

Anklaşman Tablolarının Otomatik Oluşturulması

Ahmet Emre Güven

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2018

Automatic Generation of Interlocking Tables

Ahmet Emre Güven

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Electrics and Electronics Engineering

August 2018

Anklaşman Tablolarının Otomatik Oluşturulması

Ahmet Emre Güven

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Telekomünikasyon Sinyal İşleme Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Ahmet Yazıcı

Ağustos 2018

ONAY

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı YÜKSEK LİSANS öğrencisi Ahmet Emre Güven'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “**Anklaşman Tablolarının Otomatik Oluşturulması**” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca oy birliği ile değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Ahmet Yazıcı

İkinci Danışman :

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç. Dr. Ahmet Yazıcı

Üye : Prof. Dr. Rifat Edizkan

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Uraz Yavanoğlu

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Ahmet Yazıcı danışmanlığında hazırlamış olduğum “**Anklaşman Tablolarının Otomatik Oluşturulması**” başlıklı tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 27/08/2018

Ahmet Emre Güven

ÖZET

Demiryolu taşımacılığında trenlerin emniyetli şekilde sevk ve idaresini sağlamak için demiryolu sinyalizasyon sistemleri geliştirilmiştir. Demiryolu sinyalizasyon sistemlerine entegre olan saha ekipmanları aracılığıyla trenlerin çarpışmalardan ve deraylardan uzak tutulmasını sağlayan sistem ise ankaşman sistemidir. Ankaşman sistemi sinyalizasyon ekipmanlarından aldığı bilgileri toplayıp trafik kontrolörü tarafından verilen rota tanziminin uygun olup olmadığının denetlemesini yapıp, uygunsa işletmeyi gerçekleştiren donanım ve yazılıma sahiptir. Bahsi geçen yazılım ankaşman yazılımı olarak adlandırılır. Ankaşman yazılımları CENELEC EN50128 standartlarına belirtildiği üzere SIL-4 seviyesinde olması gerekmektedir. Ankaşman yazılımları sistem elemanları üzerinde yapacağı uygunluk karşılaştırmalarını belirli kurallar dahilinde yapmalıdır. Verilen komutların uygunluklarının tespit edildiği bu kurallar bütünü ankaşman tablosunu oluşturmaktadır.

Ankaşman tabloları, trenlerin işletimi için kullanılacak olan rotaların ve bu rotaların tanzim edilmesi için gereken ekipman durumlarının bilgisini taşımaktadır. Ankaşman tabloları oluşturulmasında mevcut bir standart yoktur. Her sinyalizasyon firması ve her işletmeci kendi standardında tablo oluşturabilir. Hatta aynı firma veya işletmecinin oluşturduğu iki tablo bile farklı olabilir. Tabloların oluşturulması elle veya otomatik olarak yapılabilir. Elle yapılan tablolar zaman aldığı gibi hataya da açıktır. Otomatik oluşturulan tablolar zaman kazandırır ve doğrulaması yapıldığında güvenli şekilde kullanılabilirler.

Bu çalışmada Ankaşman tablolarının otomatik oluşturulması ve doğrulanması hedeflenmiştir. Hat planı ile birlikte veya ayrı şekilde verilen ekipman listeleri Python programlama dili kullanılarak okunmuş ve ankaşman tabloları oluşturulmuştur. Oluşturma aşamasını kolaylaştırmak için kullanıcı dostu bir arayüz tasarlanmıştır. Doğrulama yapabilmek için model kontrol metodu kullanılmış ve bu hedefte NuSMV aracından faydalanılmıştır. Ankaşman tablolarının oluşturulması ankaşman yazılımlarını oluşturmadaki ilk aşamadır. Bu çalışma ile oluşturulan tablolar ankaşman yazılımı oluşturmada kullanılabilir şekilde sunulmaktadır. Seçilen hat planları üzerinden ankaşman tablosu oluşturma işlemleri tamamlanmış ve oluşturulan tablolar NuSMV aracı kullanılarak çakışan rotalar üzerinden doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Demiryolu Sinyalizasyon Sistemleri, Ankaşman Tabloları, Ankaşman Tablou Oluşturma, Çakışan Rotalar, Ankaşman Tablosu Doğrulama, NuSMV

SUMMARY

Railway signaling systems have been developed in order to ensure the safe handling and management of trains in railway transport. The system that enables trains to be kept away from collisions and derails by means of field equipment, which are integrated into railway signaling systems, is called an interlocking system. The interlocking system has software and hardware components that collect the information received from the signaling equipment and perform the check if the route arrangement issued by the traffic controller is appropriate. The software that performs the operation accordingly is called as the interlocking software. Interlocking software must be at SIL-4 level as specified in CENELEC EN50128 standards. Interlocking software should make comparisons of suitability on system components within the framework of certain rules. This is the interlocking table in which the conformance of the given commands is determined.

The interlocking tables provide information on the routes to be used for the operation of the trains and the equipment requirements for the preparation of these routes. There is no existing standard for forming interlocking tables. Every signaling company and every operator can create a table in its own standard. Even two tables created by the same firm or operator can be different. The creation of tables can be done manually or automatically. Manual tables take time and also are open to fault. Auto-generated tables save time and can be used safely when validated.

In this study, the automatic generation of the interlocking tables and verification of generated tables are aimed. A list of equipment supplied with or separately from the line plan was read out using the Python programming language and interlocking tables were created. A user-friendly interface is designed to simplify the build process. Model checking method was used for verification and this target was utilized by NuSMV tool. The creation of interlocking tables is the first step in creating the interlocking software. The tables created by this study are presented in a way to be used to create the interlocking software. In this study the generation of interlocking tables with the selected line plans has been completed and the generated tables have been verified via conflicting routes using the NuSMV tool.

Keywords: Railway Signalization Systems, Interlocking Tables, Generation of Interlocking Tables, Conflicting Routes, Verification of Interlocking Tables, NuSMV

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmam süresince bana sabırla danışmanlık eden tecrübelerini aktararak yönlendiren ve desteğini esirgemeyen kıymetli danışmanım Doç. Dr. Ahmet YAZICI'ya, yüksek lisans eğitimim boyunca maddi ve manevi destekleri ile yanımda duran anne ve babama, hatırlayabildiğim ilk andan beri yol göstericim olan ablama ve yine tez çalışmam süresince moral ve motivasyonumu yüksek tutmamı sağlayan eşime, tez çalışmamda teknik altyapıyı sağlayan ve halen çalışmakta olduğum Thales ESP GRP SAU'ya teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. Demiryolu Sinyalizasyon Sistemleri	4
2.1.1. Sinyalizasyon Standartları	4
2.1.1.1. <u>Cenelec</u>	4
2.1.1.2. <u>ETCS/ERTMS</u>	5
2.1.2. Sinyalizasyon Ekipmanları	9
2.1.2.1. <u>Makaslar</u>	9
2.1.2.2. <u>Sinyaller</u>	11
2.1.2.3. <u>Ray Devreleri</u>	14
2.1.3. Merkezi Trafik Kontrolü	16
2.1.4. Anlaşman Sistemleri	17
2.2. Anlaşman Tabloları	20
2.2.1. Anlaşman Tablolarının Oluşturulması	21
2.2.2. Anlaşman Tablolarının Doğrulanması	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM	26
3.1. Anlaşman Tablolarının Oluşturulması	27
3.2. Anlaşman Tablolarının Doğrulanması	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	38
4.1. Örnek Hat Planı 1 İçin Test	38
4.2. Örnek Hat Planı 2 İçin Test	43

İÇİNDEKİLER (devam)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR DİZİNİ	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 ERTMS haritası 1996 öncesi(<i>ERTMS Map</i>)	6
2.2 Seviye 1 için tren üstü ve hat boyu ekipman (<i>ERTMS Signalling Levels</i>)	7
2.3 Seviye 2 için tren üstü ve hat boyu ekipman(<i>ERTMS Signalling Levels</i>)	8
2.4 Seviye 3 için tren üstü ve hat boyu ekipman(<i>ERTMS Signalling Levels</i>)	8
2.5 Seviye 1, 2 ve 3'ün karşılaştırmaları(Thales, 2013)	8
2.6 Makas Bileşenleri (MEB, 2014)	10
2.7 Basit Makas (Gülener, 2009)	10
2.8 S Makas (MEB, 2014)	10
2.9 Derayman (<i>Derail Device</i>)	11
2.10 Fren Eğrisi (Thales, 2013)	11
2.11 İstasyon İçi Sinyal Yerleşimleri (Thales, 2013)	12
2.12 Hatboyu Makas Sinyal (Thales, 2013)	13
2.13 Blok Sinyal Yerleşimleri (Thales, 2013)	13
2.14 Sinyal Bildirimleri (Thales, 2013)	14
2.15 Sinyal Görünümleri (TCDD, 2003)	16
2.16 Ray Devresi (Gülener, 2009)	16
2.17 Merkezi Trafik Kontrolü (<i>Evolution of Signalling Control</i>)	17
2.18 Mekanik Anlaşman (<i>Principles of Railway interlocking</i>)	18
2.19 Elektro-mekanik Anlaşman (Lawrence, 2011)	19
2.20 Röleli Anlaşman (<i>Evolution of Signalling Control</i>)	19
2.21 Elektronik Anlaşman (<i>Computer-based interlocking system MOR-3</i>)	20
3.1 Örnek Anlaşman Tablosu	26
3.2 Anlaşman Tablosu Oluşturma Akış Diyagramı	28
3.3 Tablo Oluşturma Arayüzü	32
3.4 Dosya Yöneticisi Üzerinde Dosya Seçimi	32
3.5 Arayüz İçerisinde Seçili Dosya	33
3.6 Arayüz Açılır Pencere	33
3.7 NuSMV Kullanımı Akış Diyagramı	34
3.8 NuSMV Kodlama Örneği	35
3.9 Erişilebilir Durumlar	36
3.10 Rota1 ile Rota2'nin çakışma durumu	37
3.11 Rota3 Çakışmama Durumu	37
4.1 Örnek Hat Planı 1 (Yıldırım vd., 2012)	38

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.2 Örnek ekipman bilgileri	39
4.3 Oluşturulan Anlaşman Tablosu	39
4.4 Çakışan Rotalar	40
4.5 Rotaların NuSMV İçerisinde Tanımlamaları	40
4.6 Rotaların Başlangıç Konumları	41
4.7 Rotaların Geçiş Durumları	41
4.8 Rota 1 ve Rota 4 Çakışma Gösterimi	42
4.9 Rota 1 ve Rota 2 Çakışmama Gösterimi	42
4.10 Örnek İstasyon Bölgesi (Vanit-Anunchai, 2014)	43
4.11 Örnek ekipman bilgileri 2	43
4.12 Oluşturulan Anlaşman Tablosu 2	44
4.13 Çakışan Rotalar 2	44
4.14 Rotaların NuSMV İçerisinde Tanımlamaları 2	45
4.15 Rotaların Başlangıç Konumları 2	45
4.16 Rotalar Geçiş Durumları 2	46
4.17 NuSMV Sonuç	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Sistem Bütünlük Seviyesi (Lewis, 2001)	5
2.2 Sinyal Bildirimleri Anlamları	15
2.3 Literatürdeki İlgili Çalışmalar.	21
3.1 Sinyal Kuralları	27
3.2 Sinyal Kuralları	27
3.3 NuSMV Kodları	35

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Günümüzde hem yolcu hem de yük taşımacılığında kullanılan demiryolu taşımacılığı özellikle Avrupa ülkelerinde taşımacılık yatırımlarında ilk sıralarda yer almaktadır. Demiryolu taşımacılığının ekonomik, çevre dostu ve hızlı olmasından dolayı ülkemizde de demiryolu taşımacılığına yapılan yatırımlar artarak devam etmektedir (Mecitoğlu ve Söylemez, 2013; TUIK, 2017). Gerek konvansiyonel hatlarda gerekse hızlı tren hatlarında, ölümcül kazalardan kaçınmak amacı ile güvenli ulaşım ve hat emniyeti ancak güvenilir ankaşman ve sinyalizasyon sistemlerinin kullanılmasıyla sağlanabilir (Malakar ve Roy, 2014). Bu nedenle, ülkemizde de iyileştirmeler ve yeni yatırımlar olarak devam eden demiryolu projelerinde demiryolu sinyalizasyonu sistemi ihtiyacı bulunmaktadır. Daha hızlı trenlerin gelişimi ve demiryollarında yoğunluğun artması ile birlikte, sinyalizasyon sistemlerine olan ihtiyaç daha önemli hale gelmiştir (Durmuş vd., 2010).

Demiryolu hatlarındaki tren trafiğinin emniyetli ve verimli olarak işletilmesini sağlayan demiryolu sinyalizasyon sistemleri, trenlerin demiryolu üzerindeki hareketlerini kontrol eden ekipmanların tamamını kapsar (Newman, 1995; TCDD, 2017). Sinyalizasyon ekipmanlarından alınan bilgiler doğrultusunda demiryolu araçlarının işletimi sağlanır. İşletim sırasında trenlerin karşı karşıya gelmemesi ve kazalardan uzak durması için kullanılan alt sistemler ankaşman sistemleridir (Celebi ve Kaymakci, 2016). Ankaşmanlar sahada bulunan sinyalizasyon ekipmanları arasında bağımlık ilişkisini kurarak işletim yapmaya olanak tanır (Cappart vd., 2017). Günümüz hızlı tren hatlarında kullanılan teknoloji olan bilgisayar tabanlı ankaşmanlar, ankaşman yazılımları ile yönetilir. Ankaşman yazılımları ise işletme sırasında kullanacağı güvenlik kriterlerine kaynak olarak ankaşman tablolarını almaktadır (Cao vd., 2011). Ankaşman tabloları, demiryollarında, trenlerin güvenli bir şekilde hareket edebilmeleri, çarpışma ve raydan çıkma gibi durumları önlemek amacı ile sinyalizasyon ve rota bilgilerini içeren ve bunların eşleştirmesinin yapıldığı tablolardır (Busard vd., 2015). Ankaşman tablolarının hazırlanması sürecinin yeri tüm proje ele alındığında aşağıdaki gibidir:

- i Demiryolları işletmesinden gerekli verilerin alınması (hat planı - operasyonel ihtiyaçlar)
- ii Verilerin işlenmesi ve gerçekleştirilebilir hale getirilmesi (eleman listesi oluşturma-hat planı revizyonları)

- iii Gelen verilere göre ankaşman tablosu oluşturulması
- iv Oluşturulan tabloların doğrulanması (verification)
- v Ankaşman yazılımının oluşturulması
- vi Ankaşman yazılımının uygunluk testlerinin yapılması (validation)
- vii Ankaşman yazılımının sahaya yüklenmesi ve devreye alınması

Bu adımlardan görüldüğü üzere, demiryolu sinyalizasyon çözümleri üreten firmaların ürünü ortaya çıkarmak için elde etmesi gereken olmazsa olmazlardan birisi ankaşman tablosudur. Ankaşman tabloları demiryolu sinyalizasyon çözümleri sunan firmalar tarafından hazırlanabileceği gibi doğrudan müşteri tarafından da temin edilebilir. Farklı kaynaklardan elde edilen ankaşman tabloları çeşitli aşamalardan geçerek ankaşman yazılımlarını oluşturmak için kullanılmaktadır.

Ankaşman tabloları otomatik veya manuel olarak hazırlanabilmektedir. Manuel olarak hazırlama yöntemi karmaşık hat planlarında oldukça vakit almaktadır (TOPEL ve OK, 2015). Manuel tablo oluşturma uzadıkça da hata oranı artmaktadır. Hatalar mantıksal ya da yazılımsal olabilmektedir. Bu hataların belirlenmesi ve elimine edilmesi ise ek bir iş yükü olarak karşımıza çıkmaktadır. Sinyalizasyon sisteminin ilk adımı olan ankaşman tablolarındaki hatalar düzeltilmediği takdirde ölümcül sonuçlar doğurabilmektedir. Bu nedenle, tabloların hızlı ve doğru bir şekilde üretilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. İnsan kaynaklı hatalardan kaçınabilmek için özellikle karmaşık yapıdaki istasyonlarda ankaşman tabloları otomatik oluşturulmalıdır (Çolakkadı, 2013).

Demiryolu sinyalizasyonlarında kullanılan standartlar Türkiye'nin de üyesi olduğu uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenmektedir. Belirlenen standartlara uygun sinyalizasyon sistemlerinin geliştirilmesi amacı ile ülkemizde gerçekleştirilen projeler olmakla birlikte, mevcut hızlı tren sinyalizasyonları için dışa bağımlılık devam etmektedir. Demiryolu sinyalizasyon sistemlerinde yaşanan dışa bağımlılık ise maliyetleri arttırmaktadır. Demiryolu sinyalizasyon yazılımı geliştirilmesi için gerekli olan ankaşman tablolarını oluşturma aşamasında kullanılması öngörülen projemizin çıktısı kullanılarak gerekli modelleme yöntemleri ile yerli demiryolu sinyalizasyon yazılımları elde edilebilmesi hedeflenmiştir.

Ankaşman tablolarının oluşturulma aşamasında meydana gelen hataları düzeltmek oldukça vakit almaktadır. Tüm bu nedenlerle, ankaşman tablolarının otomatik olarak oluşturacak bir yazılım geliştirmek önemlidir.

Bu tez çalışmasında, ankaşman yazılımlarının oluşturulmasında ilk adım olan ankaşman tablolarının oluşturulması ve doğrulanması gerçekleştirilmiştir. Ankaşman tablolarının oluşturulmasında literatürdeki rota tabanlı ve yanal korumalı yaklaşımlar kullanılmıştır. Oluşturulan tabloların doğrulanmasında ise model kontrol aracı olarak kullanılan NuSMV ortamı kullanılmıştır. Bu yaklaşımlar ile verilen her hangi bir istasyon için ankaşman tablolarının otomatik olarak oluşturulması, oluşturulan tablolarının doğrulanması gerçekleştirilerek karmaşık sistemler için hızlı ve hata içermeyecek şekilde ankaşman yazılımlarının üretilmesi mümkün olmaktadır.

Takip eden bölümde demiryolu sinyalizasyon sistemleri ile ilgili temel kavramlar verilmektedir. Üçüncü bölümde, uygulama kapsamında kullanılan materyal ve yöntemler detaylandırılmaktadır. Dördüncü bölümde ise geliştirilen uygulamanın test edilmesi ve sonucunda elde edilen bulgular tartışılmaktadır. Son bölümde ise sunulan çalışma için sonuç ve öneriler yer almaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Demiryolu taşımacılığında güvenliğin sağlanmasında demiryolu sinyalizasyon sistemleri önemli bir yere sahiptir. Demiryolu sinyalizasyon sistemleri çeşitli alt sistemlerden oluşmakta olup anlaşılan sistemi güvenliğin sağlanmasında kritik öneme sahiptir. Anlaşılan sistemi de diğer bileşenleri gibi standartlara sahiptirler. Bu standartlar demiryolları oluşumları tarafından belirlenip oluşumun üyesi olan ülkeler tarafından uygulanırlar(Gündoğdu ve Açıkbay, 2005).

Takip eden alt bölümde anlaşılan sistemini daha iyi algılamak için demiryolu sinyalizasyonun temel kavramları tanıtılmaktadır. Sonraki alt kısımda ise anlaşılan tablosu ile ilgili temel kavramlara yer verilmektedir.

