İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR DEMİRYOLU ANKLAŞMAN SİSTEMİNİN PLC İLE GERÇEKLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Oytun ERİŞ

Anabilim Dalı : Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği

Programı : Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Salman KURTULAN

OCAK 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR DEMİRYOLU ANKLAŞMAN SİSTEMİNİN PLC İLE GERÇEKLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Oytun ERİŞ
(504081124)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Aralık 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2011

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Salman KURTULAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ece Olcay GÜNEŞ (İTÜ)
Doç. Dr. M. Turan SÖYLEMEZ (İTÜ)

OCAK 2011

Aileme ve Gerçek Dostlarıma,

ÖNSÖZ

Beş seneye yakın bir süredir bilgi ve deneyimleri ile bugün geldiğim noktada en büyük paya sahip olan değerli tez danışmanım Doç. Dr. Salman KURTULAN'a verdiği destek ve harcadığı zaman için teşekkürü bir borç bilirim.

Daha anaokulundan başlayarak bugüne kadarki eğim hayatım boyunca benim için hiçbir maddi, manevi desteği esirgemeyen aileme; iyi gün kötü gün ayrımı yapmadan hep yanımda olan başta İrem KOCA olmak üzere tüm arkadaşlarıma ve teze olan katkılarından dolayı Uğur YILDIRIM'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2010

Oytun ERİŞ

(Kontrol Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
2. DEMİRYOLU SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ **3**
2.1 Kumanda Merkezi 3
2.2 Saha Ekipmanları 3
2.2.1 Makaslar 3
2.2.2 Ray devreleri 4
2.2.3 Sinyaller 4
2.2.3.1 Dörtlü yüksek sinyal 5
2.2.3.2 Üçlü yüksek sinyal 6
2.2.3.3 Üçlü cüce sinyal 6
2.3 Anklaşman Sistemi 7
3. OTOMAT YÖNTEMİ **9**
3.1 Durum Geçiş Fonksiyonlarının Elde Edilmesi 9
3.2 Olay İşaretlerinin Elde Edilmesi 10
3.3 Örnek 10
4. OTOMAT YÖNTEMİ İLE ANKLAŞMAN SİSTEMİNİN YAZILIMININ HAZIRLANMASI **13**
4.1 Amaç 13
4.2 Yazılan Fonksiyon Blokları ve İşlevleri 13
4.2.1 Makas fonksiyon bloğu 13
4.2.1.1 MakasGüzergâhBloke fonksiyon bloğu 13
4.2.1.2 MakasHareketBloke fonksiyon bloğu 14
4.2.1.3 MakasİndikasyonsuzlukHatası fonksiyon bloğu 15
4.2.1.4 MakasVeriBağdaşımHatası fonksiyon bloğu 16
4.2.1.5 MakasÇevirmeRet fonksiyon bloğu 17
4.2.1.6 MakasNormaleÇevir fonksiyon bloğu 18
4.2.1.7 MakasSapanaÇevir fonksiyon bloğu 20
4.2.2 RayDevresi fonksiyon bloğu 22
4.2.2.1 RayBloke fonksiyon bloğu 22
4.2.2.2 RayVeriBağdaşımHatası fonksiyon bloğu 23
4.2.2.3 RayBeklenmedikMeşguliyetHatası fonksiyon bloğu 24
4.2.3 Sinyal fonksiyon bloğu 25
4.2.3.1 SinyalBaşlangıçBloke fonksiyon bloğu 26
4.2.3.2 SinyalVarışBloke fonksiyon bloğu 27
4.2.3.3 SinyalKapat fonksiyon bloğu 28

4.2.3.4 GeçBildirimHatası fonksiyon bloğu 29
4.2.3.5 DurBildirimHatası fonksiyon bloğu 30
4.2.3.6 SinyalYak fonksiyon bloğu 30
4.2.4 Tanzim fonksiyon bloğu 31
4.2.4.1 MakasAyarla fonksiyon bloğu 31
4.2.4.2 TanzimYap fonksiyon bloğu 33
4.2.4.3 TrenGirişTakip fonksiyon bloğu 36
4.2.4.4 TrenÇıkışTakip fonksiyon bloğu 38
4.2.4.5 TanzimİptalTakip fonksiyon bloğu 40
4.2.4.6 ZGIP fonksiyon bloğu 42
4.2.4.7 OtomatikTanzim fonksiyon bloğu 43
4.3 Fonksiyon Bloklarının Giriş-Çıkış Bağlantılarının Yapılması 44
4.3.1 Makas fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları 44
4.3.2 RayDevresi fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları 45
4.3.3 Sinyal fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları 45
4.3.4 Tanzim fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları 45
5. SONUÇLAR 53
6. KAYNAKLAR 55
EKLER 57

KISALTMALAR

CENELEC **:** European Committee for Electrotechnical Standardization
PLC **:** Programmable logic controller
KM **:** Kontrol merkezi
TCDD **:** Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
ZGIP **:** Zorunlu güzergâh iptali prosedürü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Dörtlü yüksek sinyal renk bildirim açıklamaları. 5
Çizelge 2.2: Üçlü yüksek sinyal renk bildirim açıklamaları..... 6
Çizelge 2.3: Üçlü cüce sinyal renk bildirim açıklamaları..... 7
Çizelge 2.4: Bir anklaşman tablosu örneği 8
Çizelge 4.1: MakasGüzergâhBloke fonksiyonu durum açıklamaları. 14
Çizelge 4.2: MakasGüzergâhBloke fonksiyonu olay açıklamaları..... 14
Çizelge 4.3: MakasHareketBloke fonksiyonu durum açıklamaları. 15
Çizelge 4.4: MakasHareketBloke fonksiyonu olay açıklamaları. 15
Çizelge 4.5: MakasİndikasyonsuzlukHatası fonksiyonu durum açıklamaları..... 16
Çizelge 4.6: MakasİndikasyonsuzlukHatası fonksiyonu olay açıklamaları. 16
Çizelge 4.7: MakasVeriBağdaşımHatası fonksiyonu durum açıklamaları. 17
Çizelge 4.8: MakasVeriBağdaşımHatası fonksiyonu olay açıklamaları. 17
Çizelge 4.9: MakasÇevirmeRet fonksiyonu durum açıklamaları. 18
Çizelge 4.10: MakasÇevirmeRet fonksiyonu olay açıklamaları. 18
Çizelge 4.11: MakasNormaleÇevir fonksiyonu durum açıklamaları. 19
Çizelge 4.12: MakasNormaleÇevir fonksiyonu olay açıklamaları. 20
Çizelge 4.13: MakasSapanaÇevir fonksiyonu durum açıklamaları. 21
Çizelge 4.14: MakasSapanaÇevir fonksiyonu olay açıklamaları. 22
Çizelge 4.15: RayBloke fonksiyonu durum açıklamaları. 23
Çizelge 4.16: RayBloke fonksiyonu olay açıklamaları. 23
Çizelge 4.17: RayVeriBağdaşımHatası fonksiyonu durum açıklamaları. 24
Çizelge 4.18: RayVeriBağdaşımHatası fonksiyonu olay açıklamaları..... 24
Çizelge 4.19: RayBeklenmedikMeşguliyetHatası fonksiyonu durum açıklamaları.. 25
Çizelge 4.20: RayBeklenmedikMeşguliyetHatası fonksiyonu olay açıklamaları. 25
Çizelge 4.21: SinyalBaşlangıçBloke fonksiyonu durum açıklamaları. 26
Çizelge 4.22: SinyalBaşlangıçBloke fonksiyonu olay açıklamaları. 27
Çizelge 4.23: SinyalVarışBloke fonksiyonu durum açıklamaları. 27
Çizelge 4.24: MakasHareketBloke fonksiyonu olay açıklamaları. 28
Çizelge 4.25: SinyalKapat fonksiyonu durum açıklamaları. 28
Çizelge 4.26: SinyalKapat fonksiyonu olay açıklamaları..... 28
Çizelge 4.27: GeçBildirimHatası fonksiyonu durum açıklamaları..... 29
Çizelge 4.28: GeçBildirimHatası fonksiyonu olay açıklamaları. 29
Çizelge 4.29: DurBildirimHatası fonksiyonu durum açıklamaları. 30
Çizelge 4.30: DurBildirimHatası fonksiyonu olay açıklamaları. 30
Çizelge 4.31: SinyalYak fonksiyonu durum açıklamaları. 31
Çizelge 4.32: SinyalYak fonksiyonu olay açıklamaları. 31
Çizelge 4.33: MakasAyarla fonksiyonu durum açıklamaları. 32
Çizelge 4.34: MakasAyarla fonksiyonu olay açıklamaları. 33
Çizelge 4.35: TanzimYap fonksiyonu durum açıklamaları. 35
Çizelge 4.36: TanzimYap fonksiyonu olay açıklamaları. 35
Çizelge 4.37: TrenGirişTakip fonksiyonu durum açıklamaları. 37
Çizelge 4.38: TrenGirişTakip fonksiyonu olay açıklamaları. 37

Çizelge 4.39: TrenÇıkışTakip fonksiyonu durum açıklamaları. 39
Çizelge 4.40: TrenÇıkışTakip fonksiyonu olay açıklamaları. 39
Çizelge 4.41: TanzimİptaI fonksiyonu durum açıklamaları. 41
Çizelge 4.42: TanzimİptaI fonksiyonu olay açıklamaları. 41
Çizelge 4.43: ZGIP fonksiyonu durum açıklamaları. 42
Çizelge 4.44: ZGIP fonksiyonu olay açıklamaları. 42
Çizelge 4.45: OtomatikTanzim fonksiyonu durum açıklamaları. 43
Çizelge 4.46: OtomatikTanzim fonksiyonu olay açıklamaları. 43

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Dörtlü yüksek sinyal 5
Şekil 2.2: Üçlü yüksek sinyal 6
Şekil 2.3: Üçlü cüce sinyal 7
Şekil 2.4: Örnek bir saha modeli 8
Şekil 3.1: Basit bir sinyal kumanda otomatı. 11
Şekil 3.2: Mantık fonksiyonlarının PLC koduna aktarılması. 12
Şekil 3.3: İlgili çıkışları kumanda eden durumların atanması ve kodun PLC'de gerçeklenebilir hale getirilmesi. 12
Şekil 4.1: MakasGüzergâhBloke fonksiyonunun otomatı. 14
Şekil 4.2: MakasHareketBloke fonksiyonunun otomatı. 15
Şekil 4.3: MakasİndikasyonsuzlukHatası fonksiyonunun otomatı. 16
Şekil 4.4: MakasVeriBağdaşımHatası fonksiyonunun otomatı. 17
Şekil 4.5: MakasÇevirmeRet fonksiyonunun otomatı. 18
Şekil 4.6: MakasNormaleÇevir fonksiyonunun otomatı. 19
Şekil 4.7: MakasSapanaÇevir fonksiyonunun otomatı. 21
Şekil 4.8: RayBloke fonksiyonunun otomatı. 23
Şekil 4.9: RayVeriBağdaşımHatası fonksiyonunun otomatı. 24
Şekil 4.10: RayBeklenmedikMeşguliyetHatası fonksiyonunun otomatı. 25
Şekil 4.11: SinyalBaşlangıçBloke fonksiyonunun otomatı. 26
Şekil 4.12: SinyalVarışBloke fonksiyonunun otomatı. 27
Şekil 4.13: SinyalKapat fonksiyonunun otomatı. 28
Şekil 4.14: GeçBildirimHatası fonksiyonunun otomatı. 29
Şekil 4.15: DurBildirimHatası fonksiyonunun otomatı. 30
Şekil 4.16: SinyalYak fonksiyonunun otomatı. 31
Şekil 4.17: MakasAyarla fonksiyonunun otomatı. 32
Şekil 4.18: TanzimYap fonksiyonunun otomatı. 34
Şekil 4.19: TrenGirişTakip fonksiyonunun otomatı. 36
Şekil 4.20: TrenÇıkışTakip fonksiyonunun otomatı. 38
Şekil 4.21: TanzimİptalTakip fonksiyonunun otomatı. 40
Şekil 4.22: ZGIP fonksiyonunun otomatı. 42
Şekil 4.23: OtomatikTanzim fonksiyonunun otomatı. 43
Şekil 4.24: Mithatpaşa saha modeli 44
Şekil 4.25: Makas fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları 47
Şekil 4.26: RayDevresi fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları 48
Şekil 4.27: Sinyal fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları-1 48
Şekil 4.28: Sinyal fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları-2 49
Şekil 4.29: Tanzim fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları-1 50
Şekil 4.30: Tanzim fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları-2 51

BİR DEMİRYOLU ANKLAŞMAN SİSTEMİNİN PLC İLE GERÇEKLENMESİ

ÖZET

Gelişmiş ülkelerde yük ve insan taşımacılığında demiryollarının kullanımı önemli bir yer tutarken, Türkiye'de demiryollarının ulaşımdaki payı sadece %3'tür. 2025 yılına kadar ise bu oranın %20'ye çıkarılması hedeflenmektedir [1]. Demiryollarının çok hatlı ve sinyalizasyonlu olması demiryolu taşımacılığının daha güvenli ve hızlı bir şekilde yapılmasına olanak sağlar. Halen Türkiye'deki demiryolu hatlarının %85'i tek hatlı ve %76'sı da sinyalsizdir [2]. Bu veriler, Türkiye'deki demiryolu taşımacılığında önemli güvenlik sorunlarının olduğunu göstermektedir. Ayrıca [2]'deki verilere göre 2004 ile 2008 yılları arasında Türkiye'de tren çarpışması, derayman ve geçit çarpışması gibi sebeplerle toplam 1443 kaza meydana gelmiştir. Bütün bu istatistiklerden anlaşılacağı gibi demiryolları alanında büyümeyi planlayan Türkiye için, mevcut sinyalizasyon yapısının geliştirilmesi ve sinyalizasyonu yapılmış hat oranının arttırılması önemli bir gereksinimdir.

Demiryolu sinyalizasyon sistemlerinde, temel karar verme mekanizması anklaşman sistemidir. Anklaşman sistemlerinin görevi, Kumanda Merkezinden (KM) gelen güzergâh tanzim isteklerini değerlendirmek ve eğer talep gerçeklenebilir ise ilgili saha ekipmanlarına gerekli kumanda işaretlerini üreterek uygulamaktır. Değerlendirme aşamasında, hat üzerindeki mevcut tanzimler ile sinyal ve makas gibi saha ekipmanlarının durumları göz önünde bulundurulur. Bu değerlendirme sonucunda uygun olan taleplerin karşılanması için ilgili saha ekipmanları, belirli durumlara getirilir ve kilitlenir; uygun bulunmayan istekler ise reddedilir ve karar KM'ye bildirilir. Bu kısa açıklamadan kolayca anlaşılacağı gibi, demiryolu kazalarının azaltılması, sinyalizasyon sisteminin karar alıcı birimi olan anklaşman sistemi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, demiryolu sinyalizasyonları için CENELEC tarafından oluşturulmuş olan EN50126, EN50129 gibi güvenlik standartları belirlenmiştir. Sinyalizasyon sistemlerinde kullanılan diğer donanımların yanı sıra, karar verme mekanizması olarak anklaşman sistemi de, hem donanımsal hem yazılımsal olarak bu standartları sağlamalıdır. Donanım açısından bakıldığında, birçok önemli üreticinin (SIEMENS, Mitsubishi, HIMA vb.) anklaşman sistemi yazılımının gerçeklenebileceği (PLC gibi) sertifikalı ürünleri mevcuttur. Yazılım standartlarının sağlanması için ise, tasarım aşamasında kullanılacak yöntemler büyük önem taşımaktadır. Gereksinimlerin sağlanabilmesi için tasarımın formal yöntemler kullanılarak gerçeklenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, demiryolu anklaşman sistemleri için PLC fonksiyon blokları hazırlanmış ve bu fonksiyonların nasıl kullanılacağı anlatılmıştır. Tasarımda, ayrık olay sistemlerinin modellenmesinde etkin olarak kullanılan bir yöntem olan otomat yaklaşımı seçilmiştir.

REALIZATION OF A RAILWAY INTERLOCKING SYSTEM WITH PLC

SUMMARY

In today's world, passenger transportation and freight made by railways are very important in developed countries. As a developing country, the current %3 railway usage percentage in Turkey is expected to become %20 by 2025 [1]. Signalization and multi-lined railways makes it possible to develop a fast and safe transportation. Today in Turkey %85 of the existing lines are single tracks. In addition to this only %24 of the lines are signalized [2]. This situation creates doubts over the safety of Turkish railways. The 1443 accidents happened between 2004 and 2008 including train collision, passage collision and derailment back up the doubts over the safety issues [2]. Considering all these statistics and information, as a country planning to improve its railways Turkey must increase the signalized track percentage and upgrade the existing system.

In a railway signalization system the main decision mechanism is the interlocking system. The duty of the interlocking systems is to judge and apply the route request coming from the Traffic Control Center. In this judgment process, the interlocking system considers the existing route requests and the situations of the other field equipments. As a result of this judgment, applicable requests that do not cause a collision are applied by locking the field equipments to their proper positions. A request that is not applicable because of any reason is declined.

It is obvious that the decisive interlocking system is directly responsible to avoid any possible collisions in a signalization system. Because of this, safety standards like EN50126, EN50129, created by CENELEC, states the general safety requirements for the railway interlocking systems. The interlocking system must satisfy both of the hardware and software requirements. When we look at the hardware aspect several important companies (SIEMENS, Mitsubishi, HIMA vb.) have certified hardware equipments in which the interlocking software can be realized. Because of the software requirements, the method used for developing the interlocking algorithm is important. Formal methods must be used to satisfy the software requirements created for the interlocking systems.

In this study, PLC function blocks are designed for a railway interlocking system and the use of these functions are explained. Automaton approximation, which is an effective method for programming discrete event systems, is chosen for the design of these function blocks.

1. GİRİŞ

İlk mekanik demiryolu anklaşman sisteminin 1843'te İngiltere'de kurulmasından [3] bu yana geçen sürede demiryolu trafiğindeki artış ve teknolojideki yenilikler; mekanik demiryolu anklaşman sistemlerinin yerlerini elektromekanik, röle tabanlı, elektronik kartlı ve bilgisayar tabanlı sistemlere bırakmasını sağladı [4]. İlk bilgisayarlı anklaşman uygulamalarından biri olan SMILE'ın [5] yanı sıra, anklaşman sisteminin kaza yapma olasılıklarını hesaplamak için de mikroişlemciler yararlanılmıştır [6]. Bunlara ek olarak, ABB Signal tarafından geliştirilen STERNOL basit bir istasyon bölgesinin kontrolü için kullanılmıştır [7]. Günümüzde ise, pek çok endüstriyel otomasyon uygulamasında kullanılan, PLC'ler ile demiryolu anklaşman sistemlerinin gerçeklenmesi için çalışmalar yapılmaktadır.

