KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR TREN EĞİTİM SİMÜLATÖRÜNÜN CAN PROTOKOLÜ KULLANARAK GERÇEKLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih YARDIM

Ana Bilim Dalı: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Danışman: Doç. Dr. Oğuzhan URHAN

KOCAELİ, 2010

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR TREN EĞİTİM SİMÜLATÖRÜNÜN CAN PROTOKOLÜ KULLANARAK GERÇEKLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Müh. Fatih YARDIM

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 14 HAZİRAN 2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 05 TEMMUZ 2010

Tez Danışmanı
Doç.Dr. Oğuzhan URHAN

(.....)

Üye
Doç.Dr. Celal ÇEKEN

(.....)

Üye
Yrd.Doç.Dr. İbrahim ÖZÇELİK

(.....)

KOCAELİ, 2010

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Günümüzde eğitim simülatörlerinin yaygınlaşması ile simülatör donanımına ait birimlerin haberleşmesinde gereksinim duyulan protokollerin kullanımı artmıştır. Simülatör donanımının çok sayıda eleman içeren karmaşık bir yapı olduğu düşünüldüğünde haberleşme protokolünün seçimi yapılırken donanıma ait birimlerin kabiliyetleri göz önünde bulundurularak en hızlı ve en etkili haberleşme biçimi esas alınmaktadır. Bu haberleşme protokollerinden biri de CAN olarak adlandırılan "Denetleyici Alan Ağı" protokolüdür.

Bu tez çalışmasında, eğitim simülatörü olarak kullanılacak bir tren simülatörüne ait donanımın haberleşmesinin Denetleyici Alan Ağı protokolüne yer verilerek gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmaların bu alana emek verenlere ve bu alanda çalışacak araştırmacılara yararlı olmasını dilerim.

Bu konuda çalışma yapmama imkân tanıyan, çalışmanın her aşamasında ilgi ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Oğuzhan URHAN, başta Y. Müh. Ümit GÖKMEN ve Müh. Yiğit AĞABEYLİ olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma ve bu süreçte bana manevi anlamda katkıda bulunan biricik aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü tarafından TARAL/G386000 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Mayıs 2010, KOCAELİ Fatih YARDIM

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vii
BİR TREN EĞİTİM SİMÜLATÖRÜNÜN CAN PROTOKOLÜ ix
IMPLEMENTATION OF A TRAIN SIMULATOR x
1. GİRİŞ 1
1.1. Simülatör Örnekleri 1
1.2. Bilimsel Çalışmalar 3
1.3. Çalışmanın Amacı ve İçeriği 5
2. TREN KAVRAMLARI VE SİMÜLATÖRÜN YAPISI 7
2.1. Tren Kavramları 7
2.1.1. Lokomotif elemanları 7
2.1.1.1. Sanal elemanlar 7
2.1.1.2. Makinist kabini elemanları 8
2.1.2. Lokomotifin servise hazırlanması 12
2.1.3. Totman sistemi 15
2.2. Tren Simülatörünün Bölümleri 16
3. SİSTEM TASARIMI 23
3.1. Sistem Bileşenleri 23
3.2. CAN Haberleşme Protokolü 25
3.2.1. CAN temel özellikleri 26
3.2.2. CAN düğüm karakteristikleri 26
3.2.3. CAN ağ karakteristikleri 27
3.2.4. Ağ donanımı 28
3.2.5. CAN mesaj yapısı 31
3.2.5.1. Veri çerçevesi 32
3.2.5.2. İstek çerçevesi 35
3.2.5.3. Hata çerçevesi 36
3.2.5.4. Aşırı yükleme çerçevesi 38
4. DONANIM VE YAZILIM TASARIMI 40
4.1. Donanım Tasarımı 40
4.1.1. Güç birimi tasarımı 42
4.1.2. Denetleyici birimi tasarımı 42
4.1.3. İşlevsel birim tasarımı 44
4.1.3.1. İbreli gösterge birimleri tasarımı 44
4.1.3.2. Kol birimi donanım tasarımı 46
4.1.3.3. Buton birimleri donanım tasarımı 47
4.1.3.4. Lamba birimi donanım tasarımı 48
4.1.3.5. Sigorta birimi donanım tasarımı 49
4.2. Yazılım Tasarımı 50
4.2.1. Grafik kullanıcı arayüz yazılım tasarımı 51