2.1 Demiryolu Sinyalizasyon Sistemleri

Demiryolu Sinyalizasyonu, demiryolu trafiğinin güvenliğini ve verimliliğini sağlamak için demiryolu standartlarına uygun ekipmanlar kullanarak geliştirilmektedir. Demiryolu Sinyalizasyon sistemi güvenliği arttırabilmek adına çeşitli özellikleri barındırmaktadır. Bu özelliklerden en önemli iki tanesi kılavuzlu sistem özelliği ve tren algılama özellikleridir. Kılavuzlu sistem özelliği sayesinde, trenin yol değiştirme, tren geçme ve güzergah bilgileri kılavuz tarafından merkezi olarak yönetilirken, tren sadece kendi hızını değiştirebilmektedir. Bu özelliğin sağladığı işletim kolaylığı ve güvenlik kontrolü kaza riskini azaltmaktadır. Temel özelliklerden biri olan tren algılama özelliği sayesinde ise trenlerin konumları tespit edilerek tren sevkیاتlarının yönetimi güvenli bir şekilde sağlanmaktadır. Demiryolunda ayrı bölümler olarak ifade edilen bloklar arasında birden fazla tren sevkının önüne geçerek kazalardan kaçınılmaktadır (Mutlu vd., 2012).

2.1.1 Sinyalizasyon Standartları

2.1.1.1 CENELEC

Standartlar, ürünler ve üreticiler için kriterler belirler ve amaca uygunluk, kıyaslanabilirlik gibi kolaylıklar sağlar. Sinyalizasyon sistemlerinin güvenilirliği ve güvenliği için de Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (CENELEC -European Committee for Electrotechnical Standardization) tarafından tanımlanan standartlar kullanılmaktadır. Avrupa standartları (EN-European Standards) CENELEC üyesi 34 ülkenin ulusal elektroteknik komiteleri aracılığıyla ulusal ekonomik ve sosyal ilgi alanları dikkate

Çizelge 2.1: Sistem Bütünlük Seviyesi (Lewis, 2001)

Tolere Edilebilir Tehlike Oranı (THR)	Sistem Bütünlük Seviyesi
$10^{-9} \leq \text{THR} < 10^{-8}$	SIL 4
$10^{-8} \leq \text{THR} < 10^{-7}$	SIL 3
$10^{-7} \leq \text{THR} < 10^{-6}$	SIL 2
$10^{-6} \leq \text{THR} < 10^{-5}$	SIL 1

alınarak ortaya çıkan fikir birliği sonucuna dayanır. CENELEC standartları Havacılık, Uzay, İklim değişimleri, Savunma, Gizlilik, Güvenlik, Enerji Yönetimi, Sağlık Yönetimi, Akıllı Yaşam ve Taşımacılık ve bunlar gibi sektörler için hizmet vermektedir. Taşımacılık ana başlığı altında hizmet verdiği kollardan birisi demiryolu sinyalizasyonudur. Demiryolu sinyalizasyonu için kullanılan ve birçok ülkede geçerli olan CENELEC Standartları CENELEC EN50126 EN50128 ve EN50129'dur.

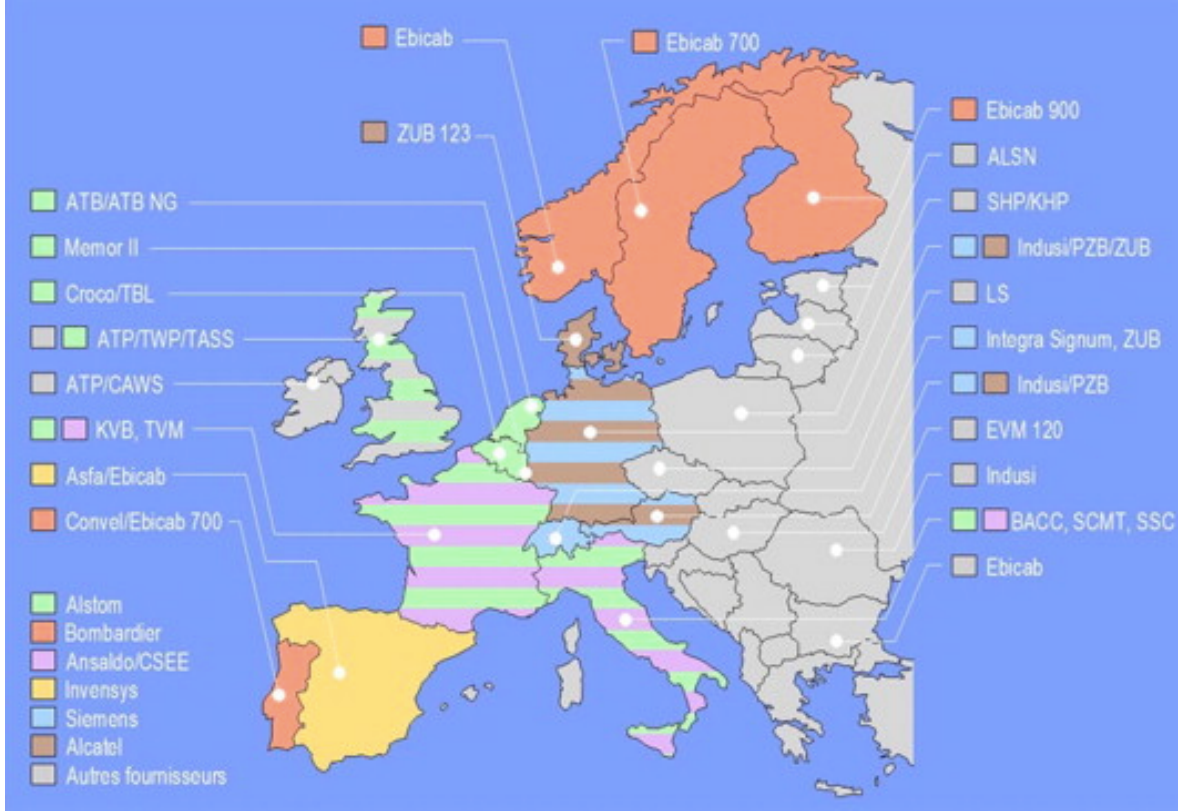
EN50126 standardı RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) (Güvenirlilik, Erişilebilirlik, Bakım yapılabilirlik, Güvenlik) ve RAMS uygulaması hakkında detaylar içermektedir. **EN50128** standardı demiryolu kontrol, koruma uygulamalarında kullanılan programlanabilir elektronik sistemlerin teknik gereklilikleri hakkında kriterler belirtir. **EN50129** standardı ise kabul sürecinden önceki dönemde tamamlanması gereken aktiviteler ve kabul sürecinden sonra devam edilmesi gereken planlı aktivitelerden bahseder.

CENELEC Standartları tolere edilebilir risk oranları için Sistem Bütünlük Seviyesi (SIL-System Integrity Level) konseptini kullanır. Çizelge 2.1 ile de görüleceği üzere en yüksek seviye SIL 4 seviyesidir. SIL 4 seviyesi anlaşılan yazılımları tarafından sağlanması gereken seviyedir (Cappart ve Schaus, 2016).

2.1.1.2 ETCS/ERTMS

Sinyalizasyon sistemlerinin ilk zamanlarında her firma kendi sinyalizasyon sistemini uygulamaktaydı. Her firmanın kendi sistemini kullanması zamanla bazı sorunları ortaya çıkardı. Çok bölgeli seyahat yapacak olan trenlerin bütün sinyalizasyon sistemi ekipmanlarını üzerinde bulundurması gerekmektedir. Örneğin Şekil 2.1 üzerinde de görüleceği üzere Portekiz'den Rusya'ya kadar giden bir tren üzerinde 5 farklı sistem taşımak zorunda kalabilmektedir. Bu karmaşayı ortadan kaldırmak için 1998/1999 yıllarında Alcatel, Alstom Ansaldo, Bombardier, Invensys ve Siemens gibi sektörün öncü firmaları birlikte UNISIG'i (Union Industry of Signalling) kurar. UNISIG'in kuruluş amacı ERTMS (European Rail Traffic Managements System)/ETCS (European Train Control

System) için teknik özellikleri oluşturmaktır. Ortaya çıkarılan standart Avrupa hızlı tren hatlarında kullanılan en yaygın standart haline gelmiştir ve bu sayede güvenlik, maliyet, bakım, erişebilirlik ve ortak kullanım anlamında yüksek performans sağlamaktadır (Palumbo, 2013).



Şekil 2.1: ERTMS haritası 1996 öncesi (ERTMS Map)

ERTMS/ETCS sistemi çeşitli seviyeler barındırır. Bu seviyeler hatboyu donanım, araçüstü donanım ve fonksiyonlar gibi farklılıklar gösterir. ETCS sistemleri 0'dan 3'e kadar seviyeler ile belirtilmiştir.

Seviye 0: Üzerinde ETCS ekipmanı bulunan bir tren ETCS ekipmanı olmayan bir demiryoluna girdiğinde kullanılan seviyedir. Sürücü sinyalleri takip etmek durumunda olduğundan bu seviye sürücüler açısından daha dikkatli olunması gereken seviyedir. Tren 0'dan daha yüksek bir seviyede bırakıldı ise çeşitli hız limitlemeleri olabilir. Seviye geçişi ve spesifik komutlar dışında hatboyu donanımı kullanılmaz. Trenüstü ekipman eurobaliz iletimi yapabilecek durumdadır. Azami tren hızı denetimi, varsa geçici hız denetimleri, seviye geçişi ve belli spesifik komutları algılayabilmek için eurobaliz okuyabilme özelliklerini barındırır.

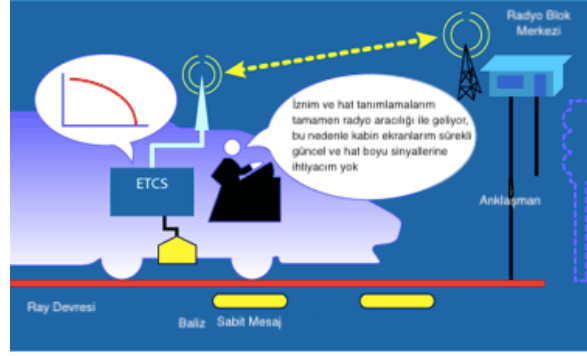
Seviye 1: Bu seviyede hattan trene bilgi iletimi için hat üzerinde eurobalizler bulunmaktadır. Hat üzerinde bulunan eurobalizler noktasal iletim yapabilmektedir. Hat boyu donanımından beklenen sinyalizasyon sisteminin izinleri çerçevesinde hareket izinlerinin belirtilmesi ve bu hareket izinlerinin trene aktarılmasıdır. Araç üstünde ise Eurobalizler ile iletişim sağlayabilen araçüstü donanım bulunmaktadır. Araçüstü ekipmanın görevleri hareket izni ve hat bilgilerinin alınması ve dinamik hız profiline hesaplanması ve denetlemesidir. Dinamik hız profili hesaplanırken trenin seyir özellikleri, hattın yapısı, hız profilleri gibi kısıtları dikkate alır. Yine araç üstünde bulunan kabin sinyalizasyonu ile sürücüye bilgi aktarımı yapmaktadır. Seviye 1 ulusal sinyalizasyon itemleriyle uyumlu çalışabilmektedir (Barger vd., 2009). Şekil 2.2 ile Seviye 1 için tren üstü ve hat boyu ekipmanlar gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Seviye 1 için tren üstü ve hat boyu ekipman (*ERTMS Signalling Levels*)

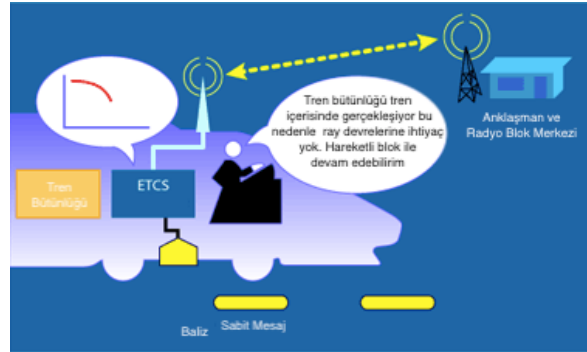
Seviye 2: ETCS Seviye 2 söz konusu olduğunda RBC (Radio Block Center) sistemi de entegre olmaktadır. Bu seviyede balizler konum bilgisi için kullanılmaktadır. Radyo blok merkezi alanı içerisindeki ETCS kurulmuş her treni izler. İzlediği her tren için ayrı izinler belirler ve hareket bilgilerinin aktarır. RBC hattın genel durumunu anlaşılan aracılığıyla alır. RBC bölge bitiminde bir sonraki RBC'ye devir yapılıır. Trenlerin de sisteme uyumlu olabilmesi için tren üstü ekipmanların eurobaliz algılayabilmesi ve euroradyo iletişimi kurabilmesi gerekir. Trenler euroradyo üzerinden hareket izni ve hat verilerini alırken eurobalizler üzerinden de konum bilgilerini alır (Vu, 2015). Bunların yanında trenin teknik özelliklerine göre hız profili oluşturulması, denetlenmesi, gerekirse frenlemesi işi de araç üstü ekipmana aittir. Sürücüyü bilgilendirmek ve gerekirse girdileri alabilmek için kabin içi sinyalizasyon ekipman mevcuttur. Tren üstü ve hat boyu ekipman gösterimi Şekil 2.3 ile yapılmıştır.

Seviye 3: ETCS seviye 3'te GSM-R sistemi aracılığı ile trenle sürekli iletişim sağlanmaktadır. Bu seviyede sinyallerin, değişken balizlerin ve sinyal ile balize bilgi aktaran ekipmanların fiziksel olarak bulunmalarına gerek yoktur. Trenin konumu RBC

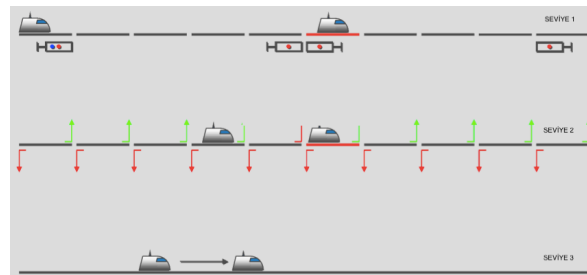


Şekil 2.3: Seviye 2 için tren üstü ve hat boyu ekipman(ERTMS Signalling Levels)

tarafından ürekli takip edilerek frenleme mesafeleri dikkate alınarak işletim sağlanır. Diğer seviyelerde bulunan sabit blok sistemi yerine Seviye 3 hareketli blok sistemi kullanılmaktadır. Seviye 3 ERTMS sisteminin tren üstü ve hatboyu ekipmanları Şekil 2.4 üzerinde görülmektedir. Şekil 2.5 ile ECTS Seviye 1, 2 ve 3'ün karşılaştırmaları görsel olarak verilmiştir.



Şekil 2.4: Seviye 3 için tren üstü ve hat boyu ekipman(ERTMS Signalling Levels)



Şekil 2.5: Seviye 1, 2 ve 3'ün karşılaştırmaları(Thales, 2013)

2.1.2 Sinyalizasyon Ekipmanları

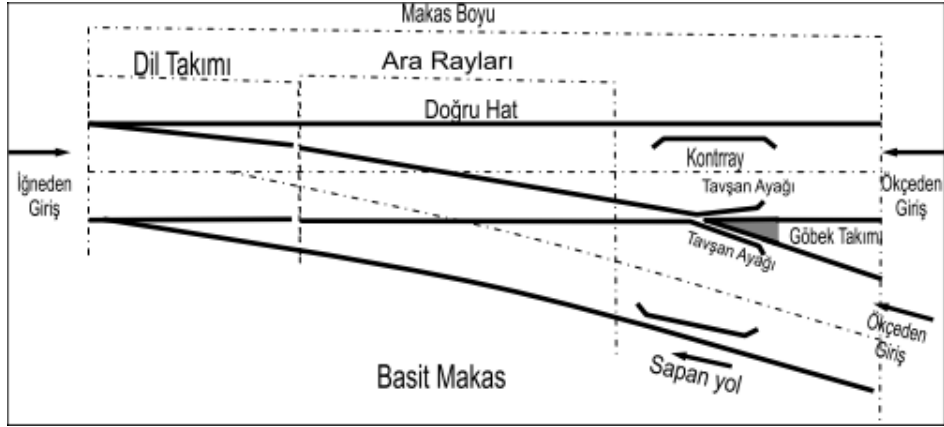
Demiryollarında sinyalizasyon sisteminin sağlanması için demiryolu üzerinde demiryolundan bilgi almak ve demiryoluna komut verebilmek için çeşitli sinyalizasyon ekipmanlarına ihtiyaç vardır. Bu ekipmanlar sinyalizasyon sistemlerinin saha kısmındaki son elemanlarıdır. Bu çalışmanın sonucunda elde edilecek olan otomatik anlaşılan tabloları da temel olarak bu ekipmanların her bir rota için durumlarının belirlenmiş olduğu tablolarıdır. Anlaşılan tablolarında yer alan sinyalizasyon ekipmanları makaslar, sinyaller ve ray devreleridir (Vanit-Anunchai, 2009).

2.1.2.1 Makaslar

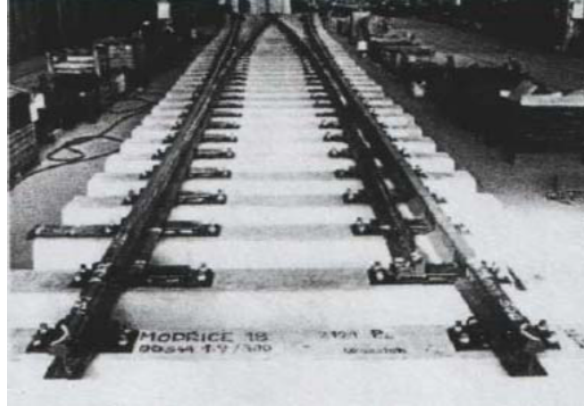
Trenlerin karayolu araçlarından en büyük farkı yön verilebilecek bir direksiyonlarının olmayışıdır. Bu durumda tren yönlendirmeleri demiryolunun kendisi üzerinde sağlanmalıdır. Demiryollarında kavşak bölgelerinde, barınma yollarına girişlerde yan yol ayrımlarında ve benzeri noktalarda trenin bir yoldan diğerine geçebilmesini sağlayan demiryolu teçhizatına makas denmektedir (MEB, 2014). Güvenlik gerekliliklerinden kaynaklı olarak makasların kumanda ve bildirimleri anlaşılan ile yapılmalıdır. Makasların doğru şekilde kullanılabilmesi için sürekli olarak konumları bilinmelidir. Makaslar dahili kilitleme sistemi barındırmaktadır. Makas her hangi bir yöne tanzim edildiğinde tanzim edildiği yönden yeni bir komut gelene kadar ayrılmaması için dahili kilit sistemi ile kilitlenir. Makasları motorlu ve motorsuz makaslar olarak iki genel başlık altında toplayabiliriz. Hızlı tren hatlarında kullanılan motorlu makasların denetim ve kumandaları elektronik anlaşılan aracılığıyla yapılır. Elektrik motorları veya elektro-hidrolik motorlar kullanılır. Merkezi kumanda aracılığıyla kullanılabilirdiği gibi gerekli durumlarda motoru el ile olarak çevirmek suretiyle de makasa yön verilebilir. Motorsuz makaslar daha eski teknolojiyi barındırmaktadır. Mekanik, elektrikli veya elektronik anlaşılanların birer elemanı olabilirler. Motora sahip olmadıklarından kumanda yöntemleri çeşitli kollar ile yapılmaktadır.

Makaslar çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bileşenleri Şekil 2.6 ile gösterildiği üzere makas dilleri, emniyet/klavuz rayı, göbek, sağ/sol ve ön/arka kısımlardır. Demiryollarında kullanılmakta olan çeşitli makas tipleri bulunmaktadır. Bu makaslar ana başlıklar altında Basit makaslar, Birleşik Makaslar, Çapraz Makaslar ve S makaslar olarak listelenebilir. Makas tiplerinden yüksek hızlı tren hatlarında sıklıkla kullanılanları basit makaslar ve S makaslardır.