Graf tabanlı anklaşman sistemi uygulamalarının [8], [9] yanı sıra durum çizelgelerinin kullanıldığı uygulamalar da bulunmaktadır [10], [11], [12]. Tüm bu çalışmalara ek olarak, tasarımda Petri ağlarını [13], [14], [15] ve otomat yöntemini [16] kullanarak yapılmış çalışmalar bulunmaktadır.

Bu tezde literatürdeki yöntemler göz önünde bulundurularak, PLC'de gerçeklenmek üzere, bir demiryolu anklaşman sistemi için otomat yöntemiyle tasarımın nasıl yapılacağı ve nasıl gerçeklenebileceği gösterilecektir. Bu amaçla, ikinci bölümde demiryolu sinyalizasyon sistemleri, üçüncü bölümde ise otomat yöntemi hakkında bilgi verilecektir. Son olarak dördüncü bölümde, oluşturulan fonksiyon blokları anlatıldıktan sonra örnek bir saha modeli üzerinden bu fonksiyonların nasıl kullanılacağı açıklanacaktır.

2. DEMİRYOLU SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ

Demiryolu sinyalizasyon sistemleri temelde Kumanda Merkezi, Anklaşman Sistemi ve saha ekipmanları olmak üzere 3 ana alt sistemden oluşmaktadır.

2.1 Kumanda Merkezi

Kumanda merkezleri, belirli bir demiryolu hattındaki tren trafiğinin yürütüldüğü ve izlendiği merkezlerdir. Bu merkezlerde hazırlanmış bir oda içerisinde istasyonların, hat boyu sinyalizasyon elemanlarının, trenlerin izlenmesi ve kumandası yapılmaktadır. KM ile anklaşman sistemi arasında iki yönlü bir iletişim söz konusudur. KM anklaşman sistemine saha elemanlarının kilitlenmesi, hareket ettirilmesi, güzergâh talebi, güzergâh iptal talebi gibi pek çok talep iletir. Anklaşman sistemi gelen taleplere ilişkin cevaplarını KM'ye yollarken, aynı zamanda sahanın durumunu da yollar. KM'ye iletilen cevaplar bir grafik arayüz ile kullanıcıya aktarılır. Genel olarak KM'de çeşitli merkezi göstergeler (mozaik panel, videografik göstergeler...), çeşitli arayüzlerle, tren ve istasyonlarla bağlantıda olan kontrol birimleri, tren tanıtma sistemleri, telefon sistemi, alternatif enerji kaynakları, trengraf, yazıcı ve kaydedici birimler bulunur.

2.2 Saha Ekipmanları

Saha ekipmanları, anklaşman sisteminin kumanda ettiği ve durumları ile ilgili bilgileri aldığı, demiryolu sahasının altyapısını oluşturan elemanlardır. Saha ekipmanları, makaslar, ray devreleri ve sinyaller olmak üzere üç temel sınıfta incelenebilir.

2.2.1 Makaslar

Demiryolu üzerinde trenlerin yön değiştirmesi makaslar aracılığıyla gerçekleştirilir. Makaslar, makas motorları üzerinden kumanda edilen mekanik elemanlardır. Genellikle düz ve ters olmak üzere iki durumları vardır. Bu durumlar ile ilgili bilgiler sensörler aracılığıyla algılanıp anklaşman sistemine iletilir. Demiryollarında

kullanılan makaslar, basit, birleşik ve İngiliz tipi olarak adlandırılan üç ayrı yapıya sahiptir.

2.2.2 Ray devreleri

Ray devreleri, bir bölgede tren olup olmadığının bilgisini vermek üzere tasarlanmış, bu bilgiyi anklaşman sistemine ileten elektronik ekipmanlardır. Ray devreleri, AC ve DC ray devreleri olmak üzere ikiye ayrılırlar. DC ray devreleri, TCDD'nin istasyonlarda kullandığı ana ray devresi türüdür. Çalışma prensibi ray bloğuna 1,5-12V doğru gerilim verilmesine dayanır. Ray bloğu üzerinden tren geçerken bir kısa devre oluşur. Bu durum raya bağlı olan rölenin düşmesine neden olarak, ray bloğunun üstünde tren olduğunun anlaşılması sağlar.

Ray devreleri, ilgili ray bölgesinin boş olması durumunda anklaşman sistemine lojik 1 sinyalini, tren bulunması durumunda ise rayların elektriksel olarak tren üzerinden kısa devre olmasından yararlanarak, anklaşman sistemine lojik 0 sinyalini gönderir. Bu çalışma mekanizması sayesinde, kablo kopmalarına karşı bir güvenlik sağlanmış olur. Buna ek olarak ray devrelerden aynı anda hem "serbest" hem de "meşgul" bilgisi alınmaktadır. Oluşan bir arızadan dolayı bir ray bloğunun hem serbest hem de meşgul olduğuna dair bir bilgi geliyor ya da iki bilgi de gelmiyorsa ilgili ray bloğu anklaşman sistemi tarafından güvenli konumuna alınır.

2.2.3 Sinyaller

Sinyaller makiniste yol durumu ile ilgili bilgi veren ve makinistin uymakla yükümlü olduğu ışıkların genel adıdır. Sinyaller trenin gidiş güzergâhının sağında bulunur ve makiniste,

•Öndeki yolun boş veya dolu olduğu

•Trenin ilerlemeye izni olup olmadığı

•Sapma olup olmadığı

•Trenin hangi hızda seyretmesi gerektiği

•Bir sonraki sinyalin durumu

•İstasyona olan uzaklık

•İstasyondaki seyir hızı

gibi konularda bilgi verir. Sinyaller de makaslar gibi hem anklaşman sistemi tarafından kumanda edilen, hem de anklaşman sistemine durumları ile ilgili bilgileri gönderen ekipmanlardır.

Sinyaller görünüşlerine göre dörtlü yüksek, üçlü yüksek, üçlü cüce ve ikili cüce sinyaller olarak 4'e ayrılabilir.

2.2.3.1 Dörtlü yüksek sinyal

Bu tür sinyaller genellikle istasyon giriş çıkışlarında ve makas bölgelerine yaklaşılırken kullanılır. Bu sinyallerde renk sıralaması üstten başlayarak Sarı-Yeşil-Kırmızı-Sarı şeklindedir. En alttaki sarı lamba, sapma olup olmadığının bilgisini taşır. En alttaki yanıyorsa tren bir sonraki makas bölgesinde sapma yapacaktır.

Bir dörtlü yüksek sinyalde; sarı, yeşil, sarı üzeri sarı, sarı üzeri yeşil ve sarı üzeri kırmızı açma yetkisi olmak üzere 5 adet çıkış bulunur. Aynı şekilde sarı bildirim, yeşil bildirim, kırmızı bildirim, sarı üzeri sarı bildirim, sarı üzeri yeşil bildirim ve sarı üzeri kırmızı bildirim indikasyonları olmak üzere 6 adet giriş bulunur.



Şekil 2.1: Dörtlü yüksek sinyal

Çizelge 2.1: Dörtlü yüksek sinyal renk bildirim açıklamaları.

Renk	Açıklama
Kırmızı	Bir öndeki ray devresi dolu veya hat tanzimi yapılmamış (Dur)
Sarı	Bir sonraki ray devresi boş, ondan sonraki dolu (Kontrollü ilerle)
Yeşil	Önündeki en az iki ray devresi boş (İlerle)
Sarı üzeri Kırmızı	Bir sonraki makas bölgesinden sapma yapılacak, ancak öndeki ray devresi dolu (Her an durabilecek şekilde ilerle)
Sarı üzeri Sarı	Bir sonraki makas bölgesinden sapma yapılacak ve önündeki bir ray devresi boş (Kontrollü ilerle)
Sarı üzeri Yeşil	Bir sonraki ray devresinden sapma yapılacak ve önündeki en az iki ray devresi boş (İlerle)

2.2.3.2 Üçlü yüksek sinyal

Bu tür sinyaller ise genellikle istasyondaki anahat üzerinde kullanılır. Renk sıralaması yukarıdan aşağıya Sarı-Yeşil-Kırmızı şeklindedir.

Bir üçlü yüksek sinyalde; sarı ve yeşil açma yetkisi olmak üzere 2 adet çıkış bulunur. Aynı şekilde sarı bildirim, yeşil bildirim, kırmızı bildirim indikasyonları olmak üzere 3 adet giriş bulunur.



Şekil 2.2: Üçlü yüksek sinyal

Çizelge 2.2: Üçlü yüksek sinyal renk bildirim açıklamaları.

Renk	Açıklama
Kırmızı	Bir öndeki ray devresi dolu veya hat tanzimi yapılmamış (Dur)
Sarı	Bir sonraki ray devresi boş, ondan sonraki dolu (Kontrollü ilerle)
Yeşil	Önündeki en az iki ray devresi boş (İlerle)

2.2.3.3 Üçlü cüce sinyal

Bu tarz sinyaller ve barınma yollarının çıkışlarına ve istasyonların yan yollarına yerleştirilirler. Renk sıralaması yukarıdan aşağıya Kırmızı-Yeşil-Sarı şeklindedir. Sinyalin flaş yapıyor olması, ilgili sinyalin sinyalsiz yoldaki tren için açıldığını gösterir.

Bir üçlü cüce sinyalde; sarı, yeşil, flaş sarı, flaş yeşil, sarı üzeri kırmızı ve flaş sarı üzeri kırmızı açma yetkisi olmak üzere 6 adet çıkış bulunur. Aynı şekilde sarı bildirim, yeşil bildirim, kırmızı bildirim, flaş sarı bildirim, flaş yeşil bildirim, flaş sarı üzeri kırmızı bildirim ve sarı üzeri kırmızı bildirim indikasyonları olmak üzere 7 adet giriş bulunur.



Şekil 2.3: Üçlü cüce sinyal

Çizelge 2.3: Üçlü cüce sinyal renk bildirim açıklamaları.

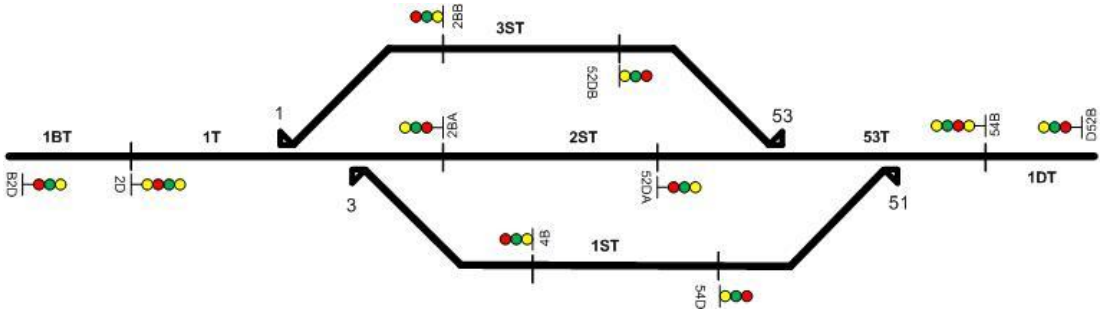
Renk	Açıklama
Kırmızı	Bir sonraki makas bölgesinden sapma yapılacak, ancak öndeki ray devresi dolu veya hat tanzimi yapılmamış (Dur)
Sarı	Bir sonraki makas bölgesinden sapma yapılacak ve önündeki bir ray devresi boş (Kontrollü ilerle)
Yeşil	Bir sonraki ray devresinden sapma yapılacak ve önündeki en az iki ray devresi boş (İlerle)
Sarı üzeri Kırmızı	Bir sonraki makas bölgesinden sapma yapılacak, ancak öndeki ray devresi dolu (Her an durabilecek şekilde ilerle)
Flaş Sarı	Bir sonraki makas bölgesinden sapma yapılacak ve önündeki bir ray devresi boş (Kontrollü ilerle)
Flaş Yeşil	Bir sonraki ray devresinden sapma yapılacak ve önündeki en az iki ray devresi boş (İlerle)
Flaş Sarı üzeri Kırmızı	Bir sonraki makas bölgesinden sapma yapılacak, ancak öndeki ray devresi dolu (Her an durabilecek şekilde ilerle)

2.3 Anklaşman Sistemi

Daha önce de söz edildiği gibi, demiryolu trafiğinin düzenlenmesi için kullanılan sinyalizasyon sistemlerinde, karar verme işlemi anklaşman sistemi ile sağlanır. Türkiye'de sinyalizasyonu yapılmış olan hatların çoğunluğunda halen röleli anklaşman sistemleri kullanılmaktadır. Karar verme mekanizması olarak bazı bölgelerde sadece rölelerle oluşturulan lojik devreler kullanıldığı gibi bazı bölgelerde rölelerle birlikle özel olarak tasarlanmış elektronik devreler de kullanılmaktadır [17]. Günümüzde elektronik anklaşman olarak adlandırılan sistemlerin tasarımında, karar verme işlemlerine karşı düşen lojik fonksiyonların PLC ile gerçeklenmesi konusunda çalışmalar yapılmaktadır. İster röleler ile gerçekleştirilmiş olsun isterse yazılımsal olarak gerçekleştirilmiş olsun anklaşman sistemleri anklaşman tabloları üzerinden

değerlendirilir. Anklaşman tabloları, ilgili bölge için olası güzergâh tanzim isteklerinin hangi durumlarda kabul edilmesi gerektiğini belirleyen tablolardır. Anklaşman sisteminin temel görevi trafik kumanda merkezi tarafından iletilen güzergâh tanzim isteklerinin değerlendirilmesi ve uygun bulunanların gerçekleştirilmesidir. Değerlendirme sırasında mevcut güzergâh tanzim istekleri ve saha ekipmanlarından gelen bilgiler kullanılır. Örneğin, herhangi bir güzergâh tanziminin güvenli bir şekilde yapılabilmesi için anklaşman sistemi tarafından; ray devrelerinin üzerinde bir tren olup olmadığı kontrol edilmeli, ray devreleri boş ise makaslar istenen konumlarına kilitlenmeli, ilgili hatta her yöne bildirim veren tüm sinyaller doğru kombinasyonlara kilitlenmeli ve güzergâh üzerindeki sinyaller de trenin ilerlemesine izin verecek şekilde ayarlanmalıdır.

Anklaşman tablosu, bir güzergâh tanziminin yapılabilmesi için gerekli olan işlemlere ilişkin genel geçer kuralların bütününün bir tablo şeklinde gösterilmesidir. Şekil 2.4'te örnek bir istasyon ve Çizelge 2.4'te 1BT-2ST rotasıyla ilgili basitleştirilmiş anklaşman tablosunun bir satırı görülmektedir.



Şekil 2.4: Örnek bir saha modeli

Çizelge 2.4: Bir anklaşman tablosu örneği

Rota	Sinyal No	Sinyal Durumu S. B.	Sinyal Durumu Ön şart	Makas Kilit	Sinyal Kilit	Rota Kilit
1BT-2ST	2D	Y	52DA S,Y	1(N), 3(N)	2BA,2BB, 4B,54B1	001BT-1T-2ST
		S	52DA K			
		SK				

3. OTOMAT YÖNTEMİ

Otomatlar kuramı, ayrık olay sistemlerinin analizi ve tasarımı için formal yöntemler sağlayan bir kuramdır. Bu kuram ayrık olay sistemlerinin modeli olarak otomatları kullanır. Bu kurama dayanan bir tasarım yöntemini kullanabilmek için önce sistemin otomat modelini inşa etmek gerekir [16]. Sistemin otomat modelini elde etmek için gerekli durumlar ve bu durumlar arasındaki geçişleri sağlayacak olan olaylar belirlenir. Son olarak modelin bir PLC'de gerçeklenebilmesi için durum geçiş fonksiyonları ve olay işaretleri elde edilerek bunların PLC koduna aktarılmaları sağlanır.

3.1 Durum Geçiş Fonksiyonlarının Elde Edilmesi

Tasarım sırasında oluşturulan otomattaki her duruma ilişkin durum geçiş fonksiyonları, otomatı ilgili duruma getiren ve ilgili durumdan çıkarak koşullara bağlı olarak belirlenebilir. Durum geçiş fonksiyonları durum sayısı "m" olan bir otomat için **(3.1)**'deki ifadeyle verilir.

$$Q_i = \sum_{j=1}^{m} q_j \cdot T_{j,i} + q_i \cdot \prod_{k=1}^{m} \bar{T}_{i,k} \ , \qquad i \neq j, i \neq k \tag{3.1}$$

ifadesiyle verilir. Burada Q_i sonraki durumu; q_i, q_j mevcut durumu; $T_{j,i}$, q_j mevcut durumundan Q_i sonraki durumuna getiren koşulları ve $T_{i,k}$, q_i mevcut durumundan Q_k sonraki durumuna götüren koşullar olarak tanımlanır [18].

Başlangıç durumuna ilişkin geçiş fonksiyonu, otomatın başlangıç durumunda olmasını gerektiren koşullar göz önünde bulundurularak yazılabilir. Örnek olarak PLC'nin ilk olarak devreye alındığında kurulan ilk çevrim biti ile otomat başlangıç durumuna alınabileceği gibi, uygulamaya bağlı olarak başka ifadeler de başlangıç fonksiyonu için tanımlanabilir. Bunun dışında başlangıç durumu, olaylardan bağımsız olarak diğer durumlara bağlı şekilde de ifade edilebilir. Bu çalışmada otomatların başlangıç durumu ifadesi için [18]'de belirtildiği gibi **(3.2)** şeklinde kullanılmıştır.

$$Q_i = \sum_{k=2}^{m} \bar{q}_k \qquad \textbf{(3.2)}$$

"Otomat hiçbir durumda değilse başlangıç durumundadır" şeklinde tanımlanabilecek bu yöntem sayesinde otomatın herhangi bir elektrik kesintisi sonrasındaki durumu belirlenebilir. Eğer şimdiki durumu belirten q_k ifadeleri kalıcı bellek alanları olarak seçilirse, otomat herhangi bir elektrik kesintisi sonrasında durumunu koruyacaktır [19].

