İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANKLAŞMAN SİSTEMLERİNİN HATADA GÜVENLİ BİR PLC İLE GERÇEKLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre DİNCEL

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

OCAK 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANKLAŞMAN SİSTEMLERİNİN HATADA GÜVENLİ BİR PLC İLE GERÇEKLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre DİNCEL
(504111112)

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Salman KURTULAN

OCAK 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504111112 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Emre DİNCEL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"Anklaşman Sistemlerinin Hatada Güvenli Bir PLC İle Gerçeklenmesi"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Salman KURTULAN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. A. Leyla GÖREN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Mürvet KIRCI İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **17 Aralık 2012**
Savunma Tarihi : **10 Ocak 2013**

Aileme ve Sevdiklerime,

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum bu tez çalışmasında benden yardımlarını esirgemeyen, yaptığı eleştirileri ve önerileriyle çalışmaya önemli katkılarda bulunan değerli tez danışmanım Doç. Dr. Salman KURTULAN'a teşekkür ederim.

Eğitim ve öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, daima yanımda olan aileme; teze olan katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Yaprak YALÇIN'a, Araş. Gör. Oytun ERİŞ'e ve Araş. Gör. Uğur YILDIRIM'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca lisansüstü eğitimim sırasında sağlamış oldukları maddi desteklerden dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

Aralık 2012

Emre DİNCEL

(Kontrol Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
2. DEMİRYOLU SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ **3**
2.1 Trafik Kumanda Merkezi 3
2.2 Saha Elemanları 4
2.2.1 Ray devreleri 4
2.2.2 Makaslar 4
2.2.3 Sinyaller 4
2.2.3.1 Görevlerine göre sinyaller 5
2.2.3.2 Dörtlü yüksek sinyal 7
2.2.3.3 Üçlü yüksek sinyal 8
2.2.3.4 Üçlü cüce sinyal 8
2.3 Anklaşman Sistemi 9
3. ANKLAŞMAN SİSTEMLERİNİN TASARIMI **11**
3.1 Anklaşman Tabloları 11
3.2 Ayrık Olay Sistem Yaklaşımı 12
3.2.1 Otomat modeli 12
3.3 Saha Elemanlarının Modellenmesi 14
3.3.1 Ray devrelerinin modellenmesi 14
3.3.2 Makasların modellenmesi 15
3.3.3 Sinyallerin modellenmesi 18
3.3.4 Hemzemin geçidin modellenmesi 20
3.4 Tanzim Prosedürleri ve Modellenmeleri 22
3.4.1 Tanzim kabul-ret prosedürü ve otomat modeli 22
3.4.2 Tanzim iptal prosedürü ve otomat modeli 26
4. ANKLAŞMAN SİSTEMLERİNİN PRATİK GERÇEKLEMESİ **29**
4.1 Donanım Simülatörü ve Özellikleri 29
4.2 Programlanabilir Lojik Kontrolörler 30
4.2.1 Beckhoff PLC ve özellikleri 30
4.2.1.1 Donanım yapısı ve ayarları 30
4.2.1.2 Programlama özellikleri 36
4.2.1.3 Beckhoff PLC üzerinde yazılan bloklar 36
4.2.2 Siemens hatada güvenli PLC ve özellikleri 37
4.2.2.1 Donanım yapısı ve ayarları 37
4.2.2.2 Programlama özellikleri 39

4.3 Durum Geçiş Fonksiyonlarının PLC Üzerinde Gerçeklenmesi 39
4.4 Anklaşman Sistemine Ait Fonksiyon Blokların Yazılması 41
4.4.1 Ray devreleri için fonksiyon blok 42
4.4.2 Makaslar için fonksiyon blok 43
4.4.3 Sinyaller için fonksiyon blok 44
4.4.4 Hemzemin geçit için fonksiyon blok 45
4.4.5 Güzergahlar için fonksiyon blok 45
4.4.6 Ana program bloğu 47
4.5 Kullanıcı Arayüzünün Tasarımı 48
5. SONUÇLAR 49
KAYNAKLAR 51
ÖZGEÇMİŞ 53

KISALTMALAR

LAD	**:** Ladder Diagram
FBD	**:** Function Block Diagram
ST	**:** Structured Text
IL	**:** Instruction List
SFC	**:** Sequential Function Chart
CFC	**:** Continuous Function Chart
TKM	**:** Trafik Kumanda Merkezi
TCDD	**:** Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
PLC	**:** Programmable Logic Controller
SCADA	**:** Supervisory Control and Data Acquisition

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Dörtlü yüksek sinyal ile ilgili bildirimler. 7
Çizelge 2.2 : Üçlü yüksek sinyal ile ilgili bildirimler..... 8
Çizelge 2.3 : Üçlü cüce sinyal ile ilgili bildirimler..... 9
Çizelge 3.1 : Örnek bir anklaşman tablosu. 12
Çizelge 3.2 : Makas otomatı durumlar. 17
Çizelge 3.3 : Makas otomatında kullanılan olay açıklamaları. 17
Çizelge 3.4 : Sinyal otomatı durumlar. 20
Çizelge 3.5 : Sinyal otomatında kullanılan olay açıklamaları. 20
Çizelge 3.6 : Hemzemin geçit otomatı durumlar. 21
Çizelge 3.7 : Hemzemin geçit otomatı olay açıklamaları. 22
Çizelge 3.8 : Tanzim kabul-ret otomatı durumlar. 25
Çizelge 3.9 : Tanzim kabul-ret otomatı olay açıklamaları. 25
Çizelge 3.10 : Tanzim iptal otomatı durumlar. 28
Çizelge 3.11 : Tanzim iptal otomatı olay açıklamaları. 28
Çizelge 4.1 : Uygulamada kullanılan PLC'ye ilişkin bazı bilgiler. 30

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: İki yönlü veri alış verişi. 3
Şekil 2.2: Görevlerine göre sinyaller. 5
Şekil 2.3: Görünüşlerine göre sinyaller. 5
Şekil 2.4: Giriş sinyalleri. 5
Şekil 2.5: Çıkış sinyalleri. 6
Şekil 2.6: Yaklaşma sinyali. 6
Şekil 2.7: Koruma sinyali. 6
Şekil 2.8: Tekrarlama sinyali. 7
Şekil 2.9: Dörtlü yüksek sinyal. 7
Şekil 2.10: Üçlü yüksek sinyal. 8
Şekil 2.11: Üçlü cüce sinyal. 9
Şekil 3.1: Örnek bir demiryolu bölgesi. 11
Şekil 3.2: Örnek bir durum geçiş grafı (otomat). 12
Şekil 3.3: Ray devresi blokesi için bir akış diyagramı. 15
Şekil 3.4: Makas çevirme için bir akış diyagramı. 16
Şekil 3.5: Makas çevirme işlemi için bir otomat. 17
Şekil 3.6: Sinyal bildirim ayarlama için akış diyagramı. 19
Şekil 3.7: Sinyal bildirim ayarlama otomatı. 19
Şekil 3.8: Hemzemin geçidin kapanmasına ilişkin akış diyagramı. 21
Şekil 3.9: Hemzemin geçit otomat modeli. 21
Şekil 3.10: Tanzim kabul-ret prosedürü akış diyagramı. 24
Şekil 3.11: Tanzim kabul-ret otomat modeli. 25
Şekil 3.12: Tanzim iptal prosedürü akış diyagramı. 27
Şekil 3.13: Tanzim iptal otomat modeli. 27
Şekil 4.1: Uygulama yapılan donanım simülatörü. 29
Şekil 4.2: Çalışmada kullanılan kontrol birimi. 31
Şekil 4.3: System Manager yazılımı. 31
Şekil 4.4: Sistem yöneticisi ile fiziksel bir sisteme bağlantı aşaması 1. 32
Şekil 4.5: Sistem yöneticisi ile fiziksel bir sisteme bağlantı aşaması 2. 32
Şekil 4.6: Sistem yöneticisi ile fiziksel bir sisteme bağlantı aşaması 3. 33
Şekil 4.7: Sistem yöneticisi ile fiziksel bir sisteme bağlantı aşaması 4. 33
Şekil 4.8: Sistem yöneticisi ile fiziksel bir sisteme bağlantı aşaması 5. 34
Şekil 4.9: Sistemin ayar moduna alınması. 34
Şekil 4.10: Sisteme bağlı donanımların taranması aşama 1. 34
Şekil 4.11: Sisteme bağlı donanımların taranması aşama 2. 35
Şekil 4.12: Sisteme bağlı donanımların sistem yöneticisinde listesi. 35
Şekil 4.13: PLC Control yazılım geliştirme ortamı. 36
Şekil 4.14: Çalışmada kullanılan donanım ve haberleşme yapısı. 37
Şekil 4.15: Siemens donanım ayarlarının yapıldığı arayüz. 38
Şekil 4.16: Siemens programlama arayüzü. 38
Şekil 4.17: Makas otomatına ilişkin fonksiyonların PLC programı. 40

Şekil 4.18: Çıkışların tanımlanmasına örnek. 41
Şekil 4.19: Olay işaretlerinin tanımlanmasına örnek. 41
Şekil 4.20: PLC'de oluşturulan ray devresi fonksiyon bloğu. 42
Şekil 4.21: PLC'de oluşturulan makas fonksiyon bloğu. 43
Şekil 4.22: PLC'de oluşturulan sinyal fonksiyon bloğu. 44
Şekil 4.23: PLC'de oluşturulan hemzemin geçit fonksiyon bloğu. 45
Şekil 4.24: PLC'de oluşturulan güzergah fonksiyon bloğu. 46
Şekil 4.25: PLC'de çalışan ana program. 47
Şekil 4.26: İstasyon için oluşturulan kullanıcı arayüz (SCADA) ekranı. 48

ANKLAŞMAN SİSTEMLERİNİN HATADA GÜVENLİ BİR PLC İLE GERÇEKLENMESİ

ÖZET

İnsanlar demiryolu, havayolu, denizyolu ve karayolu gibi birçok seçeneğe sahip olmalarına rağmen, ülkemizde karayolu taşımacılığı hem yolcular için hem de lojistik sektörü için daha fazla tercih edilen bir ulaşım çeşididir. Ancak, bununla birlikte demiryolu taşımacılığının arttırılması yönünde gösterilen çabalar da demiryolları için bir revizyon gereksinimini doğurmuştur.

Demiryollarında hem güvenli hem de hızlı bir ulaşımın sağlanması adına sinyalizasyon sistemlerinin yeniden yapılandırılması olmazsa olmazlardandır. Özellikle de insan odaklı hatalardan kaynaklanan can ve mal kayıplarının çokça yaşandığı demiryollarında sinyalizasyon sistemleri için önerilecek olan otomatik çözümler, bu kayıpların önüne geçmek için atılacak olan adımlardan biridir. Bu amaçla oluşturulan temel sistemler anklaşman sistemleri olarak adlandırılırlar.

Anklaşman sistemleri, demiryolu ulaşımın güvenli olarak sağlanması için oluşturulmuş olan sinyalizasyon sistemlerinde karar verici mekanizma olarak kullanılan yapılardır. Bu sistemler kendilerine trafik kumanda merkezi tarafından gönderilen komutların, saha ekipmanlarından (makaslar, ray devreleri, sinyaller vb.) alınan bilgilerin de değerlendirilmesiyle birlikte, uygun olup olmadığını denetleyen, uygun komutları sahaya göndererek trenin en uygun güzergaha yönlendirilmesi, gerektiğinde durdurulması, tekrar hareket ettirilmesi gibi eylemleri gerçekleştiren, uygun olmayan komutları ise reddederek trafik kumanda merkezini bu durum hakkında bilgilendiren bir yapıya sahiptirler. Tüm bu eylemler için gerekli olan makas konum ayarlamaları, sinyal bildirim ayarlamaları, güzergah kilitleme vb. işlemler de tasarlanan anklaşman sistemi tarafından yürütülmektedir. Bu yönüyle anklaşman sistemleri, trafik kumanda merkezi ve saha arasındaki güvenli köprü olarak adlandırılabilir.

Anklaşman sistemleri ilk zamanlarda mekanik olarak tasarlanmakta iken gelişen teknoloji ile birlikte elektronik kartlar bu amaçla kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise programlanabilir lojik kontrolörlerin (PLC) bu amacı gerçeklemek üzere kullanımları yaygınlaşmaya başlamıştır.

PLC tabanlı anklaşman sistemlerinin tasarımları için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Özellikle bu tür kumanda sistemlerinin ayrık olay sistem yaklaşımına uygun olmasından dolayı petri ağları modeli, otomat modeli gibi ayrık olay tasarım metotları rahatlıkla uygulanabilmektedir. Anklaşman sisteminin ana yapıları ve saha elemanları için elde edilen bu modeller PLC'lerde gerçeklenerek tasarlanan anklaşman sistemlerinin fiziksel dünyaya aktarılması tamamlanmış olur.

Bu tez çalışmasında öncelikle demiryollarında kullanılan sinyalizasyon sistemleri ve bu sistemin temel elemanları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Anklaşman sistemlerinin genel özellikleri ve tasarım yöntemleri detaylı olarak açıklanmıştır.

Örnek bir demiryolu istasyonu için anklaşman sistemi tasarlanmış ve uygulama Beckhoff PLC ve Siemens hatada-güvenli PLC yardımıyla gerçeklenmiştir. Bu aşamada öncelikle kullanılan PLC'lerin donanımsal ve yazılımsal özelliklerinden bahsedilmiş, sonrasında tasarımı yapılmış olan anklaşman sistemlerin PLC yazılımlarına nasıl dönüştürülebileceği anlatılmıştır. Son olarak, trafik kumanda merkezi için bir kullanıcı arayüzü (SCADA sistemi) tasarlanmıştır.

IMPLEMENTATION OF THE INTERLOCKING SYSTEMS BY FAIL-SAFE PLC

SUMMARY

Although people have many choices for transportation such as railway, highway, seaway and airway, in our country, highway is the most preffered one by both passengers and logistic sector. In addition to this, with the increasing efforts towards enhancing railway transportation, it has led to the need for a revision to railways. The establishment of signalization systems is one of the most prior revisions in order to ensure safety which is the most important criterion for all transportation systems.

Even if technological developments reduce the possibility of making mistake day by day, these mistakes may result in fatal accidents in railway transportation. In Turkey, from 2004 to 2008 total 2312 railway accidents occurred and 691 people died, 1437 people injured in these accidents caused by train collisions, passage collisions and derailments. To ensure the safety of such systems, in most of the countries the umbrella standard IEC 61508 for safety critical systems and the EN 50128 for railway applications are required.

Especially for the railway systems in which life and property loses are experienced mostly because of the human-oriented mistakes, automatic solutions become an important subject to examine. Interlocking systems are used as decision-making mechanisms in railway systems in order to prevent potential accidents so that trains travel on railway safely.

In the railway signalling, there are three basic elements named as track circuits, switches and signal lights. A track circuit is a simple electrical component which is used to detect existence of trains in railway systems. As the train passes over the track circuit, it is short circuited. Thus it is possible to detect if train is on track or not. Switches are another component which provide passage of trains from one track to another and are generally controlled by motors. There are two position of switches are called normal position and reverse position. Switch is called in the normal positions if train continues on the path directly and is called in reverse position if train deviates from the path. Signal lights give information to machinist about the next routes such as having a permission to pass to the next route, necessary speed of train, state of next signal lights. Signal lights are positioned on the right side of railway according to the direction of movement. There are four type signal lights are called as dwarf signal light with two lights (red and green), dwarf signal light with three lights (red, green and yellow), high signal light with three lights (red, green and yellow) and high signal light with four lights (red, green and two yellow) which are used in Turkish railways.

Interlocking systems check the compliance of the route request coming from the Traffic Control Centre (TCC), in which train movements and all other processes in the railway line are monitored and carried out, with the help of feedback signals which are taken from the railway field. Using the obtained information, interlocking

system make a decision to accept or reject pending route request. If route is not occupied, interlocking system locks all track circuits on the route electronically, changes positions of the all switches on the route to the appropriate position (normal position or reverse position) and sets signal lights as needed. During these processes, if all feedback signals (indications) are received as expected then pending route request is approved and train starts to move. Otherwise, in order to provide safety, pending route request is rejected. Therefore, it is possible to say that interlocking system is a safe bridge between the field and TCC.

While the train is moving on reserved route for itself, track circuits are checked by interlocking system if the train is entering to tracks respectively and leaving from the tracks in the correct order. If there are switches on the reserved route, then their positions are always checked until route is released to ensure safety and also signal lights are checked to be sure if they give right notification or not until the end of the route. Finally, when train reaches to the end of the route, all occupations are cleared and route is released for the next request by interlocking system.

Firstly a mechanical interlocking system is established in England in 1843. After that with the development of electronic systems, mechanical systems are replaced with the electronic systems. In these days, programmable logic controllers (PLC) which are specialized for industrial automation systems are started to be used for the interlocking systems.

Interlocking system design can be performed by various methods. The important thing is that the interlocking system must satisfy both of the hardware and software requirements of the standards. While it is easy to satisfy the hardware aspect by using certified COTS products, safe software design needs more effort and formal approaches. In the literature, graph based systems and interlocking table based systems are used to design interlocking systems. There are also other studies which are based on discrete event system approach such as automata and petri nets. In the interlocking design, these formal methods should be used in order to provide defined safety standards for the railway systems on the software side.

Automaton approximation, in other words state transition graph, is a graphical representation which consists of an initial state and other states, state transitions and events that provide transition between states. In order to obtain state transition graph of a system, firstly states and events are needed to be determined. Then, state transition graph is drawn and logical expressions are generated by using this graph. In the next step, state transition functions have to be generated. These functions are determined depending on conditions which bring automat to concerned state and also take out automat from concerned state. With the help of these state transition functions, it is possible to design interlocking systems and implement them on a PLC easily.

In the automata based interlocking system design, firstly all fields equipments (track circuits, switches, signal lights and level crossing) should be modeled using automaton approach. Once their state transition graphs are obtained, it is possible to write logical functions using basic logical expressions called as AND, OR, NOT. Security precautions should also be taken into account while creating states and events in the automat. Obtained logical functions are ready to be implemented on PLC using programming languages such as function block diagram (FBD) and ladder diagram (LAD) which are supported in the Siemens fail-safe programming. Then it is easy to create function blocks for each element one by one. At the end, these created

function blocks are combined properly in main function blocks which are created for each route of the railway yard. In these route function blocks, two main requests which are called as a route request and a route canceling request are taken as inputs and with the help of automata programmed for these requests, necessary operations are performed.

Since the hardware and software requirements should be satisfied according to defined safety standards in the implementation phase of the interlocking system, on the hardware side, designed interlocking systems are implemented using fail-safe PLCs produced by several companies such as Siemens, Hima, Mitsubishi. In addition to this, on the software side, fail-safe programming is used. In this study, design of the interlocking system for a given railway yard is performed by automata. As a hardware and software, Siemens CPU 317F-2 fail-safe PLC and S7 Distributed Safety fail-safe programming package are used respectively.

In the fail-safe programming, it is allowed to use only limited set of PLC commands. User defined data types or the other complex data types such as REAL, ARRAY, BYTE are not also allowed to use in the fail-safe program, only basic data types such as WORD, INT, BOOL and TIME are allowed to use. Fail-safe PLC program can be written only by ladder diagram (LD) or function block diagram (FBD) languages. In order to write a program into Siemens fail-safe PLC, first of all a program call block (F-CALL) is created and this block is called in a time-dependent interrupt program (such as OB35). Accordingly, a special main fail-safe block (F-PB) is created. After that, all programming blocks are operated in this main block. All these limitations lead to the difficulty in programming. However, with all these precautions, a safe operation is guaranteed.

After the programming phase of the required program, during the compilation phase, additional data blocks and functions blocks are added to PLC program by Siemens Distributed Safety package. Thus all data used in program are also stored in another safe data blocks and this provides secure storage. Besides, with the help of the automatically created function blocks which detect the mismatches or errors and bring system to the predefined safe state, it is not allowed to make a mistake on the software side.

In this study, an interlocking design for a sample railway yard is performed by a formal method called as automaton approach. Obtained state transition functions of the interlocking system elements are programmed using fail-safe programming rules and are implemented on Siemens fail-safe PLC in order to ensure safe operation which is determined by safety standarts.