Basit Makaslar : Basit makaslar iki dil, bir göbek ve iki yaslanmadan oluşan makas türüdür. Şekil 2.7 ile gösterilen bu makas tipi, bir yoldan diğerine geçmek için kullanılır ve yeni geçilen yolun başlangıç noktasını oluşturur.

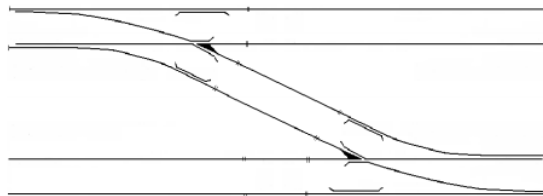


Şekil 2.6: Makas Bileşenleri (MEB, 2014)



Şekil 2.7: Basit Makas (Gülener, 2009)

S Makaslar : Temel olarak iki basit makasın birleşmesi ile oluşur. Şekil 2.8 ile gösterilen bu makak tipi, birbirine paralel iki yol arasında geçişi sağlayabilmek için kullanılmaktadır.



Şekil 2.8: S Makas (MEB, 2014)

Derayman : Demiryolu araçlarının izinsiz hareketleri sonucunda oluşabilecek çarpışmaları önlemek için kullanılan ekipmanlardır. Şekil 2.9 ile gösterilen deraymanlar,

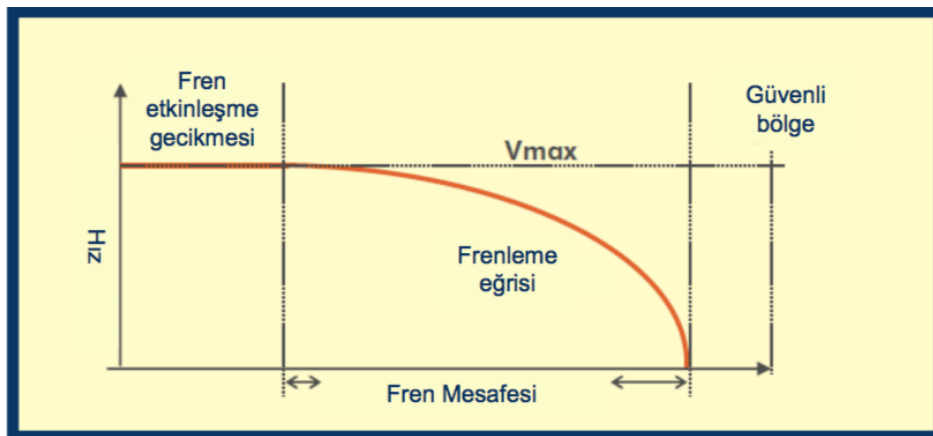
izinsiz tren hareketi gerçekleşmesi durumunda bulunduğu noktadan izinsiz hareket eden treni raydan çıkarmak prensibiyle çalışırlar. Makaslarda olduğu gibi deraymanlar da motorlu ya da motorsuz olarak kontrol edilebilir.



Şekil 2.9: Derayman (*Derail Device*)

2.1.2.2 Sinyaller

Tren hareket izinleri görsel olarak sürücüye, balizler aracılığı ile de tren üstü ekipmana bilgi veren sinyaller aracılığı ile sağlanır. Bu sinyal bildirimleri, tesislerin güvenlik koşullarının sonucunu belirtir ve tesisin ilettiği bildirimde göre yolda ilerleme izni verir. Bildirimler sonucunda izlenecek hız profili, her demiryolu işletmesinin hareket yönetmeliğinde tanımlanır. Sinyallerin belirlenmesi tren karşılaşmaları dikkate alınarak yapılır. Buna göre sinyaller belirli hat kesimlerini korumaktadırlar ve sinyalin bildirimini ilgili hat kesimi için izin durumunu belirtir. Demiryolundaki uzun fren mesafeleri nedeniyle Şekil 2.10 ile gösterilen frenleme eğrisi grafiği dikkate alınmaktadır. Sinyal bildirim sırası ile sinyaller, korudukları hat kesiminden sonraki hat kesimleri için de önceden bilgi sağlayabilmektedir.



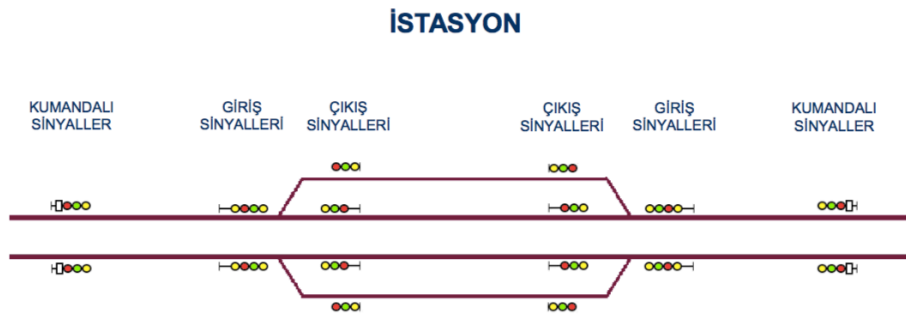
Şekil 2.10: Fren Eğrisi (Thales, 2013)

Giriş Sinyalleri : Trenin Park (istasyon içi) bölgesine veya makas bölgesine hareket etmesi için ilgili izin bildirimini verildiği sinyaldir. Giriş Sinyalleri 3 veya 4 lambalı olabilmektedir. Sinyalden sonra sapan yol mevcut ise giriş sinyali 4 lambalı olur. Bu lamba sırası yukarıdan aşağı doğru sırasıyla; Sarı, Yeşil, Kırmızı, Sarı şeklindedir. Sinyalden sonra sapan yol mevcut değil ise giriş sinyali 3 lambalı olarak kullanılır ve yukarıdan aşağı doğru sırasıyla; Sarı, Yeşil, Kırmızı şeklindedir. Giriş sinyallerinde lamba sayısından bağımsız olarak en fazla iki lamba aynı anda yanabilir.

Çıkış Sinyalleri : Trenin bir sonraki istasyon bölgesine sevki için gerekli izin bildirimini sağlayan sinyal türüdür. Çıkış sinyalleri yüksek ve cüce sinyal olarak ikiye ayrılmaktadır. Yüksek çıkış sinyalleri ana hatlar üzerinde kullanılırlar ve istasyon ve makas bölgesinden sonraki ilk hat kesimini korumak için kullanılırlar.

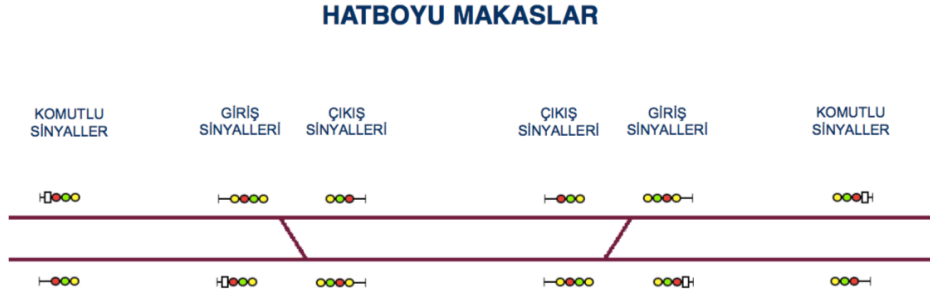
Çıkış sinyalleri 3 veya 4 bildirimli olabilmektedir. Sinyalden sonra sapan yol mevcut ise çıkış sinyali 4 lambalı olur. Bu lamba sırası yukarıdan aşağı doğru sırasıyla; Sarı, Yeşil, Kırmızı, Sarı şeklindedir. Sinyalden sonra sapan yol mevcut değil ise çıkış sinyali 3 lambalı olarak kullanılır ve yukarıdan aşağı doğru sırasıyla; Sarı, Yeşil, Kırmızı şeklindedir. Cüce Çıkış sinyalleri adından da anlaşılacağı üzere sinyal direksiz şekilde kullanılırlar ve istasyonların yan yollarının çıkış noktaları için kullanılırlar. Cüce Çıkış sinyalleri tek tiptir ve sinyal sırası yukarıdan aşağıya doğru kırmızı, yeşil ve sarı renktedir.

Kumanda (ön) Sinyalleri : Trenin giriş sinyaline kadar sevkine izin vermek ve durumu bildirmek için kullanılan sinyallerdir. Koruma sinyalleri yukarıdan aşağıya sırasıyla sarı, yeşil, kırmızı renklerinde 3 lambaya sahiptirler. Aynı anda bir adet lamba yakılabilir.



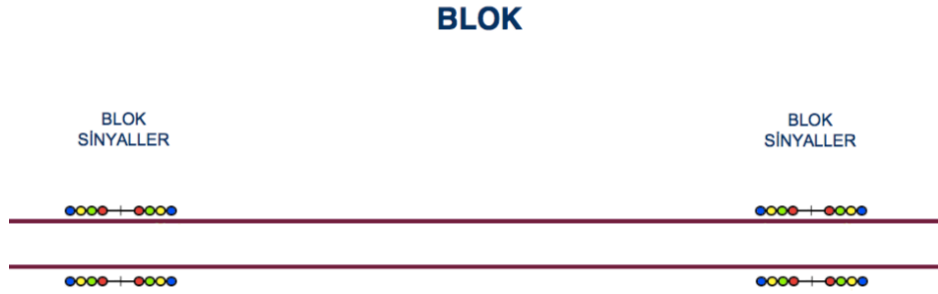
Şekil 2.11: İstasyon İçi Sinyal Yerleşimleri (Thales, 2013)

Giriş, Çıkış ve Ön sinyallerin istasyon içi hat üzerindeki yerleşimleri Şekil 2.11 ile gösterilmiştir. Şekil 2.12 içerisinde ise istasyon dışında bir makas bölgesinde bu sinyallerin konumlandırılma örneği bulunmaktadır.



Şekil 2.12: Hatboyu Makas Sinyal (Thales, 2013)

Blok sinyaller : İki komşu istasyon arasında trenlerin sevki için kullanılmakta olan sinyallerdir. Tek tip olan blok sinyaller yukarıdan aşağıya sırasıyla mavi, sarı, yeşil, kırmızı şeklinde lambalara sahiptirler. Aynı anda 2 lamba yakılabilir. Blok sinyallerin hat üzerindeki yerleşim örneği Şekil 2.13 içerisinde görülebilir.



Şekil 2.13: Blok Sinyal Yerleşimleri (Thales, 2013)

Fiberoptik Sinyaller : Fiberoptik sinyaller sonraki sinyalden geçiş hızını ve sapma yönünün göstermek için kullanılan sinyallerdir. Bağlı olduğu sinyalde sarı lamba dışında bir lamba yanıyor ise bildirim vermez.

Manevra Sinyalleri : Olası manevra ihtiyacında trenlerin manevra yapabilmesi için gerekli bildirim aktaran sinyallerdir.

Tekrar Sinyalleri :Kendisinden önceki ilgili sinyalin durumunu tekrar etmek için kullanılan sinyal türüdür.

SİNYAL TÜRLERİ	SİNYAL BİLDİRİMİ												
	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Giriş	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Yüksek Çıkış	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Cüce Çıkış	●	●	●	●						●	●		
Kumandalı	●	●	●	●			●						
Blok	●	●	●	●								●	●

Şekil 2.14: Sinyal Bildirimleri (Thales, 2013)

Farklı sinyal türlerinde görülebilecek sinyal bildirimleri Şekil 2.14 ile gösterilmiştir ve bu bildirimlerin anlamları Çizelge 2.2 içerisinde anlatılmıştır.

Çizelge 2.2 içerisinde belirtilen sinyal bildirimleri anlamlarının görselleri Şekil 2.15 içerisinde verilmiştir. Buna göre: **(a)** Kırmızı sinyal görünümü, **(b)** Sarı sinyal görünümü, **(c)** Yeşil sinyal görünümü, **(d)** Sarı üzeri sarı sinyal görünümü, **(e)** Sarı üzeri yeşil sinyal görünümü, **(f)** Sarı üzeri kırmızı sinyal görünümü, **(g)** Kırmızı üzeri yeşil sinyal görünümü, olmak üzere 7 farklı görünüm tipi çeşitli sinyaller üzerinde gösterilmiştir.

2.1.2.3 Ray Devreleri

Tren algılama sistemleri demiryolu sinyalizasyonunun temelini oluşturmaktadır. Trenlerin güvenli bir şekilde sevk edilebilmesi trenlerin konumları bilinmeden yapılamaz. Tren algılama işlemi ray devreleri, dingil sayaçları ve pedallar gibi çeşitli ekipmanlar ile yapılabilmektedir. Bu sistemler tek başlarına kullanıldığı gibi birlikte de kullanılabilir. Ray Devreleri demiryolu sinyalizasyonu ve anlaşılan sistemlerine tren hareketlerinin güvenli şekilde aktarılmasından sorumlu sistemlerdir(Hloušek, 2015).Tren algılama sistemleri içerisinde en yaygın kullanıma sahip olan ekipmanlardır (Chen vd., 2008). Kazalardan kaçınmak için kullanılan bu bilgi Şekil 2.16 ile gösterilen belirli bir hat kesimine bir verici aracılığı ile sinyal vermek ve bir veya daha fazla alıcı ile verilen sinyali geri almak suretiyle elde edilir. İlgili kesime tren girmesi durumunda raylarda oluşacak kısa devre nedeniyle alıcı sinyali alamayacak ve hat kesiminde tren olduğu bilgisi elde edilecektir. Ray devreleri

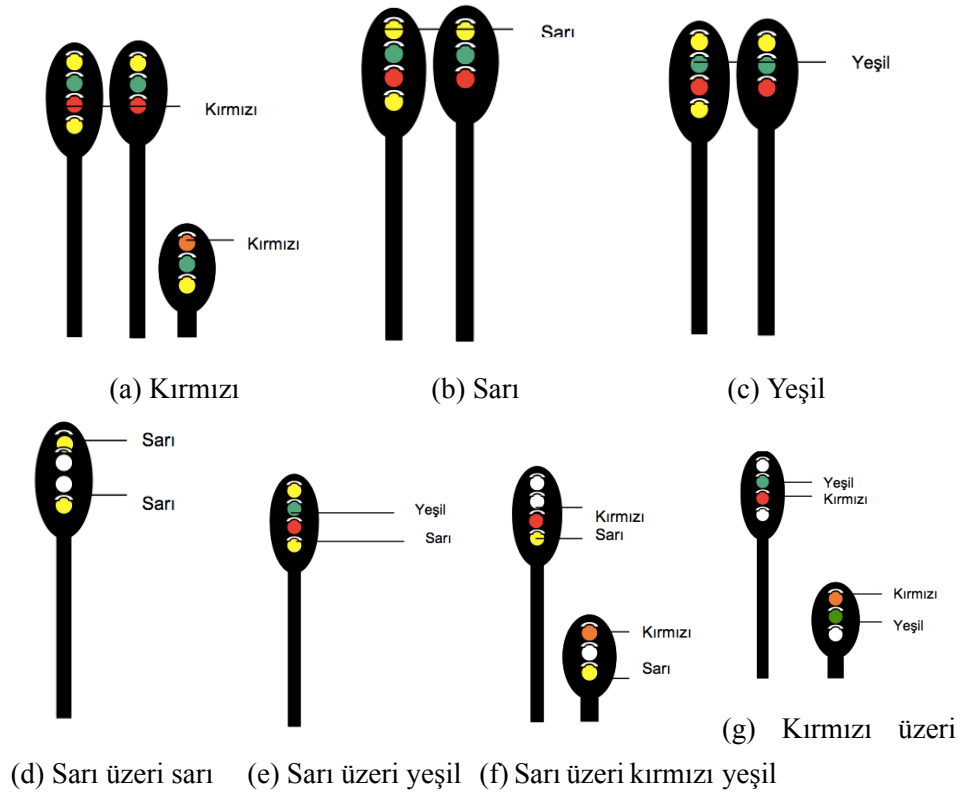
Çizelge 2.2: Sinyal Bildirimleri Anlamları

Bildirim	Anlam
Kırmızı	Sinyallerin varsayılan rengi olan kırmızı herhangi bir taşıta serbest yol bildirimini vermedikleri durumda aktif olan renktir. Kırmızı görünümüne sahip bir sinyal hiçbir tren geçişine izin vermemektedir.
Sarı	Sarı bildirim ilk sinyale kadar giriş izni veren bildirimdir. Girilecek bloğun boş olduğu bilgisini aktarır.
Yeşil	Yeşil bildirim sayesinde trenin normal hızda devam edeceği bilgisi trene aktarılır iken önündeki 2 blokluk mesafenin boş olduğu bilgisi de verilir.
Sarı üzeri Sarı	Makaslara giriş sinyallerinde görülebilen sarı üzeri sarı sinyal, makaslardan saparak izin verilen hızla devam edebileceği bilgisini aktarır. Yine sarı sinyalde olduğu gibi 1 blokluk mesafenin boş olduğu ve ilk sinyalde durması gerektiği bilgisini barındırır.
Sarı üzeri Yeşil	Makaslara giriş sinyallerinde görülebilen sarı üzeri yeşil sinyal, makaslardan saparak izin verilen hızla devam edebileceği bilgisini aktarır. Yine yeşil sinyalde olduğu gibi 2 blokluk mesafenin boş olduğu bilgisini barındırır.
Sarı üzeri Kırmızı	Sarı üzeri kırmızı ışık bildirimini trenin önüne bir engel çıkabileceği her an durabileceği hızda ilerlemesi gerektiğini bildirir. Önündeki bloğun boş olduğunun garantisini vermemektedir.
Kırmızı üzeri Yeşil	Kırmızı üzeri yeşil bildirim, trenlerin istasyon bölgelerinde manevra yapabilmeleri için kullanılan ve kumanda masasından yönetilen bildirim şeklindedir.

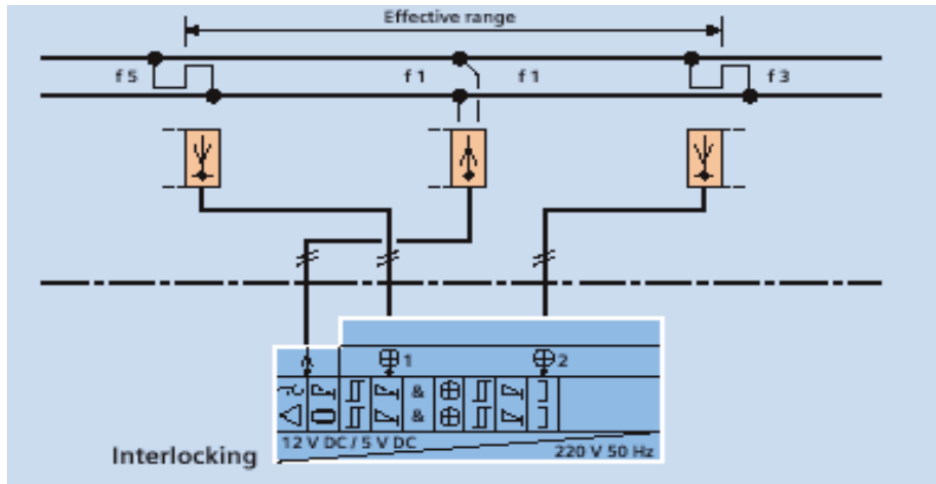
de teknolojiye ve ihtiyaca bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Örnek vermek gerekirse DC ray devreleri, AC ray devreleri, yüksek gerilim darbeleri, Contasız ses frekanslı ray devresi türleri sayılabilir. Contasız ses frekanslı ray devreleri en güncel teknolojidir.

Dingil Sayaçları : Trenlerin dingillerini sayarak yer-yön algılaması yapmakta kullanılan bir sistemdir. Bir sayaca bağlı bir veya daha fazla tekerlek sayacından oluşmaktadır ve ilgili hat kesimine girin tekerlek sayısı ile çıkan tekerlek sayısı eşit olmadığı sürece ilgili kesimde tren var olarak kabul etme prensibi ile çalışır.