Her bir durum için elde edilen mantık fonksiyonlarının tam olarak programa aktarılabilmesi için, eşzamanlı ardışıl devre yaklaşımına benzer şekilde otomatın şimdiki (q_k) ve sonraki (Q_k) durumlarına ayrı bellek alanları atanmasını gerektirir [19]. Durum sayısı m olan bir otomatın, önceki ve sonraki durumları arasındaki ilişki [18]'de verildiği gibi **(3.3)** şeklinde olacaktır.

$$q_k = Q_k, \qquad k = 1,2,3,\dots,m \qquad \textbf{(3.3)}$$

3.2 Olay İşaretlerinin Elde Edilmesi

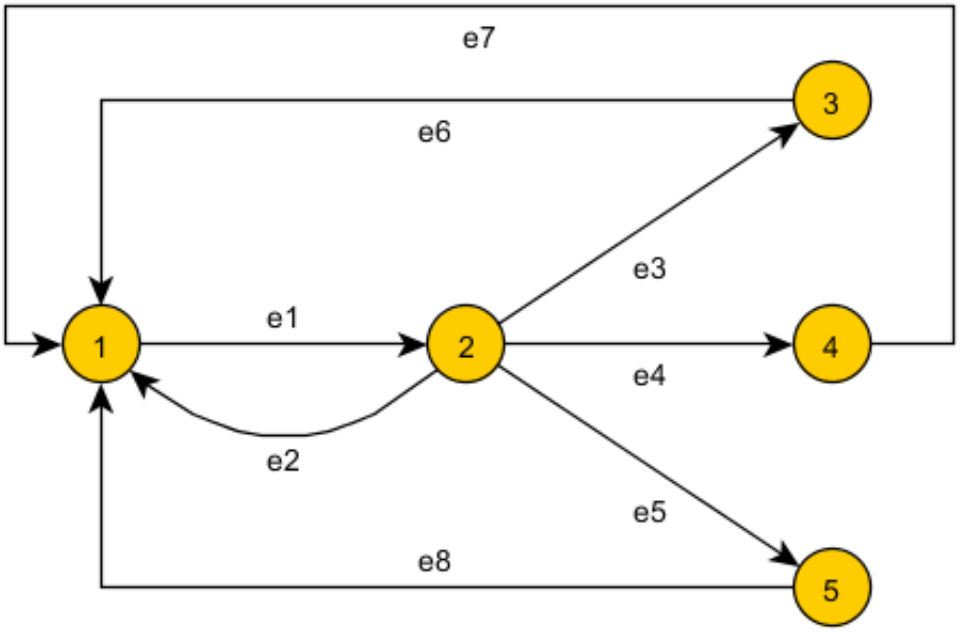
Ayrık olay sistem yaklaşımına göre, devre davranışını belirleyen olayların anlık işaretler olması gerekir. Devrenin gerçeklemesi PLC ile yapılacaksa sadece 1 tarama çevrimi boyunca etkin olan bir işaret, anlık işaret olarak değerlendirilebilir. Anlık olay işaretleri PLC'de bulunan düşen kenar veya çıkan kenar komutları kullanılarak elde edilebilir [19].

Anlık olarak tanımlanması gereken olay işaretleri, PLC ile gerçekleme sırasında, belirli koşullar altında, doğrudan mantıksal durum işaretleri olarak kullanılabilir. Eğer (3.1) ifadesi için $T_{j,i} = T_{i,k}$ koşulunu sağlayan herhangi bir ifade varsa, o işaret mutlaka anlık olay işareti olarak alınmalıdır. Özet olarak otomatı bir Q_k durumuna getiren herhangi bir giriş işareti, aynı zamanda Q_k durumundan çıkaran bir giriş işareti değilse, bu girişin mantıksal durum işareti kullanılabilir [18].

3.3 Örnek

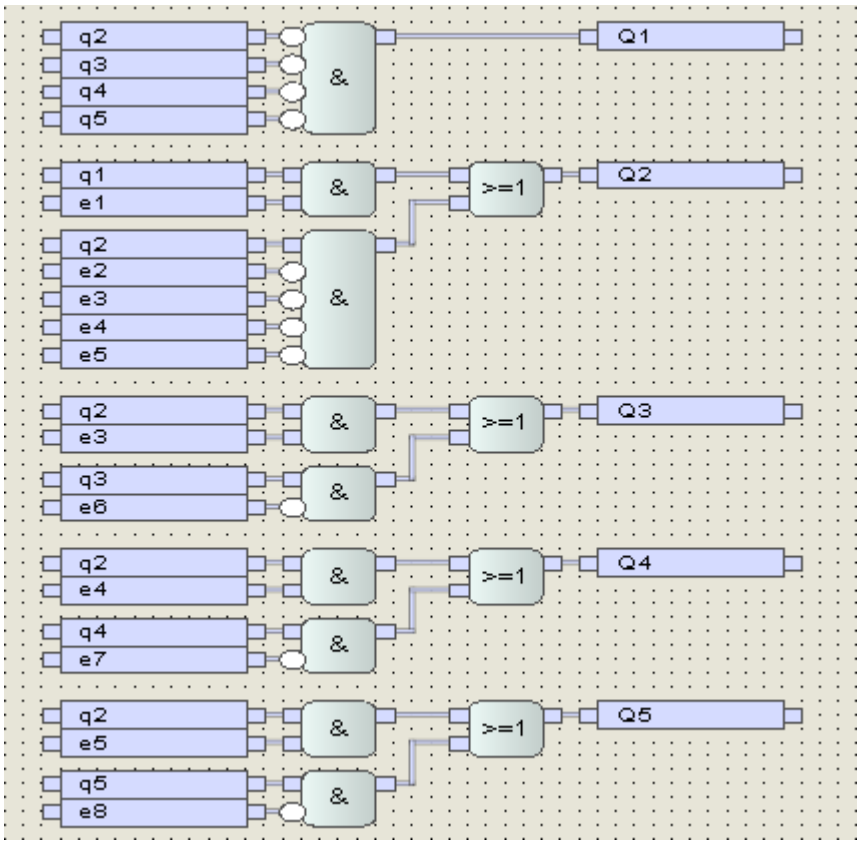
İstenen sisteme ilişkin otomat hazırlandıktan sonra **(3.1)**, **(3.2)** ve **(3.3)** de verilen ifadelerden yararlanılarak elde edilen mantık fonksiyonlarının PLC'de gerçeklenmesi için bir programın yazılması gerekir. Şekil 3.1'de basitleştirilmiş bir sinyal kumanda

otomatı verilmiştir [16]. Buna göre “3” durumu sinyalin sarı yakılması, “4” durumu sinyalin yeşil yakılması ve “5” durumu sinyalin sarı üzeri kırmızı yakılması durumudur. Verilmiş olan örnek otomatın için elde edilen mantık fonksiyonları ve bu fonksiyonların PLC’de gerçeklenmesini sağlayan program kodları aşağıda verilmiştir. Program kodlarının hazırlanması için HIMA SilworX programı kullanılmıştır.

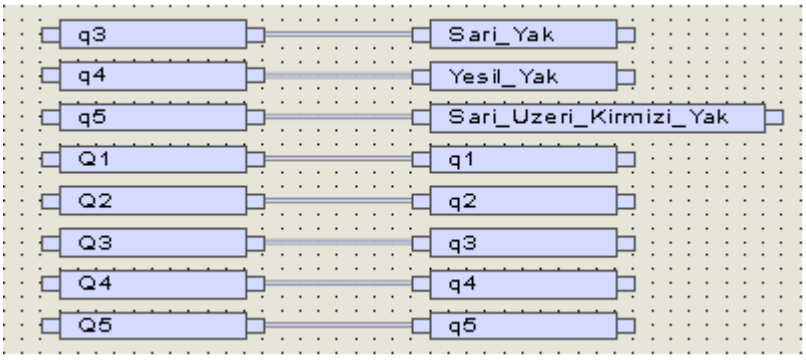


Şekil 3.1: Basit bir sinyal kumanda otomatı.

$$
\begin{aligned}
&Q_1 = \bar{q}_2\bar{q}_3\bar{q}_4\bar{q}_5 \\
&Q_2 = q_1e_1 + q_2\bar{e}_2\bar{e}_3\bar{e}_4\bar{e}_5 \\
&Q_3 = q_2e_3 + q_3\bar{e}_6 \\
&Q_4 = q_2e_4 + q_4\bar{e}_7 \\
&Q_5 = q_2e_5 + q_5\bar{e}_8 \\
&q_1 = Q_1\,, q_2 = Q_2\,, q_3 = Q_3, q_4 = Q_4, q_5 = Q_5
\end{aligned}
\qquad \textbf{(3.4)}
$$



Şekil 3.2: Mantık fonksiyonlarının PLC koduna aktarılması.



Şekil 3.3: İlgili çıkışları kumanda eden durumların atanması ve kodun PLC'de gerçeklenebilir hale getirilmesi.

4. OTOMAT YÖNTEMİ İLE ANKLAŞMAN SİSTEMİNİN YAZILIMININ HAZIRLANMASI

4.1 Amaç

Bu bölümde, üçüncü bölümde anlatılan Otomat yönteminden yararlanılarak anklaşman sisteminin yazılımının temelini oluşturacak olan fonksiyon bloklarının tasarımı anlatılacaktır. Hazırlanan her bir fonksiyon bloğu için öncelikle hazırlanan otomatın ne amaçla hazırlandığı ve nasıl çalıştığı anlatılacak; sonrasında durum ve olay açıklamaları çizelge halinde verilecektir. Son olarak ise ilgili otomatın PLC'de gerçeklenmesi için gerekli mantık fonksiyonları verilecektir.

4.2 Yazılan Fonksiyon Blokları ve İşlevleri

TCDD'nin, anklaşman sisteminden olan isterlerini karşılamak için güzergâh tanzim işlemini ve her bir saha elemanının kontrolünü sağlayan fonksiyon blokları otomat yöntemiyle tasarlanarak SilworX programı ile PLC koduna aktarılmıştır. Bu fonksiyon bloklarının arasında makas hareketini kontrol eden, ray devrelerindeki aktiviteyi denetleyen, sinyallerin yakılmasını sağlayan ve güzergâh tanziminin güvenli şekilde yapılmasını sağlayan fonksiyonlar bulunmaktadır.

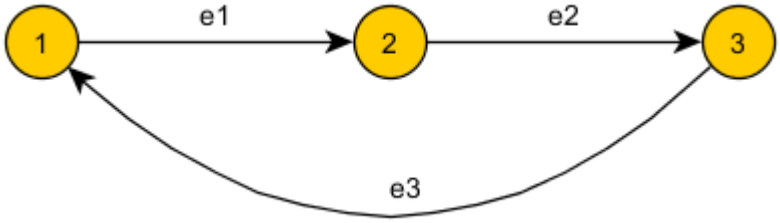
4.2.1 Makas fonksiyon bloğu

Makas fonksiyon bloğu TCDD'nin makaslarla ilgili isterlerini karşılayacak şekilde 7 alt işlevin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Her bir işlevi gerçekleştirecek olan fonksiyon blokları otomat yöntemiyle tasarlanılarak Makas fonksiyon bloğu çatısı altında toplanmıştır. Alt işlevleri gerçekleştiren fonksiyon bloklarına ilişkin tasarım ve açıklamalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

4.2.1.1 MakasGüzergâhBloke fonksiyon bloğu

KM bazı durumlarda belirli bir makası içeren tüm güzergâhları bloke etmek istemektedir. Bunun için KM anklaşman sistemine "makas güzergâh bloke talebi" gönderir. Bu taleple beraber otomat yeni bir duruma geçerek ilgili makası içeren tüm

güzergâhları bloke eder. Güzergâh blokesi yapılmış bir makas için bloke durumu iptal edilmek istenirse KM tarafından blokenin iptaline yönelik bir talep yapılır. Gelen bu taleple beraber otomat yeni bir duruma geçerek makas güzergâh blokesini kaldırırken, tekrardan başlangıç durumuna geçmek için KM'den bloke işleminin iptal edildiğinin okunduğuna dair işareti bekler.



Şekil 4.1: MakasGüzergâhBloke fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.1: MakasGüzergâhBloke fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Güzergâh bloke edilmesi durumu
3	Güzergâh bloke iptal edilmesi durumu

Çizelge 4.2: MakasGüzergâhBloke fonksiyonu olay açıklamaları.

Olay	Açıklama
e1	Güzergâh bloke et talebi
e2	Güzergâh bloke iptal et talebi
e3	Güzergâh bloke iptal edildi bilgisi okundu

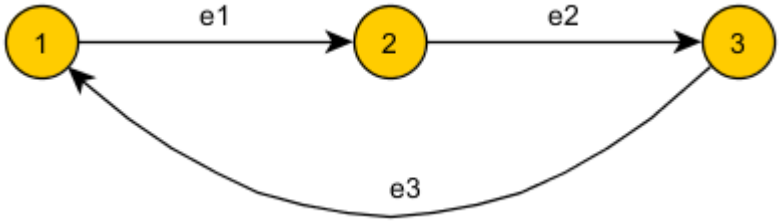
Şekil 4.1'deki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.1)**'de verilmiştir.

$$Q_1 = \bar{q}_2\bar{q}_3$$
$$Q_2 = q_1e_1 + q_2\bar{e}_2 \qquad \textbf{(4.1)}$$
$$Q_3 = q_2e_2 + q_3\bar{e}_3$$

4.2.1.2 MakasHareketBloke fonksiyon bloğu

KM bazı durumlarda belirli bir makasın hareketini bloke etmek istemektedir. Bunun için KM anklaşman sistemine "makas hareket bloke talebi" gönderir. Bu taleple

beraber otomat yeni bir duruma geçerek ilgili makasın hareketini bloke eder. Hareket blokesi yapılmış bir makas için bloke durumu iptal edilmek istenirse KM tarafından blokenin iptaline yönelik bir talep yapılır. Gelen bu taleple beraber otomat yeni bir duruma geçerek makas hareket blokesini kaldırırken, tekrardan başlangıç durumuna geçmek için KM'den bloke işleminin iptal edildiğinin okunduğuna dair işareti bekler.



Şekil 4.2: MakasHareketBloke fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.3: MakasHareketBloke fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Hareket bloke edilmesi durumu
3	Hareket bloke iptal edilmesi durumu

Çizelge 4.4: MakasHareketBloke fonksiyonu olay açıklamaları.

Olay	Açıklama
e1	Hareket bloke et talebi
e2	Hareket bloke iptal et talebi
e3	Hareket bloke iptal edildi bilgisi okundu

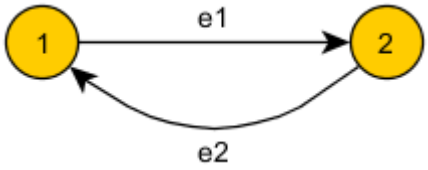
Şekil 4.2'deki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.2)**'de verilmiştir.

$$Q_1 = \bar{q}_2\bar{q}_3$$
$$Q_2 = q_1e_1 + q_2\bar{e}_2 \quad \textbf{(4.2)}$$
$$Q_3 = q_2e_2 + q_3\bar{e}_3$$

4.2.1.3 MakasİndikasyonsuzlukHatası fonksiyon bloğu

Anklaşman sistemi makasların konumunu sürekli kontrol etmektedir. Makasın hareketli olmadığı bir anda, ya da makas harekete başladıktan sonra 7 saniye içinde

makastan gelen normal ve sapan indikasyonlarının ikisinin de kaybolması durumunda makas indikasyonsuzluk hatasına düşer. Makas için dispeçer üzerinden hareket talebi yapılırsa veya ilgili makası içeren bir güzergâh için tanzim talebi yapılırsa makas indikasyonsuzluk hatasından çıkar.



Şekil 4.3: MakasİndikasyonsuzlukHatası fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.5: MakasİndikasyonsuzlukHatası fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	İndikasyonsuzluk hatası durumu

Çizelge 4.6: MakasİndikasyonsuzlukHatası fonksiyonu olay açıklamaları.

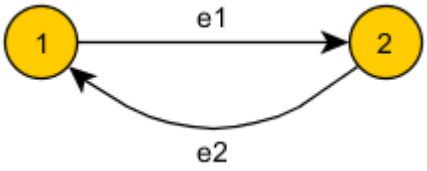
Olay	Açıklama
e1	Makas hareketli değilken veya harekete geçtikten sonra 7 saniye içinde hiçbir indikasyonun gelmemesi
e2	Makasa hareket etmesi yönünde talep yapılması

Şekil 4.3'teki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.3)**'te verilmiştir.

$$Q_1 = \bar{q}_2$$
$$Q_2 = q_1 e_1 + q_2 \bar{e}_2 \quad \textbf{(4.3)}$$

4.2.1.4 MakasVeriBağdaşımHatası fonksiyon bloğu

Anklaşman sistemi makasların konumunu sürekli kontrol etmektedir. Makastan aynı anda hem normal, hem de sapan indikasyonunun gelmesi durumunda; ya da makasa ters yönde hareket komutu verildikten sonra 7 saniye içinde makas hala harekete başlamamışsa, makas veri bağdaşım hatasına düşer. KM tarafından iletilen "Veri bağdaşım hatasını normalize et" işaretiyle makas veri bağdaşım hatasından çıkar.



Şekil 4.4: MakasVeriBağdaşımHatası fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.7: MakasVeriBağdaşımHatası fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Veri bağdaşım hatası durumu

Çizelge 4.8: MakasVeriBağdaşımHatası fonksiyonu olay açıklamaları.

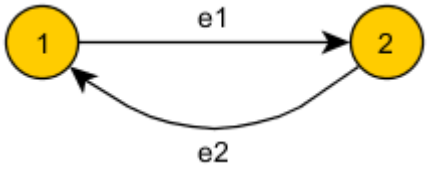
Olay	Açıklama
e1	Makastan aynı anda hem normalde hem de sapanda indikasyonu gelmesi; veya makasa hareket komutu verilmesine rağmen 7 saniye içinde makasın hareket etmemesi
e2	KM'den veri bağdaşım hatasını normalize etme işaretinin gelmesi

Şekil 4.4'deki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.4)**'te verilmiştir.

$$Q_1 = \bar{q}_2$$
$$Q_2 = q_1 e_1 + q_2 \bar{e}_2 \quad \textbf{(4.4)}$$

4.2.1.5 MakasÇevirmeRet fonksiyon bloğu

Anklaşman sistemi KM'den gelen makas çevirme talebini, makasa ait indikasyon, hata ve durum bilgilerine bakarak değerlendirir. Makasa çevirme talebi geldiği sırada, makasa hâlihazırda gönderilen bir çevirme komutu ya da önceki bir tanzimden dolayı makasın sırada olması durumu varsa veya makasın bulunduğu ray devresinde meşguliyet, makas üzerinde hareket blokesi, makas kilidi ya da makas veri bağdaşım hatası varsa çevirme reddedilerek KM durum hakkında bilgilendirilir. KM'den gelen reddedilmenin okunduğu bilgisiyle otomat başlangıç durumuna geri döner.



Şekil 4.5: MakasÇevirmeRet fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.9: MakasÇevirmeRet fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Makas çevrilme talebinin reddi durumu

Çizelge 4.10: MakasÇevirmeRet fonksiyonu olay açıklamaları.

