85 olarak değişmektedir. Bu bölümde enerji tasarruf ve eş yaşlandırma algoritmalarının ceza puanlarının ikisi de 0.5 ile çarpılarak iki kriterin de eşit olarak değerlendirildiği bir test gerçekleştirilmiştir. Eşit katsayıların kullanılması ağırlıklı enerji tasarrufu ve ağırlıklı eş yaşlandırma algoritmalarının ortasında sonuçlar elde etmemizi sağlamıştır.



Şekil 4.4: Eşit katsayılı ağırlıklı ceza algoritması Dispeçer karşılaştırma grafiği



Şekil 4.5: Eşit katsayılı ağırlıklı ceza algoritması Dispeçer karşılaştırma grafiği(maliyet)

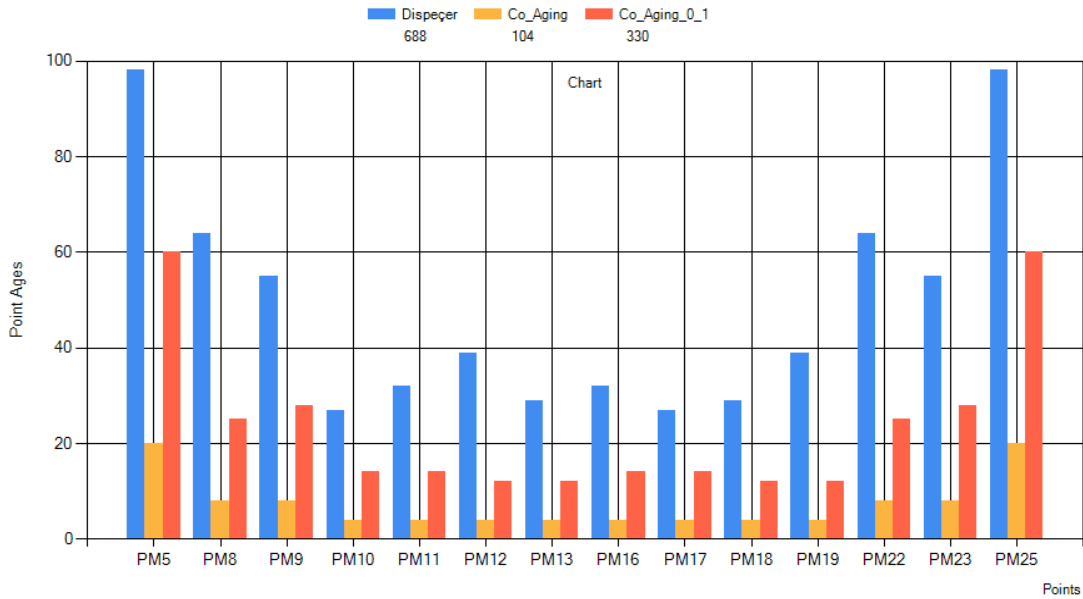
### 4.4 Arıza Enjekte Edilen Sahadaki Algoritma Çalışma Sonuçları

Bu bölümde algoritmaların saha ekipmanlarında rastgele meydana gelen arıza durumlarında nasıl sonuçlar ürettiği incelenmiştir. Kumanda merkezi yazılımı simülasyon



esnasında saha ekipmanlarına rastgele arıza enjekte ederek algoritmaları çalıştırmış ve yukarı bölümlerde elde edilen grafiklere benzer grafikler üretmiştir.

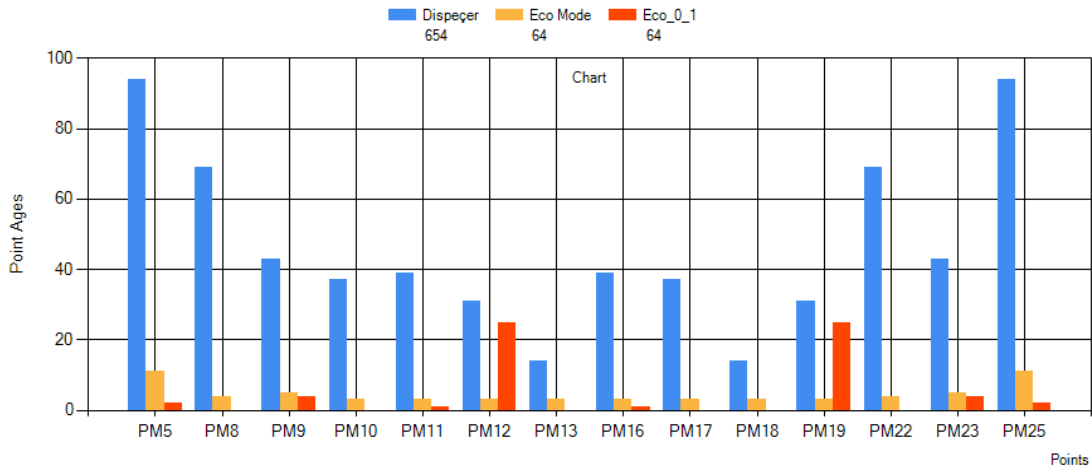
Arızalı ekipmanlara sahip güzergâhlar arıza kontrol algoritması tarafından elenerek tavsiye listesinde yer alamamış dolayısıyla elenen güzergâhlarda eş yaşlandırma kriteri geçici bir süre uygulanamamıştır. Ancak arıza giderildikten sonra bu güzergâhlar tekrar tavsiye listesine girmişler ve listede üst sıralara yerleşmişlerdir. Bunun sebebi bu güzergâhlar tavsiye listesinden çıkarıldığında bu güzergâhlar üzerindeki makas yaşları sabit kalmış ( $Y_i$ ) tavsiye listesindeki güzergâhlardaki makas çevrimleri toplam makas yaşını ( $A$ ) yükseltmiş (2.2) formülüne göre hareket etmeyen makasların makas ceza katsayıları azalmıştır. Böylece bu güzergâhlar tavsiye listesine girdiklerinde (2.3) formülüne göre daha az eş yaşlandırma ceza puanı ( $T_i$ ) olarak üst sıralara yerleşmişlerdir.