In the first part, a short introduction is given to explain the importance of the railway signalling and necessity of the interlocking systems.

In the second part, basic railway signalling elements and their main properties are introduced briefly.

In the third part, automaton approach is explained in detail and then all railway signalling equipments are modeled using this formal approach. After that, logical functions (state transition functions) for the field equipments and also routes are obtained with the help of automata.

In the fourth part, obtained state transition functions are converted to the function blocks using fail-safe programming and these blocks are implemented on Siemens fail-safe PLC. Lastly, a user interface is designed in order to monitor train positions,

field equipments’ states and unoccupied - occupied routes. Thus control of the given railway yard is provided.

1. GİRİŞ

Ulaşım sistemlerinde temel alınan kriter hızlı taşıma olsa da öncelikli amaç bir yerden bir yere güvenli olarak ulaşabilmektir. Ülkemizde 2004 yılından 2008 yılına kadar toplam 2312 demiryolu kazası meydana gelmiş ve bu kazalarda 691 insan hayatını kaybetmiş, 1437 insan ise yaralanmıştır [1].

Demiryolu kazalarının önüne geçmek amacıyla ilk olarak İngiltere'de mekanik bir anklaşman sistemi 1843'te kurulmuştur [2]. Daha sonra elektronik sistemlerin gelişmesi ile bu mekanik sistemler yerini devre kartlarına ve bir takım lojik işlemcilere bırakmıştır. Son zamanlarda ise anklaşman sistemlerinin uygulanmasında özellikle endüstriyel otomasyon için özelleşmiş PLC'ler kullanılan çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Anklaşman sistemlerinin tasarımları için şu ana kadar farklı yöntemler önerilmiş ve uygulanmıştır. Graf tabanlı ya da anklaşman çizelgeler kullanılarak oluşturulan anklaşman sistemleri bu yöntemler arasındadır [3], [4], [5], [6]. Bununla birlikte petri ağları [7], [8], [9] ve otomat yaklaşımı [10], [11] kullanılarak yapılan çalışmalar da mevcuttur.

Bu tez çalışmasında bir anklaşman sisteminin tasarımı otomat yaklaşımı ile yapılacaktır. Tasarlanan anklaşman sistemi de gerekli güvenlik standartlarının sağlanması amacıyla hatada güvenli bir PLC üzerinde ve yine hatada güvenli bir programlama kullanılarak gerçeklenecektir.

Çalışmanın ikinci bölümünde demiryolu sinyalizasyon sistemlerinin özellikleri ve temel bileşenleri açıklanacaktır.

Üçüncü bölümde otomat yöntemi detaylı bir biçimde açıklanacak ve saha elemanlarının otomat modelleri ile bu modellere ilişkin mantıksal fonksiyonlar elde edilecektir.

Dördüncü bölümde ise elde edilen mantık fonksiyonları Siemens hatada güvenli PLC içerisine yazılacak ve fiziksel sistemin kumandası yapılmış olacaktır.

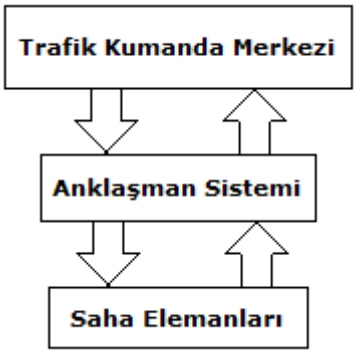
2. DEMİRYOLU SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ

Demiryolu sinyalizasyon sistemleri temel olarak trafik kumanda merkezi, saha ekipmanları ve anklaşman sistemi olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Bu bölümde sinyalizasyon sistemlerinin bu temel bileşenleri açıklanacaktır.

2.1 Trafik Kumanda Merkezi

Bir demiryolu hattındaki trafiğin yürütüldüğü ve yürütülmekle kalmayıp o hat üzerindeki hareketlerin izlendiği merkezler trafik kumanda merkezi (TKM) olarak tanımlanmıştır [12]. Bu merkezler genelde bir oda içerisinden sahadaki tüm sinyalizasyon sistemlerinin, trenlerin konumlarının gözlenebildiği ve aynı zamanda kumanda edilebildiği bir cihazlar takımı olarak da tanımlanabilir. Sahaya gerekli komutlar dispeçer tarafından gönderilir ve saha durumu da benzer şekilde dispeçer tarafından gözlenir.

Kumanda merkezi ile anklaşman sistemi arasında çift yönlü bir veri alışverişi mevcuttur (Şekil 2.1). TKM tarafından gönderilen komutlar (uygun olmaları durumunda) anklaşman sistemi üzerinden saha elemanlarına aktarılırken, aynı şekilde sahadan gelen geri beslemeler de anklaşman sistemi üzerinden TKM'ye aktarılmaktadır.



Şekil 2.1 : İki yönlü veri alış verişi.

Genel olarak TKM'de merkezi gösterge birimleri, tren ve istasyonlardan veri alan ve veri gönderen kontrol birimleri, tren tanıma aygıtları, iletişim birimleri, yedek enerji kaynakları, yazıcı ve kaydediciler gibi ekipmanlar bulunmaktadır.

2.2 Saha Elemanları

2.2.1 Ray devreleri

Ray devreleri, demiryolunun belirli bir kısmında tren olup olmadığını gösteren birimler olarak tanımlanabilir. AC ve DC ray devreleri olmak üzere iki çeşit ray devresi bulunmaktadır. Ray devrelerinde, raylara gerilim verilmekte ve tren rayların üzerinden geçtiği anda kısa devre meydana gelmektedir. Tren varlığının tespitini bu mantığa dayanarak yapan bir saha ekipmanı olarak tasarlanmışlardır [13].

Bir ray devresi eğer o blok içerisinde tren varsa meşgul sinyali gönderecek, yoksa serbest sinyalini gönderecektir. Ray devrelerinden geri beslemeler (indikasyon) güvenlik nedeniyle çiftler halinde alınmaktadır. Bu indikasyon verileri birbirlerinin tamlayanı olarak, yani ray devresi serbest biti lojik olarak 1 iken meşgul biti lojik 0 olacak şekilde ya da serbest biti lojik olarak 0 iken meşgul biti lojik olarak 1 olacak şekilde sahadan gelmektedir.

2.2.2 Makaslar

Sinyalizasyon sistemlerinde makaslar trenlerin yön değiştirmesini sağlamak amacıyla kullanılan ve genelde motorlarla kontrol edilen demiryolu ekipmanlarıdır. Çoğunlukla normal ve sapan olmak üzere iki konumları mevcuttur. Eğer makas tren direkt olarak yoluna devam edecek şekilde konumlandırıldıysa normal konum, tren sapacak şekilde konumlandırıldıysa da sapan konum olarak adlandırılmaktadır.

Makasların konum geri beslemelerini anklaşman sistemine ve TKM'ye gönderen konum algılayıcı sensörler de makaslar üzerinde bulunmaktadır. Ray devrelerinde olduğu gibi makaslarda da güvenlik amacıyla indikasyon bilgileri çiftler halinde sahadan gönderilmektedir.

2.2.3 Sinyaller

Demiryollarında makinistlere önündeki güzergahla ilgili çeşitli bilgiler veren ve yolun gidiş yönüne göre sağ tarafından konumlandırılan lambaların tümü sinyal olarak adlandırılmaktadır. Bu sinyaller, bir sonraki güzergahın dolu olup olmadığı, trenin bir sonraki güzergaha devam etmeye izinli olup olmadığı, makinistin ilerlemesi gereken hızı, gelecek istasyona olan uzaklığı ve sonraki sinyalin durumu hakkında bir takım bilgiler verebilmektedir. Sinyaller TKM'den aldıkları bildirim

komutlarını yerine getirmekle birlikte anklaşman sistemine de gerekli indikasyon verilerini göndermektedir.

Sinyaller görevlerine ve görünüşlerine göre çeşitli sınıflara ayrılmaktadırlar. Şekil 2.2'de görevlerine göre ve Şekil 2.3'te de görünüşlerine göre sinyal sınıfları görülmektedir.



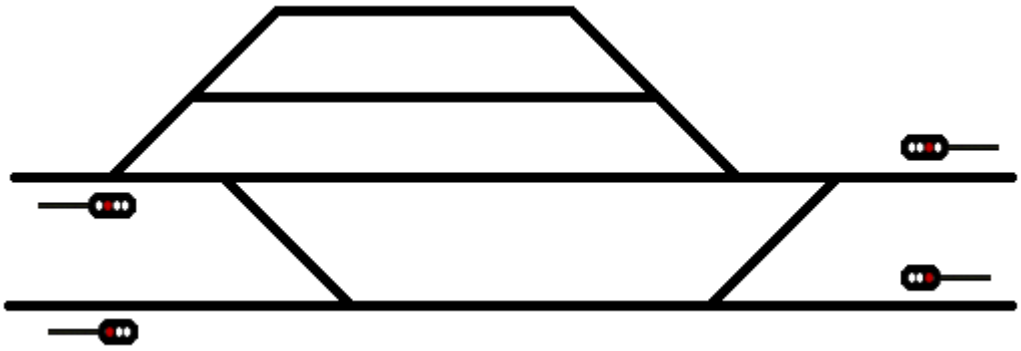
Şekil 2.2 : Görevlerine göre sinyaller.



Şekil 2.3 : Görünüşlerine göre sinyaller.

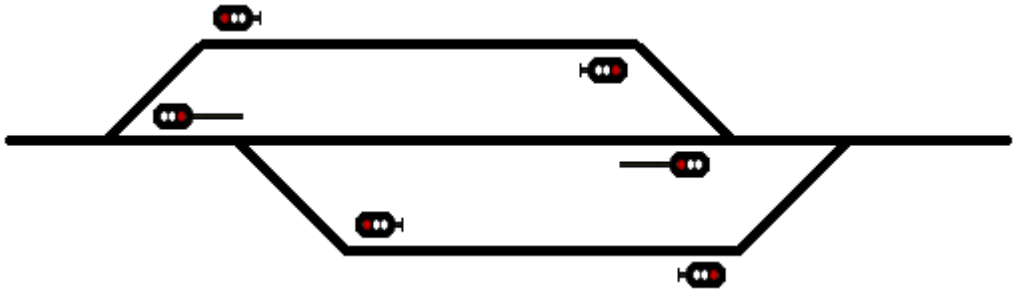
2.2.3.1 Görevlerine göre sinyaller

Giriş sinyalleri, istasyon ve saydinglerin girişlerine yerleştirilmiş olup, üç ya da dört lambalı yüksek sinyalleridir (Şekil 2.4).



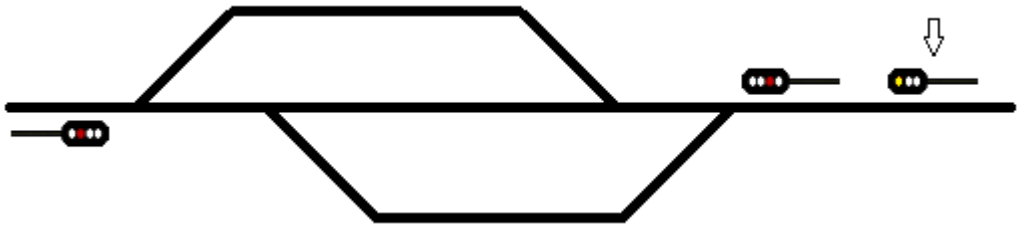
Şekil 2.4 : Giriş sinyalleri.

Çıkış sinyalleri, istasyon ve sayding yollarının çıkışlarına yerleştirilmiş yüksek ve cüce sinyallerdir (Şekil 2.5).



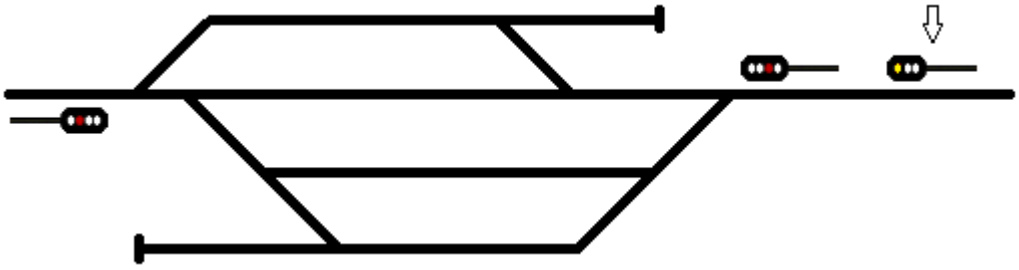
Şekil 2.5 : Çıkış sinyalleri.

Yaklaşma sinyalleri, terminal istasyonları haricindeki istasyonlar ile saydinglerin giriş sinyallerinden bir önceki sinyallerdir (Şekil 2.6).



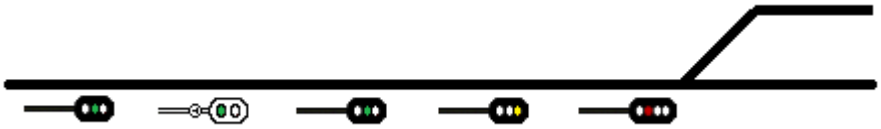
Şekil 2.6 : Yaklaşma sinyali.

Koruma sinyalleri, terminal istasyonları veya manevrası fazla olan istasyonlarda giriş sinyalinden bir önceki sinyallerdir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : Koruma sinyali.

Tekrarlama sinyalleri, belirli bir uzaklıktan görülemeyen, sinyallere 400 metre mesafeye kadar konulan ve bu sinyalin durumuna göre renk bildirisi veren sinyaller çeşididir (Şekil 2.8). Tekrarlama sinyalleri, üzerlerinde iki renkli ve altında beyaz üzerine siyah renkle yazılmış T harfli yuvarlak bir levha bulunan yüksek sinyal biçiminde sinyallerdir [14].



Şekil 2.8 : Tekrarlama sinyali.

2.2.3.2 Dörtlü yüksek sinyal

Dörtlü yüksek sinyaller çoğunlukla makas bölgelerinde ve istasyon giriş ve çıkışlarında konumlandırılmıştır. Sinyaldeki lambalar yukarıdan aşağıya doğru sarı, yeşil, kırmızı ve sarıdır. En alttaki sarı lamba makasta sapma olduğunda yanan lambadır. Bu lambalar kırmızı, yeşil, sarı, sarı üzeri sarı, sarı üzeri yeşil ve sarı üzeri kırmızı olarak yakılabilmektedir. Şekil 2.9'da bir dörtlü yüksek sinyal görülmektedir. Bu sinyale ilişkin tüm bildirimler ise Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.9 : Dörtlü yüksek sinyal.

Çizelge 2.1: Dörtlü yüksek sinyal ile ilgili bildirimler.

Sinyal	Bildirim
Kırmızı	Öndeki ray devresi dolu durumda veya henüz tanzim edilmemiş (Dur)
Sarı	Sonraki ray devresi boş durumda ama ondan sonraki dolu (Belirlenen hızda ilerle)
Yeşil	Öndeki en az iki ray devresi boş durumda (Belirlenen hızda ilerle)
Sarı üzeri kırmızı	Bir sonraki makas bölgesinde sapma var ama öndeki ray devresi dolu (Her an durabilecek şekilde ilerle)
Sarı üzeri sarı	Sonraki makas bölgesinde sapma yapılacak ve öndeki ray devresi boş durumda (Belirlenen hızda ilerle)
Sarı üzeri yeşil	Bir sonraki ray devresinde sapma var ve öndeki en az iki ray devresi boş durumda (Belirlenen hızda ilerle)

2.2.3.3 Üçlü yüksek sinyal

Üçlü yüksek sinyal genellikle ana hat üzerinde konumlandırılan sinyal tipleridir. Yukarıdan aşağıya doğru sarı, yeşil ve kırmızı renkte lambalar bulunmaktadır. Şekil 2.10'da bir üçlü yüksek sinyal görülmektedir. Üçlü sinyal sarı, kırmızı ve yeşil olmak üzere üç farklı bildirim verebilmektedir. Bildirimlerle ilgili gerekli açıklama Çizelge 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.10 : Üçlü yüksek sinyal.

Çizelge 2.2: Üçlü yüksek sinyal ile ilgili bildirimler**.**

Sinyal	Bildirim
Kırmızı	Öndeki ray devresi dolu durumda veya tanzim edilmemiş (Dur)
Sarı	Sonraki ray devresi boş durumda ama ondan sonraki dolu durumda (Belirlenen hızda ilerle)
Yeşil	Öndeki en az iki ray devresi boş durumda (Belirlenen hızda ilerle)

2.2.3.4 Üçlü cüce sinyal

Üçlü cüce sinyaller barınma yollarının çıkışlarına veya istasyonların yan yollarına konumlandırılmıştır. Lambaların renkleri yukarıdan aşağıya kırmızı, sarı ve yeşildir. Sinyalin flaş yanması ilgili sinyalin, sinyalsiz yol üzerindeki tren için verildiği anlamını taşımaktadır. Üçlü cüce sinyali Şekil 2.11 ile gösterilmiştir.

Üçlü cüce sinyal sarı, yeşil, kırmızı, flaş sarı, flaş yeşil, sarı üzeri kırmızı ve flaş sarı üzeri kırmızı ve sarı üzeri kırmızı gibi çeşitli bildirimler verebilmektedir. Bildirimlere ilişkin açıklamalar Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.11 : Üçlü cüce sinyal.

Çizelge 2.3: Üçlü cüce sinyal ile ilgili bildirimler.

Sinyal	Bildirim
Kırmızı	Öndeki ray devresi dolu durumda veya tanzim edilmemiş (Dur)
Sarı	Sonraki ray devresi boş durumda, ondan sonraki dolu durumda (Belirlenen hızda ilerle)
Yeşil	Öndeki en az iki ray devresi boş durumda (Belirlenen hızda ilerle)
Sarı üzeri kırmızı	Bir sonraki makas bölgesinde sapma var ama öndeki ray devresi dolu durumda (Her an durabilecek şekilde ilerle)
Flaş sarı	Sonraki makas bölgesinde sapma yapılacak ve sadece öndeki ray devresi boş durumda (Belirlenen hızda ilerle)
Flaş yeşil	Bir sonraki ray devresinde sapma var ve öndeki en az iki ray devresi boş durumda (Belirlenen hızda ilerle)
Flaş sarı üzeri kırmızı	Sonraki makas devresinde sapma yapılacak ve öndeki ray devresi dolu durumda (Her an durabilecek şekilde ilerle)

2.3 Anklaşman Sistemi

Demiryolu ulaşımın güvenli olarak sağlanması için kullanılan sinyalizasyon sisteminde, karar verici mekanizma olarak kullanılan sistemler anklaşman sistemleridir. Ülkemizde sinyalizasyonu yapılmış olan güzergahların çoğunda röleli anklaşman sistemleri kullanılmaktadır. Bazı bölgelerde ise sadece röleli lojik devreler kullanılarak oluşturulmuş olan anklaşman sistemleri mevcuttur. Bununla birlikte bazı hatlarda özel olarak tasarlanmış elektronik devreler de anklaşman sistemi için kullanılmaktadır [15].