Pedallar : Elektronik veya mekanik olarak kullanılan pedallar tekerlek varlığını algılamak ile yükümlüdürler.



Şekil 2.15: Sinyal Görünümleri (TCDD, 2003)



Şekil 2.16: Ray Devresi (Gülener, 2009)

2.1.3 Merkezi Trafik Kontrolü

Merkezi trafik kontrolü (centralized traffic control-CTC) demiryolu sinyalizasyonunun önemli bileşenlerinden biridir. Merkezi trafik kontrolünün çıkış amacı kontrol ve yönetimin tekelleştirilmesi, işletme maliyetinin azaltılması, işletme sırasındaki

trafik yoğunluğunun azaltılması, zamanlama gibi etkenler ile hizmet kalitesinin artırılması olarak sıralanabilir. Merkezi trafik kontrol sistemleri trafik kontrolörlerine kullanımı kolay bir arayüz sunar. Sunulan bu arayüz ile trafik kontrolörleri demiryolu trafiğini yönetmektedir. Trenin hangi rotayı izleyeceği hangi makastan geçeceği kararı merkezi trafik kontrolünde trafik kontrolörleri tarafından tayin edilir (Eriş, 2011). Şekil 2.17’de merkezi trafik kontrolü için bir örnek gösterilmektedir.



Şekil 2.17: Merkezi Trafik Kontrolü (*Evolution of Signalling Control*)

Merkezi trafik kontrol sistemleri çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır bu bileşenler üç kademe olarak sınıflandırılabilir; temel, tamamlayıcı ve gelişmiş bileşenler.

Temel bileşenler : Temel bileşenler, olmadığında merkezi trafik kontrolünün sağlanmadığı bileşenlerdir. Örnek olarak tren izleme ve uzaktan kumanda, scada sistemleri, alarm yönetimi, tren tanıma sistemleri, harici sistem bağlantıları verilebilir.

Tamamlayıcı bileşenler, işletmeye yönelik istatistik bilgileri geçmiş olay incelemeleri yapmaya olanak sağlayan sistemleri içerir. Merkezi trafik kontrolünün dahili alarm sistemleri de bu bileşenlerin içerisinde.

Gelişmiş bileşenler, işletmeye yönelik temel bileşenlere ek olarak kullanım kolaylığı sağlayan ve ekstra güvenlik sağlayan bileşenler olarak söylenebilir. Tarife uygunluk denetimleri otomatik güzergah kullanımı bakım yönetimi gibi bileşenler gelişmiş bileşenler olarak listelenebilir.

2.1.4 Anlaşman Sistemleri

Anlaşmanlar saha ekipmanları olan makaslar, sinyaller, tren algılama sistemleri, geçitler arasında bir bağlılık ilişkisi kurarak yazılım sayesinde gerekli güvenlik önlemini alan ve yine bildirimler ışığında tren işletimini sağlayabilen ekipmanlardır. Diğer bir deyişle anlaşmanlar bağlı olduğu bölgenin hayati elemanıdır (Vu, 2015). Yıllar içerisinde

gelişen teknoloji ile birlikte anlaşıman sistemleri de değişmiştir ve ortaya çeşitli teknolojilere sahip anlaşımanlar çıkmıştır.

Zaman içerisinde kullanılan anlaşıman türlerini Mekanik anlaşımanlar, Elektro Mekanik anlaşımanlar, Röleli anlaşımanlar ve Elektronik anlaşımanlar olarak sıralayabiliriz.

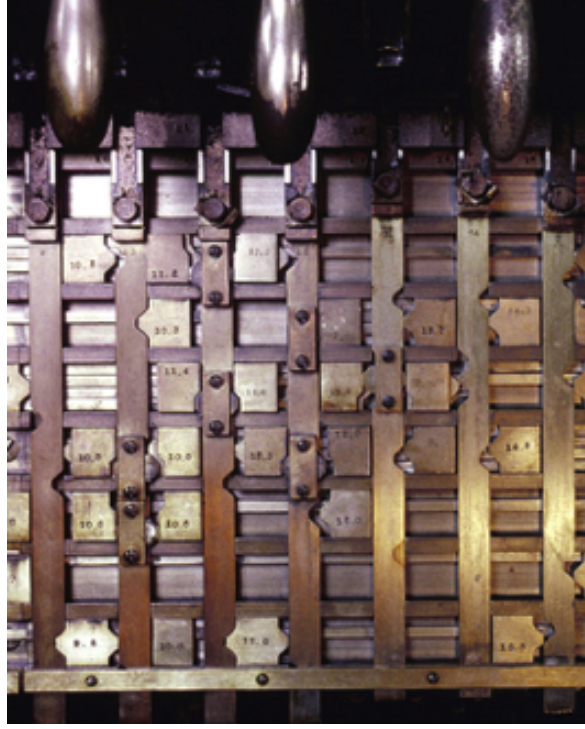
Mekanik anlaşımanlar genel saha ekipmanlarını mekanik olarak takip eden gerekince yine mekanik iletim sayesinde komut verebilen anlaşıman türüdür. Saha ile olan iletim teller aracılığıyla yapılmaktadır. Trafik kontrolörü anlaşıman binası içerisinde hareket ettirdiği bir kol aracılığıyla ilgili komutu sahaya aktarabilmektedir. Şekil 2.18 ile gösterilen mekanik anlaşımanlar oldukça eski bir anlaşıman türü olmasına rağmen, günümüzde hala kullanımına rastlanabilmektedir.



Şekil 2.18: Mekanik Anlaşıman (*Principles of Railway interlocking*)

Elektro-mekanik anlaşımanlar elektrik gücünü kullanmakla beraber mekanik kilitleme yatakları kullanmakta olan anlaşıman türleridir. Bu anlaşıman türünde hatta komut verebilmek için kullanılan manivelalar yerine elektrikle çalışan butonlar bulunmaktadır. Sahaya aktarılmak istenen komut bu butonlar aracılığıyla iletilmek istenirken gerekli denetleme mekanizması şekilde görünen mekanik kilitleme yatağı sayesinde yapılır. Şekil 2.19 ile elektro-mekanik anlaşımanlara bir örnek gösterilmiştir.

Röleli Anlaşımanlar veya röle anlaşımanları isminden de anlaşılacağı üzere rölelerden oluşan anlaşıman tipidir. Bazı durumlar elektrikli anlaşıman da denilebilir. Sahadaki her bir elemana atanmış bir röle bulunmakta ve bu rölelerin açık kapalı konumlarına göre bilgi sağlanmaktadır. Alınan bilgiler aracılığıyla denetim yapılmakta ve



Şekil 2.19: Elektro-mekanik Anlaşman (Lawrence, 2011)

verilen komutun uygunluğu veya uygunsuzluğu anlaşılmaktadır. Bu değerlendirme sonucu ilgili komutun sahaya aktarılması ve reddedilmesi gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.20 ile Röleli anlaşman türüne bir örnek gösterilmiştir



Şekil 2.20: Röleli Anlaşman (*Evolution of Signalling Control*)

Elektronik anlaşmanlar bilgisayar tabanlı anlaşmanlar olarak da bilinmekle beraber modern anlaşman türüdür. Ülkemiz hızlı tren anlaşmanları elektronik anlaşman sistemleri kullanmaktadır. Sahadan gelen ekipman bilgilerini elektronik olarak alıp işlemlerini yazılımsal olarak yapmakta olan anlaşman türü 1980'lerden beri kullanımdadır. Şekil 2.21 ile bilgisayar tabanlı anlaşmalara bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.21: Elektronik Anlaşman (*Computer-based interlocking system MOR-3*)

2.2 Anlaşman Tabloları

Anlaşman tabloları, kısaca, içerisinde rotalar bulunan ve bu rotaların güvenliği için tren hatları üzerindeki sinyaller, makaslar ve ray devreleri gibi ekipmanların durumlarının bir tablo üzerinde gösterilmesi olarak tanımlanabilir. Demiryollarında, trenlerin güvenli bir şekilde hareket edebilmeleri, çarpışma ve raydan çıkma gibi durumları önlemek amacı ile sinyalizasyon ve rota bilgilerini içeren ve bunların eşleştirmesinin yapıldığı tablolardır (Mirabadi, 2008). Anlaşman tablolarında yer alan durumlara göre modellenen ve geliştirilen anlaşman yazılımları anlaşmana bağlı olan sinyal, ray devresi, makas gibi bütün ekipmanları denetler ve işletme adına açılacak rotaların uygunluğuna karar verir. Diğer bir deyişle raylı sistemlerde anlaşman tabloları, tren sinyalizasyonu ve yönetimini sağlamak için gerçekleştirilen adımların ilkidir. Bu nedenle, güvenli ve güvenilir bir sinyalizasyon sistemi geliştirilebilmesi için doğru ve hatasız bir anlaşman tablosu oluşturulması en temel ihtiyaç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Anlaşman tablolarının formatı ve içeriği standartlaşmamış olup, aynı demiryolu idaresi içinde bile değişkenlik gösterebilir. Yine de anlaşman tablo tasarımının genel prensipleri apaçık ortadadır (Tombs vd., 2002). Bu tablo, yol modeline göre tertip edilirken genellikle aşağıdaki bilgileri içerir: Bölgedeki tüm güzergâhlar Güzergâhların tanzimi için ilgili makasların olması gereken konumları Güzergâhların tanzimi için kontrol edilmesi gereken ray devrelerinin durumları Güzergâhların tanzimi için kilitlenmesi gereken sinyaller, güzergâhlar, makaslar Güzergâh tanzimi için gerekli koşullar sağlandığında, TCDD yönetmeliğine göre belirlenmiş şekilde bildirim verecek sinyaller

Anlaşman tablolarının daha iyi anlayabilmek için aşağıdaki tanımların yapılması gerekmektedir:

Çizelge 2.3: Literatürdeki İlgili Çalışmalar.

Çalışma	Otomatik Anlaşman Tablosu	Otomatik Doğrulama (Verifikasyon)
Robinson vd., 2001	✓	✓
Tombs vd., 2002	✓	✓
Mirabadi, 2008	✓	✓
Kanso vd., 2009	✗	✓
Vanit-Anunchai, 2010	✗	✗
Kuzu vd., 2011	✓	✗
Yıldırım vd., 2012	✓	✗
Yıldırım vd., 2015	✓	✗
Bonacchi vd., 2016	✗	✓
Celebi ve Kaymakci, 2016	✗	✓
Cao vd., 2011	✓	✓
Kaymakçı ve Oz, 2017	✗	✓

Rota ard arda sıralanmış ray devrelerini ve bu bölgede bulunan makas ve sinyalleri içeren, trenlerin takip ettiği yollara denir. Bir başlangıç bir de bitiş sinyali bulunur (Cappart vd., 2017; Fokkink vd., 1998).

Çakışan Rotalar, en az bir adet ortak ray bölgesini kullanan rotalara verilen isimdir (Cappart vd., 2017). Çalışmamızda ray devresi bulunmayan ray bölgesi olmadığından çakışan rota tanımını en az bir ortak ray devresi içeren rotalar olarak dikkate alınmıştır.

Literatür incelemesi yapıldığında raylı sistemlerde sinyalizasyon ve yönetim amacı ile geliştirilen yazılımların temel işlem adımları üzerine bir çok farklı çalışmaya rastlanmıştır. Sinyalizasyon sistemleri için otomatik olarak yapılan işlemleri üçe ayırabiliriz. Bunlardan ilki anlaşman tablolarının oluşturulması, ikincisi doğrulamalarının yapılması ve üçüncüsü gerçeklemelerinin yapılmasıdır. Bu çalışmaların bazıları Çizelge 2.3 ile gösterilmektedir.

2.2.1 Anlaşman Tablolarının Oluşturulması

Anlaşman tabloları el ile veya otomatik olarak oluşturulabilir. El ile olarak hazırlanan anlaşman tabloları istasyon bölgesindeki rota sayısı arttıkça çok zaman almakta ve hata ihtimali artmaktadır. Anlaşman tablolarının otomatik olarak hazırlanması konusunda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Queenlands Üniversitesindeki araştırma grupları tarafından gerçekleştirilen yayınlardan ilkinde (Robinson vd., 2001) anlaşman tablolarının

oluşturulması için fonksiyonel gereksinimlerden tasarım özellikleri (design specifications) çıkaran ve güvenlik (safety principles) kurallarına göre doğrulayan bir araç seti geliştirilmiştir. Aynı yazarlar tarafından sunulan diğer çalışmada (Tombs vd., 2002) ise dört kısımdan oluşan bir araç seti sunulmaktadır. Araç setinin iki önemli parçası olan anlaşılan tablosu oluşturma ve doğrulama prensiplerinin formülize edilmesi konusuna daha ayrıntılı yer verilmiştir. Çalışmada dikkat çeken unsurlardan biri, geliştirilen araç ile anlaşılan tablolarının otomatik olarak geliştirilmesinden sonra el ile olarak tabloya ekleme işlemi de eklenmiş olmasıdır. Bunun nedeni, geliştirilen araç ile tabloların %100 olarak tamamlanamaması gösterilmiştir ve el ile müdahale ile iyileştirme yapılması hedeflenmiştir.

Mirabadi, 2008 anlaşılan tablosunun oluşturulması ve doğrulaması için dört alt sistem tasarlamışlardır. Bunlar, sinyalizasyon hat planı (SLP), rota tablosu oluşturulması, kontrol (anlaşılan) tablosu oluşturulması, kontrol tablosu doğrulaması. İlk aşamada, bir grafik arayüzü kullanılarak, hat bölgesinin topografik yapısına göre sinyalizasyon hat planı çıkarılıyor. İkinci aşamada, oluşturulan hat planına göre sinyalden sinyale tüm rota bilgileri çıkarılıyor. Üçüncü aşamada, çıkarılan her rota için gerekli koşullar tespit ediliyor. Sonuncu aşamada ise oluşturulan tablonun sinyalizasyon prensiplerine göre kontrolü gerçekleştiriliyor. Çalışmada, tüm işlem adımlarını içeren genel bir akış diyagramı sunulmuştur ancak rota tablosunun nasıl oluşturulduğuna ayrıntılı yer verilmediği görülmüştür.

Kanso vd., 2009 çalışmada, anlaşılan tablolarının, demiryolu ekipmanları çıkarılırken elde edildiği belirtilmiş ve daha çok bu tabloların verifikasyonu üzerinde yoğunlaşmamışlardır. Merdiven Mantığı (ladder logic) ile yazılmış demiryolu anlaşılan sisteminin sinyalizasyon kuralları için doğrulama stratejisi sunulmuştur. Önerilen çalışma gerçek bir anlaşılan sistemi üzerinde test edilmiş ve verifikasyon kısmının otomatik yapılmasının mümkün olduğu gösterilmiştir. Ancak çalışmada, anlaşılan tablolarının otomatik olarak üretilmemesinden dolayı, çok karmaşık sistemler için bir çözüm önerisi sunmadıkları söylenebilir. Çalışma içerisinde örnek olarak sunulan anlaşılan tablosunda her bir rota için belirtilmesi gereken koruma sinyallerinin verilmediği dikkat çekmektedir.

Vanit-Anunchai, 2010 Renklendirilmiş Petri Ağları (Colored Petri Nets - CPN) kullanarak anlaşılan tablosunun modellenmesini gerçekleştirmişlerdir. Anlaşılan tablosunun otomatik olarak oluşturulmasına yer verilmemiştir ancak modellemede bir girdi olarak kullanılmıştır. Kullanılan anlaşılan tablolarında kapalı olması gereken sinyallerin dikkate alınmadığı görülmüştür.

Kuzu vd., 2011 sundukları çalışmada , otomatik anlaşılan tablosu oluşturulması için topolojik yapı kullanılmıştır. Çalışmada, sinyalizasyon ekipmanlarının birbiri ile

ilişkilerinin yer aldığı listelerde tutulduğunu kabul etmişlerdir. Örneğin bir sinyalden sonra hangi makasın geldiği ve o makastan sonra hangi ekipmanın geldiği gibi. Topolojik yapı, tablonun oluşturulması aşamasında oldukça kolaylık sağlasa da, tablo oluşturulması için gelen ilk bilgiler genellikle ekipmanların sadece yön, hat ve km bilgilerini içermektedir. Bu durumda, topolojik yapının çıkarılması da ek bir işlem olarak değerlendirilebilir.

Cao vd., 2011 XML dosyalarından aldıkları veriler ile çalışma alanına özel dil (Domain specific language- DSL) kullanarak anlaşılan tablolarının otomatik olarak oluşturulması ve doğrulaması yapılmıştır. Anlaşılan tablosu oluşturulacak olan bölgedeki ekipmanların her biri düğüm (node) olarak tanımlanmış ve rotalar bulunurken düğüm dizileri olarak tanımlanmıştır. Oluşturulan anlaşılan tablosunda çakışan rotalara yer verilmiş ancak kapalı olması gereken sinyaller tek tek belirtilmemiştir.

Yıldırım vd., 2012 tarafından sunulan çalışmada, Mathematica programlama ortamında sembolik cebir kullanılarak otomatik anlaşılan tablosu üretici program geliştirilmiştir. Kullandıkları araç, anlaşılan tablosu oluşturulacak olan bölgenin topolojisini görsel olarak çizmek konusunda avantaj sağlamıştır. Program sonucunda elde edilen anlaşılan tablosu incelendiğinde, ilgili rotaların açılması sırasında kapalı olması gereken sinyallerin belirtilmediği görülmüştür. Yazılım firmasına göre değişebilmekle birlikte, kapalı olması gereken sinyal bilgileri de anlaşılan yazılımı oluştururken kullanılmaktadır. Bunun yanında, sinyalizasyon yapılacak olan bölgenin el ile olarak çizilmesi gerekmektedir. Çok karmaşık olan bölgeler için zaman alan bir iş olacağı gibi aynı zamanda hataya açıktır. Aynı yazarların diğer bir çalışmasında (Yıldırım vd., 2015), otomatik oluşturulan anlaşılan tablosuna çakışan rotalar da eklenerek geliştirilmiştir.

Anlaşılan tabloları genellikle el ile olarak oluşturulmakta ve daha sonra doğrulaması yapılmaktadır. Bu tabloların küçük ölçekli demiryolu bölgelerinde manuel olarak oluşturulması nispeten kolay olmakla birlikte, daha karmaşık yapılar için aynı durum söz konusu değildir. Anlaşılan tablosunun el ile oluşturulması için gerekli olan zaman, demiryolu alanındaki ekipmanların ve hatların sayısına göre katlanarak artmaktadır. Çok kompleks yapıdaki alanlar için ise tablonun oluşturulması için gereken zamanın yanında, zorluğu ve hataya açık olması en büyük problemlerdir. Diğer taraftan, bu tabloların, belli kurallar çerçevesinde otomatik olarak çıkartılması hem zaman hem de hata sorununa çözüm sağlamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmamızda anlaşılan tablolarının otomatik olarak oluşturulması için bir algoritma geliştirilmiştir.