Olay	Açıklama
e1	Makastan çevirme talebi geldiğinde; makasın meşgulde, hareketi blokeli, sırada, kilitli veya makasın bulunduğu ray devresinin meşgul olması
e2	KM'den "çevirme reddedildi okundu" bilgisi gelmesi

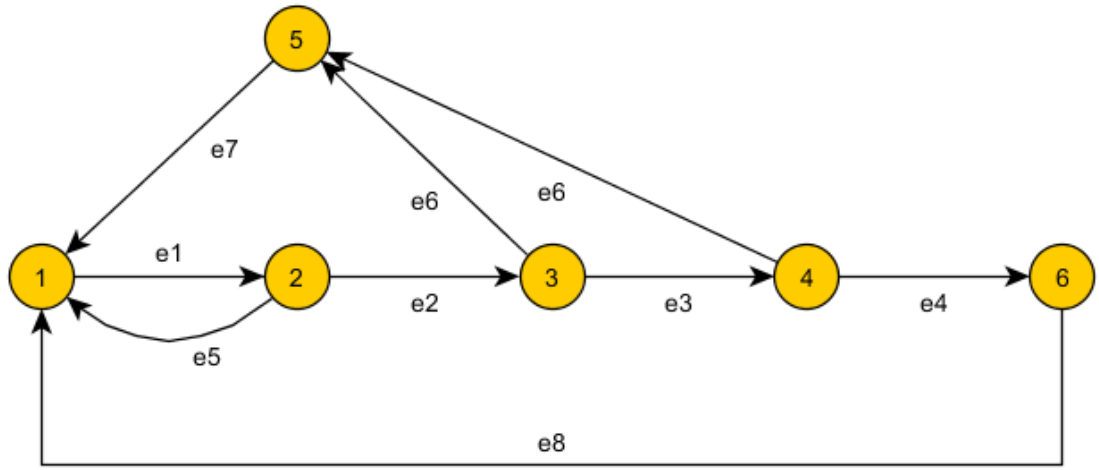
Şekil 4.5'teki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.5)**'te verilmiştir.

$$Q_1 = \bar{q}_2$$
$$Q_2 = q_1 e_1 + q_2 \bar{e}_2 \quad \textbf{(4.5)}$$

4.2.1.6 MakasNormaleÇevir fonksiyon bloğu

Anklaşman sisteminin makası normal konumuna çevirmesi için iki farklı şekilde talep yapılabilir. İlk olarak KM tarafından direkt olarak ilgili makasın normale çevrilmesi talep edilebilir. İkinci olarak ise KM'nin ilgili makasın normale çevrilmesini gerektirecek bir güzergâh talep etmesi şeklinde olur. Her iki durumda da anklaşman sistemi ilgili makasın ve sahanın durumunu gözden geçirerek talebi değerlendirir. Makas çevirme talebi gelmesiyle birlikte eğer makas zaten normal komundaysa hiçbir işlem yapılmadan otomat başlangıç konumuna geri döner. Eğer makas normal konumda değilse makasın çevrilmeye uygun olup olmadığı kontrol edilir. Makasın çevrilebilir durumda olması için; makasın hareketi bloke edilmemiş, kilitlenmemiş, veri bağdaşım hatasına düşmemiş ve boşta olması gerekir. Aynı zamanda makasın bulunduğu ray devresi de boş olmalıdır. Bu şartların tamamının

uygun olması durumunda otomat bir sonraki duruma geçerek ilgili makasın çalışma sırasının gelmesini bekler. Şartlardan herhangi birinin uygun olmaması durumunda çevrim ret edilerek başlangıç konumuna geri dönülür. Makasın çevrilmesi için aynı güç kaynağına bağlanmış hiçbir makas hareket halinde veya sırada bekliyor olmamalıdır. Çevrilmek istenen makasın sırası geldiği zaman makas çevrilme şartları hala sağlanıyorsa otomat yeni bir duruma geçerek makasın normale çevrilmesi komutunu sahaya iletir. Makas sırada beklerken makasın çevrilmesi ile ilgili herhangi bir engel oluşursa, makasın çevrilme talebi reddedilerek otomat tekrardan başlangıç konumuna alınır.



Şekil 4.6: MakasNormaleÇevir fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.11: MakasNormaleÇevir fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Makası normale çevirme talebinin gelmesi durumu
3	Makasın normal konumda olmaması durumu
4	Makas çevirme şartları uygun, sırada bekleme durumu
5	Makası normale çevirmenin reddedilmesi durumu
6	Makası normale çevirme durumu

Çizelge 4.12: MakasNormaleÇevir fonksiyonu olay açıklamaları.

Olay	Açıklama
e1	Makası normale çevir talebi
e2	Makas normal konumda değil
e3	Makas çevrime şartları uygun (Haraket bloke, kilit, veri bağdaşım hatası yok. Makas boşta ve makas ray devresi boş)
e4	Makasın çevrilme sırasının gelmesi
e5	Makas normal konumunda
e6	Makas çevirme şartları uygun değil
e7	KM'ye gönderilen, makası çevirme işleminin reddedildiği bilgisinin okunduğu işareti
e8	Makasın normal konuma ulaşması veya 7 saniye içinde normal konumuna ulaşamaması

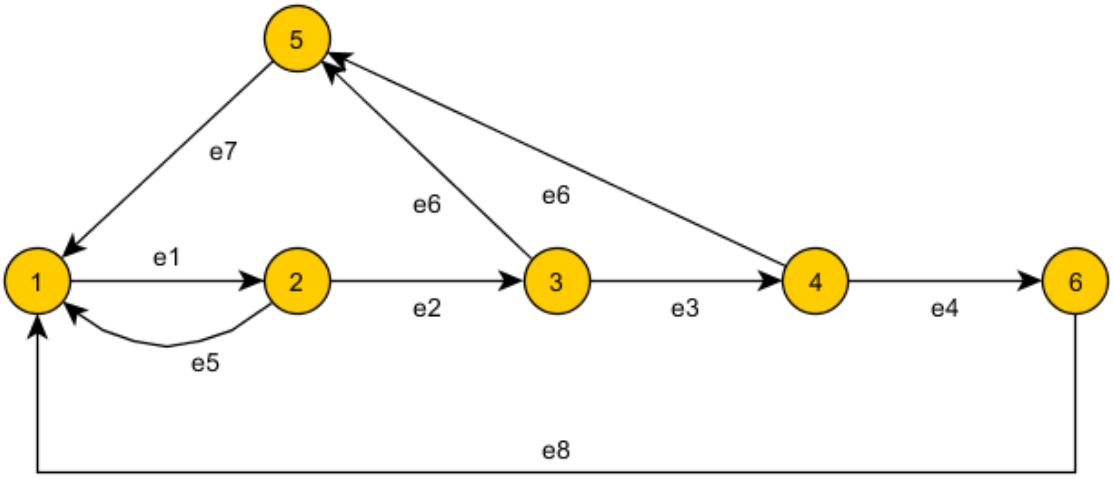
Şekil 4.6'daki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.6)**'da verilmiştir.

$$
\begin{aligned}
Q_1 &= \bar{q}_2\bar{q}_3\bar{q}_4\bar{q}_5\bar{q}_6 \\
Q_2 &= q_1e_1 + q_2\bar{e}_2\bar{e}_5 \\
Q_3 &= q_2e_2 + q_3\bar{e}_3\bar{e}_6 \\
Q_4 &= q_3e_3 + q_4\bar{e}_4\bar{e}_6 \\
Q_5 &= q_3e_6 + q_4e_6 + q_5\bar{e}_7 \\
Q_6 &= q_4e_4 + q_6\bar{e}_8
\end{aligned}
\qquad \textbf{(4.6)}
$$

4.2.1.7 MakasSapanaÇevir fonksiyon bloğu

Anklaşman sisteminin makası sapan konumuna çevirmesi için iki farklı şekilde talep yapılabilir. İlk olarak KM tarafından direkt olarak ilgili makasın sapana çevrilmesi talep edilebilir. İkinci olarak ise KM'nin ilgili makasın sapana çevrilmesini gerektirecek bir güzergâh talep etmesi şeklinde olur. Her iki durumda da anklaşman sistemi ilgili makasın ve sahanın durumunu gözden geçirerek talebi değerlendirir. Makas çevirme talebi gelmesiyle birlikte eğer makas zaten sapan komundaysa hiçbir işlem yapılmadan otomat başlangıç konumuna geri döner. Eğer makas sapan konumda değilse makasın çevrilmeye uygun olup olmadığı kontrol edilir. Makasın çevrilebilir durumda olması için; makasın hareketi bloke edilmemiş, kilitlenmemiş, veri bağdaşım hatasına düşmemiş ve boşta olması gerekir. Aynı zamanda makasın

bulunduğu ray devresi de boş olmalıdır. Bu şartların tamamının uygun olması durumunda otomat bir sonraki duruma geçerek ilgili makasın çalışma sırasının gelmesini bekler. Şartlardan herhangi birinin uygun olmaması durumunda çevrim ret edilerek başlangıç konumuna geri dönülür. Makasın çevrilmesi için aynı güç kaynağına bağlanmış hiçbir makas hareket halinde veya sırada bekliyor olmamalıdır. Çevrilmek istenen makasın sırası geldiği zaman makas çevrilme şartları hala sağlanıyorsa otomat yeni bir duruma geçerek makasın sapana çevrilmesi komutunu sahaya iletir. Makas sırada beklerken makasın çevrilmesi ile ilgili herhangi bir engel oluşursa, makasın çevrilme talebi reddedilerek otomat tekrardan başlangıç konumuna alınır.



Şekil 4.7: MakasSapanaÇevir fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.13: MakasSapanaÇevir fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Makası sapana çevirme talebinin gelmesi durumu
3	Makasın sapan konumda olmaması durumu
4	Makas çevirme şartları uygun, sırada bekleme durumu
5	Makası sapana çevirmenin reddedilmesi durumu
6	Makası sapana çevirme durumu

Çizelge 4.14: MakasSapanaÇevir fonksiyonu olay açıklamaları.

Olay	Açıklama
e1	Makası sapana çevir talebi
e2	Makas sapan konumda değil
e3	Makas çevrime şartları uygun (Haraket bloke, kilit, veri bağdaşım hatası yok. Makas boşta ve makas ray devresi boş)
e4	Makasın çevrilme sırasının gelmesi
e5	Makas sapan konumunda
e6	Makas çevirme şartları uygun değil
e7	KM'ye gönderilen, makası çevirme işleminin reddedildiği bilgisinin okunduğu işareti
e8	Makasın sapan konuma ulaşması veya 7 saniye içinde sapan konumuna ulaşamaması

Şekil 4.7'deki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.7)**'de verilmiştir.

$$
\begin{aligned}
Q_1 &= \bar{q}_2\bar{q}_3\bar{q}_4\bar{q}_5\bar{q}_6 \\
Q_2 &= q_1e_1 + q_2\bar{e}_2\bar{e}_5 \\
Q_3 &= q_2e_2 + q_3\bar{e}_3\bar{e}_6 \\
Q_4 &= q_3e_3 + q_4\bar{e}_4\bar{e}_6 \\
Q_5 &= q_3e_6 + q_4e_6 + q_5\bar{e}_7 \\
Q_6 &= q_4e_4 + q_6\bar{e}_8
\end{aligned}
\qquad \textbf{(4.7)}
$$

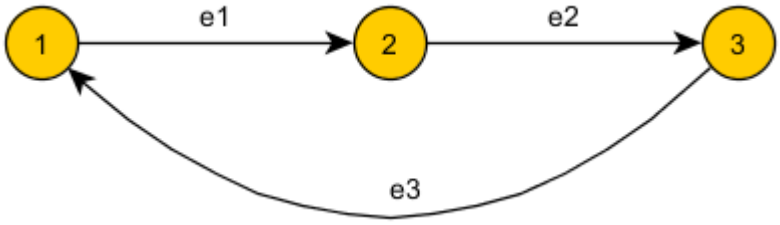
4.2.2 RayDevresi fonksiyon bloğu

RayDevresi fonksiyon bloğu TCDD'nin ray devreleri ile ilgili isterlerini karşılayacak şekilde 3 alt işlevin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Her bir işlevi gerçekleştirecek olan fonksiyon blokları otomat yöntemiyle tasarlanılarak RayDevresi fonksiyon bloğu çatısı altında toplanmıştır. Alt işlevleri gerçekleştiren fonksiyon bloklarına ilişkin tasarım ve açıklamalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

4.2.2.1 RayBloke fonksiyon bloğu

KM bazı durumlarda belirli bir ray devresini bloke ederek ilgili ray bloğuna tren girmesini engellemektedir. Bunun için KM anklaşman sistemine "ray bloke talebi"

gönderir. Bu taleple beraber otomat yeni bir duruma geçerek ilgili ray devresini bloke eder. Blokesi edilmiş bir ray devresinin bloke durumu iptal edilmek istenirse KM tarafından blokenin iptaline yönelik bir talep yapılır. Gelen bu taleple beraber otomat yeni bir duruma geçerek ray blokesini kaldırırken, tekrardan başlangıç durumuna geçmek için KM'den bloke işleminin iptal edildiğinin okunduğuna dair işareti bekler.



Şekil 4.8: RayBloke fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.15: RayBloke fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Ray bloke edilmesi durumu
3	Ray bloke iptal edilmesi durumu

Çizelge 4.16: RayBloke fonksiyonu olay açıklamaları.

Olay	Açıklama
e1	Ray bloke et talebi
e2	Ray bloke iptal et talebi
e3	Ray bloke iptal edildi bilgisi okundu

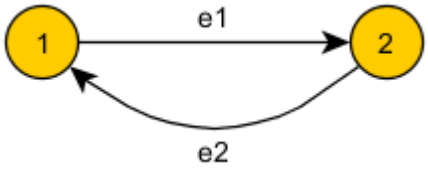
Şekil 4.8'deki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.8)**'de verilmiştir.

$$Q_1 = \bar{q}_2\bar{q}_3$$
$$Q_2 = q_1e_1 + q_2\bar{e}_2 \quad \textbf{(4.8)}$$
$$Q_3 = q_2e_2 + q_3\bar{e}_3$$

4.2.2.2 RayVeriBağdaşımHatası fonksiyon bloğu

Anklaşman sistemi ray devrelerinin durumunu sürekli kontrol etmektedir. Herhangi

bir ray devresinden aynı anda hem boş, hem de meşgul indikasyonunun gelmesi durumunda ray veri bağdaşım hatası oluşur. KM tarafından iletilen "Veri bağdaşım hatasını normalize et" işaretiyle ray devresi veri bağdaşım hatasından çıkar.



Şekil 4.9: RayVeriBağdaşımHatası fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.17: RayVeriBağdaşımHatası fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Veri bağdaşım hatası durumu

Çizelge 4.18: RayVeriBağdaşımHatası fonksiyonu olay açıklamaları.

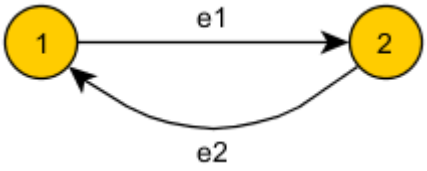
Olay	Açıklama
e1	Ray devresinden aynı anda hem boş, hem de meşgul indikasyonunun gelmesi
e2	KM'den veri bağdaşım hatasını normalize etme işaretinin gelmesi

Şekil 4.9'daki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.9)**'da verilmiştir.

$$Q_1 = \bar{q}_2$$
$$Q_2 = q_1 e_1 + q_2 \bar{e}_2 \qquad \textbf{(4.9)}$$

4.2.2.3 RayBeklenmedikMeşguliyetHatası fonksiyon bloğu

Anklaşman sistemi ray devrelerinin durumunu sürekli kontrol etmektedir. Herhangi bir ray devresinin üzerinde tanzim herhangi bir tanzim yokken, beklemedik bir şekilde meşgul olması durumunda "beklenmedik meşguliyet" hatası oluşur ve bu durum KM'ye iletilir. KM tarafından iletilen "Beklenmedik meşguliyet hatasını normalize et" işaretiyle otomat başlangıç durumuna geri dönerek beklenmedik meşguliyet hatasını kaldırır.



Şekil 4.10: RayBeklenmedikMeşguliyetHatası fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.19: RayBeklenmedikMeşguliyetHatası fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Beklenmedik meşguliyet hatası durumu

Çizelge 4.20: RayBeklenmedikMeşguliyetHatası fonksiyonu olay açıklamaları.

Olay	Açıklama
e1	Üzerinde tanzim bulunmayan bir ray devresinin boş durumdan meşgul durumuna geçmesi
e2	KM'den beklenmedik meşguliyet hatasını normalize etme işaretinin gelmesi

Şekil 4.10'daki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.10)**'da verilmiştir.

$$Q_1 = \bar{q}_2$$
$$Q_2 = q_1 e_1 + q_2 \bar{e}_2 \qquad \textbf{(4.10)}$$

4.2.3 Sinyal fonksiyon bloğu

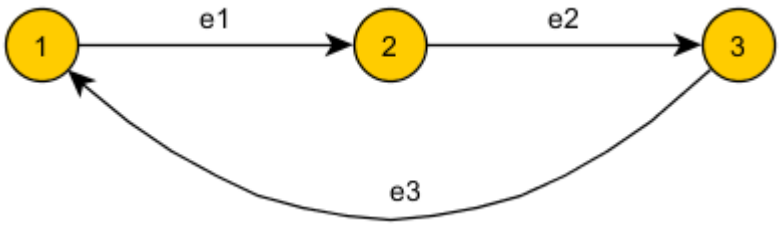
Sinyal fonksiyon bloğu TCDD'nin demiryollarındaki sinyaller ile ilgili isterlerini karşılayacak şekilde 6 alt işlevin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Her bir işlevi gerçekleştirecek olan fonksiyon blokları otomat yöntemiyle tasarlanılarak Sinyal fonksiyon bloğu çatısı altında toplanmıştır. Tasarım aşamasında iki farklı yöntem göz önünde bulundurulmuştur. İlk olarak [16]'da verildiği gibi TCDD'nin genel kurallarını içeren ve yakılacak sinyale bu kurallara dayanarak kendi başına karar veren bir otomat hazırlanması düşünülmüştür. Fakat çalışma yapılan bölgelerin genellikle istasyon bölgeleri olması sebebiyle genel kurallara uymaya istisnai sinyal durumlarının çokça bulunması bu yöntemi uygulanabilir olmaktan çıkarmıştır. İkinci yöntem ise fonksiyon bloğunun içinde sadece gerekli güvenlik kontrollerini yaparak, dışarıdan aldığı direktife göre gerekli sinyali yakan bir yapı oluşturmaktır. Böyle bir

yapının tasarımının daha kolay olması ve istisnai durumlarda da kullanabilir olması tasarımda bu yöntemin tercih edilmesini sağlamıştır. Bu yöntemin bir avantajı da fonksiyon bloğunun girişleri için yapılan bağlantıların doğrudan anklaşman tablosundan yararlanılarak yapılmasıdır. Hazırlanan algoritmaların testleri anklaşman tabloları üzerinden yapıldığı için uygulama sırasında oluşabilecek hatalar bu yöntem ile kolayca bulunarak giderilebilir.