4.2.2. CAN sürücü arayüz yazılımı ... 58
4.2.2.1. Uygulama programlama arayüz yazılımı ... 59
4.2.2.2. Haberleşme uygulama yazılımı ... 60
4.2.2.3. CAN ağ mesajları ... 62
4.2.3. Model yazılımları ... 63
4.2.3.1. Elektrik sistem modeli ... 64
4.2.3.2. Cer motorları modeli ... 67
4.2.3.3. Batarya şarj modeli ... 69
4.2.3.4. Lambalar modeli ... 71
4.2.3.5. Totman modeli ... 72
4.2.3.6. Tren hızı hesaplama modeli ... 73
4.2.3.7. Cer akımı hesaplama modeli ... 79
5. TESTLER ... 81
5.1. Lokomotifin Servise Hazırlanması ve Kullanımı ... 84
5.1.1. Senaryo parametreleri ilklendirme ... 84
5.1.2. Lokomotif elektrik sisteminin enerjilendirilmesi ... 88
5.1.3. Lokomotifin hızlandırılması ... 89
5.1.4. Tren hızına eğimin etkisi ... 91
5.1.5. Lokomotifin makinist musluğu ile frenlenmesi ... 92
5.1.6. Lokomotifin dinamik fren ile frenlenmesi ... 93
5.2. Totman Sistemi ... 94
5.2.1. Senaryo ilklendirme ... 94
5.2.2. Totman sisteminin çalışması ... 95
5.3. Arızalar ... 99
5.3.1. Senaryo ilklendirme ... 99
5.3.2. Elektronik şalter attırma arızası ... 100
5.3.3. Batarya şalteri iptal arızası ... 102
5.3.4. Cer grup 1 iptal arızası ... 104
5.3.5. İşletme anahtarı iptal arızası ... 106
5.3.6. Batarya voltajı düşürme arızası ... 108
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER ... 111
KAYNAKLAR ... 112
KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER ... 115
ÖZGEÇMİŞ ... 116

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: F-16 savaş uçağı simülatörü 2
Şekil 1.2: Sürücü eğitiminde kullanılan bir araç simülatörü 3
Şekil 2.1: Pantografın görünümü ve yapısı 13
Şekil 2.2: Disjonktör vakumlu devre kesicisi 13
Şekil 2.3: E43000 tipi lokomotifin elektrik sistemi 14
Şekil 2.4: Benzetim motorunun görünümü 16
Şekil 2.5: Senaryo editörü 17
Şekil 2.6: Görsel sistem 18
Şekil 2.7: Kumanda masası ekranı 19
Şekil 2.8: Senaryo takip ekranı 19
Şekil 2.9: Kabin arıza ekranı 21
Şekil 2.10: Makinist kabini elemanları 21
Şekil 3.1: Simülatör bilgisayarı birimleri ve donanım arayüzü 24
Şekil 3.2: Sistem blok şeması 25
Şekil 3.3: CAN düğümü (Tümleşik yapı) 27
Şekil 3.4: CAN düğümü (Bağımsız yapı) 27
Şekil 3.5: CAN ağının optik ortamdaki görünümü 29
Şekil 3.6: CAN ağının elektriksel ortamdaki görünümü 29
Şekil 3.7: CAN şebeke voltaj seviyesi 30
Şekil 3.8: Çarpışma algılama mekanizmasının çalışması 32
Şekil 3.9: Veri çerçevesi 33
Şekil 3.10: Tahkim alanı 33
Şekil 3.11: Kontrol alanı 34
Şekil 3.12: Veri alanı 34
Şekil 3.13: CRC alanı 34
Şekil 3.14: Kabul alan 35
Şekil 3.15: Sonlandırma alanı 35
Şekil 3.16: İstek çerçevesi 36
Şekil 3.17: Hata çerçevesi 36
Şekil 3.18: Aşırı yükleme çerçevesi 38
Şekil 4.1: Güç birimi devre şeması 42
Şekil 4.2: Denetleyici birimi blok şeması 43
Şekil 4.3: JTAG arayüz devresi 43
Şekil 4.4: CAN arabirim devresi 44
Şekil 4.5: İbreli gösterge birimi blok şeması 45
Şekil 4.6: İbreli gösterge birimi devresi 46
Şekil 4.7: Kol birimi blok şeması 47
Şekil 4.8: Kol birimi devresi 47
Şekil 4.9: Buton birimi blok şeması 47
Şekil 4.10: Buton birimi devresi 48
Şekil 4.11: Lamba birimi blok şeması 48
Şekil 4.12: Lamba birimi devresi 49
Şekil 4.13: Sigorta birimi blok şeması 50
Şekil 4.14: Sigorta birimi devresi 50
Şekil 4.15: Grafik kullanıcı arayüzü 52
Şekil 4.16: Grafik kullanıcı arayüz işlevleri yazılım akış diyagramı 58