Raylı sistemlerde anlaşılan tabloları, tren sinyalizasyonu ve yönetimini sağlamak için gerçekleştirilen adımların ilkidir. Bu nedenle, güvenli ve güvenilir bir sinyalizasyon

sistemi geliştirilebilmesi için doğru ve hatasız bir anlaşıman tablosu oluşturulması en temel ihtiyaç olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.2.2 Anlaşıman Tablolarının Doğrulaması

Anlaşıman tablolarının oluşturulması kadar oluşturulan tabloların doğrulanması da önemlidir. Doğru hazırlanmayan anlaşıman tabloları risk analiz tablolarına göre felaket derecesinde sonuçlar doğurabilmektedir. Literatürde, anlaşıman tablosu doğrulamak için yapılan çalışmalar Çizelge 2.3 ile verilmektedir. Bu çalışmalara değinmek gerekir ise: Mirabadi, 2008 çalışmasında biçimsel dillerden olan Sonlu Durum Makineleri (FSM) ve model kontrolcüsü olarak da NuSMV ortamı kullanarak doğrulama yapmıştır. Doğrulama sinyal prensiplerine göre yapılmış olup FSM trenlerin hareket akışlarını modellemek için kullanılmaktadır. Çakışan rota karşılaştırmaları için NuSMV kullanılmıştır. Celebi ve Kaymakci, 2016 çalışmasında doğrulama için Soyut Durum Makineleri (ASM) ve NuSMV model kontrolcüsü kullanmıştır. Tren hareketleri ASM ile modellenir iken NuSMV kullanarak da çakışan rotaların durumları denetlenmiştir. Kaymakçı ve Oz, 2017 çalışmasında tren hareketlerini simule edebilmek için Zaman Eğri Petri Ağları (TAPN) kullanmıştır. Modelleme aşamasında elde edilen güvenlik gerekliliklerini baz alarak yaptığı doğrulama süreci sonunda doğrulamayı gerçekleştirmiştir. Baz alınan güvenlik gereklilikleri, çakışan rotalar, kilitli makaslar ve ray devrelerinin durumlarını içermektedir. Robinson vd., 2001 ise yaptığı çalışmada büyük ölçekli istasyonlarda fazla ekipman sayısı olacağından durum patlaması olması beklenirken trenlerin hareket kısıtlamalarının olması bu durum patlaması senaryosunun önüne geçtiğinden bahsetmiştir. Doğrulama aşamasında içerisinde demiryollarının da olduğu büyük ölçekli projelerde kullanılabilen NP Prover aracından bahsetmiştir. buna alternatif olarak da model kontrolünde kullanılabilen cebirsel yöntemler olan CCS ve CSP örneklerini vermiştir. Tombs vd., 2002 anlaşıman tablosunu sinyal prensiplerine göre doğrulamak amacıyla kontrol tablosu doğrulayıcısı isminde bir araç kullanmıştır. Bunu başarabilmek için sinyal ekipmanlarının davranışları modellenmiştir. Doğrulama senaryolarında kaza durumları baz alınmıştır trenlerin çarpışabileceği durumlar değerlendirilip doğrulama amacıyla kullanılmıştır. Cao vd., 2011 çalışmasında da yine Mirabadi, 2008 çalışmasında olduğu gibi sonlu durum makinelerine NuSMV model kontrolcüsü kullanılmıştır. FSM tren hareketlerini simule etmede kullanılmış NuSMV ise çakışan rotaların tespitinde kullanılmıştır.

Anlaşıman tablolarının doğrulanması literatürde birçok farklı yöntemle yapılmıştır. Bu tez çalışmasında otomatik olarak oluşturulan anlaşıman tablolarının doğrulanması için model kontrolü yöntemi kullanılacaktır. Model kontrolü yöntemi diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında, olası her durumu ve durumlar arası geçişleri değerlendirme imkanı sunması ile öne çıkmaktadır (Mirabadi, 2008, Cao vd., 2011). Doğrulama işlemi yine

literatürde model kontrolünde sıklıkla kullanılan bir araç olan NuSMV ile gerçekleştirilecektir. NuSMV aracınının kullanımı takip eden bölümde ayrıntılı olarak verilmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde anlaşılan tablolarının otomatik olarak oluşturulmasında ve bu tabloların otomatik olarak doğrulanması için kullanılan yöntemler detaylı olarak açıklanmaktadır. Örnek bir anlaşılan tablosu Şekil 3.1 ile verilmektedir. Anlaşılan tablolarının oluşturulması aşamasında, üzerinde çalışılacak olan bölgede kullanılan ekipmanlar ile ilgili bilgi gerekmektedir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde bölgedeki ekipman bilgilerinin farklı şekillerde elle ön işlemlerden geçirildiği görülmüştür. Bunlar, hattaki ekipmanların topolojik olarak sıralanması ve ekipmanların bir arayüz programında çizilmesi gibi işlemlerdir (Yıldırım vd., 2012; Kuzu vd., 2011). Bu çalışmada ise bölgeden gelen ekipman listesi direkt kullanılacak ve elle bir ön işleme gerek duyulmayacaktır. Bölgeden gelen bilgiler genellikle ekipmanların buldukları hat numarası, hat üzerindeki kilometre bilgisi ve yön bilgisini içermektedir. Demiryolları ekipman listeleri çeşitli şekillerde tutulabilmektedir. Bu çalışma kapsamında liste tutmada kullanım yaygınlığı olan MS excel kullanılmıştır. Kullanılan listelerde Sinyal, Makas, Ray devresi gibi saha ekipmanlarının kilometre, hat, yön bilgileri bulunmaktadır. Geliştirilen uygulama listeleri okuyabilmekte ve ilgili hücrelerden bilgileri çekebilmektedir.

ROTA #	ROTALAR	TUM MAKASLAR	ARTI MAKASLAR	EKSI MAKASLAR	KAPALI SINYALLER	RAY_DEVRELERI
R1	SN1 -- SN6 (S--K)	SW3, SW5	SW3, SW5		SN3, SN5	TC2, TC10
R2	SN2 -- SN8 (S--K)	SW1, SW2	SW1, SW2		SN7, SN9, SN11	TC1, TC11
R3	SN13 -- SN3 (S--K)	SW6	SW6		SN4	TC3, TC9
R4	SN14 -- SN5 (S--K)	SW7, SW9	SW7, SW9		SN6	TC4, TC10

Şekil 3.1: Örnek Anlaşılan Tablosu

Listelerden alınan verileri kullanarak anlaşılan tablosunu oluşturabilmek için üretilen algoritmaların tümü Python dili kullanılarak geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılımın çıktısı olarak yine girişte olduğu gibi excel tabanlı listeleme seçilmiştir.

Bu çalışmada anlaşılan tablolarının oluşturulması için TCDD trafik dairesi tarafından hazırlanan “Trenlerin Hazırlanması ve Trafiğine Ait Yönetmelik” içerisindeki trafik ile ilgili kurallar referan alınmıştır. Kuralların anlaşılan tablosu oluşturma aşamasında kullanılacak kısmı Çizelge 3.2 ile verilmektedir.

Oluşturulan anlaşılan tablolarının doğrulanması literatürdeki benzer çalışmalardan yola çıkarak model denetleme yöntemi ile NuSMV aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.1: Sinyal Kuralları

Sinyal	Durum
SARI-SARI	Makaslardan saparak izin verilen hızla ve ilk sinyal önünde durabilecek şekilde ileride girilecek blok boştur
SARI	İlk sinyal önünde duracak şekilde ilerle, girilecek blok boştur
KIRMIZI	Giriş ve çıkış sinyalleri, herhangi bir tren veya araca serbest yol bildirisi için düzenlenmedikleri durumlarda, kırmızı bildiri verecek şekilde veya kapalı bulundurulur

Çizelge 3.2: Sinyal Kuralları

Sinyal	Durum
SARI-SARI	Makaslardan saparak izin verilen hızla ve ilk sinyal önünde durabilecek şekilde ileride girilecek blok boştur
SARI	İlk sinyal önünde duracak şekilde ilerle, girilecek blok boştur
KIRMIZI	Giriş ve çıkış sinyalleri, herhangi bir tren veya araca serbest yol bildirisi için düzenlenmedikleri durumlarda, kırmızı bildiri verecek şekilde veya kapalı bulundurulur

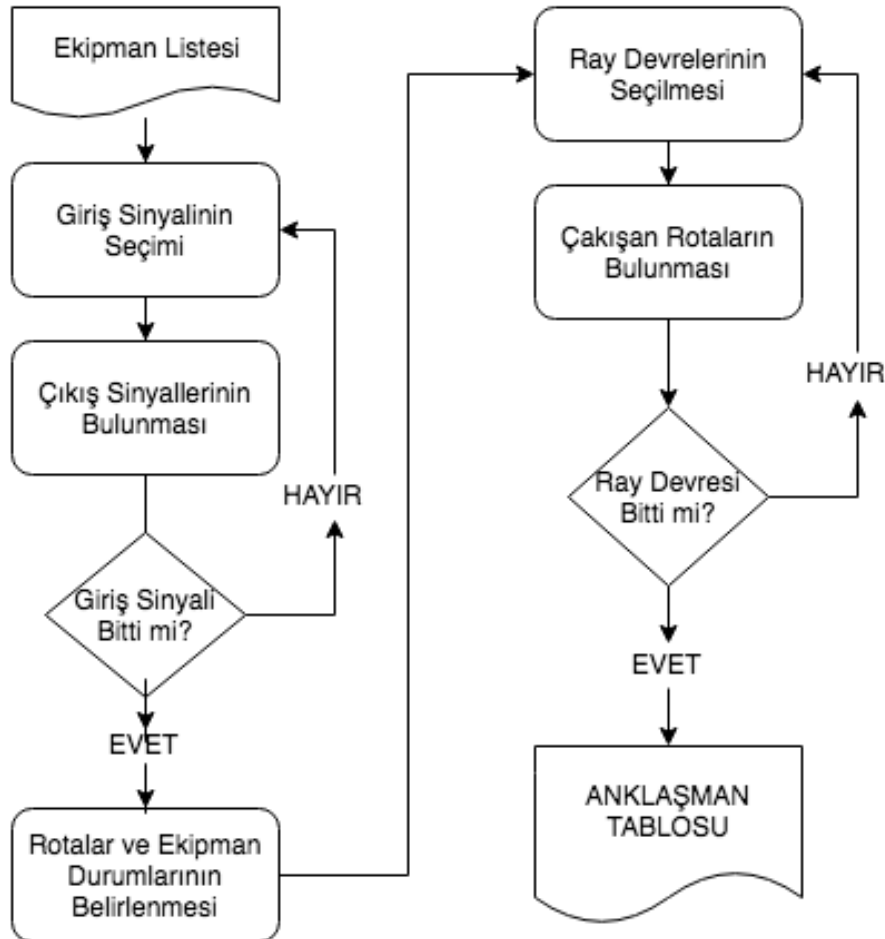
NuSMV kullanılması ile doğrulamanın daha anlaşılır ve farklı istasyon konfigürasyonlarında da uyarlanarak tekrar uygulanabilir olması hedeflenmiştir.

3.1 Anlaşman Tablolarının Oluşturulması

Anlaşman tablolarını oluşturmak için rota tabanlı, yaklaşma tabanlı ve yanıl koruma yaklaşımları olmak üzere üç yöntem kullanılmaktadır. **Rota tabanlı yaklaşım** ile trenlerin çarpışmalarını ve deraymanlarını önleyebilmek için makas konumları, sinyaller ve ray devreleri durumlarını kontrol edilerek işletilebilecek rotaların belirlenmesi yapılır (Haxthausen, 2014; Fokkink vd., 1998). **Yaklaşma tabanlı yaklaşım** da ise açılmış rotanın giriş sinyalinin önündeki ray devresin meşgul olması durumunda rotanın iptali engellenir ve

trenin ani hareketinden uzak durulur (Vanit-Anunchai, 2014). **Yanal koruma yaklaşımında** ise açılabilen rotaların üzerine yan yoldan bağlanan bir makas ile başka bir demiryolu taşıtı göndermeme prensibine dayanır (Khan, 2016; Petersen, 1998).

Oluşturulmak istenen anklâşman tablosunda olması gereken bilgiler Giriş sinyali, Çıkış sinyali, varsa Makas, Ray devresi ve koruma sinyalleri olarak sıralanır. Rota yazdırılmasında kullanılan çıkış sinyali her zaman kırmızı olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle giriş sinyalinin görünümünü değiştiren kriter makas konumu olmuştur. Giriş sinyalinin makasın konumuna göre belirlenen görünümü için şu iki kural geçerlidir: 1) Eğer rotanın giriş sinyali ile çıkış sinyali birbirlerinden farklı hatlar üzerinde ise giriş sinyali sarı üzeri sarı olarak tayin edilir. 2) Giriş sinyali çıkış sinyali ile aynı hat üzerinde ise giriş sinyali sarı olarak tayin edilir. Bu görünümler Çizelge 2.2 ile detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 3.2: Anklâşman Tablosu Oluşturma Akış Diyagramı

Anklaşman tablosu oluşturmada temel alınan kabul ve kriterleri maddeler halinde sıralamak gerekir ise:

- i Rotaların çıkış sinyalleri her zaman kırmızı olarak kabul edilmektedir. Buna bağlı olarak giriş sinyalleri duruma göre sarı veya sarı üzeri sarı olabilmektedir.
- ii Anklaşman tablosu oluşturulması istasyon bölgeleri için tasarlanmaktadır.
- iii Rotalar oluşturulurken bloklar ve blok sinyaller dikkate alınmaktadır.
- iv Kullanılan örneklerde hemzemin geçit veya derayman pabucu olmadığı varsayılmaktadır.
- v Oluşturulması planlanan anklaşman tabloları mevcut hızlı tren projelerinde kullanılan şablonlar dikkate alınarak hazırlanmaktadır.

Anklaşman tablolarının oluşturulmasında kullanılan yöntemlerden rota tabanlı ve yanal koruma yaklaşımları dikkate alınmış ve oluşturulan algoritma bu yaklaşımları uygulayacak şekilde tasarlanmıştır. Yaklaşma tabanlı yaklaşım durumu projeden projeye değişmesi nedeniyle dikkate alınmamıştır. Anklaşman tablosunun oluşturulması için izlenecek olan adımlar Şekil 3.2'deki akış diyagramı ile verilmektedir.

Anklaşman tablosunun her bir satırı bir rota için yazılacağından, öncelikle tüm rotalar belirlenebilmelidir. Tüm rotaların bulunması için geliştirilen algoritmanın sözde kodu Algoritma 1 ile verilmektedir. Rotaları bulmak için ekipman listesindeki sinyaller sırası ile giriş sinyali olarak kabul edilir ve mevcut giriş sinyalinin başlangıç noktası olduğu tüm rotaların bulunması işlemi gerçekleştirilir. Tüm rotaların bulunma işleminden sonra bu rotaları korumak için kapalı olması gereken sinyaller bulunur.

Şekil 3.2 ile verilen akış diyagramında tüm rotalar bulunduktan sonra çakışan rotaların da bulunması gerekir. Çakışan rotalar hem anklaşman tablosunun doğruluğunu test ederken, hem de ileride anklaşman yazılımında kullanmak için elde edilmesi gereken bir veridir. İki rotanın çakıştığını söyleyebilmek için ortak ray devrelerini tespit etmek gereklidir. Bulunan tüm rotalar içerisinde çakışan rotaların bulunması için kullanılan algoritmanın sözde kodu Algoritma 2 ile verilmektedir.

Anklaşman tablolarının temeli olan tüm rotaların bulunması ve çakışan rotaların bulunması işlemleri için gerekli olan yazılım Python dilini kullanılarak kodlanmıştır. Yazılımın arayüzü için ise Python'ın grafik arayüz paketi (GUI) olan Tkinter kullanılarak geliştirilmiştir.

Algorithm 1 Tüm Rotaları Bul

```

1: Girdi = Ekipman Listesi                                ▷ Sinyaller(S), Makaslar(M), Ray devreleri(R)
2: Çıktı = Rotalar
3: procedure Rotabul(S, M)
4:   Sırala(S,M,R)                                       ▷ konuma göre(km)
5:   ns = uzunluk(S)
6:   nm = uzunluk(M)
7:   nr = uzunluk(R)
8:   tümrotalar = [ ]
9:   sinyal sayacını sıfırla
10:  while sinyal sayacı = ns do
11:    Mevcut sinyal = sonraki sinyal
12:    çıkış sinyal listesi = [ ]                          ▷ her başlangıç sinyali için sıfırlanacak
13:    ara makas listesi = [ ]                            ▷ her başlangıç sinyali için sıfırlanacak
14:    for i = 1 to ns do
15:      çıkış sinyal listesi = aynı “yön” ve aynı “hat” en yakın sinyal ekle
16:    end for                                           ▷ aynı hat ve yonde sadece 1 tane en yakın olabilir
17:    if çıkış sinyal listesi boş değil then
18:      for j = 1 to nr do
19:        ara makas listesi = mevcutsinyal ve çıkış sinyal listesi(1) arasında makas
        varsa ekle
20:        ray devresi listesi = mevcutsinyal ve çıkış sinyal listesi(1) arasında ray
        devresi varsa ekle
21:      end for
22:    end if
23:    if ara makas listesi boş değil then
24:      for z = 1 to uzunluk(ara makas listesi) do
25:        for i = 1 to ns do
26:          çıkış sinyal listesi = en yakın sinyali ekle S(i)
27:        end for
28:      end for
29:    end if
30:    tüm rotalar = çıkış sinyal listesini ekle
31:  end while
32:  return Tüm rotalar                                  ▷ Tüm rotalar
33: end procedure

```

Algorithm 2 Çakışan Rotaları Bul

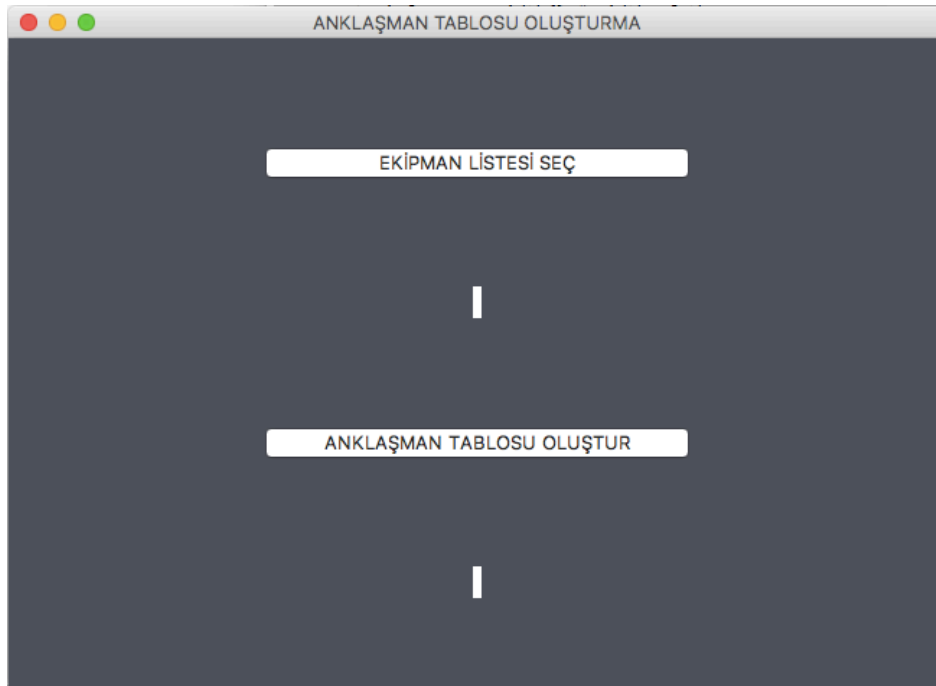
```

1: Girdi = Rotalar
2: Çıktı = Çakışan Rotalar
3: TC = Her rota için ray devresi listesi
4: procedure Çakışan Rotabul( $R, TC$ )
5:   nr = uzunluk(R)
6:   tüm çakışan rotalar = [ ]
7:   Sayaç sıfırla
8:   while rota sayacı = nr do
9:     mevcut rota = sonraki rota
10:    çakışan rota listesi = [ ] ▷ her rota için sıfırlanacak
11:    for i = 0 to nr do
12:      for x in TC[çakışan rota] do
13:        if x in TC[i] then ▷ Ortak ray devreleri olan rotaların tespit edilmesi
14:          çakışan rota listesi = ekle R[i]
15:        end if
16:      end for
17:    end for
18:    tüm çakışan rotalar = ekle çakışan rota listesi
19:  end while
20:  return tüm çakışan rotalar ▷ Tüm rotalar için çakışan rotaların listesi
21: end procedure

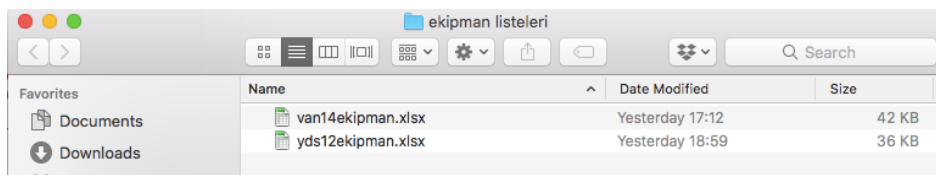
```

Anklaşman tablolarının oluşturma aşamasını kullanıcı dostu bir hale getirebilmek için Şekil 3.3 ile verilen arayüz kullanılmaktadır. Butonlardan ilki olan “Ekipman Listesi Seç” tıklandığında dosya yöneticisi açılmaktadır. Dosya yöneticisi açıldıktan sonra Şekil 3.4 içerisinde gösterildiği üzere ekipman listeleri seçilebilmektedir. Ekipman listesi seçildikten sonra seçilen ekipman listesi “Ekipman Listesi Seç” butonu altındaki boşlukta Şekil 3.5 ile görülmektedir.