Sinyal fonksiyon bloğunda alt işlevleri gerçekleştiren fonksiyon bloklarına ilişkin tasarım ve açıklamalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

4.2.3.1 SinyalBaşlangıçBloke fonksiyon bloğu

KM bazı durumlarda belirli bir sinyal için başlangıç blokesi getirmek istemektedir. Bu şekilde ilgili sinyal ile başlayan tüm tanzimlerim reddedilmesi sağlanmaktadır. Sinyale başlangıç blokesi uygulanması için KM anklaşman sistemine "sinyal başlangıç bloke talebi" gönderir. Bu taleple beraber otomat yeni bir duruma geçerek ilgili sinyal için başlangıç blokesi oluşturur. Başlangıç blokesi yapılmış bir sinyal için bloke durumu iptal edilmek istenirse KM tarafından blokenin iptaline yönelik bir talep yapılır. Gelen bu taleple beraber otomat yeni bir duruma geçerek sinyal başlangıç blokesini kaldırırken, tekrardan başlangıç durumuna geçmek için KM'den bloke işleminin iptal edildiğinin okunduğuna dair işareti bekler.



Şekil 4.11: SinyalBaşlangıçBloke fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.21: SinyalBaşlangıçBloke fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Başlangıc sinyalinin bloke edilmesi durumu
3	Başlangıç bloke iptal edilmesi durumu

Çizelge 4.22: SinyalBaşlangıçBloke fonksiyonu olay açıklamaları.

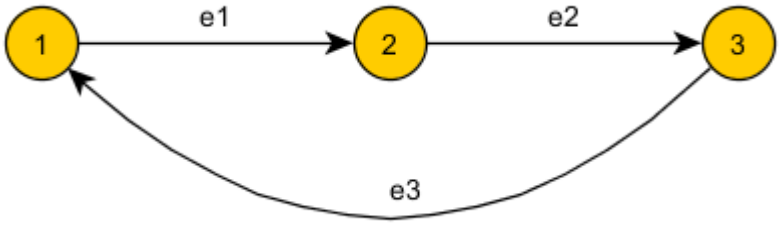
Olay	Açıklama
e1	Başlangıcı bloke et talebi
e2	Başlangıç bloke iptal et talebi
e3	Başlangıç bloke iptal edildi bilgisi okundu

Şekil 4.11'deki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.11)**'de verilmiştir.

$$Q_1 = \bar{q}_2\bar{q}_3$$
$$Q_2 = q_1e_1 + q_2\bar{e}_2 \quad \textbf{(4.11)}$$
$$Q_3 = q_2e_2 + q_3\bar{e}_3$$

4.2.3.2 SinyalVarışBloke fonksiyon bloğu

KM bazı durumlarda belirli bir sinyal için varış blokesi getirmek istemektedir. Bu şekilde ilgili sinyal ile biten tüm tanzimlerim reddedilmesi sağlanmaktadır. Sinyale varış blokesi uygulanması için KM anklaşman sistemine "sinyal varış bloke talebi" gönderir. Bu taleple beraber otomat yeni bir duruma geçerek ilgili sinyal için varış blokesi oluşturur. Varış blokesi yapılmış bir sinyal için bloke durumu iptal edilmek istenirse KM tarafından blokenin iptaline yönelik bir talep yapılır. Gelen bu taleple beraber otomat yeni bir duruma geçerek sinyal varış blokesini kaldırırken, tekrardan başlangıç durumuna geçmek için KM'den bloke işleminin iptal edildiğinin okunduğuna dair işareti bekler.



Şekil 4.12: SinyalVarışBloke fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.23: SinyalVarışBloke fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Varış sinyalinin bloke edilmesi durumu
3	Varış bloke iptal edilmesi durumu

Çizelge 4.24: MakasHareketBloke fonksiyonu olay açıklamaları.

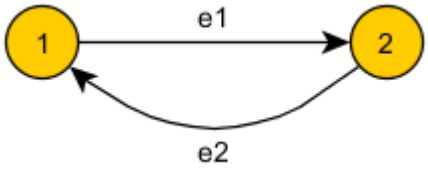
Olay	Açıklama
e1	Varış bloke et talebi
e2	Varış bloke iptal et talebi
e3	Varış bloke iptal edildi bilgisi okundu

Şekil 4.12'deki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.12)**'de verilmiştir.

$$Q_1 = \bar{q}_2\bar{q}_3$$
$$Q_2 = q_1e_1 + q_2\bar{e}_2 \quad \textbf{(4.12)}$$
$$Q_3 = q_2e_2 + q_3\bar{e}_3$$

4.2.3.3 SinyalKapat fonksiyon bloğu

Demiryolu sinyalizasyon sistemlerinde sinyaller için güvenli durum sinyalin kırmızı yanması durumudur. Saha üzerinde herhangi tehlikeli bir durum oluşması ihtimaline karşı KM istediği bir zamanda herhangi bir sinyali kapatarak sahayı güvenli duruma alabilir. Herhangi bir sinyalin kapatılması için KM anklaşman sistemine "sinyal kapat talebi" gönderir. Bu taleple beraber otomat yeni bir duruma geçerek ilgili sinyali kapatarak, kırmızı renkte yanmasını sağlar. İlgili sinyali içeren herhangi bir güzergâh için yeni bir tanzim yapılıp kabul edilirse, otomat başlangıç duruma geçerek sinyali tekrardan serbest bırakır.



Şekil 4.13: SinyalKapat fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.25: SinyalKapat fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Sinyal kapatma durumu

Çizelge 4.26: SinyalKapat fonksiyonu olay açıklamaları.

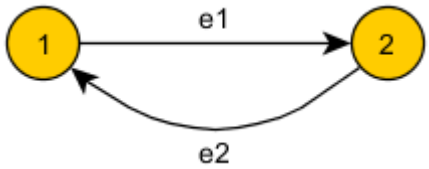
Olay	Açıklama
e1	Sinyal kapat talebi
e2	İlgili sinyali içeren herhangi bir güzergâhın tanzim edilmesi

Şekil 4.13'teki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.13)**'te verilmiştir.

$$Q_1 = \bar{q}_2$$
$$Q_2 = q_1 e_1 + q_2 \bar{e}_2 \quad \textbf{(4.13)}$$

4.2.3.4 GeçBildirimHatası fonksiyon bloğu

Anklaşman sistemi sinyallerin indikasyonlarını sürekli olarak kontrol etmektedir. Eğer bir sinyal kapalı değilken, trenin geçmesine izin veren sinyallerden (Kırmızı ve flaş kırmızı haricindeki sinyaller) herhangi birinde aktif olan çıkışa ait indikasyon gelmiyor ya da aktif olmayan bir çıkışa ait olan indikasyon geliyorsa sinyalde geç bildirim hatası oluşur. Hatanın giderilmesi için KM tarafından gönderilen "geç bildirim hatası normalize et" işareti ile otomat başlangıç durumuna geri döner.



Şekil 4.14: GeçBildirimHatası fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.27: GeçBildirimHatası fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Geç bildirim hatası durumu

Çizelge 4.28: GeçBildirimHatası fonksiyonu olay açıklamaları.

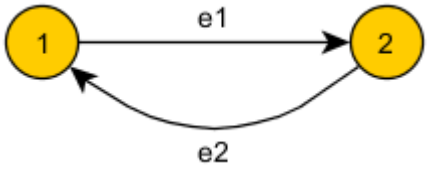
Olay	Açıklama
e1	Sinyal kapalı değilken, trenin geçmesine izin veren sinyallerden (Kırmızı ve flaş kırmızı haricindeki sinyaller) herhangi birinde aktif olan çıkışa ait indikasyonun gelmemesi veya aktif olmayan bir çıkışa ait olan indikasyonun gelmesi
e2	Geç bildirim hatası normalize et sinyalinin gelmesi

Şekil 4.14'teki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.14)**'te verilmiştir.

$$Q_1 = \bar{q}_2$$
$$Q_2 = q_1 e_1 + q_2 \bar{e}_2 \quad \textbf{(4.14)}$$

4.2.3.5 DurBildirimHatası fonksiyon bloğu

Anklaşman sistemi sinyallerin indikasyonlarını sürekli olarak kontrol etmektedir. Eğer bir sinyalin kırmızı yanmasının gerektiği durumda 2 saniye boyunca sahadan kırmızı indikasyonu gelmiyorsa sinyalde dur bildirim hatası oluşur. Hata giderilip kırmızı indikasyonu geri geldiğinde, otomat başlangıç durumuna geri döner ve sinyal dur bildirim hatasından çıkar.



Şekil 4.15: DurBildirimHatası fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.29: DurBildirimHatası fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Dur bildirim hatası durumu

Çizelge 4.30: DurBildirimHatası fonksiyonu olay açıklamaları.

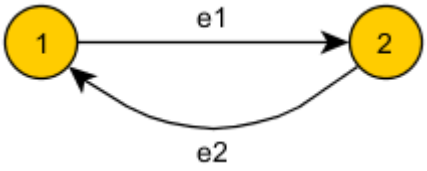
Olay	Açıklama
e1	Sahaya kırmızı yakılması yönünde komut gönderilmişken sahadan iki saniye boyunca kırmızı indikasyonunun gelmemesi
e2	Kırmızı indikasyonunun tekrardan gelmesi

Şekil 4.15'teki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.15)**'te verilmiştir.

$$Q_1 = \bar{q}_2$$
$$Q_2 = q_1 e_1 + q_2 \bar{e}_2 \qquad \textbf{(4.15)}$$

4.2.3.6 SinyalYak fonksiyon bloğu

Tanzim yapılmasıyla beraber herhangi bir sinyalin yakılması için, tanzim bloğundan sinyal bloğunda "sinyal yak" işareti yollanır. Otomat ilgili sinyalde herhangi bir hata olmaması halinde yeni durumuna geçerek sinyali yakar. Sinyal bu durumdayken "sinyal yak" işareti düşer veya ilgili sinyalle ilgili bir hata oluşursa otomat başlangıç durumuna geri döner ve sinyal otomatik olarak kırmızı yakılır.



Şekil 4.16: SinyalYak fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.31: SinyalYak fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Sinyal yakma durumu

Çizelge 4.32: SinyalYak fonksiyonu olay açıklamaları.

Olay	Açıklama
e1	Tanzimden sinyal yak komutunun gelmesi ve sinyali ilgilendiren hiçbir hatanın ya da blokenin olmaması
e2	Sinyal yak işaretinin düşmesi ya da sinyalle ilgili bir hatanın oluşması

Şekil 4.16'daki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.16)**'da verilmiştir.

$$Q_1 = \bar{q}_2$$
$$Q_2 = q_1 e_1 + q_2 \bar{e}_2 \quad \textbf{(4.16)}$$

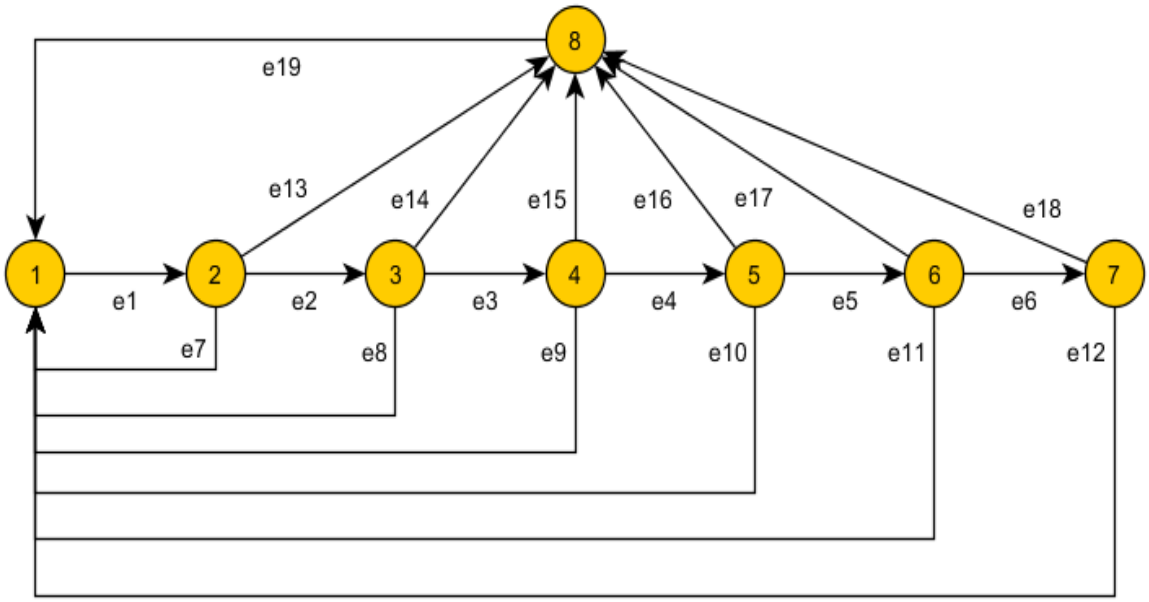
4.2.4 Tanzim fonksiyon bloğu

Tanzim fonksiyon bloğu TCDD'nin güzergâh tanzimi ile ilgili isterlerini karşılayacak şekilde 7 alt işlevin (Makas ayarlama, tanzim yapma, tren girişi takip etme, tren çıkışı takip etme, tanzim iptali, ZGIP ve otomatik tanzim yapma) birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Her bir işlevi gerçekleştirecek olan fonksiyon blokları otomat yöntemiyle tasarlanılarak Tanzim fonksiyon bloğu çatısı altında toplanmıştır. Alt işlevleri gerçekleştiren fonksiyon bloklarına ilişkin tasarım ve açıklamalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

4.2.4.1 MakasAyarla fonksiyon bloğu

Makas motorlarının kalkış anında yüksek akım çekmesinden dolayı, aynı güç kaynağına bağlanmış hiçbir makas aynı anda çalıştırılmamalıdır. Bu nedenle

herhangi bir makas için konum değiştirme talebi yapıldığında hareket halinde bir makas varsa, çevrilmek istenen makas sıraya alınır. Sıraya alınan tüm makaslar numara sırasına göre dizilerek küçük numaralı makastan başlayacak şekilde sırayla çevrilir. Otomat sırada bulunan her bir makasın doğru pozisyona gelmesiyle beraber yeni bir duruma geçerek sırada makas olup olmadığını kontrol ederek işlemi tekrarlar. Sırada makas kalmamışsa başlangıç konumuna geri dönülür.



Şekil 4.17: MakasAyarla fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.33: MakasAyarla fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Birinci makasın ayarlanması durumu
3	İkinci makasın ayarlanması durumu
4	Üçüncü makasın ayarlanması durumu
5	Dördüncü makasın ayarlanması durumu
6	Beşinci makasın ayarlanması durumu
7	Altıncı makasın ayarlanması durumu
8	Makas ayarlamasında hata durumu

Çizelge 4.34: MakasAyarla fonksiyonu olay açıklamaları.

Olay	Açıklama
e1	Makas ayarla talebi
e2	Birinci makas uygun ve sırada makas var
e3	İkinci makas uygun ve sırada makas var
e4	Üçüncü makas uygun ve sırada makas var
e5	Dördüncü makas uygun ve sırada makas var
e6	Beşinci makas uygun ve sırada makas var
e7	Altıncı makas uygun
e8	Makas sayısı 1 ve birinci makas uygun
e9	Makas sayısı 2 ve ikinci makas uygun
e10	Makas sayısı 3 ve üçüncü makas uygun
e11	Makas sayısı 4 ve dördüncü makas uygun
e12	Makas sayısı 5 ve beşinci makas uygun
e13	Birinci makasta indikasyonsuzluk oluştu veya makas ayarla talebi gitti
e14	İkinci makasta indikasyonsuzluk oluştu veya makas ayarla talebi gitti
e15	Üçüncü makasta indikasyonsuzluk oluştu veya makas ayarla talebi gitti
e16	Dördüncü makasta indikasyonsuzluk oluştu veya makas ayar talebi gitti
e17	Beşinci makasta indikasyonsuzluk oluştu veya makas ayarla talebi gitti
e18	Altıncı makasta indikasyonsuzluk oluştu veya makas ayarla talebi gitti
e19	Makas ayarla talebinin olmaması

Şekil 4.17'deki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.17)**'de verilmiştir.

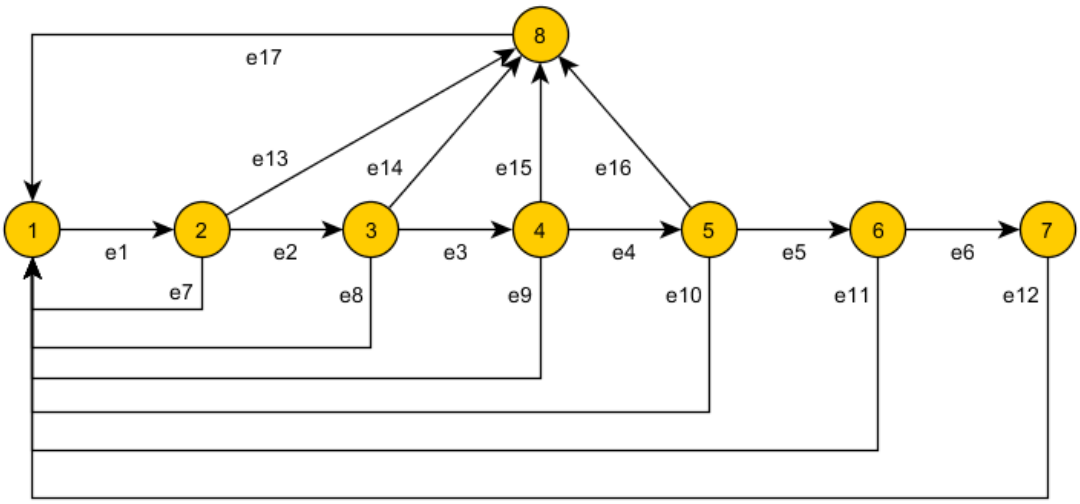
$$
\begin{aligned}
Q_1 &= \bar{q}_2\bar{q}_3\bar{q}_4\bar{q}_5\bar{q}_6\bar{q}_7\bar{q}_8 \\
Q_2 &= q_1e_1 + q_2\bar{e}_2\bar{e}_7\bar{e}_{13} \\
Q_3 &= q_2e_2 + q_3\bar{e}_3\bar{e}_8\bar{e}_{14} \\
Q_4 &= q_3e_3 + q_4\bar{e}_4\bar{e}_9\bar{e}_{15} \\
Q_5 &= q_4e_4 + q_5\bar{e}_5\bar{e}_{10}\bar{e}_{16} \\
Q_6 &= q_5e_5 + q_6\bar{e}_6\bar{e}_{11}\bar{e}_{17} \\
Q_7 &= q_6e_6 + q_7\bar{e}_{12}\bar{e}_{18} \\
Q_8 &= q_2e_{13} + q_3e_{14} + q_4e_{15} + q_5e_{16} + q_6e_{17} + q_7e_{18} + q_8\bar{e}_{19}
\end{aligned}
\qquad \textbf{(4.17)}
$$

4.2.4.2 TanzimYap fonksiyon bloğu

Anklaşman sistemi KM tarafından talep edilen herhangi bir güzergâhı tanzim etmek için gerekli tüm güvenlik kontrollerini yaparak, tanzim için gereken adımları tek tek gerçekleştirir. KM'den tanzim talebi yapıldıysa veya otomatik tanzim talebi varsa

otomat yeni bir duruma geçerek tanzim için gerekli genel şartların (Rayların uygun olması; raylarda beklenmedik meşguliyet hatası, veri bağdaşım hatası ya da bloke durumu bulunmaması; makaslarda veri bağdaşım hatası, güzergâh blokesi ya da hareket blokesi bulunmaması; sinyallerde hata, varış blokesi ya da başlangıç blokesi bulunmaması ve talep edilen güzergâhla çakışan güzergâh bulunmaması) uygun olup olmadığını kontrol eder. Otomatın herhangi bir durumunda genel şartlar uygun olmaz ise tanzim ret durumuna gidilerek KM'ye tanzimin reddedildiği bildirilir. Aynı şekilde herhangi bir durumda tanzim iptal edildi bilgisi gelirse otomat başlangıç durumuna geri döner.