Şekil 4.17: İlklendirme ve mesaj okuma işlevleri yazılım akış diyagramları 61
Şekil 4.18: Mesaj işleme işlevi yazılım akış diyagramı 61
Şekil 4.19: Ortam yürütücüsü işlevlerinin yazılım akış diyagramları 64
Şekil 4.20: Elektrik sistem durumu güncelleme işlevi yazılım akış diyagramı 66
Şekil 4.21: Cer motor durumları güncelleme işlevi yazılım akış diyagramı 68
Şekil 4.22: Batarya şarj güncelleme işlevi yazılım akış diyagramı 70
Şekil 4.23: Lamba durumu güncelleme işlevi yazılım akış diyagramı 71
Şekil 4.24: Totman durumu güncelleme işlevi yazılım akış diyagramı 72
Şekil 4.25: Trene etki eden kuvvetler 73
Şekil 4.26: Çekiş kuvvetinin hıza göre değişimi 74
Şekil 4.27: Dinamik fren kuvvetinin hıza göre değişimi 75
Şekil 4.28: Trene etki eden rampa direnç kuvveti 75
Şekil 4.29: Yuvarlanma ve aerodinamik direnç kuvvetlerinin hıza göre değişimi 77
Şekil 4.30: Tren hızı güncelleme işlevi yazılım akış diyagramı 79
Şekil 4.31: Cer akımının hıza göre değişimi 80
Şekil 4.32: Cer motor akımı güncelleme işlevi yazılım akış diyagramı 80
Şekil 5.1: Makinist kabini donanımı 81
Şekil 5.2: İbreli gösterge birimi - 1 82
Şekil 5.3: İbreli gösterge birimi - 2 82
Şekil 5.4: Buton, sigorta ve kol birimi elemanları 83
Şekil 5.5: Lamba birimi 83
Şekil 5.6: Test düzeneğinin arkadan görünümü ve simülatör bilgisayarı 84
Şekil 5.7: Simülasyon başlangıcı kullanıcı arayüzü görünümü 86
Şekil 5.8: Simülasyon başlangıcı ibreli göstergeler durumu 87
Şekil 5.9: Simülasyon başlangıcı lamba birimi görünümü 87
Şekil 5.10: Pantograf kaldırıldığında hat voltajı değeri 88
Şekil 5.11: Elektrik sistemi enerjilendirildiğinde lamba durumları 89
Şekil 5.12: Hızlandırma kolu 1. hız kademesi azami hız değeri 90
Şekil 5.13: Hızlandırma kolu 14. hız kademesi azami hız değeri 90
Şekil 5.14: Hızlandırma kolu 14. hız kademesi azami hız değeri 91
Şekil 5.15: Eğim 3° iken 7. kademede tren hızı ve cer grup 1 akımı 92
Şekil 5.16: Eğim 3° ve kütle 240 ton iken 7. kademe tren hızı ve cer grup 1 akımı 92
Şekil 5.17: Hızlandırma kolu 7. kademede iken seri fren durumu 93
Şekil 5.18: Dinamik fren durumunda ibreli gösterge durumları 94
Şekil 5.19: Totman devre dışı durumu 95
Şekil 5.20: Totman normal durumu 96
Şekil 5.21: Totman ihbar durumu 96
Şekil 5.22: Totmana kaçtı durumu 97
Şekil 5.23: Totmana kaçtı durumunda ibreli gösterge durumları 97
Şekil 5.24: Totmana kaçtı durumunda lamba durumları 98
Şekil 5.25: İmdat butonuna basıldığında kullanıcı arayüzü görünümü 99
Şekil 5.26: Elektronik şalter arızasında kullanıcı arayüzü görünümü 100
Şekil 5.27: Elektronik şalter arızasında elektronik şalter durumu 101
Şekil 5.28: Elektronik şalter arızasında ibreli göstergeler durumu 101
Şekil 5.29: Elektronik şalter arızasında lamba durumları 102
Şekil 5.30: Batarya şalteri arızasında kullanıcı arayüzü görünümü 103
Şekil 5.31: Batarya şalteri arızasında ibreli gösterge durumları 103
Şekil 5.32: Cer grup 1 iptal arızasında kullanıcı arayüzü görünümü 105
Şekil 5.33: Cer grup 1 iptal arızasında ibreli gösterge durumları 105