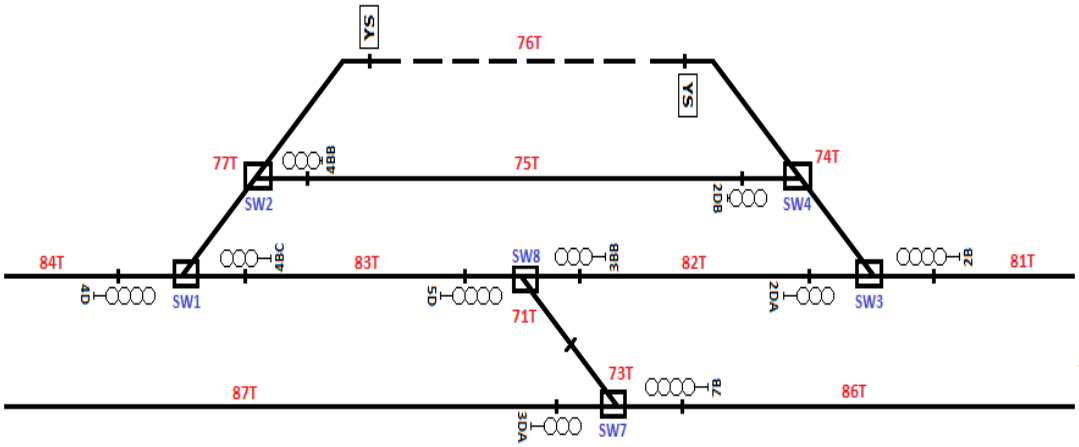
Elektronik anklaşman olarak ifade edilen sistemler oluşturulurken ise karar verici mekanizmalar olarak PLC'lerde bulunan lojik fonksiyon bloklarından yararlanılır. Gerekli fonksiyon bloklar tasarlanarak, anklaşman sistemine ait prosedürlerin gerçeklenmesi ve sistemin güvenli bir biçimde çalışmasını sağlanır. Anklaşman sistemlerinin tasarımı ve tasarımda kullanılan yöntemler ile gerekli prosedürlerin tümü tezin bir sonraki bölümünde detaylı olarak açıklanacaktır.

3. ANKLAŞMAN SİSTEMLERİNİN TASARIMI

3.1 Anklaşman Tabloları

Hem elektronik olarak gerçekleştirilen hem de röle sistemiyle gerçekleştirilen anklaşman sistemlerinin düzgün ve güvenli çalışabilmesi için doğru yazılmış bir anklaşman tablosundan faydalanılarak tasarlanmış olması gerekmektedir.

Anklaşman tabloları, belirli bir hat üzerinde olası tüm güzergahlar için bir takım bilgileri içeren ve anklaşman sistemi oluşturulurken bu tablo üzerinden çeşitli mantıksal işlemlerin ve fonksiyon bloklarının oluşturulduğu yardımcı tablolardır. Bu tablolar hat üzerinde belirlenen güzergahların hangi ray devrelerini, hangi sinyalleri içerdiğini ve bu sinyallerin o güzergah takip edildiğinde hangi bildirimleri vermesi gerektiğini, eğer güzergah üzerinde makas mevcutsa makasların konumları ve her güzergahın çakıştığı diğer güzergahları gösterir bir içeriğe sahip olacak şekilde hazırlanmaktadırlar.



Şekil 3.1 : Örnek bir demiryolu bölgesi.

Şekil 3.1'de örnek bir demiryolu bölgesi görülmektedir. Bu demiryolu bölgesinin anklaşman sistemi tasarımı için olası tüm güzergah bilgilerini içeren bir anklaşman tablosu hazırlanmalıdır.

Çizelge 3.1 bu demiryolu bölgesi için yukarıda açıklanan özelliklere sahip olacak şekilde oluşturulmuş örnek bir anklaşman tablosunun bir bölümünü göstermektedir.

Çizelge 3.1: Örnek bir anklaşman tablosu.

Güzergah No	Ray Devreleri	Sinyaller		Gelecek Sinyal	Makas	Çakışan Güzergahlar
1	84T - 77T - 75T	4D	SS SY K	2DB – K 2DB – S, Y	SW1 Sapan SW2 Sapan	2, ...
2	81T - 74T - 75T	2B	SS SY K	4BB – K 4BB – S, Y	SW3 Sapan SW4 Sapan	1, 3, ...
3	81T - 74T - 82T	2B	S Y K	3BB – K 3BB – S, Y	SW3 Normal	2, ...

Görüldüğü gibi oluşturulan anklaşman tablosu, sistemin tasarımı için gerekli tüm bilgileri içermektedir. Bu tablo elde edildikten sonra yapılması gereken yalnızca anklaşman tablosunun yazılıma aktarılmasıdır.

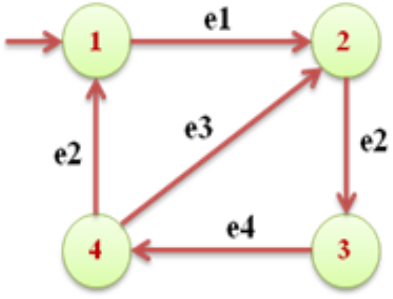
3.2 Ayrık Olay Sistem Yaklaşımı

3.2.1 Otomat modeli

Otomat modeli, diğer bir deyişle durum geçiş grafı, bir başlangıç durumu ve diğer durumlardan, durum geçişlerinden ve durumlar arası geçişi sağlayan olaylardan meydana gelen grafiksel bir gösterim şeklidir.

Bir sistemin durum geçiş grafını elde etmek için öncelikle durumların ve olayların belirlenerek grafın çizilmesi, sonrasında gerekli mantıksal ifadelerin bu graf yardımıyla oluşturulması gerekmektedir.

Şekil 3.2 örnek bir durum geçiş grafını göstermektedir.



Şekil 3.2 : Örnek bir durum geçiş grafı (otomat).

Otomat hazırlandıktan sonra durum geçiş fonksiyonlarının yazılması gerekmektedir. Durumlara ilişkin geçiş fonksiyonları, otomatı ilgili duruma getiren ve ilgili durumdan çıkaran koşullara bağlı olarak belirlenir.

Durum sayısı “m” olan bir otomat için geçiş fonksiyonları,

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

ifadesi yardımıyla belirlenebilir. Yukarıdaki ifadede Q_i sonraki durumu; q_i ve 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 koşulları göstermektedir.

Başlangıç durumuna ilişkin ifade,

$$Q_1 = \prod_{k=2}^{m} \bar{q}_k \tag{3.2}$$

yardımıyla bulunabilir. Bu ifadenin yazımında kullanılmış olan mantık, otomatın o anda herhangi bir durumda olmaması halinde kesinlikle başlangıç durumunda olacağıdır.

Çıkışlara ilişkin fonksiyonlar ise, durumlara bağlı olarak,

$$z_j = f_j(q_1, q_2, \dots, q_m), \quad j = 1,2, \dots, n \tag{3.3}$$

biçiminde verilir.

Otomat yönteminde, devre davranışını belirleyen olaylar anlık işaretlerdir. Anlık işaret genel olarak, durum değişikliğine neden olacak kadar uzun süreli; ancak, durum değişikliğinden sonra etkisiz olan bir işaret olarak tanımlanabilir. Bu tip işaretler PLC ile gerçeklemede pozitif ya da negatif kenar algılayıcıları yardımı ile elde edilebilmektedir.

Otomat modelinde son olarak, otomatın sonraki durumlarının bir önceki durumlar olarak atanması gerekmektedir. Durum denklemlerinin sol tarafında yer alan sonraki durum değişkenlerinin $Q_k = Q_k(t + T)$ ve sağ tarafında yer alan mevcut durum değişkenlerinin $q_k = Q_k(t)$ olduğu da göz önüne alınarak, “m” durumlu bir otomat için,

$$q_k = Q_k, \quad k = 1,2, \dots, m \tag{3.4}$$

biçiminde atama yapılabilir [16], [17].

Şekil 3.2 ile verilen örnek bir otomat yani durum geçiş diyagramı için durum denklemleri aşağıdaki gibi verilebilir:

$$
\begin{gathered}
Q_1 = \bar{q}_2\ \bar{q}_3\ \bar{q}_4 \\
Q_2 = q_1\ e_1 + q_4\ e_3 + q_2\ \bar{e}_2 \\
Q_3 = q_2\ e_2 + q_3\ \bar{e}_4 \\
Q_4 = q_3\ e_4 + q_4\ \bar{e}_2\ \bar{e}_4 \\
q_1 = Q_1 \\
q_2 = Q_2 \\
q_3 = Q_3 \\
q_4 = Q_4
\end{gathered}
\qquad \textbf{(3.5)}
$$

3.3 Saha Elemanlarının Modellenmesi

Bu bölümde sinyalizasyon sistemlerinde kullanılan saha elemanlarına ilişkin modeller ayrık olay sistem yaklaşımı kullanılarak oluşturulacaktır. Ray devreleri, makaslar, sinyaller ve hemzemin geçit için PLC yazılımlarında kullanılmak üzere otomat modelleri elde edilecektir. Kullanılan formal yöntemlerle birlikte güvenli bir anklaşman sistemi tasarımının önü açılmış olacaktır.

3.3.1 Ray devrelerinin modellenmesi

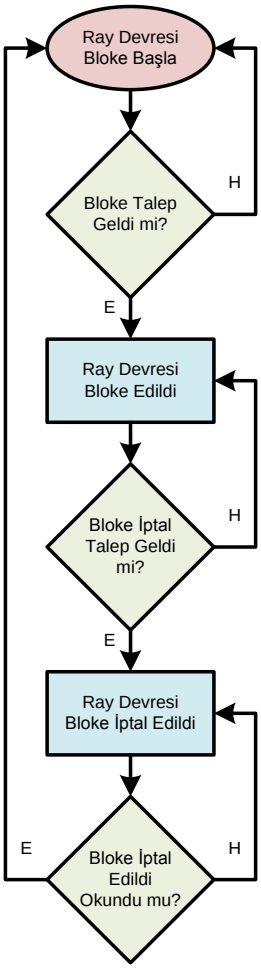
Ray devreleri modellenmesi, üzerlerinde makaslarda ya da sinyallerde olduğu gibi bir kontrol işlemi yapılmadıkları için yani sadece indikasyon okuma amacıyla kullanıldıkları için karmaşık değildir. Burada öncelikle ray devreleri ile ilgili fonksiyon blokların yazımında da faydalı olacak bazı kavramların incelenmesi gerekmektedir. Bunlar trafik kumanda merkezinden yapılan müdahaleler ile hata durumlarına ilişkin kavramlardır.

Bir ray devresinin blokeli olması durumu, onun TKM tarafından bloke edildiğini yani o ray bloğunda tren hareketlerinin engellendiğini göstermektedir. Eğer bloke edilmiş bir ray devresi var ise o ray bölgesine trenin gönderilemeyeceği anklaşman sisteminin tasarımı sırasında dikkate alınmalıdır.

Bir ray devresinin kilitli olması durumu, anklaşman sisteminin o ray devresi üzerinde bir güzergah kurduğunu gösterir. Kilitleme işlemi yalnızca anklaşman yazılımı tarafından gerekli durumlarda yapılmaktadır.

Ray devrelerine ilişkin bir tek hata durumu bulunmaktadır. Normalde birbirlerinin mantıksal değili olarak gelmesi gereken (1-0 ya da 0-1) indikasyon verilerinin aynı olması (0-0 ya da 1-1), ray devrelerinin indikasyonunda bir hata olduğu gösterir. Bu hata veri bağdaşım hatası olarak adlandırılır.

Ray devrelerinde TKM tarafından gerçekleştirilen bloke etme işlemi dışında kontrol olmadığı için özel bir otomat modelinin oluşturulmasına bu çalışmada gerek duyulmamıştır. Ancak bloke işlemi için Şekil 3.3'te bir akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.3 : Ray devresi blokesi için bir akış diyagramı.

İstenildiği takdirde bu akış diyagramından da faydalanarak ray devresi blokesi için basit bir otomat modeli oluşturmak mümkündür.

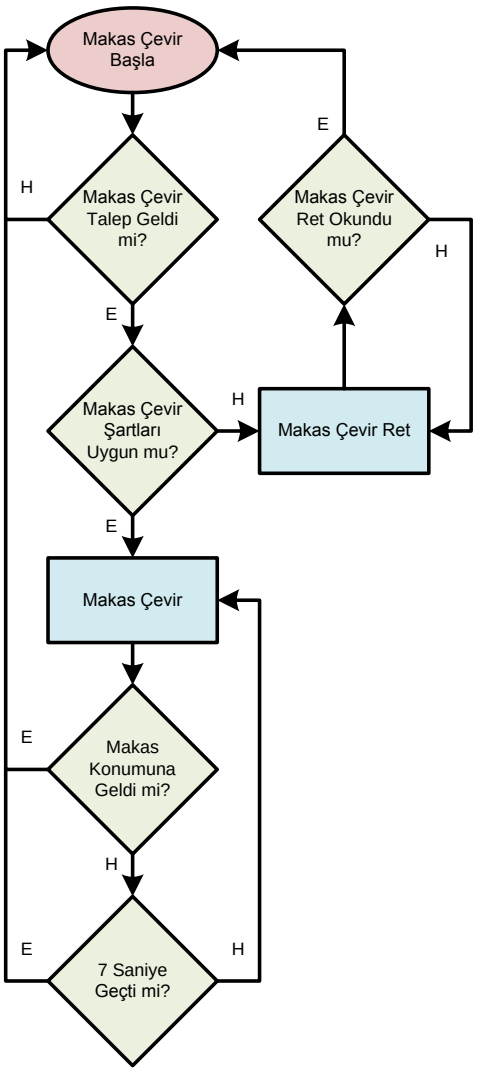
3.3.2 Makasların modellenmesi

Makasların normal ve sapan olmak üzere iki konumu olduğundan bahsedilmişti. Burada otomat modeli makas konumlarının değiştirilmesinde kullanılacaktır. Gelen konum değiştirme isteği ile birlikte eğer tüm şartlar uygunsa yani makas üzerinde herhangi bir bloke ya da kilitleme işlemi bulunmamakta ise ve bir arıza durumu da yok ise sahaya makas çevirme komutu gönderilir. Sonrasında 7 saniye içerisinde makasın istenilen konuma gelmesi beklenir. Eğer doğru bir indikasyon geldi ise işlem tamamlanır, sürenin dolması durumunda ise gerekli hata bildirimleri verilir.

Makaslardaki bloke etme ve kilitleme işlemleri ray devrelerindeki benzer şekildedir. Eğer bir makas bloke edildi ya da kilitlendi ise, bu durum makas çevirme isteklerinin bloke kaldırılana kadar kabul edilmeyeceği anlamına gelmektedir.

Makaslarda genel olarak iki çeşit hata türü bulunmaktadır. Normalde birbirlerinin mantıksal değili olması gereken makas indikasyonları eğer 1-1 gelirse, bu durumda oluşan hataya veri bağdaşım hatası adı verilir. Eğer indikasyonlar 0-0 olarak geliyorsa, buna da indikasyonsuzluk hatası adı verilir. Veri bağdaşım hatası normal şartlar altında beklenmez iken, indikasyonsuzluk hatası makasın konum değiştirmesi sırasında kısa süreliğine de olsa gözlenmektedir. Anklaşman sisteminin tasarımında bu durumun dikkate alınması gerekmektedir.

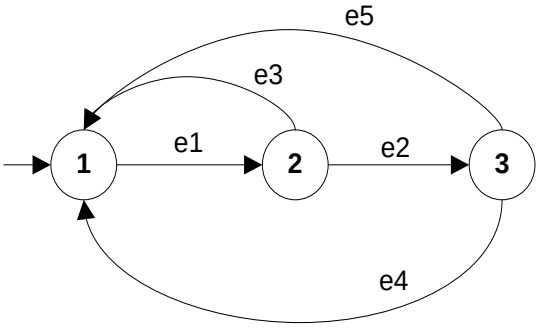
Makas çevirmeye ilişkin bir akış diyagramı Şekil 3.4 ile verilmiştir. Makas blokesi için ise ray devresi blokesine benzer bir akış diyagramı oluşturulabilir.



Şekil 3.4 : Makas çevirme için bir akış diyagramı.

Şekil 3.5'te akış diyagramından da faydalanarak makas çevirme işlemi için oluşturulmuş olan durum geçiş grafı (otomat) görülmektedir. Çizelge 3.2 ile bu makas çevirme otomatında kullanılan durumların, Çizelge 3.3 ile de olayların açıklamaları verilmiştir. **(3.6)** ifadesi elde edilen otomat modeli için durum geçiş fonksiyonlarını vermektedir.

Dikkat edilmesi gereken diğer bir durum ise birden fazla makasın çevrilmesi gereken durumlarda, makasların aynı anda değil (makas motorlarının çektiği yüksek akımdan dolayı) sırayla çevrilmesi gerekliliğidir. Bu durum da dikkate alındığında sırayla çevirme işlemi için de bir otomat modeli çıkarılabilir.



Şekil 3.5 : Makas çevirme işlemi için bir otomat.

Çizelge 3.2: Makas otomatı durumlar.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Çevirme isteği geldi (Sağlanması gereken şartları kontrol et)
3	Tüm şartlar uygun (Makas çevir komutu gönder ve süreyi say)

Çizelge 3.3: Makas otomatında kullanılan olay açıklamaları.

Olay İsmi	Olay
e1	Makas çevirme isteği
e2	Çevirme şartları uygun
e3	Çevirme şartları uygun değil
e4	Makas istenen konuma geldi
e5	Zamanlayıcı süresi doldu

$$\begin{aligned} Q_1 &= \bar{q}_2\ \bar{q}_3 \\ Q_2 &= q_1\ e_1 + q_2\ \bar{e}_2\ \bar{e}_3 \\ Q_3 &= q_2\ e_2 + q_3\ \bar{e}_4\ \bar{e}_5 \end{aligned} \qquad \textbf{(3.6)}$$

3.3.3 Sinyallerin modellenmesi

Sinyaller de önceki saha elemanları ile benzer özelliklere sahiptirler. Sinyalin çeşidine göre kırmızı, sarı ve yeşil bildirimler ile birlikte, sarı üzeri bildirim verme, flaşlı bildirim verme gibi istekler için modelleme yapılabilmektedir. Bunun dışında blokeleme, kilitleme ve hata durumları da yine sinyaller için geçerli olan ifadelerdir.

Sinyallerde TKM tarafından konulan iki tip bloke bulunmaktadır. Eğer bir sinyal üzerine varış blokesi konulmuş ise, bu durum varış blokesi konulan sinyal ile biten güzergahların hiçbirinin açılamayacağı anlamına gelir. Bir sinyalin üzerine başlangıç blokesi konulmış ise de, bu sinyal ile başlayan güzergahların hiçbiri açılamaz demektir.

Geç bildirim hatası, sinyalin kırmızı dışında bir bildirim vermesi (sarı, yeşil) istenildiği bir durumda, indikasyon verisi olarak istenilen bu bildirimin gelmemesi sonucunda oluşur.

Dur bildirim hatası, sinyalin kırmızı bildirim vermesi gerekirken, indikasyon verisi olarak kırmızı değil de başka bir bildirim gelmesi durumunda oluşan hatadır ve geç bildirim hatasına göre daha ciddi bir hata olarak değerlendirilmektedir.

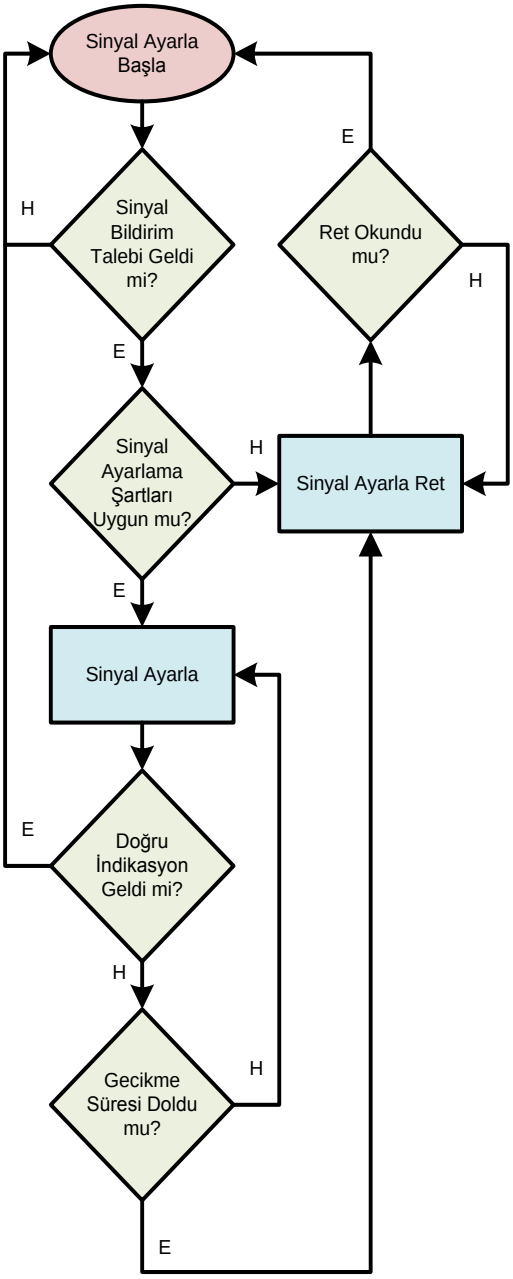
Sinyalizasyon sistemlerinde aksi istenmedikçe sinyallerin tümü kırmızı yanmaktadır. Sinyalin kırmızı dışında bir bildirim vermesi istendiği zaman, bu istek anklaşman sistemine gönderilir. Tüm koşulların uygun olması durumunda anklaşman sistemi sahaya gerekli komutları gönderir. Uygun indikasyon sinyalinin de gelmesiyle birlikte işlem tamamlanmış olur. Sinyalin tekrar kırmızı bildirim vermesi istenilene kadar sinyal bu bildirimi vermeye devam eder.