Anklaşman tablosu oluşturulacak olan ekipman listesinin seçimi yapıldıktan sonra arayüzdeki ikinci buton olan “Anklaşman Tablosunu Oluştur” butonu ile anklaşman tablosu oluşturulmaktadır. Bu buton tıklandıktan bir süre sonra Şekil 3.6 ile verilen açılır bir pencere ile anklaşman tablosunun oluşturulduğu ve yazdırıldığı bilgisi kullanıcıya bildirilir.



Şekil 3.3: Tablo Oluşturma Arayüzü



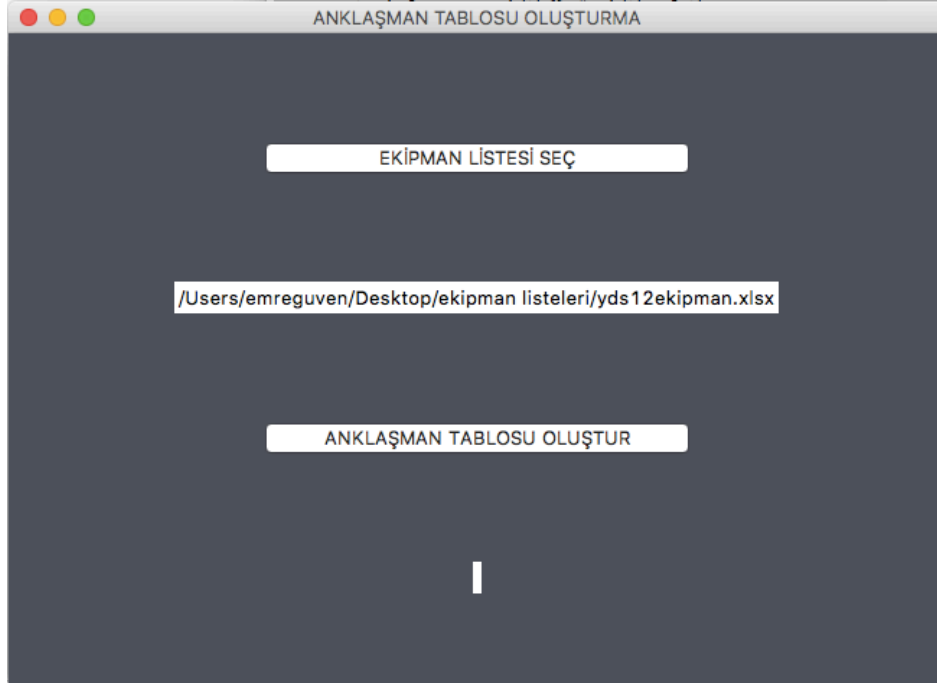
Şekil 3.4: Dosya Yöneticisi Üzerinde Dosya Seçimi

3.2 Anlaşman Tablolarının Doğrulanması

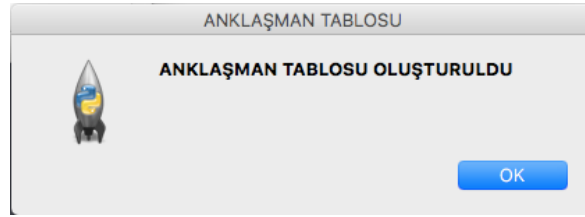
Bir sistemin doğrulanması, geliştirilen sistemin davranması istendiği şekilde davranıp davranmadığının kontrol edilmesi işlemidir. Sistem güvenilirliği donanım ve yazılımın “doğru” işleyişine bağlıdır.

Anlaşman tablolarının doğrulanması için literatürde birçok yöntem kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan doğrulama teknikleri test ve simülasyondur. Bununla birlikte, karmaşık, asenkron sistemler söz konusu olduğunda, bu teknikler olası davranışların sadece sınırlı bir bölümünü kapsayabilir. Tamamlayıcı bir doğrulama tekniği, zamansal mantık model kontrolüdür (Cimatti vd., 2000).

Model denetleme, bir sistem dizayn modelinin özelliklerine uygunluğunu sağlamak için otomatik bir doğrulama tekniğidir. Bu anlaşman tablolarının doğrulanması için de



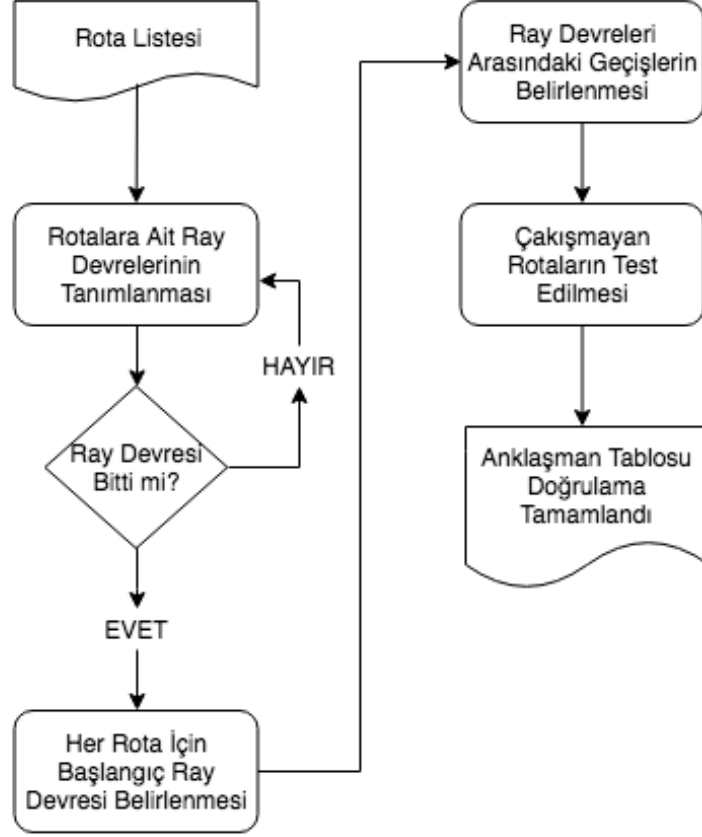
Şekil 3.5: Arayüz İçerisinde Seçili Dosya



Şekil 3.6: Arayüz Açılır Pencere

literatürde birçok kez kullanılmış bir yöntemdir. Olası bütün durumlar ve bu durumlar arasındaki geçişleri kontrol ederek sistemin gerçekten istendiği şekilde çalışıp çalışmadığını doğru bir şekilde sunar. Sistemdeki karşı durumlar da incelenerek hata ayıklama yapılması sağlanır. Bu yöntem, web tasarımı doğrulaması, hata tespiti ve web akışını kontrol etme gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır, Son yıllarda ise anklâşman tabloları gibi güvenlik açısından kritik olan uygulamalarda model kontrolü/denetleme gibi biçimsel doğrulama tekniklerinin kullanılmasında bir artış olduğu görünmektedir. Hava trafiği kontrolü, uçak ayırma güvencesi, otopilot, CPU tasarımları, yaşam destek sistemleri, tıbbi ekipman (radyasyon uygulayan cihazlar gibi) ve insan güvenliğini sağlayan diğer birçok sistem gibi sistemleri doğrulamak için biçimsel doğrulama başarıyla kullanılmıştır.

Bu çalışmada model denetleme aracı olarak NuSMV kullanılmıştır. NuSMV sembolik model denetleyicisinin problemimizin çözümündeki kullanımındaki akış Şekil 3.7 ile verilmektedir.



Şekil 3.7: NuSMV Kullanımı Akış Diyagramı

NuSMV kullanımı iki şekilde yapılabilir bunlardan ilki oluşturulan dosyayı sistemden çağırıp üzerinde istenilen test adımları uygulamaktır. Diğer seçenek ise test edilmek istenen durumlar oluşturulan dosya içerisine eklemek ve tek satır ile dosya çağırılarak tüm testi tek adımda yapmaktır. İlk yöntem ile çalışmak için öncelikle bilinmesi gereken bazı NuSMV kodları Çizelge 3.3 ile verilmektedir.

Anklaşman tablosu doğrulamasının NuSMV üzerinde gerçekleşmesini göstermek için Şekil 3.8 ile ray devreleri, başlangıç pozisyonları ve geçiş durumları verilen toplamda üç adet rotası olan bir örnek oluşturulmuştur. Bu örnekte Rota1 ve Rota2 çakışan rotalar olarak belirlenmiştir. Rota3 ise diğer iki rota ile çakışmamaktadır. Rota1 içerisinde RD1 ve RD2 ray devreleri, Rota2 içerisinde RD2 ve RD3 ray devreleri, Rota3 içerisinde ile RD4 ve

Çizelge 3.3: NuSMV Kodları

Kod	İşlev
read_model -i ORNEK.smv	Oluşturulan dosyayı okur. ORNEK.smv dosyasını okumak için yazılır
flatten_hierarchy	Hiyerarşik yapıyı düzleştirilmiş bir yapıya çevirir. Model içerisindeki örneklemeler için gerekli olan kod satırıdır
encode_variables	Örneği kodlamak için BDD(binary decision diagram) değişkenlerini oluşturur
build_model	Düzleştirilmiş hiyerarşiyi BDD'ye göre derler(başlangıç durumları, geçişler). ilişkisi)

RD5 ray devreleri bulunduğu kabul edilmektedir. Bu durumda Rota1 ve Rota2 rotaları içerisinde RD2 ray devresini ortak barındırdığından dolayı çakışan rota olarak tespit edilmiş olur.

```

MODULE main
VAR
    Rota1 : {RD1,RD2};
    Rota2 : {RD2,RD3};
    Rota3 : {RD4,RD5,RD6};

ASSIGN

    init(Rota1) := RD1;
    init(Rota2) := RD2;
    init(Rota3) := RD4;

    next(Rota1) := case
        Rota1 = RD1 : RD2;
        Rota1 = RD2 : RD1;
        Rota2 = RD2 : RD3;
        Rota2 = RD3 : RD2;
        Rota3 = RD4 : RD5;
        Rota3 = RD5 : RD6;
        Rota3 = RD6 : RD4;
    esac;

```

Şekil 3.8: NuSMV Kodlama Örneği

Üç rotalı anlaşılan tablomuzun doğruluğunu göstermek için tanımlamaları .smv uzantılı dosya içerisinde yapıldıktan sonra öncelikle dosya sisteme (terminal) tanıtılır.

Tanımlama işlemi bittikten sonra Anlaşman tablosunun doğruluğunu göstermek için çakışma durumlarına bakılır. Çakışma durumları temel olarak bütün olasılıkları deneyen NuSMV'nin aynı anda aynı ray devresine gelen rotaları bulmasıyla sağlanır.

```
[NuSMV > print_reachable_states -v
#####
system diameter: 3
reachable states: 8 (2^3) out of 8 (2^3)
----- State      1 -----
Rota1 = RD2
Rota2 = RD3
Rota3 = RD5
----- State      2 -----
Rota1 = RD2
Rota2 = RD2
Rota3 = RD5
----- State      3 -----
Rota1 = RD2
Rota2 = RD3
Rota3 = RD4
----- State      4 -----
Rota1 = RD2
Rota2 = RD2
Rota3 = RD4
----- State      5 -----
Rota1 = RD1
Rota2 = RD3
Rota3 = RD5
----- State      6 -----
Rota1 = RD1
Rota2 = RD2
Rota3 = RD5
----- State      7 -----
Rota1 = RD1
Rota2 = RD3
Rota3 = RD4
----- State      8 -----
Rota1 = RD1
Rota2 = RD2
Rota3 = RD4
-----
#####
```

Şekil 3.9: Erişilebilir Durumlar

Örneğimiz 3 rotalı ve her rota içerisinde 2 ray devresi bulunmasından dolayı karşımıza çıkabilecek durum sayısı 2^3 yani 8 adettir. Bütün durumları görebilmek için yazdığımız “**print_reachable_states -v**” komutu sayesinde Şekil 3.9 ile erişilebilir

durumlar gözlemlenebilir. Rota sayısı ve ray devresi sayısı arttıkça toplam durum üstsel olarak artacağından görüntülemek mümkün olmayacaktır.

Durum sayısının azlığından ötürü Şekil 3.9 içerisinde rotaların çakışıp çakışmadığı incelenebilir ancak durum sayısı arttığında bunu kontrol etmek hem zaman kaybı hem de hata riski oluşturacaktır. Bu nedenle rotaların çakışma durumlarını anlamak için **check_ctlspec -p "AG !(Rota1 =Rota2)"** kodunu kullanabiliriz. Bu satır sayesinde NuSMV aracı bize Rota1 ve Rota2 nin çakışıp çakışmadığı bilgisini verecektir. Şekil 3.10 içinde de görüldüğü üzere durum 2.2 aşamasında Rota1 ve Rota2 RD2 raydevresi üzerinde çakışmış ve "FALSE" değeri dönmüştür.

```
NuSMV > check_ctlspec -p "AG !(Rota1=Rota2)"
-- specification AG !(Rota1 = Rota2) is false
-- as demonstrated by the following execution sequence
Trace Description: CTL Counterexample
Trace Type: Counterexample
-> State: 2.1 <-
  Rota1 = RD1
  Rota2 = RD2
  Rota3 = RD4
-> State: 2.2 <-
  Rota1 = RD2
NuSMV > █
```

Şekil 3.10: Rota1 ile Rota2'nin çakışma durumu

Örnekte bahsi geçen anlaşılan tablosunun doğruluğunu göstermek için yapılması gereken ise çakışmayan rotalar olarak belirlenen Rota1-Rota3 ve Rota2-Rota3 rotalarının çakışmadığını göstermektir. Bu sebeple yazılıma girilmesi gereken satırlar sırasıyla **check_ctlspec -p "AG !(Rota1 =Rota3)"** ve **check_ctlspec -p "AG !(Rota2 =Rota3)"** 'dir. Alternatif olarak **check_ctlspec -p "AG !(Rota1 =Rota3|Rota2 =Rota3)"** şeklinde tek satırlık bir kod olarak da kullanılabilir. Tek satırlık kodu girdiğimizde çakışma olmadığı durumda "TRUE" Değeri dönmesi beklenir. Bu durumu Şekil 3.11 içerisinde gözlemlemek mümkündür.

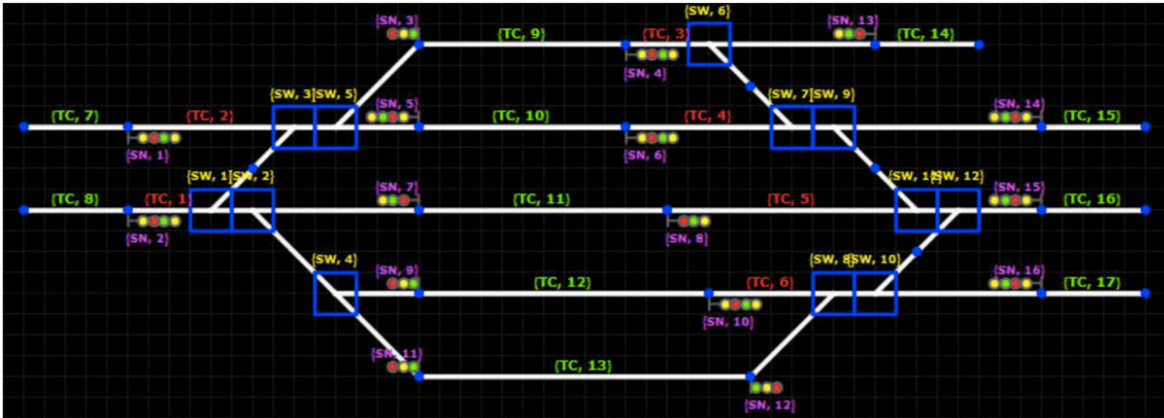
```
NuSMV > check_ctlspec -p "AG !(Rota1=Rota3 | Rota2=Rota3)
ignoring unbalanced quote ...
-- specification AG !(Rota1 = Rota3 | Rota2 = Rota3) is true
NuSMV > █
```

Şekil 3.11: Rota3 Çakışmama Durumu

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Oluşturulan algoritmayı test etmek için literatürde daha önce kullanılan iki adet hat planı örnek olarak kullanılmıştır (Yıldırım vd., 2012; Vanit-Anunchai, 2014). Kullanılan ilk hat planı Şekil 4.1 ile verilmektedir. İkinci hat planı ise Şekil 4.11 ile verilmiştir. Örnek hat planları üzerinden bölgelerin ekipman listeleri çıkarılmıştır. Girdileri bu listeler olan yazılımımız çalıştırıldığında oluşturduğumuz algoritma ile anlaşılan tablosunun otomatik oluşturulması sağlanmıştır.

4.1 Örnek Hat Planı 1 İçin Test



Şekil 4.1: Örnek Hat Planı 1 (Yıldırım vd., 2012)

Hat planı örneklerinden ilki olan örneğimiz Yıldırım vd., 2012 çalışmasında kullanılmıştır. Bu hat planı için oluşturulan ekipman listesi üç kısım halinde Şekil 4.2 ile verilmektedir. Sinyal listesi, makas listesi ve ray devresi listesi oluşturulacak tablo için yeterli girdilerdir. Her bir liste içerisinde ilgili ekipmanın hattı, konumu, yönü gibi bilgiler verilmektedir. Ray devrelerinin bağıllık ilişkisini belirlemek için ise ray devrelerine bağlı sinyaller bulunmaktadır. Python yazılım dili kullanılarak kodlanan algoritmanın bu örnek için çıktısı olan anlaşılan tablosu Şekil 4.3 ile verilmektedir.

İlgili ekipman listesini okutup anlaşılan tablosunu oluşturması beklediğimiz yazılım sonuç olarak Şekil 4.3 çıktısını bize sunmaktadır. Sunulan bu çıktı içerisinde rotaların giriş-çıkış sinyalleri, ilgili sinyal bildirimleri, makas konumları, ray devresi durumları belirtilmektedir.