Genel şartların uygun olmasıyla beraber yeni bir duruma geçerek tanzim talebini kabul eder ve makasları ayarlamaya başlar. Makaslar uygun konuma geldiğinde genel şartlar hala sağlanıyorsa yeni bir duruma geçilerek makaslar konumlarına kilitlenir ve tanzimin uygun olduğu KM'ye bildirilir. Makasların uygun konuma gelememesi durumunda tanzim ret durumuna geçilir. Tanzimin uygun olduğu KM'ye bildirildikten sonra 2 sn içinde KM'den tanzimin onaylandığına dair bir işaret gelmesi beklenir. Gelen işaretle beraber güzergâh tanzim edilerek ilgili sinyalin gerekli bildirimi vermesi sağlanır. Bu durumdan sonra anklaşman sistemi trenlerin konumunu takip ederek, trenlerin tanzim edilen güzergâha girişini ve çıkışını kontrol eder. Tren tanzim edilen güzergâhı sorunsuz olarak tamamladığında eğer otomatik tanzim talebi yapılmamışsa tanzim sonlandırılarak otomat başlangıç konumuna alınır. Eğer otomatik tanzim talebi varsa, tanzim sonlandırılmaz ve tanzimin kurulu kalması sağlanır.



Şekil 4.18: TanzimYap fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.35: TanzimYap fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Tanzim talebi yapılması durumu
3	Tanzim talep kabul durumu
4	Tanzim hazır durumu
5	KM tanzim onayı gelmesi durumu
6	Güzergâhın tanzim edilmesi durumu
7	Otomatik tanzime devam durumu
8	Tanzim reddedilmesi durumu

Çizelge 4.36: TanzimYap fonksiyonu olay açıklamaları.

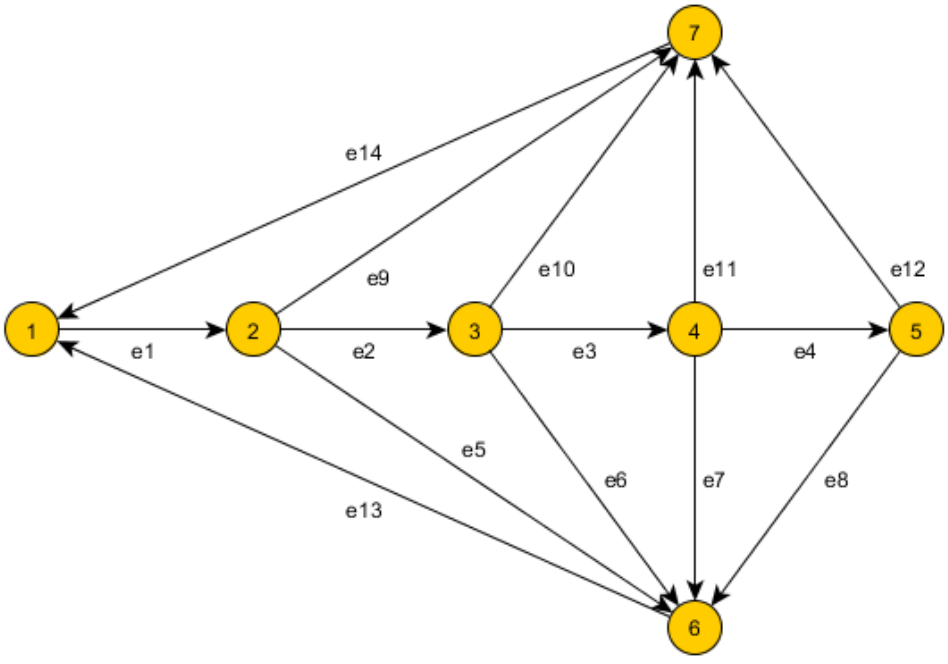
Olay	Açıklama
e1	KM'den tanzim talebi yapılması veya otomatik tanzim olması
e2	Talebe ilişkin genel şartların uygun olması
e3	Genel şartların ve makas durumlarının uygun olması
e4	Makasların kilitlenmiş olması ve KM'den tanzimin onaylanması
e5	Genel şartların uygun ve sinyalin yakılmış olması
e6	Tanzimi oluşturan ray devrelerine giriş-çıkış işleminin bitmiş olması ve otomatik tanzim talebi olması
e7	Tanzimin iptal edilmesi
e8	Tanzimin iptal edilmesi
e9	Tanzimin iptal edilmesi
e10	Tanzimin iptal edilmesi
e11	Tanzimin iptal edilmesi
e12	Tanzimin iptal edilmesi veya tamamlanması
e13	Genel şartların uygun olmaması
e14	Genel şartların uygun olmaması veya makasların ayarlanamaması
e15	Genel şartların uygun olmaması veya 2 saniye içinde tanzimin onaylanmaması
e16	Genel şartların uygun olmaması veya makasların kilitlenememesi
e17	Tanzim talebinin reddedildiğinin KM tarafından okunduğunun bilgisi

Şekil 4.18'deki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.18)**'de verilmiştir.

$$
\begin{aligned}
Q_1 &= \bar{q}_2\bar{q}_3\bar{q}_4\bar{q}_5\bar{q}_6\bar{q}_7\bar{q}_8 \\
Q_2 &= q_1e_1 + q_2\bar{e}_2\bar{e}_7\bar{e}_{13} \\
Q_3 &= q_2e_2 + q_3\bar{e}_3\bar{e}_8\bar{e}_{14} \\
Q_4 &= q_3e_3 + q_4\bar{e}_4\bar{e}_9\bar{e}_{15} \\
Q_5 &= q_4e_4 + q_5\bar{e}_5\bar{e}_{10}\bar{e}_{16} \\
Q_6 &= q_5e_5 + q_6\bar{e}_6\bar{e}_{11} \\
Q_7 &= q_6e_6 + q_7\bar{e}_{11} \\
Q_8 &= q_2e_{13} + q_3e_{14} + q_4e_{15} + q_5e_{16} + q_8\bar{e}_{17}
\end{aligned}
\qquad \textbf{(4.18)}
$$

4.2.4.3 TrenGirişTakip fonksiyon bloğu

KM tarafından talep edilen bir tanzimin güvenli bir şekilde tamamlanması için trenin ilgili güzergâha doğru şekilde girip girmediği kontrol edilmelidir. Başlangıç durumundaki otomat herhangi bir güzergâhın otomatik veya normal bir şekilde tanzim edilmesi ile birlikte tren girişini bekleme durumuna geçer. Güzergâhın başladığı ray bloğu sinyalsizse veya ilk ray devresine girilmesiyle birlikte, otomat güzergâhtaki bulunan ray bloğu sayısına ulaşana kadar tüm ray devrelerine sırasıyla girilip girilmediğini kontrol eder. Güzergâhta bulunan tüm ray devrelerine sırayla giriş yapıldıktan sonra veya tanzimin iptal edilmesi durumunda, otomat yeni bir duruma geçerek tanzimin sonlanmasını bekler. Otomat herhangi bir durumdayken, tren girmesi gereken ray devresinden sonraki bir ray devresine giriş yaparsa otomat hata durumuna geçer. Hata durumundaki otomat, tanzimin iptal edilmesiyle beraber tekrardan başlangıç durumuna döner.



Şekil 4.19: TrenGirişTakip fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.37: TrenGirişTakip fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Tren girişi bekleme durumu
3	İkinci ray devresine giriş durumu
4	Üçüncü ray devresine giriş durumu
5	Dördüncü ray devresine giriş durumu
6	Tren girişinde hata durumu
7	Tren giriş takibin bitirilmesi durumu

Çizelge 4.38: TrenGirişTakip fonksiyonu olay açıklamaları.

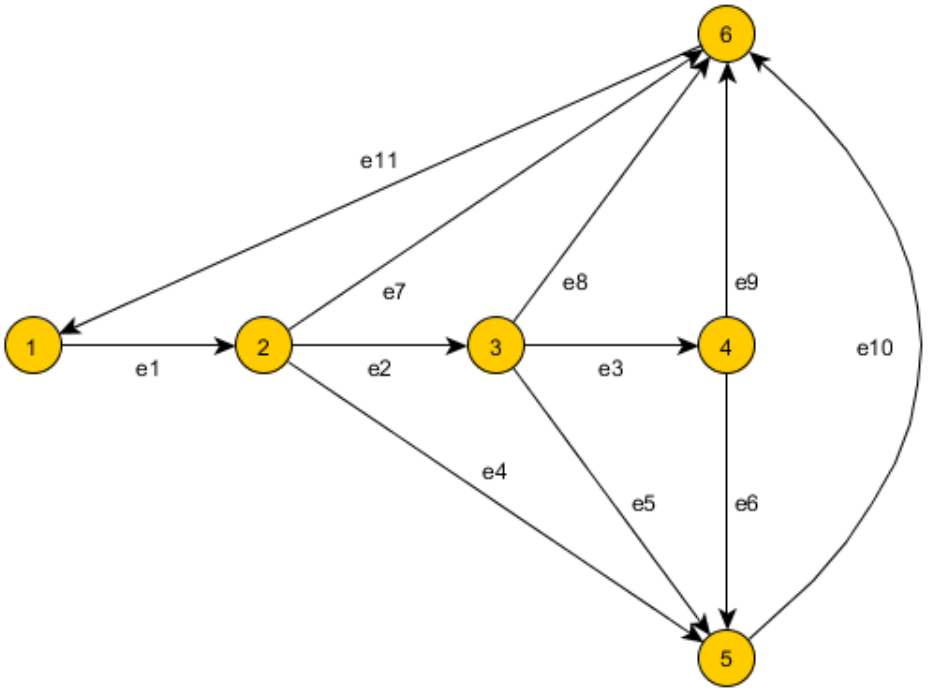
Olay	Açıklama
e1	Tanzim kabulüyle beraber tren takibinin başlaması
e2	Sinyalsiz giriş veya ilk ray devresi doluyken ikinci ray devresine giriş yapılması
e3	İkinci ray devresi doluyken üçüncü ray devresine giriş yapılması
e4	Üçüncü ray devresi doluyken dördüncü ray devresine giriş yapılması
e5	Tanzimin iptal edilmesi veya tren girişin sorunsuz tamamlanması
e6	Tanzimin iptal edilmesi veya tren girişin sorunsuz tamamlanması
e7	Tanzimin iptal edilmesi veya tren girişin sorunsuz tamamlanması
e8	Tanzimin iptal edilmesi veya tren girişin sorunsuz tamamlanması
e9	İlk ray devresine giriş yapılmadan sonraki bir ray devresine giriş yapılması
e10	İkinci ray devresine giriş yapılmadan sonraki bir ray devresine giriş yapılması
e11	Üçüncü ray devresine giriş yapılmadan sonraki bir ray devresine giriş yapılması
e12	Dördüncü ray devresine giriş yapılmadan sonraki bir ray devresine giriş yapılması
e13	Tanzimin tamamlanması
e14	Tanzimin iptal edilmesi

Şekil 4.19'daki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.19)**'da verilmiştir.

$$
\begin{aligned}
Q_1 &= \bar{q}_2\bar{q}_3\bar{q}_4\bar{q}_5\bar{q}_6\bar{q}_7 \\
Q_2 &= q_1e_1 + q_2\bar{e}_2\bar{e}_5\bar{e}_9 \\
Q_3 &= q_2e_2 + q_3\bar{e}_3\bar{e}_6\bar{e}_{10} \\
Q_4 &= q_3e_3 + q_4\bar{e}_4\bar{e}_7\bar{e}_{11} \\
Q_5 &= q_4e_4 + q_5\bar{e}_8\bar{e}_{12} \\
Q_6 &= q_2e_5 + q_3e_6 + q_4e_7 + q_5e_8 + q_6\bar{e}_{13} \\
Q_7 &= q_2e_9 + q_3e_{10} + q_4e_{11} + q_5e_{12} + q_7\bar{e}_{14}
\end{aligned}
\qquad \textbf{(4.19)}
$$

4.2.4.4 TrenÇıkışTakip fonksiyon bloğu

KM tarafından talep edilen bir tanzimin güvenli bir şekilde yapılıp tamamlanması için trenin ilgili güzergâhtan doğru şekilde çıkıp çıkmadığı kontrol edilmelidir. Başlangıç durumundaki otomat herhangi bir güzergâhın otomatik veya normal bir şekilde tanzim edilmesi ile birlikte trenin çıkışını bekleme durumuna geçer. Otomat trenin hareketini ray devreleri vasıtasıyla takip ederek, trenin güzergâhtaki son ray devresinden çıkmasıyla beraber veya tanzimin iptal edilmesi durumunda "tren çıkışı bitti" durumuna geçer. Trenin sırası gelen ray devresinden çıkmayıp ilerideki bir ray devresinden çıkması durumunda otomat hata durumuna geçer. Hata durumundaki otomat, tanzimin iptal edilmesiyle beraber tanzimin bitirilmesini bekleyerek başlangıç durumuna geçer.



Şekil 4.20: TrenÇıkışTakip fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.39: TrenÇıkışTakip fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	İkinci ray devresine çıkış durumu
3	Üçüncü ray devresine çıkış durumu
4	Dördüncü ray devresine çıkış durumu
5	Tren çıkışında hata
6	Tren çıkışı bitti durumu

Çizelge 4.40: TrenÇıkışTakip fonksiyonu olay açıklamaları.

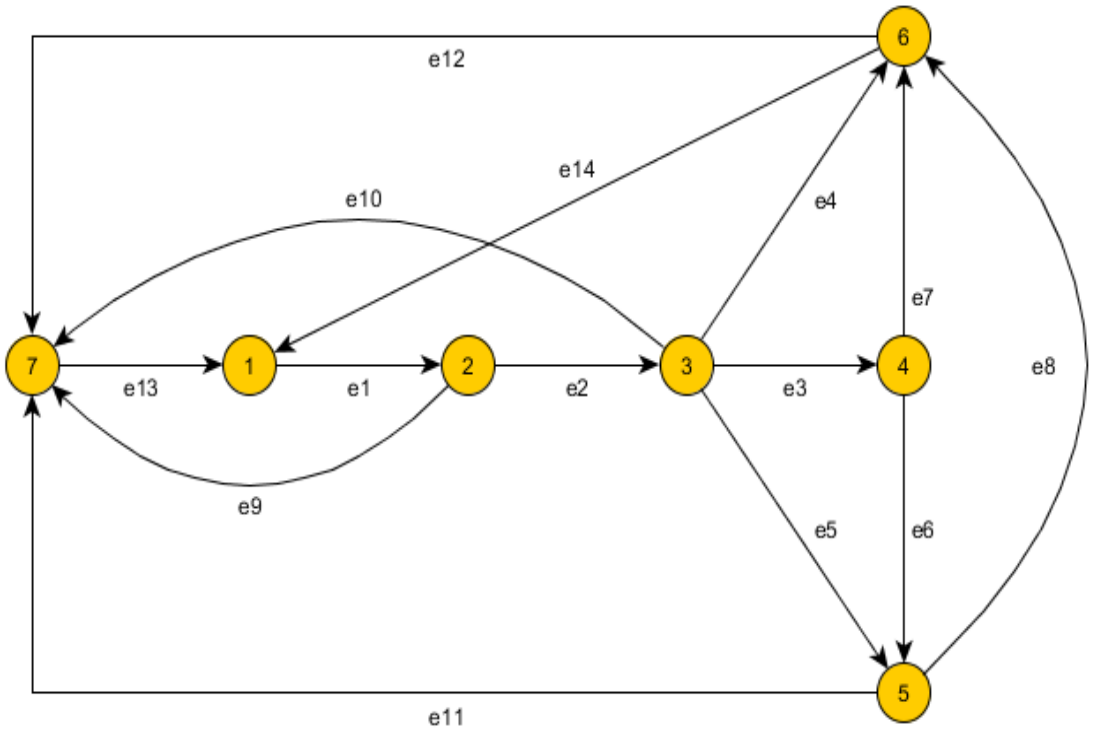
Olay	Açıklama
e1	Tanzim kabulüyle beraber tren takibinin başlaması
e2	Güzergâhtaki ray devresi sayısı 2'den fazlayken ikinci ray devresinden çıkılması
e3	Güzergâhtaki ray devresi sayısı 3'den fazlayken üçüncü ray devresinden çıkılması
e4	Güzergâhtaki ray devresi sayısı 4'den fazlayken dördüncü ray devresinden çıkılması; tanzimin iptal edilmesi veya tren çıkışının sorunsuz tamamlanması
e5	Tanzimin iptal edilmesi veya tren çıkışının sorunsuz tamamlanması
e6	Tanzimin iptal edilmesi veya tren çıkışının sorunsuz tamamlanması
e7	İkinci ray devresinden çıkış yapılmadan sonraki bir ray devresinden çıkış yapılması
e8	Üçüncü ray devresinden çıkış yapılmadan sonraki bir ray devresinden çıkış yapılması
e9	Dördüncü ray devresinden çıkış yapılmadan sonraki bir ray devresinden çıkış yapılması
e10	Tanzimin iptal edilmesi
e11	Tanzimin tamamlanması

Şekil 4.20'deki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.20)**'de verilmiştir.

$$
\begin{aligned}
Q_1 &= \bar{q}_2\bar{q}_3\bar{q}_4\bar{q}_5\bar{q}_6 \\
Q_2 &= q_1e_1 + q_2\bar{e}_2\bar{e}_4\bar{e}_7 \\
Q_3 &= q_2e_2 + q_3\bar{e}_3\bar{e}_5\bar{e}_8 \\
Q_4 &= q_3e_3 + q_4\bar{e}_6\bar{e}_9 \\
Q_5 &= q_2e_4 + q_3e_5 + q_4e_6 + q_5\bar{e}_{10} \\
Q_6 &= q_2e_7 + q_3e_8 + q_4e_9 + q_5e_{10} + q_6\bar{e}_{11}
\end{aligned}
\qquad \textbf{(4.20)}
$$

4.2.4.5 TanzimİptalFonksiyon bloğu

KM tarafından tanzim iptal edilmek istendiğinde veya kurulu bir güzergâhta tanzimin iptalini gerektiren bir hata oluşursa tanzim iptal otomatı yeni bir duruma geçerek tanzimin kurulu olup olmadığını kontrol eder. Güzergâh henüz kurulmamış ise güzergâh iptal talebi reddedilir. Kurulmuş olan bir güzergâh için otomat yeni bir duruma geçerek trenin konumunu denetler. Eğer tren son ray devresine giriş yapmışsa güzergâh iptal talebi reddedilirken, tren ilk ray devresine giriş yapmadıysa otomat yeni bir duruma geçerek 30sn bekler. Bu 30sn içinde tren ilk ray devresine giriş yapmazsa tanzim iptal edilir. Trenin 30sn içinde ilk ray devresine giriş yapması durumunda ise otomat yeni bir duruma geçerek bu sefer 180sn saymaya başlar. Bu 180sn içinde tren durur ve ikinci ray devresine giriş yapmazsa tanzim iptal edilir. Fakat tren ilerlemeye devam eder ve ikinci ray devresine giriş yaparsa tanzim iptal talebi reddedilir. Tanzimin iptal edildiği zaman, tanzimin iptal edildiğinin okunduğu bilgisiyle beraber; ya da tanzimin iptali reddedildiği zaman, tanzim iptalinin reddedildiği bilgisinin okunmasıyla otomat başlangıç konumuna döner.