Makaslarda da olduğu gibi burada da otomat modeli yalnızca kontrol işlemi için kullanılmış olup, hata durumlarını ve bloke etme, kilitleme gibi işlemleri kapsamamaktadır. Bu durumlar anklaşman sistemi tasarlanırken, fonksiyon blokların yazılması aşamasında ayrıca ele alınmıştır.

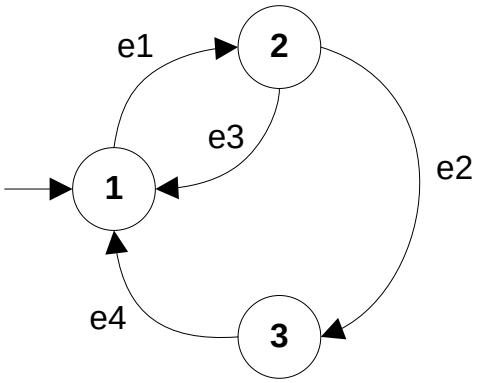
Şekil 3.6 sinyaller için oluşturulan akış diyagramını, Şekil 3.7 ise bu akış diyagramının da yardımıyla çizilen otomat modelini göstermektedir.

Çizelge 3.4 sinyal otomat modelindeki durum açıklamalarını, Çizelge 3.5 ise olayları içermektedir.

Elde edilen otomat modeli için durum geçiş fonksiyonları **(3.7)** ifadesi ile verilmiştir.



Şekil 3.6 : Sinyal bildirim ayarlama için akış diyagramı.



Şekil 3.7 : Sinyal bildirim ayarlama otomatı.

Çizelge 3.4: Sinyal otomatı durumlar.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu (Daima kırmızı yak)
2	Bildirim isteği geldi (Sinyal yak komutu gönder, süreyi say)
3	Uygun indikasyon geldi

Çizelge 3.5: Sinyal otomatında kullanılan olay açıklamaları.

Olay İsmi	Olay
e1	Bildirim ayarlama isteği
e2	Uygun indikasyon
e3	Hata zamanlayıcısı doldu
e4	Bildirim isteği sona erdi

$$\begin{aligned} Q_1 &= \bar{q}_2\ \bar{q}_3 \\ Q_2 &= q_1\ e_1 + q_2\ \bar{e}_2\ \bar{e}_3 \\ Q_3 &= q_2\ e_2 + q_3\ \bar{e}_4 \end{aligned} \qquad \textbf{(3.7)}$$

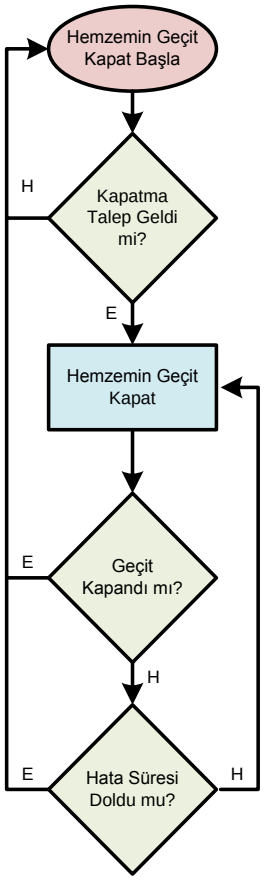
3.3.4 Hemzemin geçidin modellenmesi

Hemzemin geçitler demiryolları ile karayollarının kesiştiği noktalardır. Bu nedenle kaza riskinin yüksek olduğu kritik bölgelerdir. Anklaşman sistemi tasarlanırken gerektiği durumlarda hemzemin geçide kapatma sinyali gönderilerek karayolu trafiğinin durdurulması gerekmektedir. Tren geçişinden sonra da hemzemin geçide açılma sinyali gönderilerek tekrar trafiğin karayolu için akması sağlanmalıdır. Bunun dışında sinyalizasyon sistemlerinde hemzemin geçit hata durumlarının tespiti de kritik rol oynamaktadır.

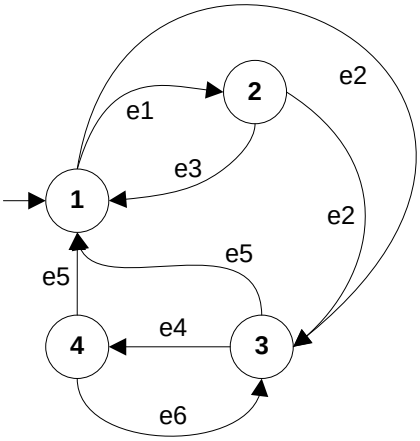
Şekil 3.8'de hemzemin geçidin kapatılmasına ilişkin bir akış diyagramı görülmektedir. Geçidin açılmasına ilişkin benzer bir akış diyagramı oluşturmak mümkündür. Akış diyagramından da faydalanarak hemzemin geçit için hem açma hem de kapatma durumlarını içeren Şekil 3.9'daki gibi bir otomat modeli oluşturulmuştur. Bu otomat modelinde ilk olarak geçidin hangi konumda olduğu algılanmakta, sonrasıda buna göre işlem yapılmaktadır.

Çizelge 3.6 ile hemzemin geçit otomat modeline ilişkin durumlar, Çizelge 3.7 ile de olayların açıklamaları verilmiştir.

Yukarıda oluşturulmuş olan otomat modeline ilişkin durum geçiş denklemleri **(3.8)** ifadesi ile verilmiştir.



Şekil 3.8 : Hemzemin geçidin kapanmasına ilişkin akış diyagramı.



Şekil 3.9 : Hemzemin geçit otomat modeli.

Çizelge 3.6: Hemzemin geçit otomatı durumlar.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu (Hemzemin açık)
2	Kapatma isteği geldi (Kapatma komutu gönder, süre say)
3	Kapalı indikasyonu geldi
4	Açma isteği geldi (Açma komutu gönder, süre say)

Çizelge 3.7: Hemzemin geçit otomatı olay açıklamaları.

Olay İsmi	Olay
e1	Geçit kapatma isteği
e2	Geçit kapandı indikasyon
e3	Hata süresi doldu
e4	Geçit açma isteği
e5	Geçit açıldı indikasyon
e6	Hata süresi doldu

$$\begin{aligned} Q_1 &= \bar{q}_2\ \bar{q}_3\ \bar{q}_4 \\ Q_2 &= q_1\ e_1 + q_2\ \bar{e}_2\ \bar{e}_3 \\ Q_3 &= q_2\ e_2 + q_4\ e_6 + q_3\ \bar{e}_4 \\ Q_4 &= q_3\ e_4 + q_4\ \bar{e}_5 \end{aligned} \quad \textbf{(3.8)}$$

3.4 Tanzim Prosedürleri ve Modellenmeleri

Tanzim işlemi, TKM tarafından bir trenin istenilen bir güzergah üzerinde hareket ettirilmesi işlemi olarak tanımlanabilir. Yani TKM'de bulunan dispeçer belli bir güzergah için tanzim isteği gönderdiğinde, trenin o güzergahın başlangıç sinyalinden varış sinyaline kadar gitmesi için gerekli izni istediği anlaşılır. Anklaşman sistemi de gerekli kontrolleri yaparak isteğin uygun olup olmadığına karar verir ve gerekli bildirimleri TKM'ye geri gönderir.

Bu bölümde anklaşman sisteminin temelini oluşturan tanzim prosedürleri açıklanacak ve bunların modellenmelerinden bahsedilecektir. Bu amaçla öncelikle tanzim kabul-ret prosedürü ve bunun akış diyagramı ile birlikte otomat modeli ve modele ilişkin olay tanımlamaları verilecektir. Sonrasında tanzim iptal işlemi için benzer bir yol takip edilecektir.

3.4.1 Tanzim kabul-ret prosedürü ve otomat modeli

Bir güzergah için gönderilen tanzim isteğinin kabul edilebilmesi için belli prosedürlerin izlenmesi ve belli koşulların sağlanması gerekmektedir. Tüm bu işlemler, tasarlanan anklaşman sistemi tarafından yapılmakta ve eğer tanzim kabul edilmiş ise uygun bildirimler ile trenin hareket etmesi sağlanmakta, eğer reddedilmiş ise de bu durum TKM'deki dispeçere iletilir.

Tanzim kabul-ret işleminde öncelikle herhangi bir güzergah için TKM'den gelen tanzim isteği ile birlikte o güzergahı içeren ray devreleri kontrol edilir. Raylar

üzerinde tren yoksa yani ray devrelerinin tümü serbest ise ve ray devreleri daha evvelden kilitlenmemiş ise (bu durum o ray devrelerini içeren başka bir güzergahın daha önceden kurulmadığı anlamına gelir) ray devreleri elektronik olarak kilitlenir, ray devreleri dolu ya da kilitli ise tanzim talebi anklaşman sistemi tarafından reddedilir. Oluşacak durumlar için uygun işaretler anklaşman sisteminden TKM'ye gönderilir.

Eğer güzergah üzerinde bir makas mevcutsa, makas o güzergah için olması gereken pozisyona (sapan ya da normal) getirilir ve uygun pozisyona geldiğini gösteren indikasyon sahadan beklenir. Makasın problemsiz bir şekilde dönmesiyle birlikte bu işlem tamamlanmış olur. Herhangi bir hata durumunda ise yine gerekli geri beslemeler anklaşman sisteminden TKM'ye gönderilir.

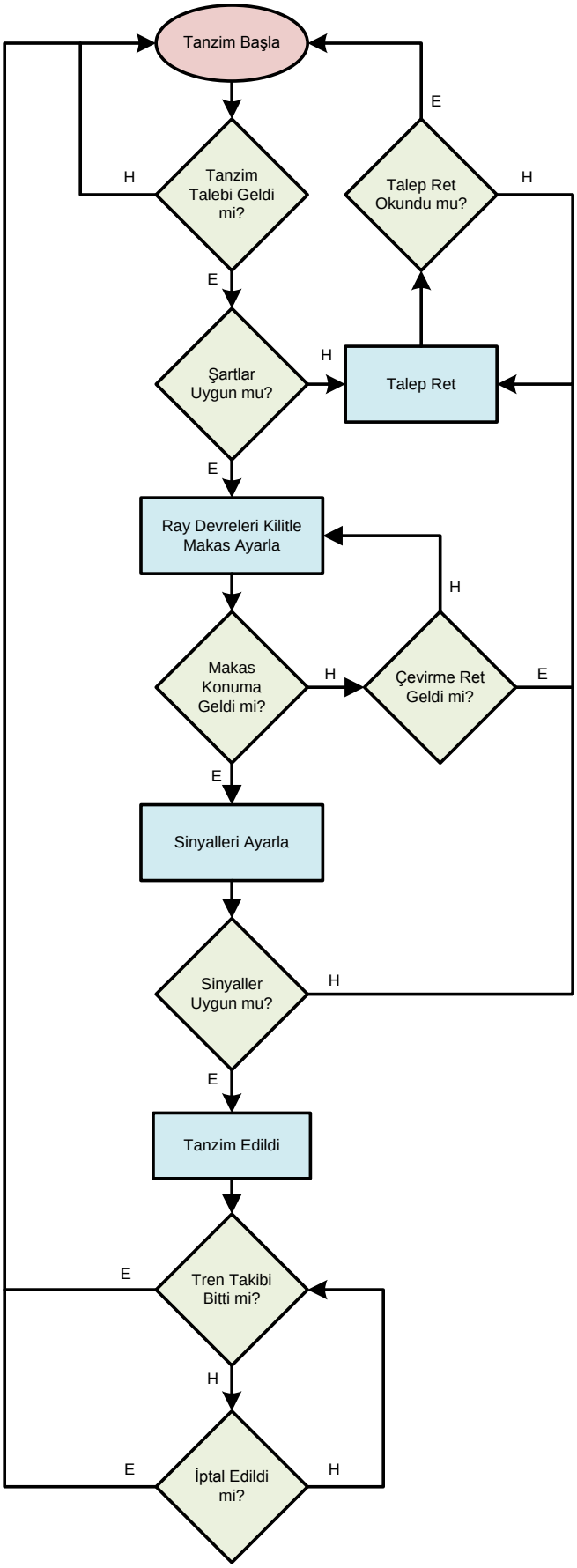
Tanzim işlemini makas çevirme aşamasında dikkat edilmesi gereken önemli bir husus da güzergah üzerinde birden fazla makas olması durumunda, makasların aynı anda değil de sıra ile çevrilmesi gerektiğidir. Bu durumda tüm makasların sırayla sorunsuz bir biçimde istenilen konuma geldikleri bilgisi alınmalı ve gerekli olay işaretleri buna göre üretilmelidir.

Tüm sinyallerin, makasın ve güzergaha ait ray devrelerinin boş olduğu ve kilitlendiği bilgisi anklaşman sistemine ulaştığında tanzim kabul edilerek trenin harekete başlaması sağlanır ve o güzergah meşgul durumuna getirilir.

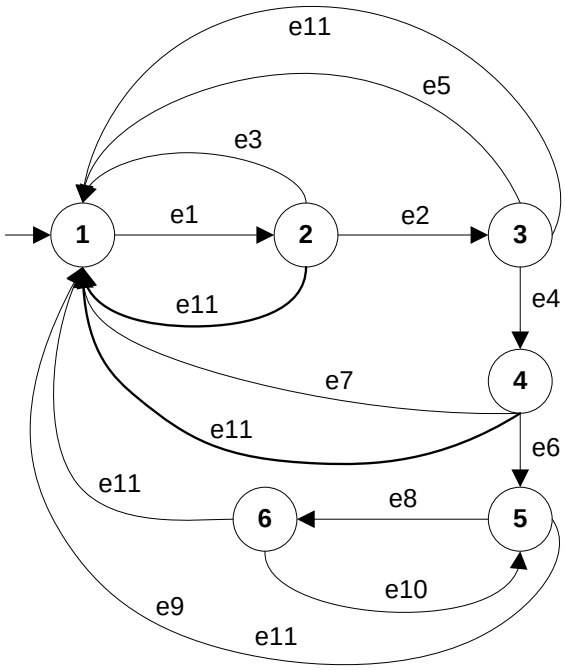
Trenin güzergah üzerinde seyahati sırasında o güzergaha ilişkin üzerinden geçilmesi gereken tüm ray devrelerine sırasıyla girip çıktığı, sinyallerin bu ray devrelerini geçerken doğru verilip verilmediği sürekli kontrol edilir. Eğer güzergah üzerinde makas varsa makas konumunun doğruluğu sürekli kontrol edilir ve son ray devresine giriş yaptıktan sonra da güzergahın bitmesiyle birlikte tanzim sonlandırılır. Bununla birlikte güzergah ve tüm saha elemanları için meşguliyetler (kilitlemeler) kaldırılarak, o güzergah için tekrar tanzim kabulü yapılabilecek şekilde gerekli ayarlamalar anklaşman sistemi tarafından gerçekleştirilir.

Tanzim kabul-ret işlemine ilişkin yukarıda açıklanan prosedüre uygun oluşturulmuş bir akış diyagramı Şekil 3.10 ile verilmiştir. Şekil 3.11 ise tanzim kabul-ret prosedürlerinin otomat modeline aktarılmış halini göstermektedir.

Elde edilen otomat modeli için durumlar Çizelge 3.8, olay açıklamaları da Çizelge 3.9 ile verilmiştir. Durum geçiş denklemleri de **(3.9)** ifadesi ile verilmiştir.



Şekil 3.10 : Tanzim kabul-ret prosedürü akış diyagramı.



Şekil 3.11 : Tanzim kabul-ret otomat modeli.

Çizelge 3.8: Tanzim kabul-ret otomatı durumlar.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	Tanzim isteği geldi (Şartları kontrol et)
3	Şartlar uygun (Makası ayarla)
4	Makas doğru konumda (Sinyalleri ayarla)
5	Sinyaller doğru verildi (Tren takibini kontrol et)
6	Tren takibi devam (İptal durumunu kontrol et)

Çizelge 3.9: Tanzim kabul-ret otomatı olay açıklamaları.

Olay İsmi	Olay
e1	Tanzim isteği
e2	Şartlar uygun
e3	Şartlar uygun değil
e4	Makas uygun pozisyonda
e5	Makas çevirme ret
e6	Sinyaller uygun
e7	Sinyaller uygun değil
e8	Tren takibi bitmedi
e9	Tren takibi tamamlandı
e10	Tanzim iptal edilmedi
e11	Tanzim iptal edildi

$$
\begin{aligned}
Q_1 &= \bar{q}_2\ \bar{q}_3\ \bar{q}_4\ \bar{q}_5\ \bar{q}_6 \\
Q_2 &= q_1\ e_1 + q_2\ \bar{e}_2\ \bar{e}_3\ \bar{e}_{11} \\
Q_3 &= q_2\ e_2 + q_3\ \bar{e}_4\ \bar{e}_5\ \bar{e}_{11} \\
Q_4 &= q_3\ e_4 + q_4\ \bar{e}_6\ \bar{e}_7\ \bar{e}_{11} \\
Q_5 &= q_4\ e_6 + q_6\ e_{10} + q_5\ \bar{e}_8\ \bar{e}_9 \\
Q_6 &= q_5\ e_8 + q_6\ \bar{e}_{10}\ \bar{e}_{11}
\end{aligned}
\qquad \textbf{(3.9)}
$$

3.4.2 Tanzim iptal prosedürü ve otomat modeli

Anklaşman sistemi tanzim isteğini kabul etmiş olsa bile herhangi bir nedenden dolayı tanzimin iptal edilmesi gerekebilir ya da güzergahta tren takibi sırasında oluşan bir hata, zorunlu güzergah iptal talebinin doğmasına neden olabilir. Bu gibi durumlarda da tanzim iptal isteğinin yerine getirilebilmesi için gerekli prosedürlerin uygulanması gerekir. Uygun durum oluşursa tanzim isteği iptal edilebilirken, aksi durumda iptal talebi anklaşman sistemi tarafından reddedilmektedir.