Şekil 4.6: Arıza enjekteli eş yaşlandırma algoritması Dispeçer karşılaştırma grafiği

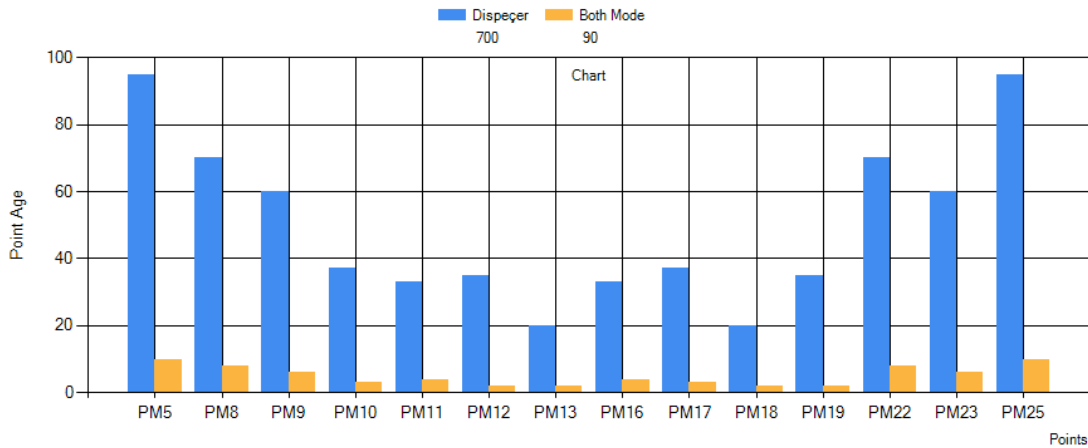
Arızanın enerji tasarrufu kriterine göre uygun güzergâhlarda meydana gelmesi enerji tasarruf algoritmasını ekstra makas çevrimlerine zorlamış ve enerji tüketimini artırdığı gözlenmiştir. Bunun aksine tavsiye listesinden arızalı ekipmana sahip güzergâhların çıkarılması Dispeçer'in rastgele seçimlerinin aralığını düşürerek aynı güzergâhları üst üste seçerek makas çevrimini azaltmasına neden olmuştur. Çünkü bir güzergâhın tanziminden sonra makaslar uygun konuma getirildiği için tanzim edilen güzergâh enerji tasarrufu için her zaman en uygun

güzergâh olacaktır. Ancak bu durum herhangi bir trenin herhangi bir güzergâh üzerine geçici bir süreliğine vagon bırakmasıyla sonlanacaktır.



Şekil 4.7: Arıza enjekteli enerji tasarruf algoritması Dispeçer karşılaştırma grafiği

Eşit katsayılı ağırlıklı ceza algoritması çalışırken sisteme arıza enjekte edilmesi durumunda da yukarı bölümlerde elde edilen grafiklere benzer grafikler elde edilmiştir. Eşit katsayılı ağırlıklı ceza algoritmasının çalışması sonucu ortaya çıkan değerler Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'deki algoritmaların ürettiği değerlerin arasında seyretmektedir. Arıza enjekte edilmesi Dispeçer'i aynı seçimler yapmaya zorlaması ve makas çevrim sayısının düşmesine neden olması eşit katsayılı ağırlıklı ceza algoritmasında da görülmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8: Arıza enjekteli eşit katsayılı ağırlıklı ceza algoritması Dispeçer karşılaştırma grafiği