Şekil 4.21: TanzimİptalFonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.41: TanzimİptaI fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	İptal talebi gelmesi durumu
3	Tren pozisyonunun incelenmesi durumu
4	Trenin güzergaha girmemiş olması durumu
5	Trenin güzergaha girmiş olması durumu
6	Tanzimin iptal edilmesi durumu
7	Tanzimin iptalinin reddedilmesi durumu

Çizelge 4.42: TanzimİptaI fonksiyonu olay açıklamaları.

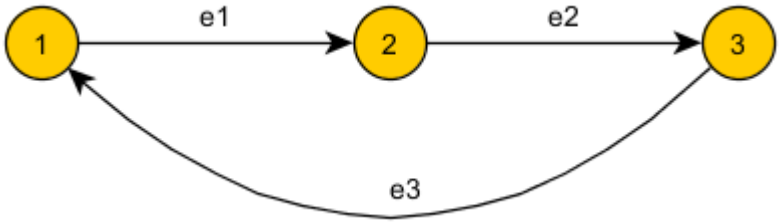
Olay	Açıklama
e1	Tanzim iptal talebinin gelmesi veya güzergahta bir hata oluşması
e2	Güzergâhın kurulu olması
e3	Trenin güzergaha girmemiş olması
e4	Güzergahın kurulu olmaması
e5	Trenin güzergaha girmiş olması
e6	Trenin 30 saniye dolmadan ilk ray devresine girmesi
e7	Tren ilk ray devresine girmeden 30 saniyenin dolması
e8	Tren son ray devresine girmeden 180 saniyenin dolması
e9	Güzergahın kurulu olmaması
e10	Trenin son ray devresine girmesi
e11	Tren son ray devresine girmeden 180 saniyenin dolması
e12	Trenin son ray devresine girmesi
e13	Tanzim iptalinin reddedildiğinin KM tarafından okunduğunun bilgisi
e14	Tanzimin iptal edildiğinin KM tarafından okunduğunun bilgisi

Şekil 4.21'deki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.21)**'de verilmiştir.

$$
\begin{aligned}
Q_1 &= \bar{q}_2\bar{q}_3\bar{q}_4\bar{q}_5\bar{q}_6\bar{q}_7 \\
Q_2 &= q_1e_1 + q_2\bar{e}_2\bar{e}_9 \\
Q_3 &= q_2e_2 + q_3\bar{e}_3\bar{e}_4\bar{e}_5\bar{e}_{10} \\
Q_4 &= q_3e_3 + q_4\bar{e}_6\bar{e}_7 \\
Q_5 &= q_3e_5 + q_4e_6 + q_5\bar{e}_8\bar{e}_{11} \\
Q_6 &= q_3e_4 + q_4e_7 + q_5e_8 + q_6\bar{e}_{12}\bar{e}_{14} \\
Q_7 &= q_2e_9 + q_3e_{10} + q_5e_{11} + q_6e_{12} + q_7\bar{e}_{13}
\end{aligned}
\qquad \textbf{(4.21)}
$$

4.2.4.6 ZGIP fonksiyon bloğu

KM bazı durumlarda kurulu bir güzergâh için zorunlu güzergâh iptali talep edebilir. Bu durumda otomat yeni bir duruma geçerek sinyalleri söndürür ve 360sn boyunca güzergâhı kilitler. 360 saniyelik sürenin sonunda yeni bir duruma geçilerek güzergâh iptal edilir. KM tarafından ilgili güzergâhın iptal edildiği bilgisi okunduğu zaman otomat başlangıç durumuna geri döner.



Şekil 4.22: ZGIP fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.43: ZGIP fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	ZGIP talebi gelmesi durumu
3	ZGIP durumu

Çizelge 4.44: ZGIP fonksiyonu olay açıklamaları.

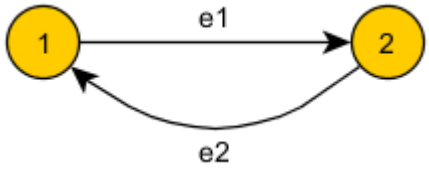
Olay	Açıklama
e1	KM'den ZGIP talebi gelmesi
e2	360 saniyelik sürenin dolması
e3	ZGIP yapıldı bilgisi okundu

Şekil 4.22'deki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.22)**'de verilmiştir.

$$Q_1 = \bar{q}_2\bar{q}_3$$
$$Q_2 = q_1e_1 + q_2\bar{e}_2 \quad \textbf{(4.22)}$$
$$Q_3 = q_2e_2 + q_3\bar{e}_3$$

4.2.4.7 OtomatikTanzim fonksiyon bloğu

KM herhangi bir güzergâhın sürekli olarak kurulmasını istediği zaman ilgili güzergâh için otomatik tanzim talebi yapar. Anklaşman sistemi böyle bir durumda tanzimin her sonlanışında ilgili güzergâhı tekrardan kurar. Otomatik tanzim talebi gelmesiyle otomat otomatik tanzim durumuna geçer. Tanzimin herhangi bir sebeple iptal veya reddedilmesi durumunda ise otomat başlangıç durumuna dönerek otomatik tanzimi düşürür.



Şekil 4.23: OtomatikTanzim fonksiyonunun otomatı.

Çizelge 4.45: OtomatikTanzim fonksiyonu durum açıklamaları.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Otomatk tanzim durumu

Çizelge 4.46: OtomatikTanzim fonksiyonu olay açıklamaları.

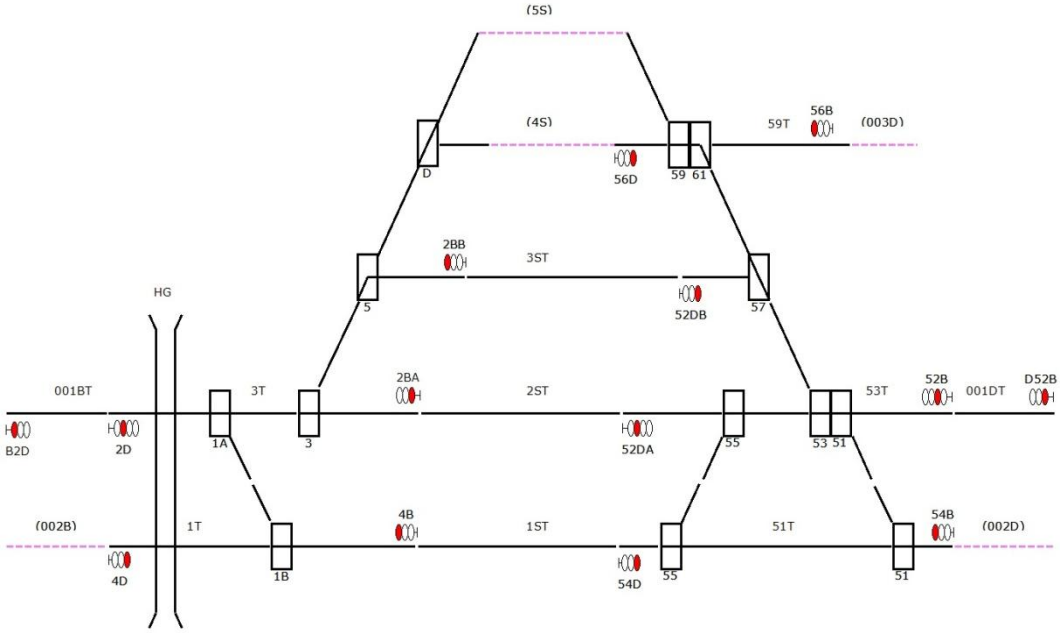
Olay	Açıklama
e1	Sahaya kırmızı yakılması yönünde komut gönderilmişken sahadan iki saniye boyunca kırmızı indikasyonunun gelmemesi
e2	Kırmızı indikasyonunun tekrardan gelmesi

Şekil 4.23'teki otomat modelinden yararlanılarak PLC koduna aktarım için kullanılacak olan durum geçiş fonksiyonları **(4.23)**'de verilmiştir.

$$Q_1 = \bar{q}_2$$
$$Q_2 = q_1e_1 + q_2\bar{e}_2 \quad \textbf{(4.23)}$$

4.3 Fonksiyon Bloklarının Giriş-Çıkış Bağlantılarının Yapılması

Hazırlanan dört temel fonksiyon bloğu olan Makas, RayDevresi, Tanzim ve Sinyal fonksiyon bloklarının sahaya uygulanması için gerekli olan giriş-çıkış bağlantıları anklaşman tabloları üzerinden yapılır. Aşağıda; Şekil 4.24'te verilen saha modeli için ilgili anklaşman tablosundan yararlanılarak her bir fonksiyon bloğu için giriş-çıkış bağlantılarının nasıl yapılacağı anlatılmıştır. İlgili saha modeline ilişkin anklaşman tablosu çok büyük olduğundan, anklaşman tablosunun sadece ilk beş satırı verilmiştir.



Şekil 4.24: Mithatpaşa saha modeli

4.3.1 Makas fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları

Herhangi bir makas fonksiyon bloğunun giriş-çıkış bağlantılarını yapmak için ilk olarak; sahaya giden, sahadan gelen ve KM ile anklaşman sistemi arasındaki makasla ilgili değişkenler, fonksiyon bloğunun giriş ve çıkışlarındaki ilgili alanlarla ilişkilendirilir. Sonrasında seçilmiş olan makas için "NormaleÇevirTanzim" ve "SapanaCevirTanzim" alanları anklaşman tablosundaki "Makas konumu" sütunundan yararlanılarak doldurulur. Anklaşman tablosundaki parantez işindeki ifadeler sapan konumu, parantez içinde olmayan ifadeler ise normal konumu ifade etmektedir. Yine "Makas konumu" sütunundan yararlanılarak makasın kullanıldığı her tanzim için "MakasKilitleTanzim" ve "MakastakiGüzergahlar" alanları doldurulur. "MakasRayDevresi" alanının doldurulması için anklaşman tablosundaki "Rota Kilit" sütunundan makaslar bölgesine dâhil olan ray devrelerine bakılır.

Şekil 4.24'te verilmiş olan istasyon için Çizelge A.1'de oluşturulmuş olan anklaşman tablosundan yararlanılarak, "1" nolu makas için hazırlanmış olan giriş-çıkış bağlantıları Şekil 4.25'te verilmiştir.

4.3.2 RayDevresi fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları

Herhangi bir RayDevresi fonksiyon bloğunun giriş-çıkış bağlantılarını yapmak için ilk olarak; sahaya giden, sahadan gelen ve KM ile anklaşman sistemi arasındaki ray devresi ile ilgili değişkenler, fonksiyon bloğunun giriş ve çıkışlarındaki ilgili alanlarla ilişkilendirilir. Anklaşman tablosundaki "Rota" sütunundan ray devresini içeren her tanzim için "KuruluGüzergahlar" alanı doldurulur. Ray devresinin makaslar bölgesinde yer alıyorsa "MakasBölgesi" alanına "1" değeri yazılır.

Şekil 4.24'te verilmiş olan istasyon için Çizelge A.1'de oluşturulmuş olan anklaşman tablosundan yararlanılarak, "3T" kodlu ray devresi için hazırlanmış olan giriş-çıkış bağlantıları Şekil 4.26'da verilmiştir.

4.3.3 Sinyal fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları

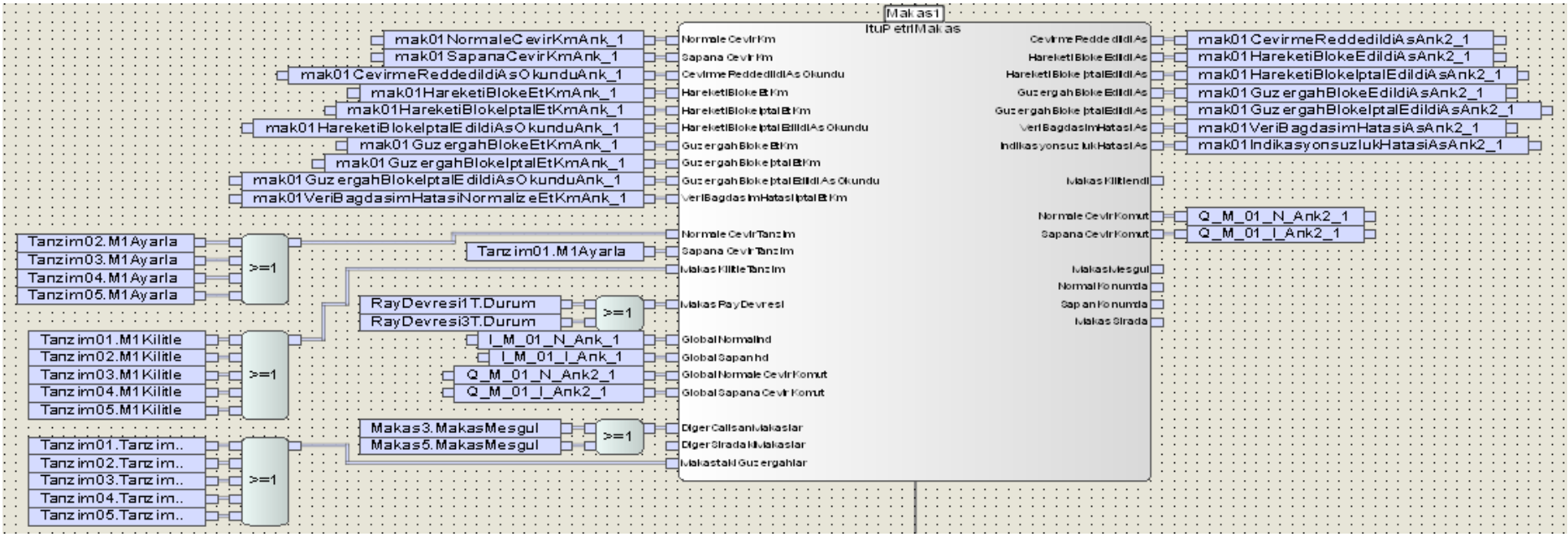
Herhangi bir Sinyal fonksiyon bloğunun giriş-çıkış bağlantılarını yapmak için ilk olarak; sahaya giden, sahadan gelen ve KM ile anklaşman sistemi arasındaki sinyal ile ilgili değişkenler, fonksiyon bloğunun giriş ve çıkışlarındaki ilgili alanlarla ilişkilendirilir. Anklaşman tablosundaki "Sinyal No" sütunundan yararlanılarak sinyali içeren her tanzim için "TanzimTalepleri" alanı doldurulur. Sinyalde yakılacak her bir renk ile ilgili bağlantı "Sinyal Durumu" sütunundan yararlanılarak oluşturulur. Bu sütunun sol kısmı ilgili sinyalin hangi renk yakılacağını gösterirken, sağ kısmı bu rengin hangi şarta bakılarak yakılacağını gösterir.

Şekil 4.24'te verilmiş olan istasyon için Çizelge A.1'de oluşturulmuş olan anklaşman tablosundan yararlanılarak, "2D" kodlu sinyal için hazırlanmış olan giriş-çıkış bağlantıları Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de verilmiştir.

4.3.4 Tanzim fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları

Herhangi bir Tanzim fonksiyon bloğunun giriş-çıkış bağlantılarını yapmak için ilk olarak; KM ile anklaşman sistemi arasındaki tanzim ile ilgili değişkenler, fonksiyon bloğunun giriş ve çıkışlarındaki ilgili alanlarla ilişkilendirilir. Anklaşman tablosundaki "Makas konumu" sütunundan yararlanılarak ilgili tanzimde kullanılan

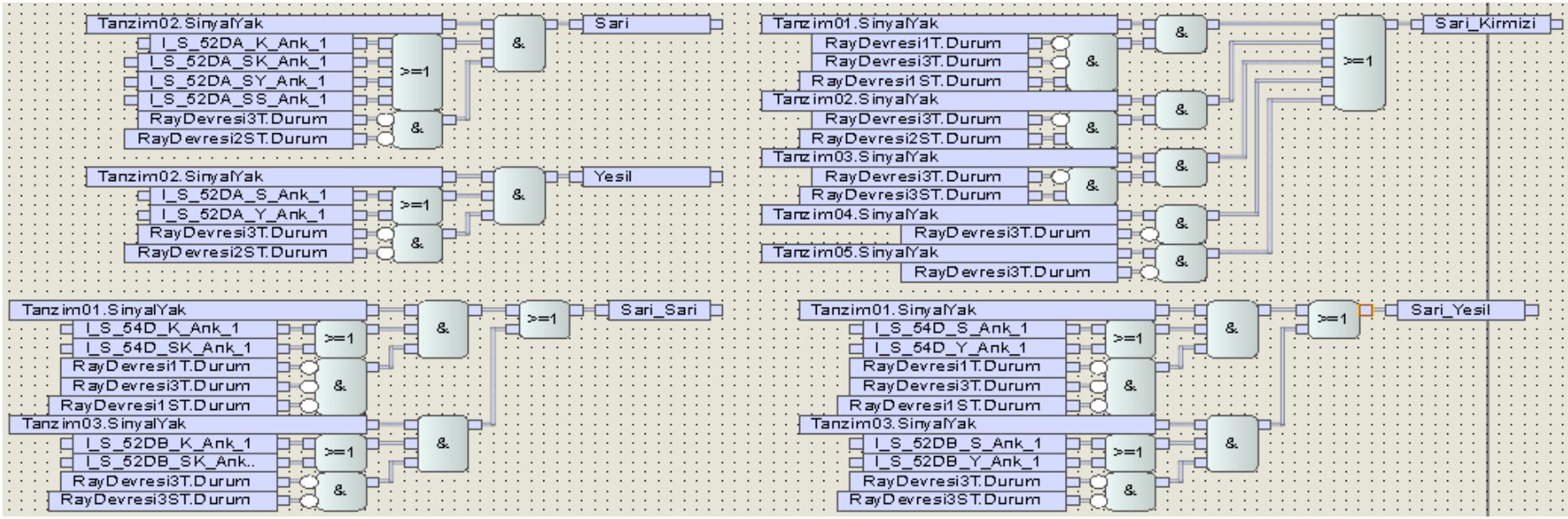
makaslar için, makasla ilgili arıza durumları ilgili alanlara girilir. Aynı işlem bu sefer "Rota" ve "Rota Kilit" sütunlarındaki ray devreleri için trenin giriş sırasına göre tekrarlanır. Yine "Rota" sütunundan yararlanılarak tüm çakışan güzergâhlar belirlenir ve "Çakışan Güzergâhlar" alanı doldurulur. Son olarak "Sinyal Kilit" sütunundaki tüm sinyaller için olası arızalar göz önünde bulundurularak "Sinyal Hata" alanı doldurulur. Şekil 4.24'te verilmiş olan istasyon için Çizelge A.1'de oluşturulmuş olan anklaşman tablosundan yararlanılarak, "1" numaralı tanzim için hazırlanmış olan giriş-çıkış bağlantıları Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da verilmiştir.