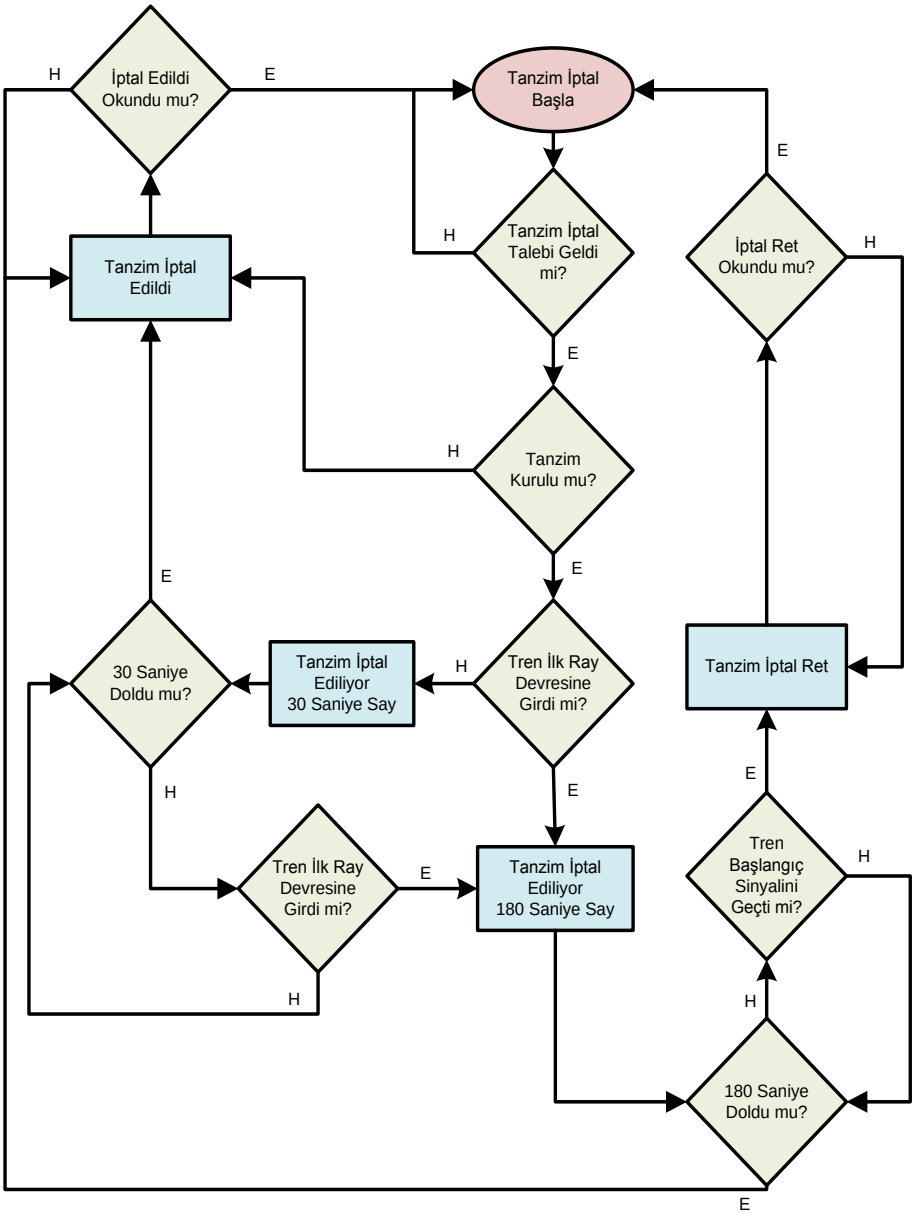
Anklaşman sisteminin tanzim iptali için uyguladığı prosedürde önemli olan ilk şey trenin güzergahın ilk ray devresine girip girmediği bilgisidir. Eğer tren güzergahın ilk ray devresine henüz girmediyse, başlangıç sinyali kırmızıya çekilir ve anklaşman sistemi 30 saniye süre saymaya başlar. Bu sırada trenin güzergahın ilk ray devresine girip girmediği bilgisi de sürekli sahadan alınarak kontrol edilir. Eğer tren bu süre içerisinde ilk ray devresine girmez ise tanzim iptal isteği kabul edilir ve tanzim iptal edilir.

İptal prosedürü işlerken eğer trenin güzergahın ilk ray devresine girmesi bilgisi alınır ise bu durumda 180 saniye süre sayılmaya başlanır. Bu süre zarfında ise bu sefer trenin başlangıç sinyalini geçip geçmediği sürekli kontrol edilir. Eğer tren başlangıç sinyalini geçmez ise yine tanzim iptal talebi kabul edilir ve tanzim iptal edilir. Ancak başlangıç sinyali geçildi ise bu durumda tanzimin iptal edilmesi mümkün olmamaktadır. Sonuç olarak iptal talebi reddedilir.

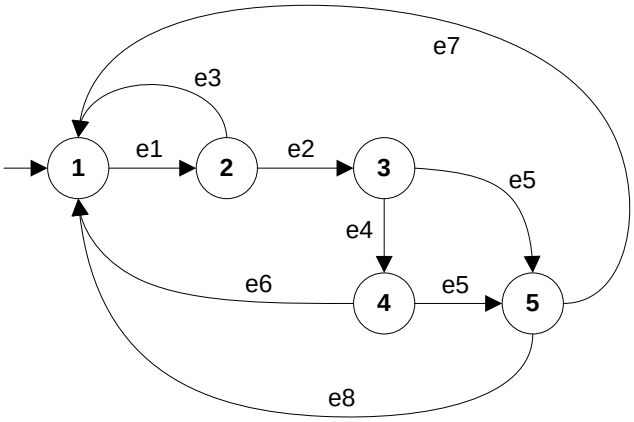
Şekil 3.12 iptal talebine ilişkin yukarıdaki prosedürleri gösteren akış diyagramını, Şekil 3.13 de bu akış diyagramı yardımıyla oluşturulmuş olan otomat modelini göstermektedir.

Tanzim iptali için verilmiş olan otomat modelindeki durumlar Çizelge 3.10 ve olayların açıklamaları da Çizelge 3.11 ile verilmiştir.

Tanzim iptal otomatı için durum geçiş denklemleri **(3.10)** ifadesi ile verilmiştir.



Şekil 3.12 : Tanzim iptal prosedürü akış diyagramı.



Şekil 3.13 : Tanzim iptal otomat modeli.

Çizelge 3.10: Tanzim iptal otomatı durumlar.

Durum	Açıklama
1	Başlangıç durumu
2	İptal talebi geldi (Tanzim kontrol et)
3	Kurulu tanzim var (İlk ray devresini kontrol et)
4	Ray devresi serbest (30 saniye say)
5	Ray devresi meşgul (180 saniye say)

Çizelge 3.11: Tanzim iptal otomatı olay açıklamaları.

Olay İsmi	Olay
e1	Tanzim iptal isteği
e2	Tanzim kabul edilmiş
e3	Tanzim kabul henüz yok (tanzim iptal)
e4	Tren ilk ray devresine girmedi
e5	Tren ilk ray devresine girdi
e6	30 sn süresi doldu (tanzim iptal)
e7	Tren başlangıç sinyalini geçti
e8	180 sn süresi doldu (tanzim iptal)

$$
\begin{aligned}
Q_1 &= \bar{q}_2\ \bar{q}_3\ \bar{q}_4\ \bar{q}_5 \\
Q_2 &= q_1\ e_1 + q_2\ \bar{e}_2\ \bar{e}_3 \\
Q_3 &= q_2\ e_2 + q_3\ \bar{e}_4\ \bar{e}_5 \\
Q_4 &= q_3\ e_4 + q_4\ \bar{e}_5\ \bar{e}_6 \\
Q_5 &= q_3\ e_5 + q_4\ e_5 + q_5\ \bar{e}_7\ \bar{e}_8
\end{aligned}
\qquad \textbf{(3.10)}
$$

4. ANKLAŞMAN SİSTEMLERİNİN PRATİK GERÇEKLEMESİ

Tez çalışmasının önceki bölümünde sinyalizasyon sistemlerinin temel bileşenleri olan saha elemanlarının ve anklaşman sistemlerinin karar mekanizmasını oluşturan tanzim yapılarının ayrık olay sistemi yaklaşımını kullanarak otomat modelleri elde edildi. Bu bölümde ise elde edilen modellerin PLC'lerde nasıl gerçekleneceği ve böylelikle tasarımların fiziksel sisteme uygulanması anlatılacaktır.

4.1 Donanım Simülatörü ve Özellikleri

Şekil 4.1'de üzerinde uygulama yapılan Mithatpaşa istasyonunun modeli (donanım simülatörü) görülmektedir.



Şekil 4.1 : Uygulama yapılan donanım simülatörü.

Fiziksel hayatta var olan tüm ray devreleri, makaslar, sinyaller ve hemzemin geçit aynı şekilde donanım simülatörü üzerinde de bulunmaktadır. Giriş-çıkış birimleri yardımıyla sahaya komutlar gönderilebildiği gibi sahadan da gerekli geri beslemeler gerçeğe uygun biçimde alınmaktadır.

4.2 Programlanabilir Lojik Kontrolörler

4.2.1 Beckhoff PLC ve özellikleri

4.2.1.1 Donanım yapısı ve ayarları

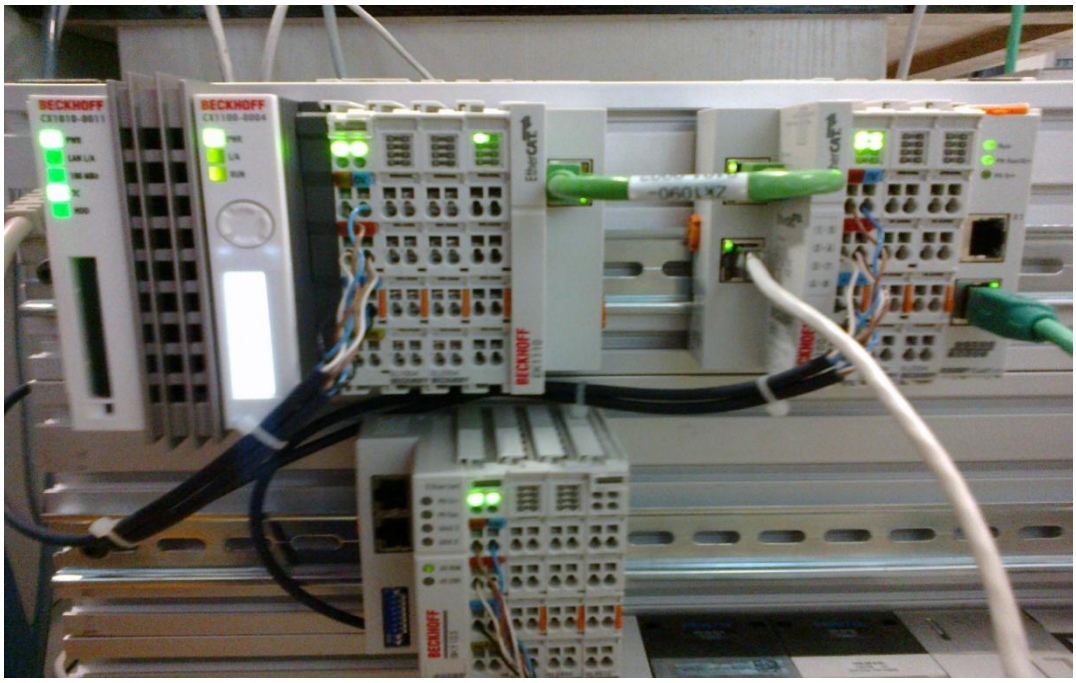
Uygulamada kullanılan PLC Beckhoff firmasına ait CX1010 serisi PLC kullanılmıştır. Bu PLC'ye ilişkin teknik özellikler Çizelge 4.1 ile verilmiştir.

Çizelge 4.1: Uygulamada kullanılan PLC'ye ilişkin bazı bilgiler [18].

Teknik Veri	CX1010-xxxx
İşlemci	AMD Geode® LX 800, 500 MHz
Dahili Flash Hafıza	64 MBayt Flash Kart
Dahili Hafıza	256 MBayt DDR-RAM
Arayüzler	1 x RJ45 (Ethernet)
Tanı LED'leri	1 x Güç, 1 x LAN Link/Aktivite, 1 x TC, 1 x Flash-Erişim
Saat	Tarih ve zaman için dahili pil destekli saat
İşletim Sistemi	Microsoft Windows CE.NET veya Microsoft Windows XP Embedded
Kontrol Yazılımı	TwinCAT PLC Runtime, TwinCAT NC PTP Runtime veya TwinCAT NCI Runtime
Ağırlık	Yaklaşık 355 gr
Koruma Sınıfı	IP 20

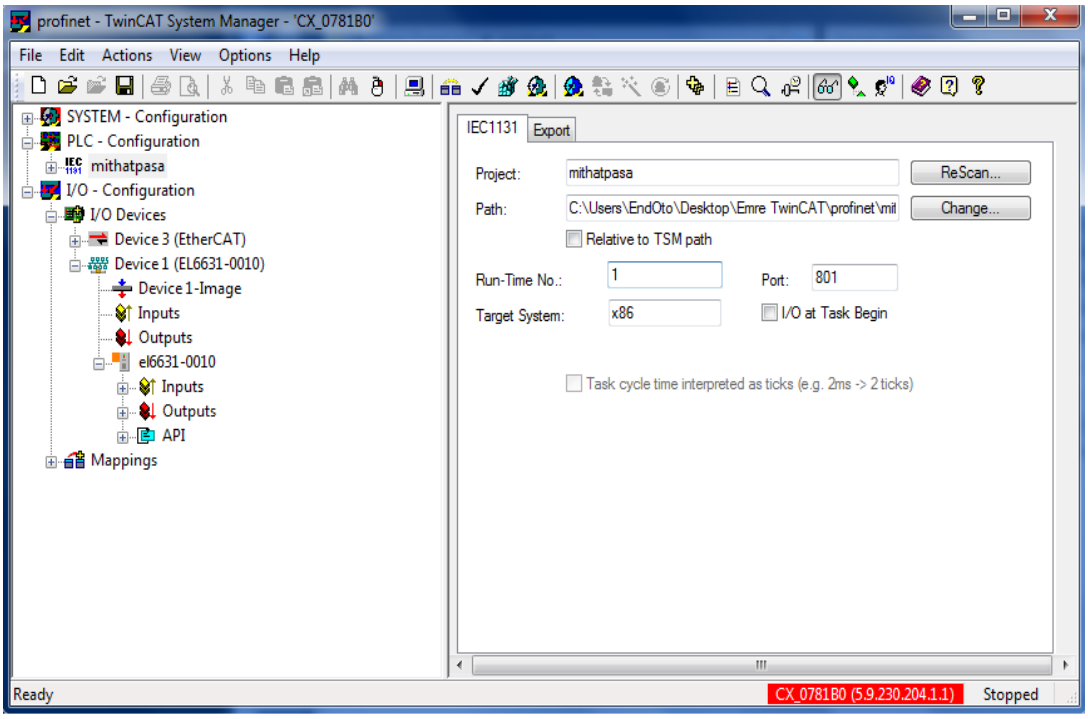
Şekil 4.2 ise çalışmada kullanılan Beckhoff kontrol birimini göstermektedir.

Beckhoff firmasına ait TwinCAT yazılımı gerek PLC'ye ilişkin donanımsal ayarların yapılmasına, gerekse program kodlarının yazılmasına olanak veren bir yazılımdır. Çeşitli alt geliştirme ortamlarından oluşan olan bu yazılım farklı işlemlerin yerine getirilebilmesini sağlar. Sisteme ilişkin donanımsal aygıtların tanıtılması ve gerekli ayarlarının yapılması System Manager adlı alt yazılım sayesinde yapılmaktadır.



Şekil 4.2 : Çalışmada kullanılan kontrol birimi.

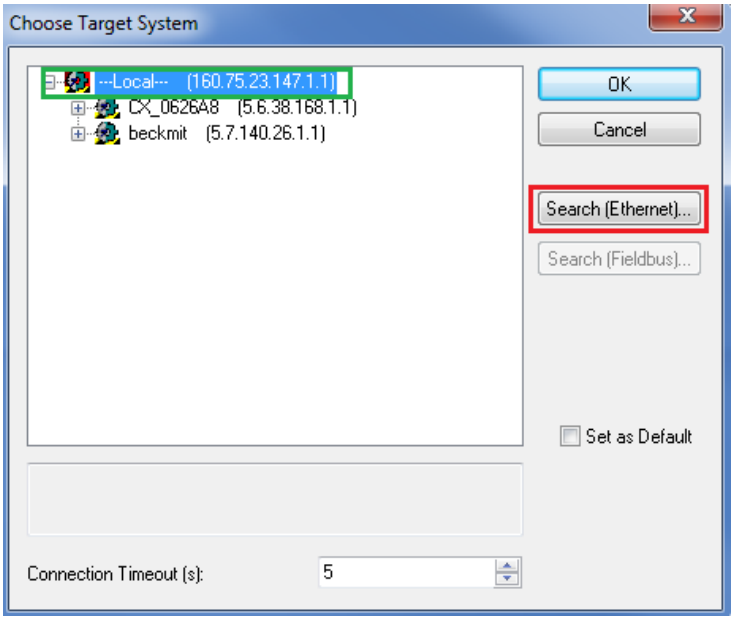
TwinCAT programına ilişkin arayüzü gösteren ekran görüntüsü Şekil 4.3 ile verilmiştir.



Şekil 4.3 : System Manager yazılımı.

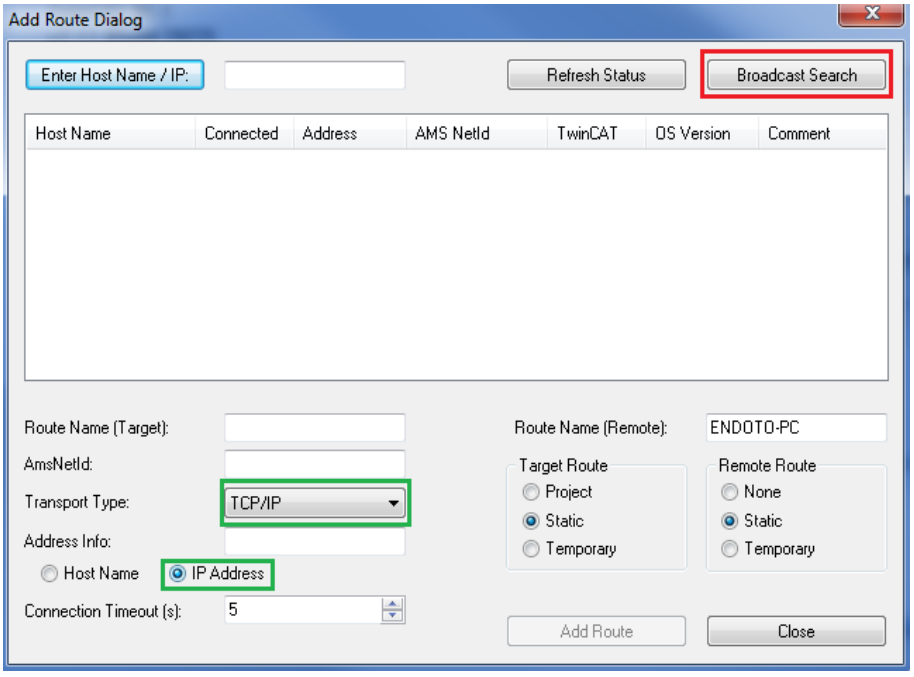
Beckhoff PLC'de donanım ayarlarının yapılabilmesi için öncelikle sisteme bağlantı sağlanmış olması gerekmektedir. Şekil 4.4 - Şekil 4.8 fiziksel bir sisteme bağlantı aşamalarını adım adım açıklamaktadır.

Öncelike sistem yöneticisinde bulunan hedef sistem seçme butonuna tıklanır. Açılan ekranda yerel (local) hedef seçilir ve arama (search) butonuna basılır (Şekil 4.4).

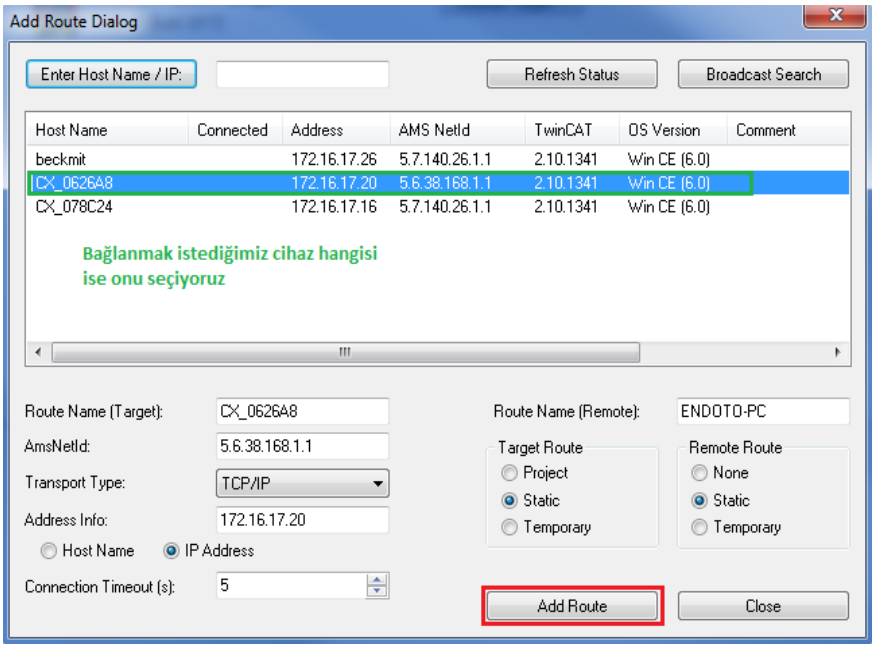


Şekil 4.4 : Sistem yöneticisi ile fiziksel bir sisteme bağlantı aşaması 1.