Tüm bu grafikler ışığında denilebilir ki enerji tasarruf, eş yaşlandırma algoritmaları ve bu algoritmaların ağırlıklı bir şekilde kullanımlarını içeren üç algoritma Dispeçer'in rastgele yaptığı varsayılan güzergâh talepleri ile karşılaştırıldığında enerji tasarrufu ve adaletli makas

kullanım kriterlerini sağlayarak enerji maliyetlerini büyük ölçüde azaltmış, makasların bakım ömrünün uzatılmasını sağlamıştır. Şekil 4.2 ve Şekil 4.5'teki grafiklerden faydalanarak günlük 200 güzergâh talep ve tanzimi yapıldığı varsayılan Esenler Tren Deposu'nda algoritmaların çalıştırılması sonucunda elde edilen enerji tasarruf miktarları Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.1:** Enerji tasarruf algoritması kullanımı ile yıllara göre tasarruf edilen miktarlar

<b>Günlük</b>	<b>Aylık</b>	<b>Yıllık</b>	<b>5 yıllık</b>
70€	2100€	25200€	126000€

## 5. KAYNAKLAR

Açıkbaş S., Alataş A., “Raylı Sistemlerde Enerji Verimli Sürüş ve Frenleme Enerjisinin Geri Kazanılması”, “*Türkiye 10. Enerji Kongresi*”, İstanbul, (2006).

Agénjos E., Gabaldon A., Franco F. G., Molina R., Valero S., Ortiz M., Gabaldon R., “Energy Efficiency In Railways: Energy Storage And Electric Generation In Diesel Electric Locomotives”, “*20<sup>th</sup> International Conference on Electricity Distribution*”, Prague, (2009).

Akbayır Ö., “Demiryolu Araçlarında Enerji Verimliliği ve Tasarrufu”, “*3. Uluslararası Raylı Sistemler Sempozyumu (ISERSE’ 16)*” Karabük, (2016).

Baştürk, G., “Kent İçi Raylı Toplu Taşıma Sistemleri İncelemesi Ve Dünya Örnekleri İle Karşılaştırılması”, Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara, (2014).

Demirdağ M.N., “Kentiçi Raylı Sistemlerde Hat Bakım ve Maliyeti”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2007).

Durmuş M. S., Söylemez M. T., “Petri Ağları ile Demiryolu Anlaşman ve Sinyalizasyon Tasarımı”, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı*, ELECO'08, Bursa, 2008

Gunselmann W., “Technologies for Increased Energy Efficiency in Railway Systems”, IEEE, IEEE, doi: 10.1109/EPE.2005.219712, (2005)

Hall S, *Modern Signalling Handbook*. Ian Allan Publishing, 2001.

Kasımoğlu E., “Tramvay İstasyonlarında Tasarım ve Güvenlik Esaslarının Araştırılması İstanbul T1 Tramvay Hattı İncelemesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2015).

Kothari T., Sudhakar K., “Comparison Of Electric and Diesel Locomotives: A Case Study Of Indian Railway ”, “31st National Convention of Electrical Engineers & National Seminar on Renewable Energy and Green Technology for Sustainable Development”, India, (2015).

Ocak İ., Manisalı E., “ Kentsel Raylı Taşıma Üzerine Bir İnceleme (İstanbul Örneği)”, *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (2), s. 51-59, (2006).

MEB, MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi), “Raylı Sistemler Teknolojisi - Ray Devreleri”, Ankara, (2013).

MEB, MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi), “Raylı Sistemler Teknolojisi - Sinyaller”, Ankara, (2013).

Mecitoğlu F., “Demiryolu Sinyalizasyon Sistemi Simülatörü ve SCADA Sistemi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, (2013).

Miyatake M., Ko H., “Optimization of Train Speed Profile for Minimum Energy Consumption”, “IEEE Transaction on Electrical and Electrical Engineering”, 5 (3), 263-269, (2010).

Nag B., Pal M. N., “ Optimal Design of Timetables to Maximize Schedule Reliability and Minimize Energy Consumption, Rolling Stock and Crew Deployment”, “2nd UIC(International Congress of Railways) Energy Efficiency Conference”, Paris, (2004).

Söyler H., Açıkbaş S., “Raylı Toplu Taşımada Sinyalizasyon Sistemleri”, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi ve Fuarı*, İstanbul, (2015).

Şenlik İ., “Kent İçi Raylı Ulaşım Sistemleri”, *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, EMO Basın, (2016).

Ürün A. Y., Gülbahar V., “Demiryolu Sinyalizasyonu ve Yeni Teknikler”, TCDD, EMO Basın, TJDK: 621.391-398, 654.93-94

[1] <http://www.gatewaynmra.org/wp-content/uploads/2000/02/UP-harriman-dispatch-center-UP.jpg>, (12 Mart 2017).

## 6. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Okan ŞEREMET

Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara Eylül 1991

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : okandeb@gmail.com

**Yayın Listesi :**

M. S. Durmus, A. Menemen, G. Tokmak, O. Şeremet, İ. Üstoğlu, " Ayrık Olay Sistem Tabanlı Arıza Teşhisi Yapabilen Anlaşman Yazılımı Tasarımı ", 2016 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK 2016, Eskişehir, 29 Eylül-01 Ekim 2016.