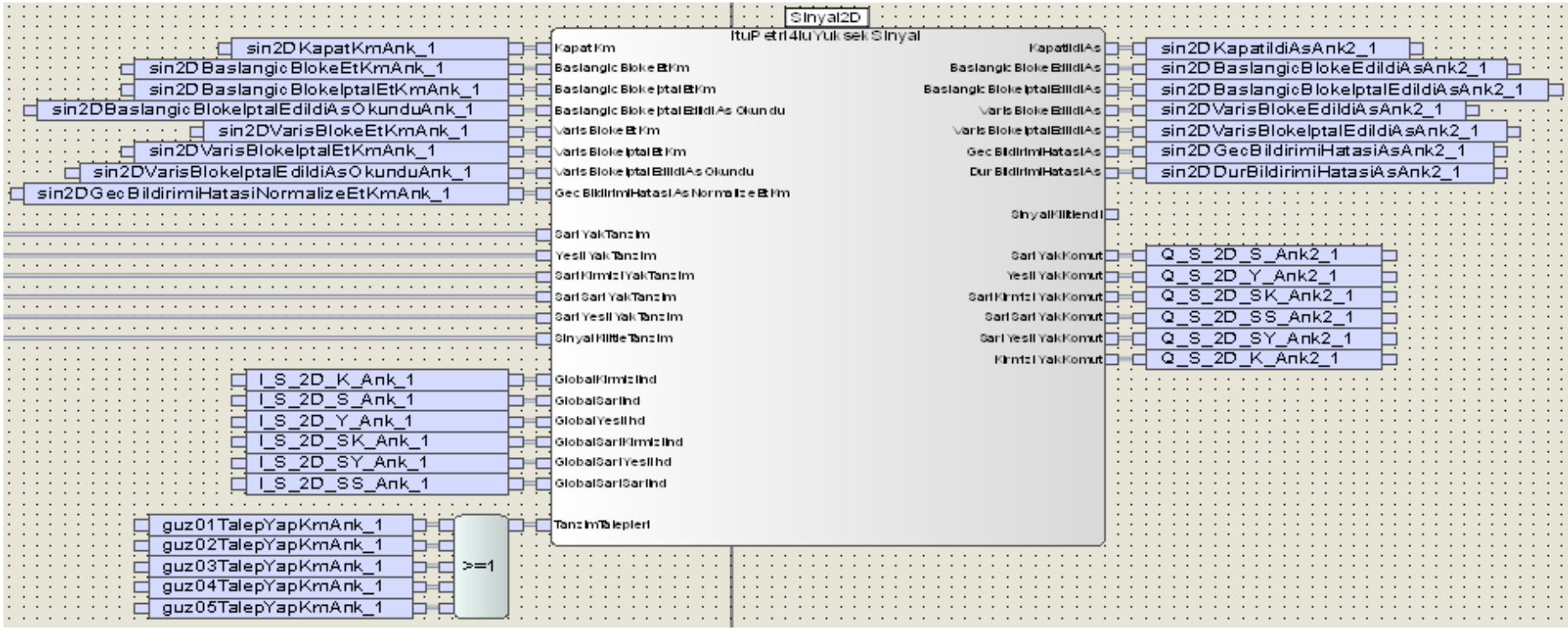
Şekil 4.25: Makas fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları



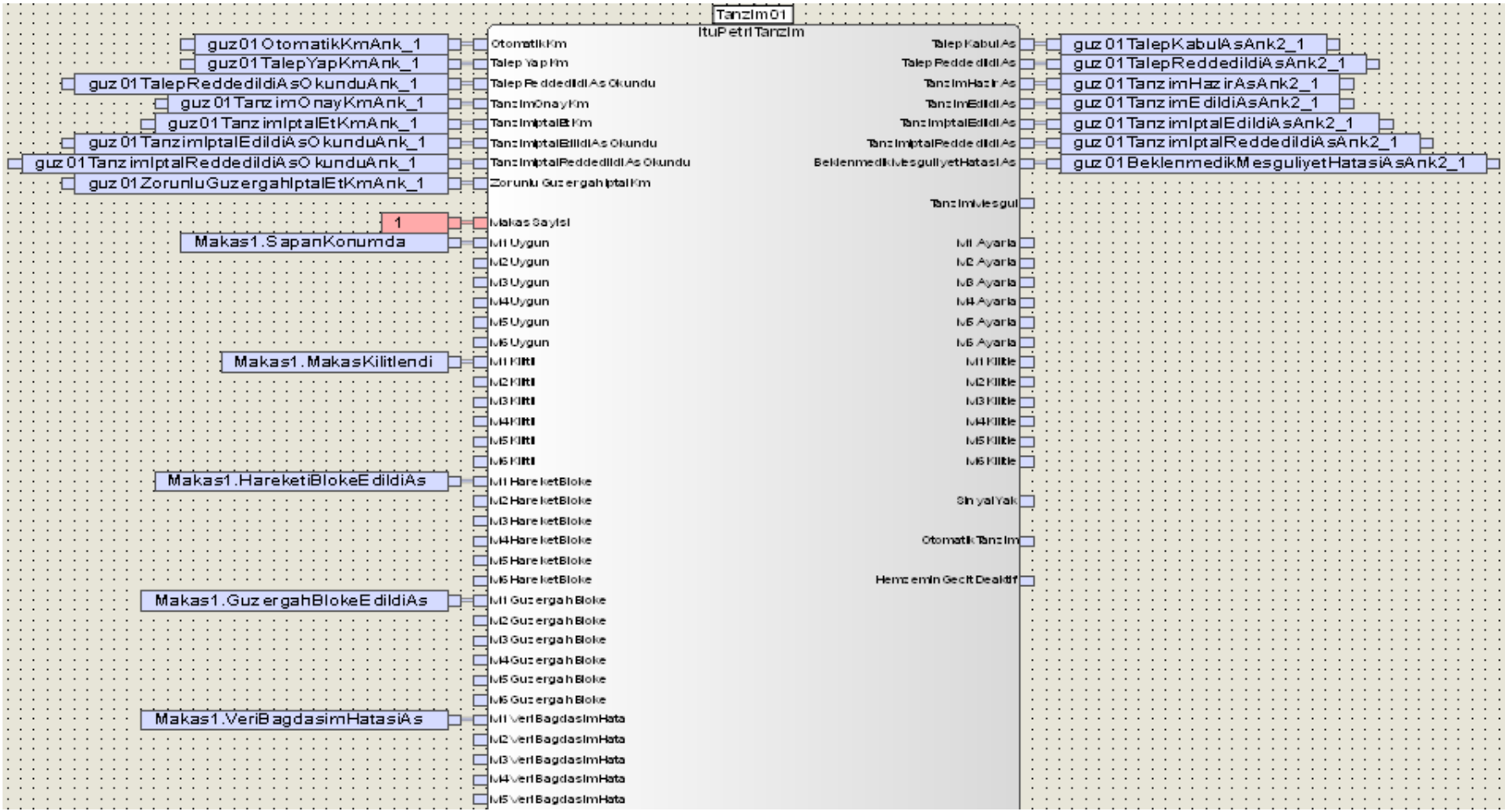
Şekil 4.26: RayDevresi fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları



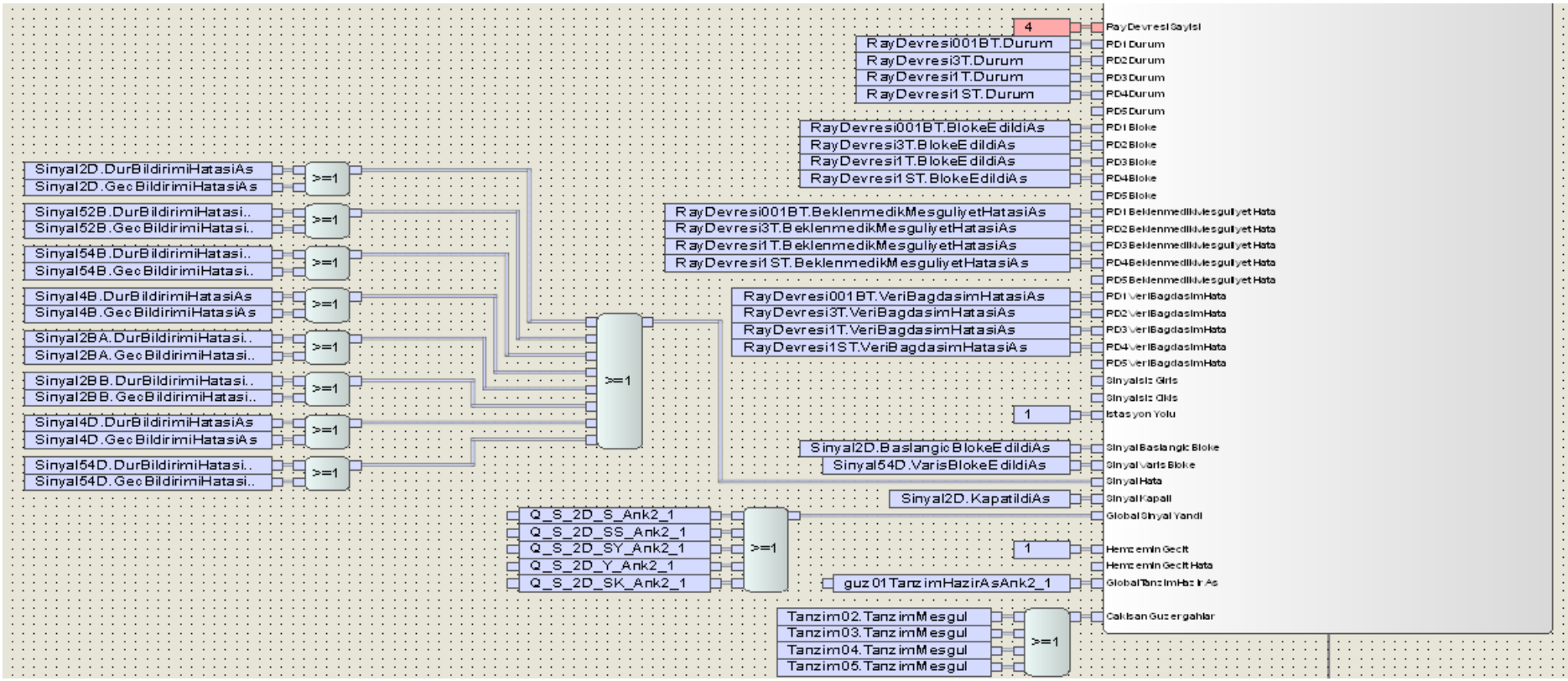
Şekil 4.27: Sinyal fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları-1



Şekil 4.28: Sinyal fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları-2



Şekil 4.29: Tanzim fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları-1



Şekil 4.30: Tanzim fonksiyon bloğu giriş-çıkış bağlantıları-2

5. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma sonuncunda bir demiryolu anklaşman sisteminin PLC ile gerçeklenmesinde kullanılacak bir fonksiyon kümesi elde edilmiştir. Tüm programın alt fonksiyonlara bölünmemesi durumunda çok zor olan bu tasarım, her bir saha ekipmanı için ayrı otomatlar hazırlanılarak hızlıca yapılmıştır. Yapılan tasarımların formal yöntemlere dayanması, hazırlanan anklaşman sisteminin ilgili güvenlik standartlarını sağlaması açısından önemlidir.

Bu çalışmada aynı zamanda, demiryolu sinyalizasyon sistemleri geniş bir biçimde anlatılmıştır. Buna ek olarak, tasarım aşamasında kullanılan otomat yöntemi anlatılmış ve bir örnek üzerinden detaylı şekilde açıklanmıştır.

Son olarak, bu çalışma ile hazırlanan fonksiyon blokları parametrik yapıda olmasından dolayı anklaşman tablosu hazırlanan herhangi bir istasyon için hızlıca düzenlenip, uygulanabilir. Bu yönden değerlendirildiğinde bu çalışma ile birlikte TCDD standartlarına uyan tüm istasyonlar için ilgili güvenlik standartlarına uygun, formal bir anklaşman yazılımının başarıyla hazırlandığı söylenebilir.

6. KAYNAKLAR

[1] **Nangeroni, C.,** 2009. Turkey: There is no stopping high speed now, *La Vie Du Rail International,* May 2009, pp 28-35.

[2] **Araştırma Planlama ve Koordinasyon Dairesi Başkanlığı İstatistik Şubesi,** 2008. TC Devlet Demiryolları İstatistik Yıllığı (2004-2008), TCDD iç raporu, Ankara, Türkiye.

[3] **Hall, S.,** 2001: Modern Signalling Handbook, Ian Allan Publishing, England.

[4] **Durmuş, M. S., Yıldırım, U., Söylemez, M.T.,** 2010. Application of Functional Safety on Railways Part II: Software Development, *Asian Control Conference'11 (submitted)*.

[5] **Akita, K., Watanabe, T., Nakamura, H., Okumura, I.,** 1985. Computerized Interlocking System for Railway Signalling Control: SMILE, *IEEE Transactions on Industry Applications,* **IA-21,** 826-834.

[6] **Rao, V. P., Venkatachalam, P. A.,** 1987. Microprocessor-Based Railway Interlocking Control with Low Accident Probability, *IEEE Trans. on Vehicular Technology,* **VT-35,** 141-147.

[7] **Petersen, J. L.,** 1998. Automatic Verification of Railway Interlocking Systems: A Case Study, *Formal Methods in Software Practice, Proc. of the 2nd. workshop on Formal methods in software practice*, pp 1-6.

[8] **Roanes-Lozano, E., Roanes-Macias, E., Laita, L. M.,** 2000. Railway Interlocking Systems and Gröbner bases, *Mathematics and Computers in Simulation,* **51,** 473-481.

[9] **She X., Sha Y., Chen Q., Yang J.,** 2007. The Application of Graph Theory on Railway Yard Interlocking Control System, *Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp 883-888.

[10] **Banci, M., Fantechi, A., Ginesi, S.,** 2004. The Role of Formal Methods in Developing a Distributed Railway Interlocking System, *Proc. of the 5th Symp. on Formal Methods for Automation and Safety in Railway and Automotive Systems,* Braunschweig**,** Germany.

[11] **Banci, M., Fantechi, A., Ginesi, S.,** 2005. Some Experiences on Formal Specification of Railway Interlocking Systems using Statecharts, *Train International Workshop at SEFM2005,* Koblenz, Germany.

[12] **Bohn, J., Damm, W., Klose, J., Moik, A., Witkke H.** 2002. Modeling and Validating Train System Applications Using Statemate and Live Sequence Charts, *Proc. of the Conf. on Integrated Design and Process Technology.*

[13] **Hei, X., Takahashi, S., Nakamura, H.,** 2008. Toward Developing a Decentralized Railway Signalling System Using Petri Nets, *Proc. of the IEEE Conf. on Robotics, Automation and Mechatronics*, Chengdu, China.

[14] **Durmuş, M. S., Yıldırım, U., 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.

[15] **Yıldırım, U., Durmuş, M. S., Söylemez, M. T.,** 2010. Fail-Safe Signalization and Interlocking Design for a Railway Yard: An Automation Petri Net Approach, *The 7th International Symposium on Intelligent and Manufacturing Systems,* Sarajevo, Bosnia Herzegovina.

[16] **Eriş, O., Mutlu, İ.,** 2010. Design of Signal Control Structures Using Formal Methods for Railway Interlocking Systems, *The 11th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision,* Singapore, Singapore.

[17] **Söyler, H., Açıkbaş, S.,** 2007. Raylı Toplu Taşımada Sinyalizasyon Sistemleri, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi,* İstanbul, Türkiye.

[18] **Kurtulan, S.,** 2010. *PLC ile Endüstriyel Otomasyon*, Birsen, İstanbul.

[19] **Kurtulan, S.,** 2007. *Endüstriyel Kumanda Sistemleri*, Nobel, Ankara.

EKLER

EK A.1 : Anklaşman tablosu

EK A.1

Çizelge A.1: Mithatpaşa kısaltılmış anklaşman tablosu.

TANIM			SİN. NO		SİNYAL DURUMU		KİLİT			SİNYAL KONTROL VEYA DEDEKTÖR KİLİT	ROTA KİLİT
İSİM		ROTA					Makas Konumu	Mevcut Konumda	Sinyal Kilit		
GİRİŞ SİNYALİ	rt1	001BT - 1ST	2D	1S	SY	54D S, Y	(1)	3 5	4D 2BA 2BB 4B 52B1 54B1	3T 1T 1ST	(3T) (1T)
					SS	54D K, SK					
					SK					3T 1T (1ST)	
	rt2	001BT - 2ST		2S	Y	52DA S, Y	1 3	5	2BB 2BA 52B2 54B2	3T 2ST	(3T)
					S	52DA K, SS, SY, SK					
					SK					3T (2ST)	
	rt3	001BT - 3ST		3S	SY	52DB S, Y	1 3 5		2BA 2BB 52B3 54B3	3T 3ST	(3T)
					SS	52DB K, SK					
					SK					3T (3ST)	
	rt4	001BT - (4S)		4S	SK		1 (3) 5		2BA 2BB 52B4 54B4 56B4	3T (D)	(3T)
	rt5	001BT - (5S)		5S	SK		1 (3) 5		2BA 2BB	3T D	(3T)

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad	**:** Oytun Eriş
Doğum Yeri ve Tarihi	**:** 19.07.1986
Adres	**:** Taşlıçeşme Sk. No:23/B D:11 BOSTANCI/İSTANBUL
Lisans Üniversite	**:** İstanbul Teknik Üniversitesi Kontrol Mühendisliği