Sonrasında açılan pencerede iletişim tipi TCP/IP ve adres bilgisi IP adresi olarak seçilerek genel bir arama yaptırılır (Şekil 4.5). Bu arama sonucunda yazılım sisteme bağlı olan tüm aygıtları bulacaktır (Şekil 4.6). Bağlantı kurulmak istenilen cihaz seçilir ve cihaz ekleme butonuna (add route) basılır. Bunun sonucunda üzerinde yazılım yapılacak PLC ile bağlantı sağlanmış olur.

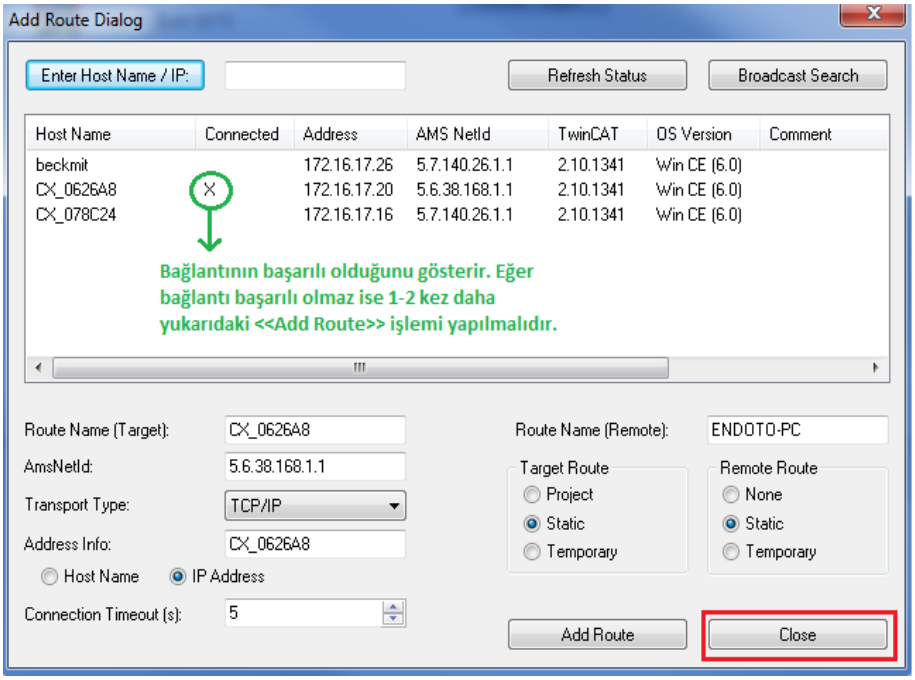


Şekil 4.5 : Sistem yöneticisi ile fiziksel bir sisteme bağlantı aşaması 2.



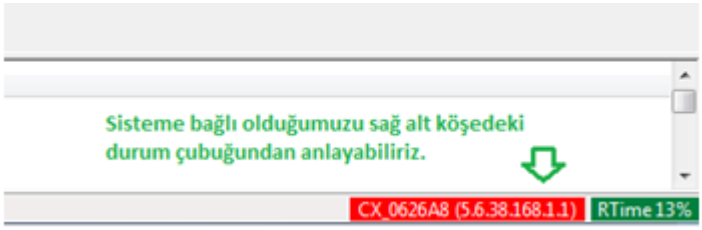
Şekil 4.6 : Sistem yöneticisi ile fiziksel bir sisteme bağlantı aşaması 3.

Bir sonraki aşamada yani kullanıcı adı ve şifre ekranında herhangi bir değişiklik yapmadan devam edilir. Eğer bağlantı başarılı olmuş ise bağlı (connected) sekmesinin altında bu durum belli olur (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : Sistem yöneticisi ile fiziksel bir sisteme bağlantı aşaması 4.

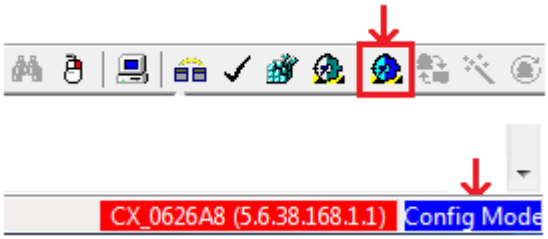
Son olarak hedef sistem seçilerek sisteme bağlantı tamamlanmış olur. Bağlantının başarılı olduğunu sistem yöneticisinde sağ alt köşede bulunan durum çubuğundan da anlaşılabilir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 : Sistem yöneticisi ile fiziksel bir sisteme bağlantı aşaması 5.

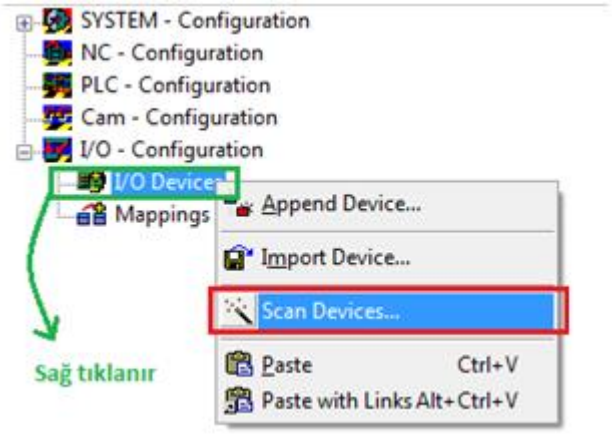
Sisteme bağlantı kurulduktan sonra, bağlantı yapılan sisteme ilişkin donanım ayarlarının yapılması ve sisteme yüklenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Beckhoff PLC sahadan EtherCAT üzerinden alınan verilerin ProfiNET üzerinden gönderilmesi için kullanıldığından, ProfiNET haberleşme protokolü ile buna ait donanımın da tanıtılması ve gerekli tüm bağlantı ayarlarının yapılması gerekmektedir. Donanım ayarlarının yapılış aşamaları Şekil 4.9 - Şekil 4.12 arasında adım adım açıklanmıştır.

İlk olarak sistemin ayar (config) moduna geçirilmesi gerekmektedir. Bunun için sistem yöneticisinde bulunan kısayol kullanılabilir (Şekil 4.9). Durum çubuğundan sistemin ayar moduna geçirildiği görülebilir.

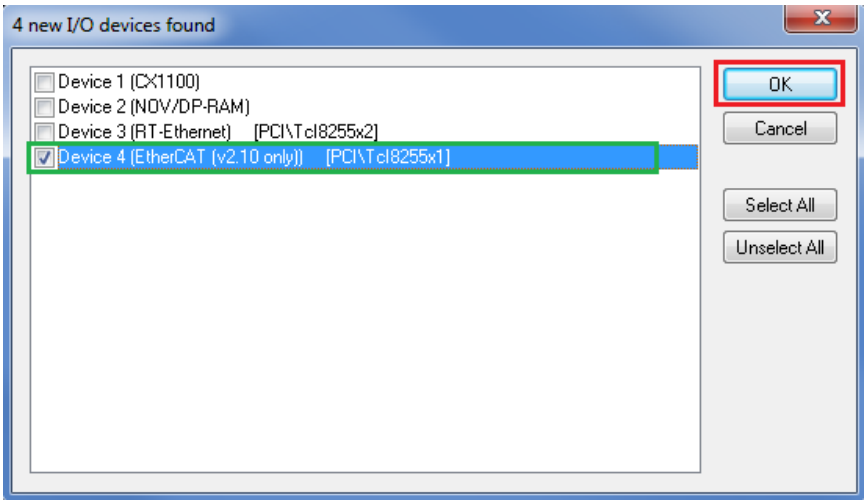


Şekil 4.9 : Sistemin ayar moduna alınması.

Sonrasında giriş çıkış birimlerinin otomatik olarak algılanması amacıyla sistemdeki tüm aygıtlar taranır (scan devices) ve tarama sırasında yalnızca EtherCAT birimine bağlı cihazların bulunması istenir (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11).

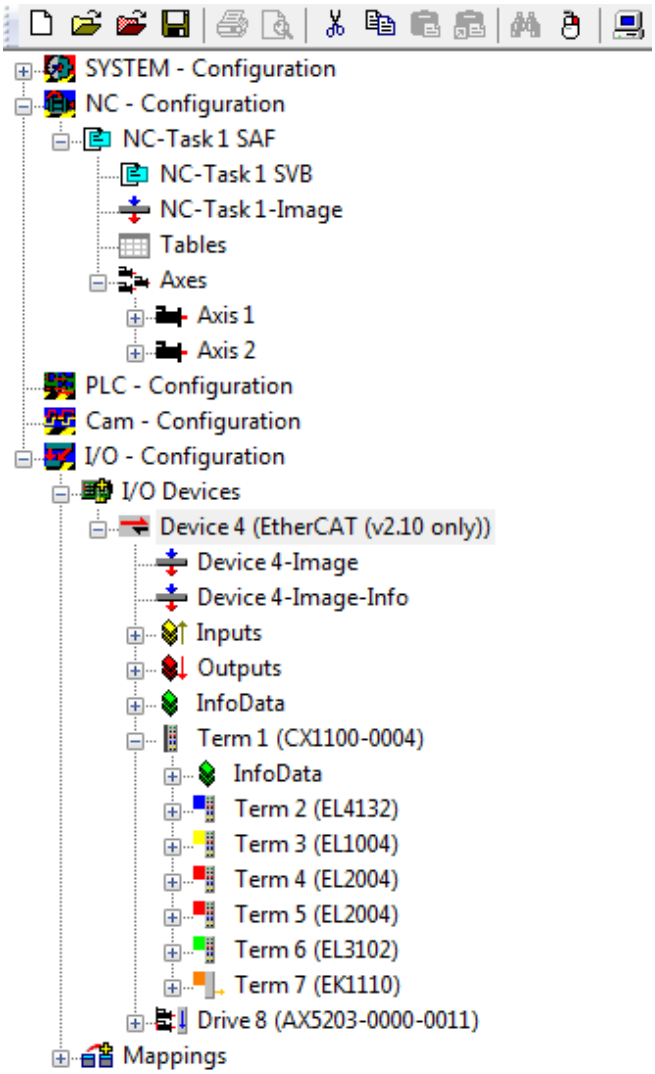


Şekil 4.10 : Sisteme bağlı donanımların taranması aşama 1.



Şekil 4.11 : Sisteme bağlı donanımların taranması aşama 2.

Bu işlemden sonra sisteme bağlı tüm donanım taranır ve bulunan cihazlar sistem yöneticisi ekranında görünmeye başlar (Şekil 4.12).



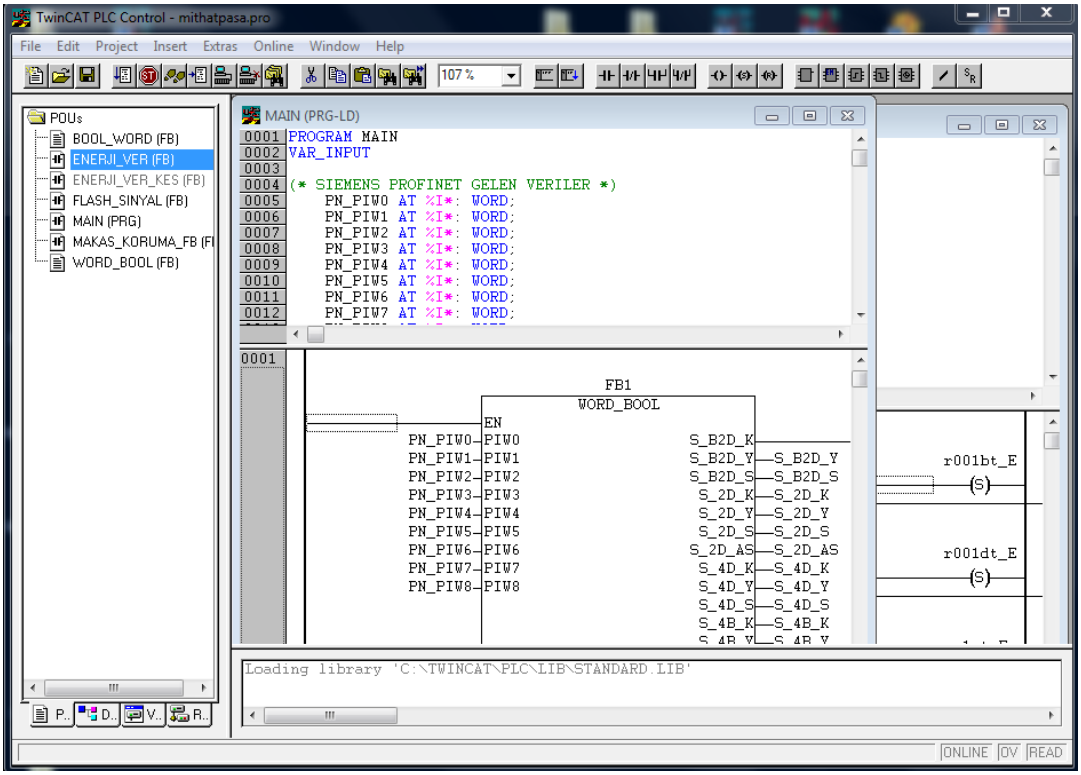
Şekil 4.12 : Sisteme bağlı donanımların sistem yöneticisinde listesi.

Donanımlar artık üzerlerinde gerekli ayarlamalar yapılıp PLC'ye yüklenmeye hazır hale gelir.

4.2.1.2 Programlama özellikleri

Beckhoff PLC'ler standart 5 programlama dili ile program gerçeklemeye müsaade etmektedir. Bu diller, Instruction List (IL), Structured Text (ST), Ladder (LD), Sequential Function Chart (SFC) ve Continuous Function Chart (CFC)'dir. Beckhoff PLC üzerindeki programlama sırasında bu dillerden yalnızca ST ve LD dilleri kullanılmıştır.

Programlama için TwinCAT yazılımının PLC Control isimli alt programı kullanılır. Bu programa ait geliştirme ortamı Şekil 4.13 ile verilmiştir.

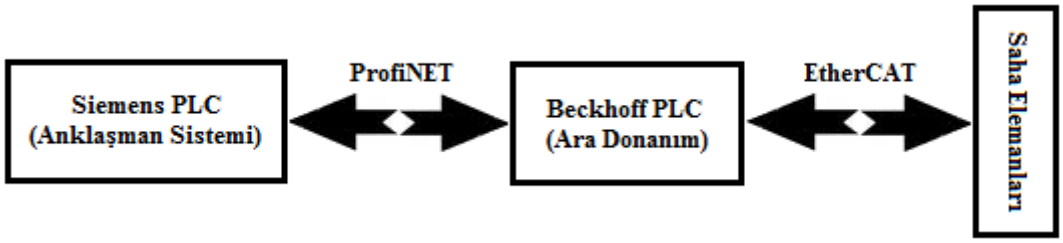


Şekil 4.13 : PLC Control yazılım geliştirme ortamı.

4.2.1.3 Beckhoff PLC üzerinde yazılan bloklar

Önceden de belirtildiği gibi bu çalışmada Beckhoff PLC yalnızca saha ile Siemens PLC üzerinde programlanmış olan anklaşman sistemi arasında haberleşmeyi sağlayan bir ara birim olarak kullanılmıştır. Sahadan veriler Beckhoff giriş çıkış birimleri yardımıyla EtherCAT üzerinden bitler halinde gelmektedir. Gelen bu veriler uygun şekilde paketlenerek Word veri tipi halinde yani 16 bitlik veriler

halinde ProfiNET haberleşme protokolü üzerinden Siemens PLC'ye gönderilmektedir. Benzer şekilde anklaşman sisteminin sahaya gönderdiği komutlar da paketler halinde Beckhoff PLC'ye gelmekte, burada bitlerine ayrılarak gerekli saha elemanları ile ilişkilendirilmektedir. Şekil 4.13 bu sistemin temsili şemasını göstermektedir.



Şekil 4.14 : Çalışmada kullanılan donanım ve haberleşme yapısı.

Sonuç olarak Beckhoff PLC üzerinde temel olarak haberleşme işlemlerini yapan (Anklaşman sistemi ve saha ile haberleşen) 2 adet fonksiyon blok yazılmıştır. Bununla birlikte donanım simülatöründeki makasları korumak ve sinyallerin yan-sön (flaş) şeklinde yanmasını sağlamak amacıyla birer fonksiyon blok daha yazılmıştır. Tasarlanan anklaşman sistemi ise Siemens hatada güvenli PLC üzerinde kodlanmıştır.

4.2.2 Siemens hatada güvenli PLC ve özellikleri

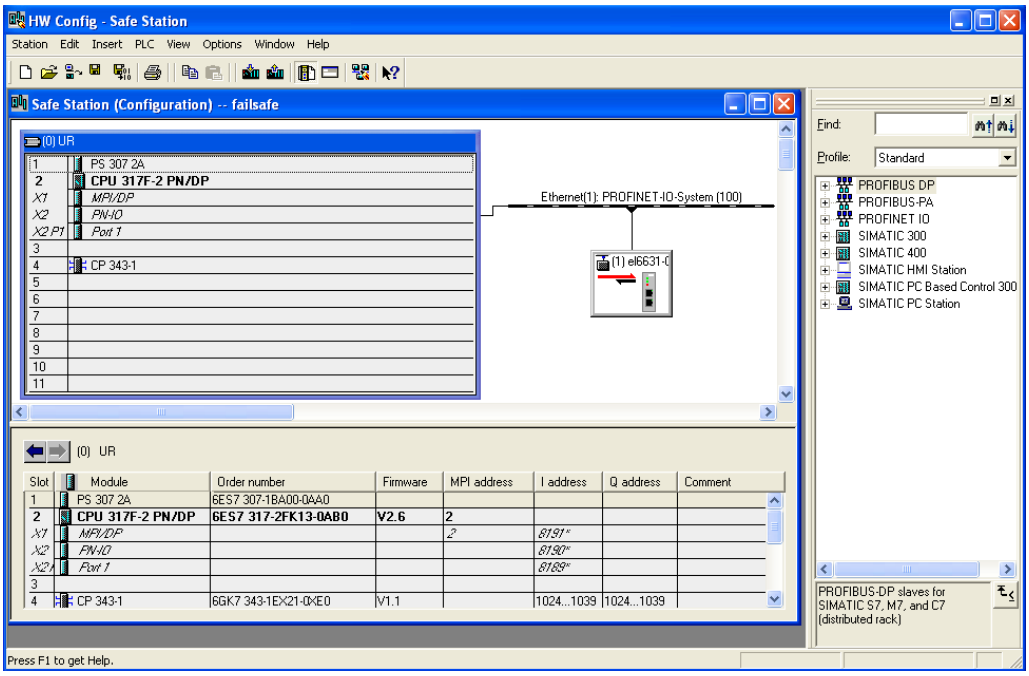
4.2.2.1 Donanım yapısı ve ayarları

Hatada güvenli sistemler, çalışma sırasında sistemde ortaya çıkan olası hataları tespit ederek önceden tanımlanmış güvenli bir duruma sistemi taşıyabilen ve standartlarca belirlenmiş olan gerekli SIL (Safety Integrity Level) güvenlik seviyesini sağlayacak şekilde tasarlanmış olan sistemler olarak tanımlanabilir [12], [19], [20].