	A	B	C	D
1	Sinyal	Yön	Km	Hat
2	SN1	D	5.00	2
3	SN2	D	5.00	3
4	SN3	B	19.00	1
5	SN4	D	29.00	1
6	SN5	B	19.00	2
7	SN6	D	29.00	2
8	SN7	B	19.00	3
9	SN8	D	31.00	3
10	SN9	B	19.00	4
11	SN10	D	33.00	4
12	SN11	B	19.00	5
13	SN12	D	35.00	5
14	SN13	B	41.00	1
15	SN14	B	49.00	2
16	SN15	B	49.00	3
17	SN16	B	49.00	4

(a) Sinyal

	A	B	C	D	E	F	G
1	Makas	Yön	Km	Hat	MakasB	KMB	HatB
2	SW1	D	9,00	3	SW3	13,00	2
3	SW2	D	11,00	3	SW4	15,00	4
4	SW3	B	13,00	2	SW1	9,00	3
5	SW4	D	15,00	4	SW4	15,00	5
6	SW5	D	15,00	2	SW5	15,00	1
7	SW6	D	33,00	1	SW7	37,00	2
8	SW7	B	37,00	2	SW6	33,00	1
9	SW8	B	39,00	4	SW8	39,00	5
10	SW9	D	39,00	2	SW11	43,00	3
11	SW10	D	41,00	4	SW12	45,00	3
12	SW11	B	43,00	3	SW9	39,00	2
13	SW12	B	45,00	3	SW10	41,00	4

(b) Makas

	A	B	C	D
1	Ray devresi	Km	Hat	Bağlı Sinyaller
2	TC1	9,00	3	SN7, SN9, SN11, SN2
3	TC2	13,00	2	SN3, SN5, SN1
4	TC3	33,00	1	SN13, SN4
5	TC4	37,00	2	SN14, SN6
6	TC5	43,00	3	SN15, SN8
7	TC6	39,00	4	SN16, SN10, SN12
8	TC7	2,00	2	
9	TC8	2,00	3	
10	TC9	25,00	1	
11	TC10	25,00	2	
12	TC11	25,00	3	
13	TC12	25,00	4	
14	TC13	25,00	5	
15	TC14	43,00	1	
16	TC15	52,00	2	
17	TC16	52,00	3	
18	TC17	52,00	4	

(c) Ray Devresi

Şekil 4.2: Örnek ekipman bilgileri

ROTA #	ROTALAR	TUM MAKASLAR	ARTI MAKASLAR	EKSI MAKASLAR	KAPALI SINYALLER	RAY DEVRELERI
R1	SN1 -- SN6 (S--K)	SW3, SW5	SW3, SW5		SN3, SN5	TC2, TC10
R2	SN2 -- SN8 (S--K)	SW1, SW2	SW1, SW2		SN7, SN9, SN11	TC1, TC11
R3	SN13 -- SN3 (S--K)	SW6	SW6		SN4	TC3, TC9
R4	SN14 -- SN5 (S--K)	SW7, SW9	SW7, SW9		SN6	TC4, TC10
R5	SN15 -- SN7 (S--K)	SW11, SW12	SW11, SW12		SN8	TC5, TC11
R6	SN16 -- SN9 (S--K)	SW8, SW10	SW8, SW10		SN10, SN12	TC6, TC12
R7	SN1 -- SN4 (SS--K)	SW3, SW5	SW3	SW5	SN3, SN5, SN13	TC2, TC9
R8	SN2 -- SN6 (SS--K)	SW3, SW5, SW1, SW2	SW5, SW2	SW1, SW3	SN3, SN5, SN1, SN7, SN9, SN11	TC2, TC1, TC10
R9	SN2 -- SN10 (SS--K)	SW1, SW2, SW4	SW1	SW2, SW4	SN7, SN9, SN11	TC1, TC12
R10	SN14 -- SN3 (SS--K)	SW6, SW7, SW9	SW9	SW7, SW6	SN13, SN4, SN6	TC3, TC4, TC9
R11	SN15 -- SN5 (SS--K)	SW7, SW9, SW11, SW12	SW7, SW12	SW11, SW9	SN14, SN6, SN8	TC4, TC5, TC10
R12	SN15 -- SN9 (SS--K)	SW11, SW12, SW8, SW10	SW11, SW8	SW12, SW10	SN8, SN16, SN10, SN12	TC5, TC6, TC12
R13	SN16 -- SN11 (SS--K)	SW8, SW10	SW10	SW8	SN10, SN12	TC6, TC13
R14	SN2 -- SN4 (SS--K)	SW3, SW5, SW1, SW2	SW2	SW5, SW1, SW3	SN3, SN5, SN1, SN13, SN7, SN9, SN11	TC2, TC1, TC9
R15	SN2 -- SN12 (SS--K)	SW1, SW2, SW4	SW1	SW2, SW4	SN7, SN9, SN11	TC1, TC13
R16	SN15 -- SN3 (SS--K)	SW6, SW7, SW9, SW11, SW12	SW12	SW7, SW6, SW11, SW9	SN13, SN4, SN14, SN6, SN8	TC3, TC4, TC5, TC9
R17	SN15 -- SN11 (SS--K)	SW11, SW12, SW8, SW10	SW11	SW12, SW10, SW8	SN8, SN16, SN10, SN12	TC5, TC6, TC13

Şekil 4.3: Oluşturulan Anlaşman Tablosu

Anlaşman tablolarının oluşturulmasında en önemli kriter doğruluktur. Bu durumda da oluşturulan anlaşman tablosunun doğrulanması gerekir. Anlaşman tablolarının doğrulamasını yapabilmek için çakışan rotaların bulunması gerekir. Çakışan rotaları bulmak için çalıştırılan fonksiyon sonucunda aynı ray bölgesini kullanan rotalar Şekil 4.4 üzerinde olduğu üzere çakışan rotalar olarak tespit edilmiştir.

Yıldırım vd., 2012 çalışması için yapılan doğrulama çalışmasında öncelikle rotaların tanımlanması NuSMV aracında kullanılacak olan .smv uzantılı dosya içerisinde yapılmıştır. Tanımlama şeklini 4.5 içerisinde görmek mümkündür. NuSMV aracı çalışma prensibi aynı anda 2 veya daha fazla trenin tanımlı rotalar içerisinde seyahat ettiğini varsayarak trenlerin aynı hat kısmına girip girmediğini denetlemek üzerine çalışır. Eğer trenler çakışıyor ise "FALSE" çakışmıyor ise "TRUE" değerini döndürmektedir. Tablo doğruluğu için NuSMV kullanımında çakışan değil çakışmayan rotalar dikkate alınmaktadır. Yıldırım vd., 2012 örneğinde 1 numaralı rota ile çakışan rota olduğu tespit

	A	B	C
1	ROTA #	ROTALAR	ÇAKISAN_ROTALAR
2	R1	SN1 -- SN6	R1, R4, R7, R8, R11, R14
3	R2	SN2 -- SN8	R2, R5, R8, R9, R14, R15
4	R3	SN13 -- SN3	R3, R7, R10, R14, R16
5	R4	SN14 -- SN5	R1, R4, R8, R10, R11, R16
6	R5	SN15 -- SN7	R2, R5, R11, R12, R16, R17
7	R6	SN16 -- SN9	R6, R9, R12, R13, R17
8	R7	SN1 -- SN4	R1, R3, R7, R8, R10, R14, R16
9	R8	SN2 -- SN6	R1, R2, R4, R7, R8, R9, R11, R14, R15
10	R9	SN2 -- SN10	R2, R6, R8, R9, R12, R14, R15
11	R10	SN14 -- SN3	R3, R4, R7, R10, R11, R14, R16
12	R11	SN15 -- SN5	R1, R4, R5, R8, R10, R11, R12, R16, R17
13	R12	SN15 -- SN9	R5, R6, R9, R11, R12, R13, R16, R17
14	R13	SN16 -- SN11	R6, R12, R13, R15, R17
15	R14	SN2 -- SN4	R1, R2, R3, R7, R8, R9, R10, R14, R15, R16
16	R15	SN2 -- SN12	R2, R8, R9, R13, R14, R15, R17
17	R16	SN15 -- SN3	R3, R4, R5, R7, R10, R11, R12, R14, R16, R17
18	R17	SN15 -- SN11	R5, R6, R11, R12, R13, R15, R16, R17

Şekil 4.4: Çakışan Rotalar

edilen rota 2, rota 3 ve rota 4 “FALSE” değerini döndürürken rota 5’in “TRUE” değerini döndürmesi beklenir.

```

r1 : {TC2,TC10};
r2 : {TC1,TC11};
r3 : {TC3,TC9};
r4 : {TC4,TC10};
r5 : {TC5,TC11};
r6 : {TC6,TC12};
r7 : {TC2,TC9};
r8 : {TC1,TC2,TC10};
r9 : {TC1,TC12};
r10 : {TC3,TC4,TC9};
r11 : {TC4,TC5,TC10};
r12 : {TC5,TC6,TC12};
r13 : {TC6,TC13};
r14 : {TC1,TC2,TC9};
r15 : {TC1,TC13};
r16 : {TC3,TC4,TC5,TC9};
r17 : {TC5,TC6,TC13};

```

Şekil 4.5: Rotaların NuSMV İçerisinde Tanımlamaları

Değişkenleri(rotaları) tanımladıktan sonra yapılması gereken adım rotaların başlangıç noktalarının belirtilmesidir. Burada başlangıç noktasının rota içerisindeki herhangi bir ray devresi olarak yazılması yeterlidir. 4.6 içerisinde başlangıç noktası tanımlamaları gösterilmiştir.

```

init(r1) := TC2;
init(r2) := TC1;
init(r3) := TC3;
init(r4) := TC4;
init(r5) := TC5;
init(r6) := TC6;
init(r7) := TC2;
init(r8) := TC1;
init(r9) := TC1;
init(r10) := TC3;
init(r11) := TC4;
init(r12) := TC5;
init(r13) := TC6;
init(r14) := TC1;
init(r15) := TC1;
init(r16) := TC3;
init(r17) := TC5;

```

Şekil 4.6: Rotaların Başlangıç Konumları

Başlangıç noktalarının tanımlanmasının ardından yapılması gereken bir diğer adım ise rotaların içerisinde bulunan ray devrelerinde tren hareketlerini simule edebilmesi için ray devreleri arasındaki geçişlerin tanımlanması gerekmektedir. Geçişlerdeki tanımlamada ray devrelerinin sıralamaları önemli değildir. Şekil 4.7 ile geçiş tanımlamaları gösterilmiştir.

```

r1 = TC2 : TC10;    r11 = TC4 : TC5;
r1 = TC10 : TC2;   r11 = TC5 : TC10;
r2 = TC1 : TC11;   r11 = TC10 : TC4;
r2 = TC11 : TC1;   r12 = TC5 : TC6;
r3 = TC3 : TC9;    r12 = TC6 : TC12;
r3 = TC9 : TC3;    r12 = TC12 : TC5;
r4 = TC4 : TC10;   r13 = TC6 : TC13;
r4 = TC10 : TC4;   r13 = TC13 : TC6;
r5 = TC5 : TC11;   r14 = TC1 : TC2;
r5 = TC11 : TC5;   r14 = TC2 : TC9;
r6 = TC6 : TC12;   r14 = TC9 : TC1;
r6 = TC12 : TC6;   r15 = TC1 : TC13;
r7 = TC2 : TC9;    r15 = TC13 : TC1;
r7 = TC9 : TC2;    r16 = TC3 : TC4;
r8 = TC1 : TC2;    r16 = TC4 : TC5;
r8 = TC2 : TC10;   r16 = TC5 : TC9;
r8 = TC10 : TC1;   r16 = TC9 : TC3;
r9 = TC1 : TC12;   r17 = TC5 : TC6;
r9 = TC12 : TC1;   r17 = TC6 : TC13;
r10 = TC3 : TC4;   r17 = TC13 : TC5;
r10 = TC4 : TC9;
r10 = TC9 : TC3;

```

Şekil 4.7: Rotaların Geçiş Durumları

Tanımlamaları, başlangıç noktaları ve geçişleri belirtilmiş olan rotalar artık karşılaştırma yapmak için hazır durumdadır. Daha önce belirttiğimiz TRUE ve FALSE durumlarının örneklendirmesi için Yıldırım vd., 2012 örneğimizdeki rota 1 , rota 4 ve rota 5 örnekleri alınmıştır. Rota 1 ve rota 4 aynı ray devresini bünyelerinde barındırdığından rota 1 ve rota 4 içerisinde tren simulasyonu yapan NuSMV TC10 isimli ray devresinde bu trenlerin çarpıştığını tespit ederek “FALSE” değeri döndürmüştür. Eğer anklâşman tablosunda rota 1 ve rota 4 çakışan rotalar olarak gösterilmemiş olaydı bu anklâşman tablosunun doğruluğu söz konusu olmayacaktı. Yapılan testin görseli Şekil 4.8 ile verilmiştir.

```
NuSMV > check_ctlspec -p "AG !(r1=r4)"
-- specification AG !(r1 = r4) is false
-- as demonstrated by the following execution sequence
Trace Description: CTL Counterexample
Trace Type: Counterexample
-> State: 1.1 <-
  r1 = TC2
  r2 = TC1
  r3 = TC3
  r4 = TC4
  r5 = TC5
  r6 = TC6
  r7 = TC2
  r8 = TC1
  r9 = TC1
  r10 = TC3
  r11 = TC4
  r12 = TC5
  r13 = TC6
  r14 = TC1
  r15 = TC1
  r16 = TC3
  r17 = TC5
-> State: 1.2 <-
  r1 = TC10
  r4 = TC10
NuSMV > █
```

Şekil 4.8: Rota 1 ve Rota 4 Çakışma Gösterimi

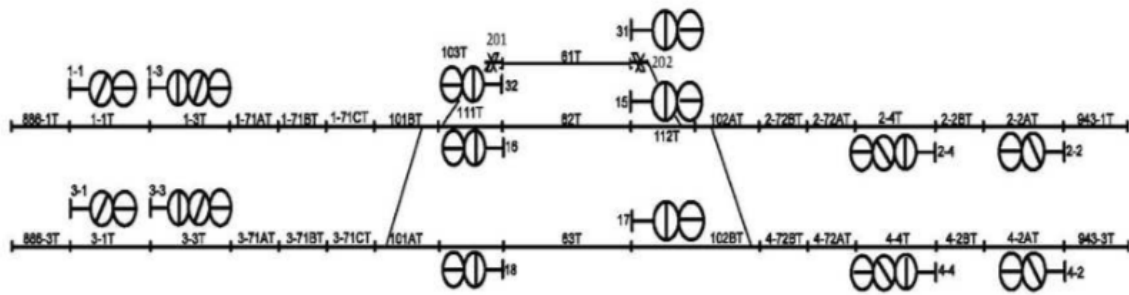
Oluşturduğumuz tabloda çakışan rota olarak belirtilmeyen bir rota çifti olan rota 1 ve rota 5 test edildiğinde Şekil 4.9 ile verilen sonuç elde edilmiştir. Bu sonuç, Şekil 4.3 ile oluşturulan anklâşman tablosunun rota 1 ve rota 5 çakışması bağlamında doğruluğunu gösterir. Tablonun tamamının doğruluğundan bahsetmek için bu karşılaştırma testi tüm rotalar için yapılmalıdır.

```
NuSMV > NuSMV > check_ctlspec -p "AG !(r1=r2)"
-- specification AG !(r1 = r2) is true
NuSMV > █
```

Şekil 4.9: Rota 1 ve Rota 2 Çakışmama Gösterimi

4.2 Örnek Hat Planı 2 İçin Test

Önerilen yöntemlerin testi için kullanılan ikincil hat planı ise Vanit-Anunchai, 2014 çalışmada kullanılmıştır. Hat planının gösterimi Şekil 4.10 ile verilmektedir. Bu hat planına ait ekipman bilgileri Şekil 4.11 ile verilmektedir. Elde edilen ekipman listesinde algoritmanın rota oluşturmada kullanacağı sinyaller, makaslar ve ray devreleri bulunmaktadır. Daha sonra elde edilen ekipman listesi oluşturduğumuz algoritma ile anlaşılan tablosu oluşturma işlemine alınmıştır.



Şekil 4.10: Örnek İstasyon Bölgesi (Vanit-Anunchai, 2014)

Çalışma sırasında kolaylık olması adına 1-71AT, 1-71BT, 1-71CT, 101BT ray devreleri gibi aralarında sinyal bulunmayan ray devreleri tek bir ray devresi gibi kabul edilmişlerdir. Tek ray devresi olarak kabul edilen bu ray devrelerine makas ray devresi olan ray devrelerinin isimleri verilmiştir.

	A	B	C	D
1	Sinyal	Yön	Km	Hat
2	S1-1	D	5,00	2
3	S1-3	D	10,00	2
4	S3-1	D	5,00	3
5	S3-3	D	10,00	3
6	S32	B	20,00	1
7	S16	B	20,00	2
8	S18	B	20,00	3
9	S17	D	25,00	3
10	S15	D	25,00	2
11	S31	D	25,00	1
12	S2-4	B	35,00	2
13	S4-4	B	35,00	3
14	S2-2	B	40,00	2
15	S4-2	B	40,00	3

(a) Sinyal

	A	B	C	D	E	F	G
1	Makas	Yön	Km	Hat	MakasB	KMB	HatB
2	SW1	D	16,00	2	SW1	17,00	1
3	SW2	B	15,00	2	SW3	14,00	3
4	SW3	D	14,00	3	SW2	15,00	2
5	SW4	B	27,00	2	SW4	26,00	1
6	SW5	D	29,00	2	SW6	30,00	3
7	SW6	B	30,00	3	SW5	29,00	2

(b) Makas

	A	B	C	D
1	Ray devresi	Km	Hat	Bağlı Sinyaller
2	1-1T	7,00	2	S1-1
3	3-1T	7,00	3	S3-1
4	101BT	15,00	2	S1-3, S16, S32
5	101AT	14,00	3	S3-3, S18
6	61T	23,00	1	
7	62T	23,00	2	
8	63T	23,00	3	
9	102AT	29,00	2	S31, S15, S2-4
10	102BT	30,00	3	S17, S4-4
11	2-2BT	37,00	2	S2-2
12	4-2BT	37,00	3	S4-2

(c) Ray Devresi

Şekil 4.11: Örnek ekipman bilgileri 2

Anklaşman tablosu oluşturma arayüzünden ekipman listemizi seçtiğimizde algoritmamız sonuç olarak Şekil 4.12 ile verilen anklaşman tablosunu vermektedir. Bu tablo oluşturulduktan hemen sonra önceki örnekte olduğu gibi doğrulama yapılabilmektedir. Doğrulama yapmaktaki ilk adım olan çakışan rotalar algoritmasının çalışması sonucu elimize geçmiştir. Bu sonuç Şekil 4.13 ile gösterilmiştir. Elimize geçen çakışan rota bilgisi sayesinde NuSMV aracını kullanarak tablo doğruluğu yapılabilmektedir.