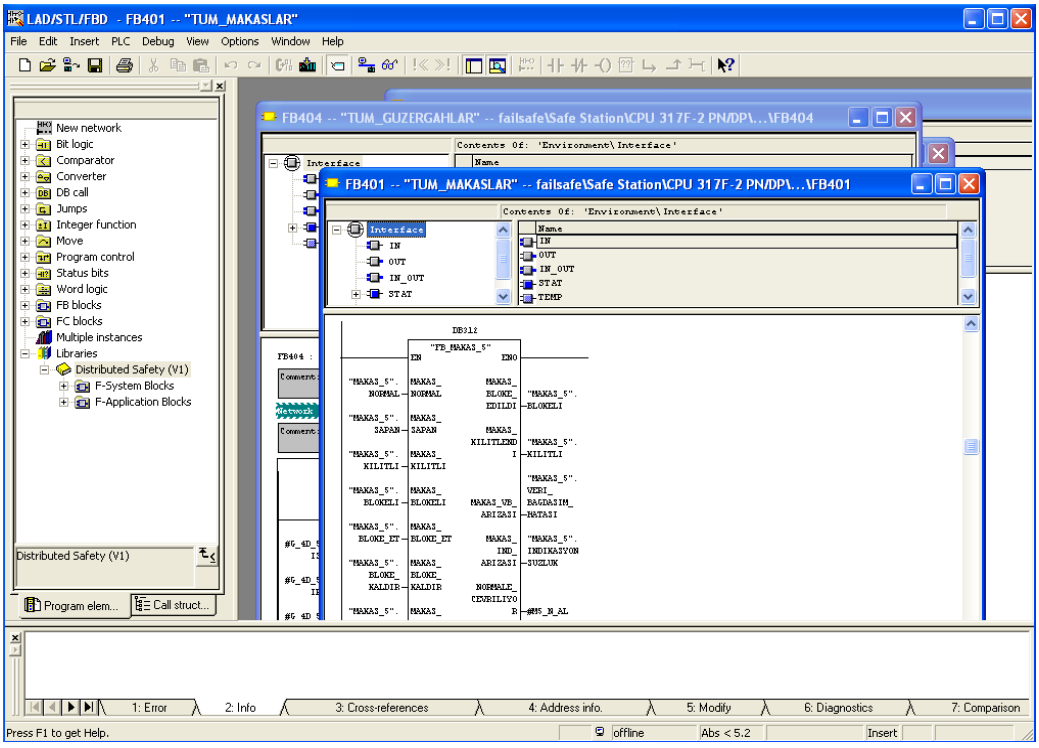
Hatada güvenli olacak şekilde çeşitli formal yöntemler ile tasarımı yapılan bir sistemin, hatada güvenli bir PLC üzerinde ve yine hatada güvenli bir programlama ile gerçeklenmesi güvenlik şartlarını sağlayabilmek açısından zorunludur. Tez çalışmasında da tasarımı yapılan anklaşman sistemi Siemens CPU 317F-2 hatada güvenli PLC içerisine hatada güvenli programlama ile yazılmıştır.

Siemens PLC üzerinde çalışmak için diğer PLC'lerde olduğu gibi öncelikle sisteme bağlanmak ve donanım ayarlarını yapmak gereklidir. Simatic Manager yazılımı hem donanım ayarlarının yapılarak sisteme yüklenmesi sağlayan arayüzü hem de

programlama yapmak için gerekli geliştirme ortamını sağlamaktadır. Ayrıca hatada güvenli PLC üzerinde programlama yapmak için yine Siemens firmasına ait olan S7 Distributed Safety ek paketinin yüklenmiş olması gerekmektedir. Şekil 4.14 donanım ayarlarının yapıldığı arayüze, Şekil 4.15 ise yazılı geliştirme ortamına ilişkin ekran görüntüsünü göstermektedir.



Şekil 4.15 : Siemens donanım ayarlarının yapıldığı arayüz.



Şekil 4.16 : Siemens programlama arayüzü.

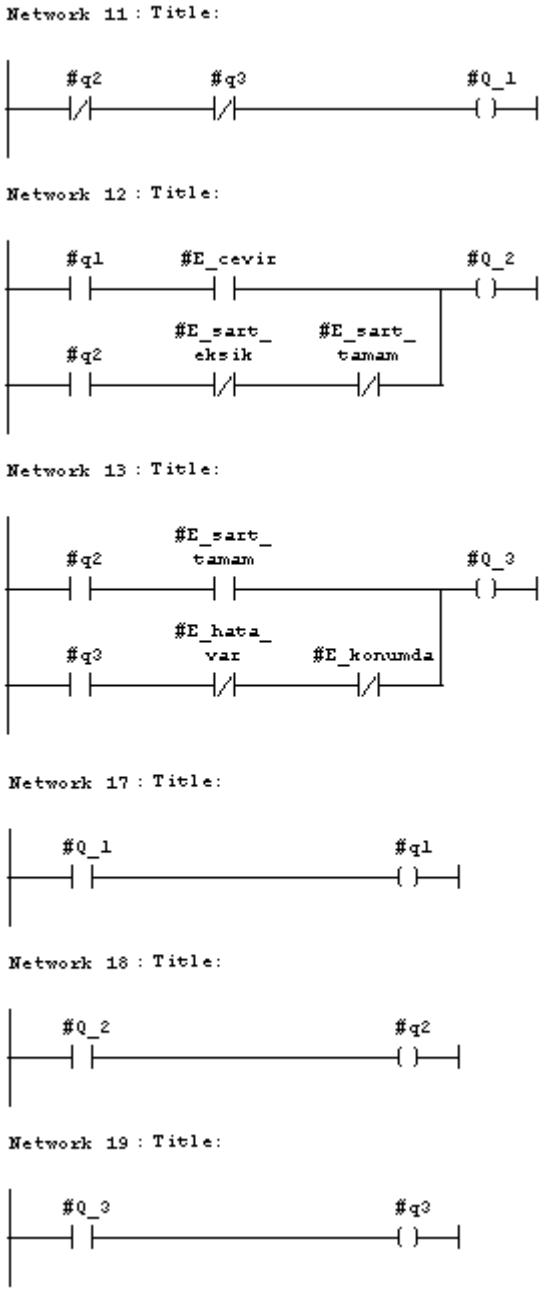
4.2.2.2 Programlama özellikleri

Siemens PLC'de hatada güvenli programlama standart dillerden yalnızca LD ve FBD kullanılarak yapılabilmektedir. Diğer diller hatada güvenli programlamada desteklenmemektedir. Bununla birlikte güvenlik amacıyla komut kümesi de oldukça sınırlandırılmış, sadece belli başlı temel komutların kullanımına izin verilmiştir. Ayrıca BYTE, REAL, ARRAY, STRUCT gibi karmaşık veri tipleri yine hatada güvenli programlamada desteklenmemekte, yalnızca WORD, INT, TIME ve BOOL veri tiplerinin kullanımına izin verilmektedir [21].

S7 Distributed Safety ek kütüphanesinde fonksiyonel güvenlik yazılımda güvenli fonksiyon bloklar, veri blokları ve program yapısı ile sağlanmaktadır. Programlama yapıldığında, derleme aşamasında sonra hataları tespit eden ve arızalara karşı gerekli tepkiyi veren fonksiyon bloklar otomatik olarak oluşturulmaktadır. Böylelikle sistem güvenli bir duruma taşınarak hatada güvenli bir sistem oluşturulur. Siemens hatada güvenli PLC'de program oluşturmak için, öncelikle bir adet program çağırma bloğu (F-CALL) oluşturulur ve bu blok zamana bağlı bir kesme alt programı (OB35 gibi) içerisinde koşturulur. Buna ilişkili olarak hatada güvenli bir program bloğu (F-PB) yani aslında özel bir fonksiyon blok oluşturulur. Bu aşamadan sonra tasarlanacak olan tüm fonksiyon bloklar bu hatada güvenli program bloğu içerisinde çalıştırılırlar. Hatada güvenli program bloğu içerisinde çalıştırılacak olan fonksiyon bloklar yine hatada güvenli fonksiyon blok (F-FB) ve veri blokları da hatada güvenli veri bloğu (F-DB) olmak zorundadır [21].

4.3 Durum Geçiş Fonksiyonlarının PLC Üzerinde Gerçeklenmesi

Bir önceki bölümde, alt sistemlere ilişkin durum geçiş grafları yani otomat modelleri ve bunlara ait durum geçiş fonksiyonları elde edilmişti. Tüm saha elemanlarına ve tanzim bloklarına ilişkin elde edilen bu durum geçiş fonksiyonları PLC üzerinde rahatlıkla gerçeklenebilmektedir. Bu amaçla izin verilen programlama dilleri kullanılarak temel mantık fonksiyonları (VE, VEYA, DEĞİL) yardımıyla otomat modelleri PLC yazılımına (normalde açık kontaklar, normalde kapalı kontaklar, ve çıkışlar kullanılarak) dönüştürülmekte ve amaca uygun program yazılmış olmaktadır. Örneğin, makas çevirme otomatına ilişkin durum geçiş fonksiyonları **(3.6)** ile verilmişti. Temel mantıksal işlemleri içeren bu fonksiyonlar Siemens hatada güvenli PLC üzerinde LD programlama dili yardımıyla Şekil 4.17'deki gibi gerçeklenebilir.

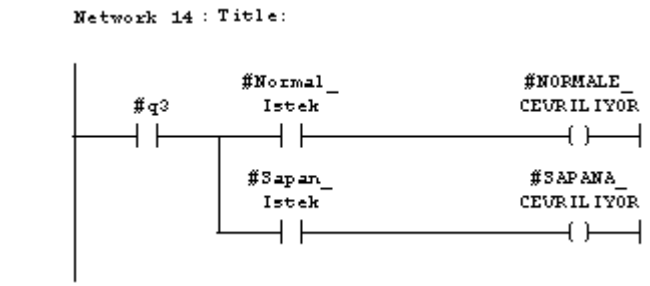


Şekil 4.17 : Makas otomatına ilişkin fonksiyonların PLC programı.

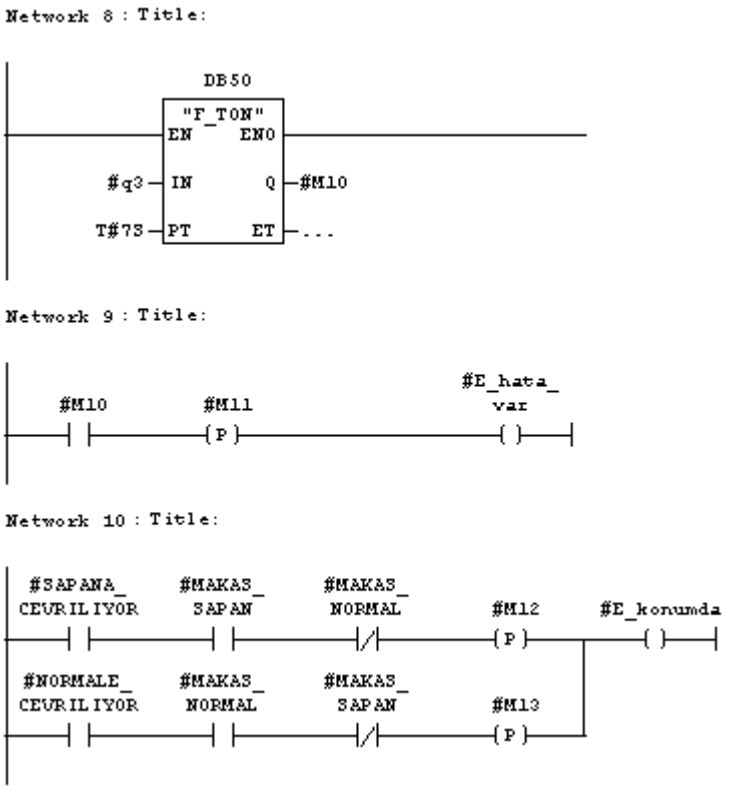
Bu aşamadan sonra yapılması gereken ise olay işaretlerinin ne olduklarının tanımlanması ve son olarak belirlenen çıkışların durumlara bağlı olarak PLC programı içerisinde yazılmasıdır.

Makasa gönderilecek olan çıkış işareti q3 durumuna bağlı olup, bunun için örnek program parçası Şekil 4.18 ile verilmiştir.

Benzer şekilde makas otomatı içerisinde tanımlanmış olan e4 (#E_hata_var) ve e5 (#E_konumda) olayları da Şekil 4.19'daki gibi rahatlıkla yazılıma dökülebilmektedir.



Şekil 4.18 : Çıkışların tanımlanmasına örnek.



Şekil 4.19 : Olay işaretlerinin tanımlanmasına örnek.

4.4 Anklaşman Sistemine Ait Fonksiyon Blokların Yazılması

Anklaşman sisteminin fonksiyon bloklarında otomat modelinden hareketle oluşturulan durum geçiş fonksiyonları dışında, hata durumlarının ve gerekli diğer işlemlerin de programlanması gerekmektedir. Tüm bu işlemlerin yapılmasıyla birlikte fonksiyon bloklar tamamlanmış olur.

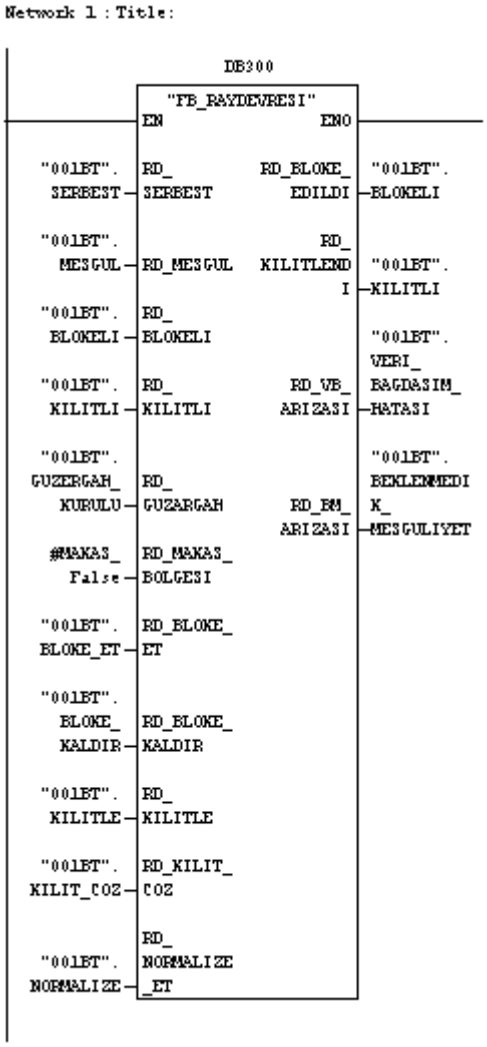
Bu bölümde saha elemanları ve güzergahlar için oluşturulan fonksiyon bloklar kısaca tanıtılacaktır. Gerek fonksiyon blokların giriş ve çıkışlarında gerekse fonksiyon blok içerisinde kullanılan saha elemanlarına ilişkin değişkenler ve komutlar hatada güvenli veri blokları içerisinden çekilmekte ve yine bu veri bloklarına yazılmaktadır.

Böylece bilgiler hem kalıcı hafıza alanlarında saklanmış hem de hatada güvenli veri blokları kullanıldığından çiftler halinde kaydedilmiş olur. Bu durum güvenliğin arttırılması konusunda önemli bir yere sahiptir.

4.4.1 Ray devreleri için fonksiyon blok

Ray devresi fonksiyon bloğu, giriş olarak ray devresinin serbest ya da meşgul durumunu, ray devrelerinin blokeli veya kilitli olma durumlarını, bununla birlikte kumanda merkezi ya da anklaşman sistemi tarafından gönderilen bloke etme, kilitleme gibi komutları alır. Çıkış olarak da ray devresinde bir hata meydana gelmesi durumunda bu hata durumlarını göstermekle birlikte gelen bloke etme ve kilitleme komutlarını gerekli yerlere gönderir.

Şekil 4.20 ray devreleri için Siemens PLC içerisine yazılmış olan hatada güvenli fonksiyon bloğu göstermektedir.

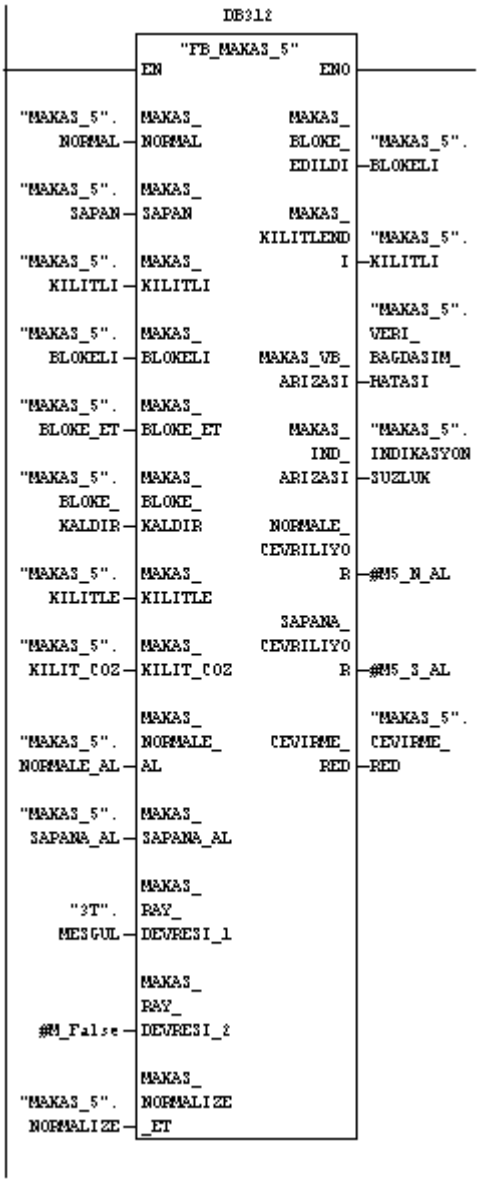


Şekil 4.20 : PLC'de oluşturulan ray devresi fonksiyon bloğu.

4.4.2 Makaslar için fonksiyon blok

Makas fonksiyon bloklarında giriş işaretleri makasın normal ya da sapan konum bilgisi, blokeli veya kilitli olma durumu, makasa ait ray devresinin meşguliyet durumu gibi bilgilerin yanı sıra bloke etme, kilitleme, normale veya sapana alma gibi komutları da içermektedir. Çıkış işaretleri ise makasta meydana gelebilecek hatalar, bloke etme ve kilitleme komutlarının çıkışlarını, sahaya gönderilecek olan normale ya da sapana dönme çıkışlarını ve çevirme isteği sonrası oluşacak bir reddedilme durumunu gösteren çıkışı içermektedir.

Şekil 4.21 PLC'de makaslar için oluşturulmuş olan örnek bir fonksiyon bloğu göstermektedir.



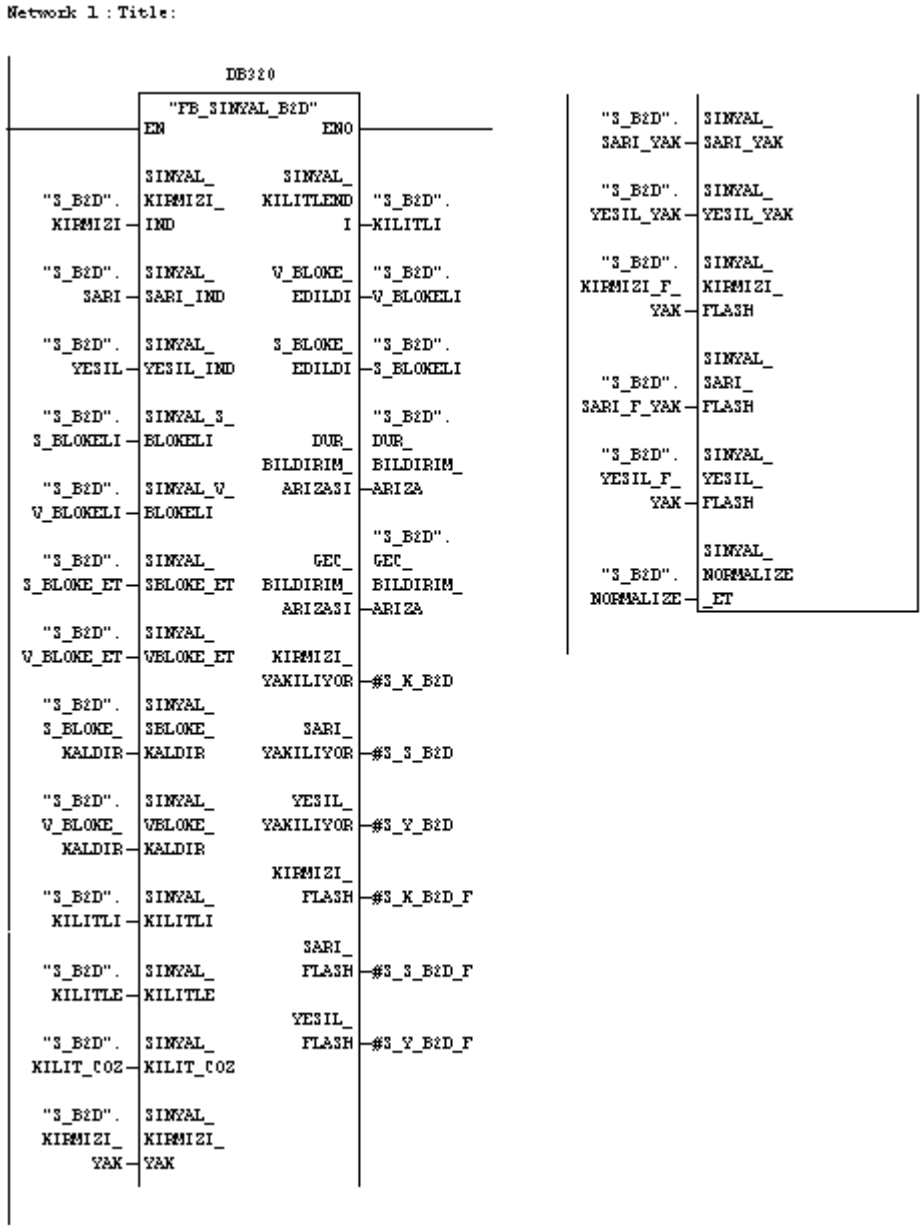
Şekil 4.21 : PLC'de oluşturulan makas fonksiyon bloğu.

4.4.3 Sinyaller için fonksiyon blok

Sinyaller için oluşturulan fonksiyon bloklarda, önceki fonksiyon bloklara benzer olarak sinyalin verdiği bildirim indikasyonları, kumanda merkezinden ya da anklaşman sisteminden gelen kilitleme ve bloke etme komutları ile sinyalin vermesi gereken bildirimlerin komutları giriş olarak alınmaktadır.

Sinyal fonksiyon bloğunda çıkış işaretleri olarak ise verilecek olan bildirim sahaya gönderecek, bloke ve kilit işlemleri için komutlar gerekli yerlere iletecek ve hataları gösterecek olan işaretler bulunmaktadır.

Örnek bir sinyal fonksiyon bloğu Şekil 4.22 ile verilmiştir.

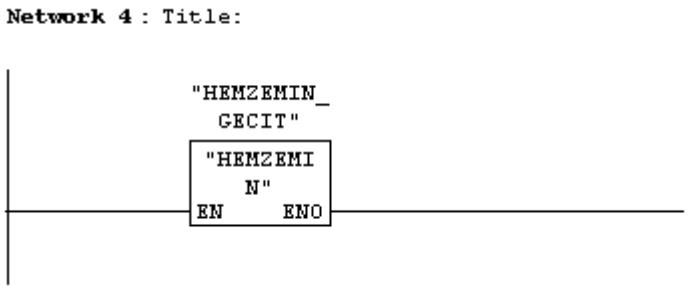


Şekil 4.22 : PLC'de oluşturulan sinyal fonksiyon bloğu.

4.4.4 Hemzemin geçit için fonksiyon blok

Hemzemin geçit için yazılan fonksiyon blok içerisinde, otomat modelinden elde edilen durum geçiş fonksiyonları, olay işaretlerinin elde edilmesi ve çıkışlar yer almaktadır. Gerekli verilerin toplanması ve yine gerekli verilerin iletilmesi için veri bloklarından faydalanılmıştır. Yani gerekli bilgiler, ilgili veri bloklarına fonksiyon blok içerisinden doğrudan erişilerek alınmıştır. Bu sebeple hemzemin geçit fonksiyon bloğu giriş ve çıkış içermemektedir.

Şekil 4.23 hemzemin geçit için hazırlanan fonksiyon bloğu göstermektedir.



Şekil 4.23 : PLC'de oluşturulan hemzemin geçit fonksiyon bloğu.

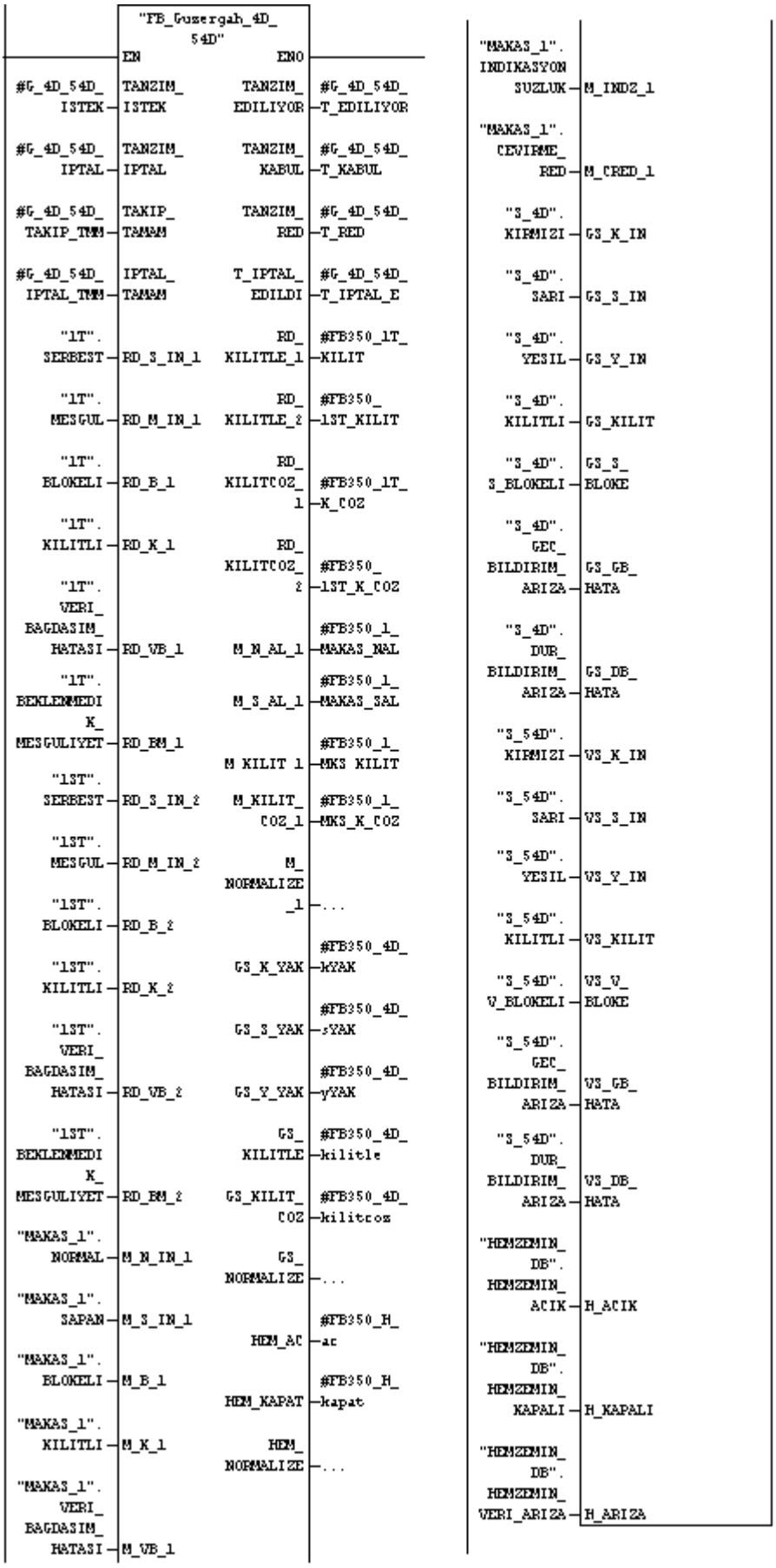
4.4.5 Güzergahlar için fonksiyon blok

Güzergah blokları, belirlenmiş olan bir güzergah için ray devrelerine, makaslara, sinyallere ve hemzemin geçide ilişkin sahadan ve kumanda merkeziden gerekli tüm bilgileri alan girişlere sahiptirler. Bununla birlikte tanzim isteği ve tanzim iptal isteği de giriş olarak alınan diğer temel girişlerdir.

Güzergah bloklarının çıkışlarında tanzim durumlarını (kabul, red, tanzim ediliyor) belirten, yazılmış olan alt fonksiyon bloklara (makas, sinyal, ray devresi, hemzemin geçit vb.) gerekli komutları (kilitleme, serbest bırakma, çevirme vb.) gönderen bir yapıda oluşturulmuştur.

Şekil 4.24 oluşturulmuş olan güzergah fonksiyon blok yapısını göstermektedir.

Güzergah fonksiyon blokları farklı güzergahlar için o güzergahın yapısına uygun olacak şekilde farklı ve ayrı ayrı oluşturulmuştur. Güzergah fonksiyon blokları içerisinde üç temel işlem yapılmaktadır. Bu işlemler, daha önceki bölümlerde otomat modelleri oluşturulan tanzim kabul ve tanzim iptal prosedürünlerine ve tren takibine ilişkin işlemlerdir. Sinyalizasyonu yapılmak üzere ele alınan demiyolu istasyonunda her güzergah farklı olduğundan, tren takibine ilişkin yapı da farklı olmaktadır.



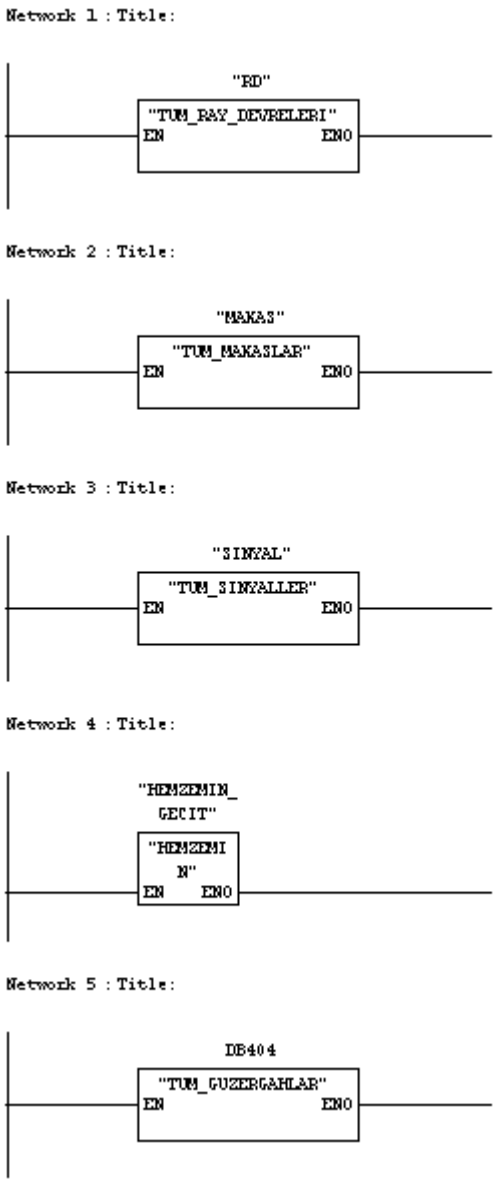
Şekil 4.24 : PLC'de oluşturulan güzergah fonksiyon bloğu.

4.4.6 Ana program bloğu

Ana program bloğu (F-PB), hatada güvenli bir fonksiyon bloktur (FB1) ve aslında hatada güvenli olmayan diğer Siemens PLC'ler için OB1 ana program bloğuna karşı düşmektedir.

Zamana bağlı kesme alt programının içerisinde çalışan çağırma fonksiyonu ana program bloğuu çağırarak işlemlerin yapılmasını sağlamaktadır.

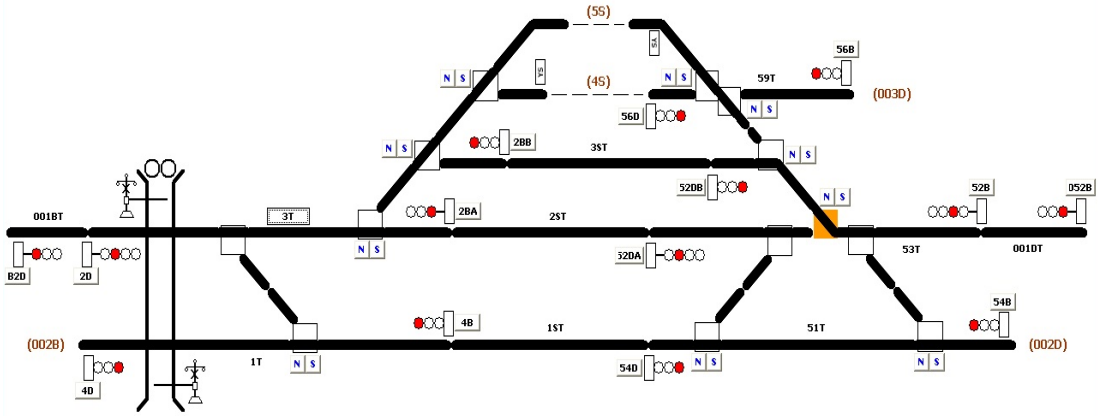
Yazılan ana program bloğunda, tüm saha elemanları yani ray devreleri, makaslar, sinyaller, hemzemin geçit ve güzergahlar için yazılmış olan modüller fonksiyon bloklar halinde bulunmaktadırlar (Şekil 4.25).



Şekil 4.25 : PLC'de çalışan ana program.

4.5 Kullanıcı Arayüzünün Tasarımı

Kumanda merkezinden sahaya ve anklaşman sistemine gerekli komutların gönderilmesi amacıyla bir arayüz tasarımı gereklidir. Bu arayüz sayesinde kumanda merkezinde bulunan dispeçer saha elemanlarına gerekli müdahaleleri (bloke etme, makas çevirme vb.) yapabilmekle birlikte, anklaşman sistemine belirli bir güzergah için tanzim isteği gönderebilmekte ve gerek sahadan gerekse anklaşman sisteminden gelen indikasyonları gözlemleyebilmektedir. Şekil 4.26 Siemens WinCC Flexible yazılımı kullanılarak Mithatpaşa istasyonu için tasarımı yapılan basit bir kullanıcı arayüzünü (SCADA) göstermektedir.



Şekil 4.26 : İstasyon için oluşturulan kullanıcı arayüz (SCADA) ekranı.

5. SONUÇLAR

Yapılan bu tez çalışmasının sonucunda örnek bir istasyon bölgesi için anklaşman sistemi tasarımı tamamlanmış ve tasarımı yapılan anklaşman sistemi hatada güvenli bir PLC üzerinde çalıştırılmıştır. İlk olarak demiryolu sinyalizasyon sistemlerine ilişkin temel kavramlardan bahsedilmiş ve anklaşman sistemlerinin çalışma prensipleri ile uygulanan prosedürler aktarılmıştır. Sonrasında ise bu sistemlerin tasarımına ilişkin metotlar belirtilmiş ve tasarımda kullanılan otomat modeli örnekler ile açıklanmıştır.

Çalışmanın gerçekleme aşamasında sistemin tüm elemanları için tek tek otomat modelleri ve bu modellerden hareketle durum geçiş fonksiyonları elde edilmiştir. Elde edilen fonksiyonlar yardımıyla PLC üzerinde gerekli tüm fonksiyon bloklar her bir eleman için ayrı ayrı programlanmıştır. Ayrı ayrı yazılan bu fonksiyon bloklar aynı zamanda gerek istasyon bölgesinde gerekse isterlerde sonradan yapılacak bir değişiklik durumunda, yapılan değişikliğin sisteme kolay ve hızlı bir biçimde yansıtılmasını sağlamaktadır. Tasarımı yapılan tüm bu alt sistemler ana program içerisinde uygun bir biçimde birleştirilmiş, böylelikle rahat bir biçimde anklaşman sisteminin gerçeklenmesi tamamlanmıştır.

Bu çalışmada, anklaşman sisteminin gerekli güvenlik standartlarına da uygun olması açısından formal bir tasarım yöntemi ile elde edilen mantıksal fonksiyonların, hatada güvenli bir PLC ile gerçeklenebildiği ve hatasız çalıştığı gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

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

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

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

[4] **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.

[5] **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.

[6] **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.

[7] **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.

[8] **Durmuş, M. S., Söylemez, M. T.,** 2009. Railway Signalization and Interlocking Design via Automation Petri Nets, *The 7th Asian Control Conference*, Hong Kong, China.

[9] **Durmuş, M. S., Söylemez, M. T., Avşaroğulları, E.,** 2009. Coloured Automation Petri Nets Based Interlocking and Signalization Design, *The 6th IFAC Int. Workshop on Knowledge and Technology Transfer in/to Developing Countries*, Macedonia.

[10] **Dincel, E., Kurtulan, S.,** 2012. Interlocking and Automatic Operating System Design with Automaton Method, *13th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems*, Sofia, Bulgaria.

[11] **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.

[12] **Yıldırım, U., Durmuş, M. S., Kurşun, A., Söylemez, M. T.,** 2010. Demiryolu Hemzemin Geçitleri İçin Hatada-Güvenli Sinyalizasyon ve Anklaşman Tasarımı, *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, Gebze, Türkiye.

[13] **Yıldırım, U., Durmuş, M. S., Söylemez, M. T.,** 2011. Demiryolu Sinyalizasyon Sistemleri için Otomatik Anklaşman Tablosu Oluşturulması, *Elektrikli Ulaşım Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi*, Bursa-Eskişehir, Türkiye.

[14] **Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (MEGEP)**, 2011. Raylı Sistemler Teknolojisi, TSİ (CTC) Sistemi Dökümanı.

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

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

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

[18] **Url-1** <http://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/cx1010_hw/html/cx1010_protechdata.htm&id=441>, alındığı tarih: 12.12.2012.

[19] **Krosigk, H. V.,** 2000. Functional Safety in the Field of Industrial Automation, the influence of IEC 61508 on the improvement of safety-related control systems," *in Engineering Journal on Computing & Control*, pp. 13-18.

[20] **Burrage, K. W.,** 1995. Railway Safety Standards, *in IEEE Conference on Electric Railways in a United Europe*, pp. 153-157.

[21] **Siemens,** 2004. S7 Distributed Safety Configuring and Programming Manual.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:	Emre DİNCEL
Doğum Yeri ve Tarihi:	Bakırköy, 14.05.1989
Adres:	Küçükçekmece, İstanbul
E-Posta:	dincele@itu.edu.tr
Lisans:	İTÜ - Kontrol Mühendisliği (2007-2011)
	İTÜ - Elektrik Mühendisliği (2008-2011)
Mesleki Deneyim:	İTÜ Kontrol Müh. Bölümü Araş. Gör. (2011 - …)

Yayın Listesi:

1. E. Dincel, I. Genc, "A Power System Stabilizer Design by Big Bang - Big Crunch Algorithm", *IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering*, ICCSCE 2012, Penang, Malaysia, 23-25 November 2012.

2. E. Dincel, S. Kurtulan, "Interlocking and Automatic Operating System Design with Automaton Method", *13th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems*, CTS 2012, Sofia, Bulgaria, 12-14 September 2012.

3. E. Dincel, Y. Yalçın, S. Kurtulan, "Fan ve Levha Sisteminin Açısal Konum Kontrolü", *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, TOK 2012, Niğde, Türkiye, 11-13 Ekim 2012.

4. E. Dincel, İ. Genç, "Büyük Patlama - Büyük Çöküş Optimizasyon Algoritması Kullanılarak PD Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı Tasarımı", *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, TOK 2012, Niğde, Türkiye, 11-13 Ekim 2012.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **E. Dincel**, S. Kurtulan, "Interlocking and Automatic Operating System Design with Automaton Method", *13th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems*, CTS 2012, Sofia, Bulgaria, 12-14 September 2012.