ROTA #	ROTALAR	TUM MAKASLAR	ARTI MAKASLAR	EKSI MAKASLAR	KAPALI SINYALLER	RAY_DEVRELERI
R1	S1-1 -- S1-3 (S--K)					1-1T
R2	S1-3 -- S15 (S--K)	SW1, SW2	SW1, SW2		S16, S32	101BT, 62T
R3	S3-1 -- S3-3 (S--K)				S18	3-1T
R4	S3-3 -- S17 (S--K)	SW3	SW3		S18	101AT, 63T
R5	S2-4 -- S16 (S--K)	SW4, SW5	SW4, SW5		S31, S15	102AT, 62T
R6	S4-4 -- S18 (S--K)	SW6	SW6		S17	102BT, 63T
R7	S2-2 -- S2-4 (S--K)					2-2BT
R8	S4-2 -- S4-4 (S--K)				S17	4-2BT
R9	S1-3 -- S31 (SS--K)	SW1, SW2	SW2	SW1	S16, S32	101BT, 61T
R10	S3-3 -- S15 (SS--K)	SW1, SW2, SW3	SW1	SW3, SW2	S1-3, S16, S32, S18	101BT, 101AT, 62T
R11	S2-4 -- S32 (SS--K)	SW4, SW5	SW5	SW4	S31, S15	102AT, 61T
R12	S4-4 -- S16 (SS--K)	SW4, SW5, SW6	SW4	SW6, SW5	S31, S15, S2-4, S17	102AT, 102BT, 62T
R13	S3-3 -- S31 (SS--K)	SW1, SW2, SW3		SW1, SW3, SW2	S1-3, S16, S32, S18	101BT, 101AT, 61T
R14	S4-4 -- S32 (SS--K)	SW4, SW5, SW6		SW4, SW6, SW5	S31, S15, S2-4, S17	102AT, 102BT, 61T

Şekil 4.12: Oluşturulan Anklaşman Tablosu 2

	A	B	C
1	ROTA#	ROTALAR	ÇAKISAN_ROTALAR
2	R1	S1-1 -- S1-3	R1
3	R2	S1-3 -- S15	R2, R5, R9, R10, R12, R13
4	R3	S3-1 -- S3-3	R3
5	R4	S3-3 -- S17	R4, R6, R10, R13
6	R5	S2-4 -- S16	R2, R5, R10, R11, R12, R14
7	R6	S4-4 -- S18	R4, R6, R12, R14
8	R7	S2-2 -- S2-4	R7
9	R8	S4-2 -- S4-4	R8
10	R9	S1-3 -- S31	R2, R9, R10, R11, R13, R14
11	R10	S3-3 -- S15	R2, R4, R5, R9, R10, R12, R13
12	R11	S2-4 -- S32	R5, R9, R11, R12, R13, R14
13	R12	S4-4 -- S16	R2, R5, R6, R10, R11, R12, R14
14	R13	S3-3 -- S31	R2, R4, R9, R10, R11, R13, R14
15	R14	S4-4 -- S32	R5, R6, R9, R11, R12, R13, R14

Şekil 4.13: Çakışan Rotalar 2

Doğrulama yapabilmek adına çalıştırılan NuSMV model kontrolcüsünün girdileri olan rota tanımlamaları Şekil 4.14'teki gibi yapılmıştır. Tanımlamaları yapılan rotaların başlangıç pozisyonları Şekil 4.15 ile gösterilirken ray devreleri arasında geçiş durumları ise Şekil 4.16 ile gösterilmiştir.

Doğrulama yapmak için çalıştırılan NuSMV aracı bize bütün rotaların doğru olduğunu göstermektedir. Bu sayede Vanit-Anunchai, 2014 çalışmasında ele alınan hat planının olası rotalarını güveli şekilde bulabildiğimiz anlamış bulunmaktayız. Doğrulama sonucu Şekil 4.17 ile gösterilmiştir. Sonuç satırında "true" değerinin alınması tablonun

```

r1 : {BT11,x1};
r2 : {BT101,T62};
r3 : {BT31,x2};
r4 : {AT101,T63};
r5 : {AT102,T62};
r6 : {BT102,T63};
r7 : {BT22,x13};
r8 : {BT42,x14};
r9 : {BT101,T61};
r10 : {BT101,AT101,T62};
r11 : {AT102,T61};
r12 : {BT102,AT102,T62};
r13 : {BT101,AT101,T61};
r14 : {BT102,AT102,T61};

```

Şekil 4.14: Rotaların NuSMV İçerisinde Tanımlamaları 2

```

init(r2) := BT101;
init(r4) := AT101;
init(r5) := AT102;
init(r6) := BT102;
init(r9) := BT101;
init(r10) := BT101;
init(r11) := AT102;
init(r12) := BT102;
init(r13) := BT101;
init(r14) := BT102;

```

Şekil 4.15: Rotaların Başlangıç Konumları 2

doğrulandığı anlamına gelmektedir. Eğer çakışan rotalar hatalı olarak tespit edilmiş olsaydı bu değer “false” olarak karşımıza çıkacaktı.

r1 = BT11 : x1;	r9 = BT101 : T61;
r1 = x1 : BT11;	r9 = T61 : BT101;
r2 = BT101 : T62;	r10 = BT101 : AT101;
r2 = T62 : BT101;	r10 = AT101 : T62;
r3 = BT31 : x2;	r10 = T62 : BT101;
r3 = x2 : BT31;	r11 = AT102 : T61;
r4 = AT101 : T63;	r11 = T61 : AT102;
r4 = T63 : AT101;	r12 = BT102 : AT102;
r5 = AT102 : T62;	r12 = AT102 : T62;
r5 = T62 : AT102;	r12 = T62 : BT102;
r6 = AT102 : T63;	r13 = BT101 : AT101;
r6 = T63 : AT102;	r13 = AT101 : T61;
r7 = BT22 : x13;	r13 = T61 : BT101;
r7 = x13 : BT22;	r14 = BT102 : AT102;
r8 = BT42 : x14;	r14 = AT102 : T61;
r8 = x14 : BT42;	r14 = T61 : BT102;

Şekil 4.16: Rotalar Geçiş Durumları 2

```

-- specification AG !((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((
((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((
5) | r1 = r6) | r1 = r7) | r1 = r8) | r1 = r9) | r1 = r10) | r1 = r11) | r1 = r12) | r1 = r13)
| r1 = r14) | r2 = r1) | r2 = r3) | r2 = r4) | r2 = r6) | r2 = r7) | r2 = r8) | r2 = r11) | r2
= r14) | r3 = r1) | r3 = r2) | r3 = r4) | r3 = r5) | r3 = r6) | r3 = r7) | r3 = r8) | r3 = r9)
| r3 = r10) | r3 = r11) | r3 = r12) | r3 = r13) | r3 = r14) | r4 = r1) | r4 = r2) | r4 = r3) |
r4 = r5) | r4 = r7) | r4 = r8) | r4 = r9) | r4 = r11) | r4 = r12) | r4 = r14) | r5 = r1) | r5 =
r3) | r5 = r4) | r5 = r6) | r5 = r7) | r5 = r8) | r5 = r9) | r5 = r13) | r6 = r1) | r6 = r2) |
r6 = r3) | r6 = r5) | r6 = r7) | r6 = r8) | r6 = r9) | r6 = r10) | r6 = r11) | r6 = r13) | r7
= r1) | r7 = r2) | r7 = r3) | r7 = r4) | r7 = r5) | r7 = r6) | r7 = r8) | r7 = r9) | r7 = r10)
| r7 = r11) | r7 = r12) | r7 = r13) | r7 = r14) | r8 = r1) | r8 = r2) | r8 = r3) | r8 = r4) | r
8 = r5) | r8 = r6) | r8 = r7) | r8 = r9) | r8 = r10) | r8 = r11) | r8 = r12) | r8 = r13) | r8 =
r14) | r9 = r1) | r9 = r3) | r9 = r4) | r9 = r5) | r9 = r6) | r9 = r7) | r9 = r8) | r9 = r12)
| r10 = r1) | r10 = r3) | r10 = r6) | r10 = r7) | r10 = r8) | r10 = r11) | r10 = r14) | r11 = r
1) | r11 = r2) | r11 = r3) | r11 = r4) | r11 = r6) | r11 = r7) | r11 = r8) | r11 = r10) | r12 =
r1) | r12 = r3) | r12 = r4) | r12 = r7) | r12 = r8) | r12 = r9) | r12 = r13) | r13 = r1) | r13
= r3) | r13 = r5) | r13 = r6) | r13 = r7) | r13 = r8) | r13 = r12) | r14 = r1) | r14 = r2) | r
14 = r3) | r14 = r4) | r14 = r7) | r14 = r8) | r14 = r10) is true
Macintosh:~ emreguvens$ █

```

Şekil 4.17: NuSMV Sonuç

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında ankaşman tablolarının otomatik oluşturulması ve doğrulanması gerçekleştirilmiştir. Bu gerçekleştirme için literatürde kullanılmış olan iki hat planı örnek olarak kullanılmıştır. Örnek olarak kullanılan hat planlarının ekipman listeleri oluşturulmuş ve sunulan çalışmada girdi olarak kullanılmıştır. Geliştirilen algoritma ile verilen girdi için ankaşman tablosunun otomatik bir şekilde üretilmesi sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılarak doğruluğu öncelikle el ile kontrol edilmiştir. Ankaşman tablolarının doğruluğu ankaşman yazılımlarının güvenli çalışması için ilk gereksinimdir. Oluşturulan tabloların doğruluğu güvenlik açısından kritik bir adım olması nedeni ile “model denetleme” yöntemi ile doğruluğu test edilmiştir. Model denetleme yöntemi ile doğruluk testi yapabilmek için gerekli olan yazılımın da otomatik olarak oluşturulması ve böylece oluşturulan tabloların doğruluğunun yazılım deneyimi olmayan denetçiler tarafından daha kolay ve hızlı bir şekilde test edilebilmesine imkan sağlamaktadır.

Ankaşman tablosunun oluşturulmasının otomatik olmasının en büyük avantajı kolay kullanılabilir olmasıdır. Bu sayede yeni bir istasyon için ankaşman tablosu oluşturulmak istendiğinde, kişinin tecrübe ve deneyiminden bağımsız olarak, sadece istasyondaki ekipmanların konumları ve yönleri gibi temel bilgiler ile doğru ve hızlı sonuç elde edilebilmesidir.

Diğer taraftan ankaşman tablosu oluşturulduktan sonra doğrulamasının da otomatik olarak yapılması insan hatasını ortadan kaldıracığı sonraki aşamalarda yaşanacak zaman kaybını da en aza indirecektir. Ortaya çıkan ankaşman tablolarının formatı literatürde farklılık gösterebilmektedir. Çünkü daha önce de bahsedildiği üzere ankaşman tabloları ülke, firma, işletmeci bazında değişmektedir. Formattan bağımsız olarak tüm çalışmalarda elde edilmek istenen veriler rota bilgileri, çakışan rota bilgileri, sinyal ve makas bilgileridir. Oluşturduğumuz tablo kolay anlaşılabilir bir hale getirilerek ankaşman yazılımına girdi olabilecek şekilde sunulmuştur. Ankaşman yazılımı için CENELEC standartlarında önerilen modelleme yöntemleri ile modellenebilecek yapıdadır.

Bu çalışmanın devamında demiryolu sinyalizasyon yazılımları geliştirilebilecektir. Geliştirilmiş olan bu yazılımlar demiryolu alanında yerleştirme çalışmalarına önemli katkılar sağlayacaktır.

gösterilmesi, otomatikleştirilen sistem sayesinde insan kaynaklı hataların önlenmesi ve karmaşık sistemler için hızlı cevap elde edilmesi, geliştirilen ankaşman tablosu oluşturma işlem adımlarının ayrıntılı olarak verilmesi ve bir ankaşman tablosunda ihtiyaç duyulabilecek bilgilerin tamamının verilmesi ile farklı sistemlerde de kullanılabilir bir veri sağlanması, tezin başarılı bir şekilde tamamlanması ile demiryolu sinyalizasyon yazılımlarında dışa bağımlılık azaltılması hedeflenmektedir. Tezin sonucunda ortaya çıkacak ürün Cenelec standartlarının uygun gördüğü modellemeler ile modellenip yerli ankaşman yazılımlarına dönüştürülebilecektir

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Barger, P., Schön, W. ve Bouali, M., 2009, A study of railway ERTMS safety with colored Petri nets, *The European Safety and Reliability Conference (ESREL '09)*. **volume 2**. Taylor & Francis Group, 1303–1309.
- Bonacchi, A., Fantechi, A., Bacherini, S. ve Tempestini, M., 2016, Validation process for railway interlocking systems, *Science of Computer Programming* 128, 2–21.
- Busard, S., Cappart, Q., Limbrée, C., Pecheur, C. ve Schaus, P., 2015, Verification of railway interlocking systems, *arXiv preprint arXiv:1506.03554*.
- Cao, Y., Xu, T., Tang, T., Wang, H. ve Zhao, L., 2011, Automatic generation and verification of interlocking tables based on domain specific language for computer based interlocking systems (DSL-CBI), *Computer Science and Automation Engineering (CSAE), 2011 IEEE International Conference on*. **volume 2**. IEEE, 511–515.
- Cappart, Q. ve Schaus, P., 2016, A dedicated algorithm for verification of interlocking systems, *International Conference on Computer Safety, Reliability, and Security*. Springer, 76–87.
- Cappart, Q., Limbrée, C., Schaus, P., Quilbeuf, J., Traonouez, L.-M. ve Legay, A., 2017, Verification of interlocking systems using statistical model checking, *High Assurance Systems Engineering (HASE), 2017 IEEE 18th International Symposium on*. IEEE, 61–68.
- Celebi, B. T. ve Kaymakci, O. T., 2016, Verifying the accuracy of interlocking tables for railway signalling systems using abstract state machines, *Journal of Modern Transportation* 24.4, 277–283.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Chen, J, Roberts, C ve Weston, P, 2008, Fault detection and diagnosis for railway track circuits using neuro-fuzzy systems, *Control Engineering Practice* 16.5, 585–596.
- Cimatti, A., Clarke, E., Giunchiglia, F. ve Roveri, M., 2000, NuSMV: a new symbolic model checker, *International Journal on Software Tools for Technology Transfer* 2.4, 410–425.
- Durmuş, M. S., Yıldırım, U ve Söylemez, M. T., 2010, Signalization and interlocking design for a railway yard: A supervisory control approach by enabling arcs, *The 7th International Symposium on Intelligent and Manufacturing Systems*. Sarajevo, Bosnia Herzegovina.
- Eriş, O., 2011, Bir Demiryolu Anlaşman Sisteminin Plc İle Gerçeklenmesi, phdthesis. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Fokkink, W., Hollingshead, P., Groote, J, Luttk, S ve Wamel, J van, 1998, Verification of interlockings: from control tables to ladder logic diagrams, *Proceedings of FMICS*. **volume** 98, 171–185.
- Gülener, Y., 2009, Bir raylı ulaşım sinyalizasyon sistemi gerçekleştirme, phdthesis. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gündoğdu, F ve Açıkbaş, S, 2005, Raylı Sistemlerde Emniyet Standartları ve Makas Otomasyon Sistemine Uygulaması, *Elektrik–Elektronik–Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi ve Fuarı*, 22–25.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Haxthausen, A. E., 2014, Automated generation of formal safety conditions from railway interlocking tables, *International journal on software tools for technology transfer* 16.6, 713–726.
- Hloušek, P., 2015, Advanced methods of design of complex track circuits, *Applied Electronics (AE), 2015 International Conference on*. IEEE, 57–60.
- Kanso, K., Moller, F. ve Setzer, A., 2009, Automated verification of signalling principles in railway interlocking systems, *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* 250.2, 19–31.
- Kaymakçı, Ö. T. ve Oz, M. A., 2017, An Automatic Formal Model Generation and Verification Method for Railway Interlocking Systems, *Gazi University Journal of Science* 30.2, 133–147.
- Khan, S. A., 2016, Railway Interlocking Design Support Tools, mathesis.
- Kuzu, A., Songuler, O., Sonat, A., Turk, S., Birol, B. ve Dogruguvan, E. H., 2011, Automatic interlocking table generation from railway topology, *Mechatronics (ICM), 2011 IEEE International Conference on*. IEEE, 64–70.
- Lawrence, A., 2011, An Introduction to Railway Signalling and Equipment,
- Lewis, M., 2001, Railways in the Greek and Roman world, *Early Railways. A selection of papers from the first International Early Railways Conference*, 8–19.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

MEB, 2014, *Raylı Sistemler Teknolojisi-Makaslar*.

Malakar, B. ve Roy, B., 2014, Railway fail-safe signalization and interlocking design based on automation Petri Net, *Information Communication and Embedded Systems (ICICES), 2014 International Conference on*. IEEE, 1–4.

Mecitoğlu, F. ve Söylemez, M. T., 2013, A UML Modelling Approach for a Railway Signalization System Simulator and SCADA System, *IFAC Proceedings Volumes 46.25*, 77–82.

Mirabadi, A., 2008, Automatic generation and verification of railway interlocking control tables using FSM and NuSMV, *International Journal for Engineering Modelling* 21.1-4.

Mutlu, I., Ergenc, A. F., Ovatman, T. ve Soylemez, M. T., 2012, Design of a hardware and software based test bed for railway signalization systems, *IFAC Proceedings Volumes 45.24*, 185–190.

Newman, G. D., 1995, *Railway signalling system*. US Patent 5,437,422.

Palumbo, M., 2013, *Railway Signaling since the Birth to ERTMS*.

Petersen, J. L., 1998, Automatic verification of railway interlocking systems: a case study, *Proceedings of the second workshop on Formal methods in software practice*. ACM, 1–6.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Robinson, N., Barney, D, Kearney, P., Nikandros, G ve Tombs, D., 2001, Automatic generation and verification of design specifications ????, *INCOSE 2001*. The Systems Engineering Society of Australia, 176–182.

TCDD, 2003, *Trenlerin Hazırlanması ve Trafiğine Ait Yönetmelik-Şekiller*.

— 2017, *Şebeke Bildirim Dokümanları Ek 3.3.3 Trafik Yönetimi ve Haberleşme Sistemleri*.

TOPEL, D. ve OK, J. B., 2015, Formal model for generating railway interlocking software based on a modularized track model,

TUIK (accessed April 3, 2017, *Demiryolu Uzunluğu, Tren Kilometre, Ton Kilometre ve Yük Taşıma*. url: <http://www.tuik.gov.tr>.

Thales, 2013, *Thales ESP GRP SAU eğitim dokümanları*.

Tombs, D., Robinson, N., Nikandros, G., vd., 2002, Signalling control table generation and verification, *CORE 2002: Cost Efficient Railways through Engineering*, 415.

Vanit-Anunchai, S., 2009, Verification of railway interlocking tables using coloured Petri nets, *The Tenth Workshop and Tutorial on Practical Use of Coloured Petri Nets and the CPN Tools, DAIMI PB. volume 590*, 139–158.

— 2010, Modelling railway interlocking tables using coloured petri nets, *International Conference on Coordination Languages and Models*. Springer, 137–151.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Vanit-Anunchai, S., 2014, Experience using coloured petri nets to model railway interlocking tables, *arXiv preprint arXiv:1407.3891*.

Vu, L. H., 2015, Formal development and verification of railway control systems-in the context of ERTMS/ETCS Level 2, phdthesis. Technical University of Denmark (DTU).

Yıldırım, U., Durmuş, M. S. ve Söylemez, M. T., 2012, Automatic interlocking table generation for railway stations using symbolic algebra, *Control in Transportation Systems*. **volume** 13. 1, 171–176.

— 2015, Automatic Generation of the Railway Interlocking Tables by Using Computer Algebra Toolbox, *International Journal of Advancements in Computing Technology* 7.3, 109.

www.ertms.net (accessed MAY 01, *ERTMS Map*. url: <http://mediarail.be/Infrastructure/Signalisation/ERTMS/Intro.htm>.

— *ERTMS Signalling Levels*. url: http://www.ertms.net/?page_id=42.

www.kombud.com.pl (accessed MAY 05, *Computer-based interlocking system MOR-3*. url: <http://www.kombud.com.pl/en/company/computerbased-interlocking-system-mor3,54.html>.

www.railwaysignalling.eu (accessed MAY 03, *Principles of Railway interlocking*. url: <http://www.railwaysignalling.eu/railway-interlocking-principles-railwaysignalling>.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

www.railwaysignalling.eu (accessed MAY 05, *Evolution of Signalling Control*. url: <https://www.railengineer.uk/2013/05/21/evolution-of-signalling-control/>).

www.transportation.alberta.ca (accessed MAY 03, *Derail Device*. url: <https://www.transportation.alberta.ca/3764.htm>).

Çolakkadı, M., 2013, Demiryolu Sinyalizasyon Sistemlerinde Anlaşman Tablosu Oluşturma: Başakşehir Metrosu Örneği, phdthesis. Fen Bilimleri Enstitüsü.