Şekil 5.34: Cer grup 1 iptal arızasında lamba durumları 106
Şekil 5.35: İşletme anahtarı arızasında kullanıcı arayüzü görünümü 107
Şekil 5.36: İşletme anahtarı arızasında ibreli gösterge durumları..... 107
Şekil 5.37: İşletme anahtarı arızasında lamba durumları..... 108
Şekil 5.38: Batarya voltajı arızasında kullanıcı arayüzü görünümü 109
Şekil 5.39: Batarya voltajı arızasında ibreli gösterge durumları..... 109
Şekil 5.40: Batarya voltajı arızasında lamba durumları..... 110

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1: Haberleşme Protokolleri Özellikleri 4
Tablo 2.1: Hat Voltajı Nicelikleri 12
Tablo 3.1: Ağ Haberleşme Hızının Mesafeye Göre Değişimi 30
Tablo 4.1: Beşli Arıza Lambaları 41
Tablo 4.2: Matris Tablo Lambaları 41
Tablo 4.3: Simülatör Bilgisayarından Gönderilen Mesajlar 62
Tablo 4.4: Gömülü Donanım Birimlerinden Gönderilen Mesajlar 63

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

a : Trenin ivmesi (m/s^2)
A : Taşıtın kesit alanı (m^2)
API : Application Programming Interface (Uygulama Programlama Arayüzü)
CAN : Controller Area Network (Denetleyici Alan Ağı)
C_d : Taşıtın aerodinamiklik katsayısı
DLL : Dynamic Link Library (Dinamik Bağ Kütüphanesi)
F_{Ad} : Aerodinamik direnç kuvveti (N)
F_b : Pnömatik fren kuvveti (N)
F_{cr} : Kurp direnç kuvveti (N)
F_g : Rampa direnci kuvveti (N)
F_{net} : Net kuvvet (N)
F_{pr} : Yuvarlanma ve aerodinamik direnç kuvvetlerinin toplamı (N)
F_r : Yavaşlatıcı kuvvetlerin toplamı (N)
$F_{t/db}$: Çekiş veya dinamik fren kuvveti (N)
g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
G : Kuvvet kazancı
HDK : Hızlı Devre Kesici
I^2C : Inter-Integrated Circuits (Entegre Devreler Arası)
ISO : International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)
m : Trenin kütlesi (kg)
N : Tekerlek sayısı
$N_{t/db}$: hız ya da dinamik fren kademesi
OSI : Open System Interconnection (Açık Sistem Arabağlantısı)
P : Fren silindiri basıncı (bar)
P_{maks} : Lokomotifin azami çekiş gücü (W)
R : Kurp yarıçapı (m)
S : Silindirin kesit alanı (m^2)
SPI : Serial Peripheral Interface (Seri Çevrebirim Arayüzü)
TCP : Transmission Control Protocol (İletim Kontrol Protokolü)
UML : Unified Modelling Language (Birleştirilmiş Modelleme Dili)
USB : Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veri Yolu)
V_i : Trenin ilk hızı (m/s)
V_t : Trenin seyir hızı (m/s)
ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
μ : Tekerlek ile fren pabucu arasındaki sürtünme katsayısı

BİR TREN EĞİTİM SİMÜLATÖRÜNÜN CAN PROTOKOLÜ KULLANARAK GERÇEKLENMESİ

Fatih YARDIM

Anahtar Kelimeler: Tren simülatörü, eğitim simülatörü, CAN protokolü

Özet: CAN haberleşme protokolü, bus topolojisine sahip olup çok sayıda eleman içeren karmaşık bir yapıya sahip veri yolu topolojsindeki bir haberleşme ağında hızlı ve etkili veri iletimi sağlamak için kullanılmaktadır. Haberleşme CSMA/CA adı verilen taşıyıcı algılama, çoklu erişim ve çarpışma sakınma ilkelerine dayanır. Ağda veri iletimi yapılmıyor iken tüm düğümler ağa erişim hakkına sahiptir. Aynı anda birden fazla düğüm veri iletimine başladığı anda mesaj kimlik numarası küçük olan yüksek önceliğe sahiptir. Veri iletimi fark gerilimi durumuna göre gerçekleştirildiği için gürültüye karşı daha bağışıktır ve uzak mesafelere iletim yapılabilir.

Bu tezde CAN haberleşme protokolü bir tren eğitim simülatörünün donanımına ait birimlerin haberleşmesi için uygulanmaktadır. Burada en yüksek veri hızında iletim yapılmış olup CAN sürücü arayüz yazılımı için kullanılan cihaza özgü hazırlanmış olan uygulama programlama arayüzü kütüphanesinden yararlanılmıştır.

Bu tez kapsamında E43000 tipi lokomotife ait donanım elemanlarından bazıları gerçeğiyle aynı veya benzer görünümde bazıları ise sanal olarak gerçekleştirilmiştir.

IMPLEMENTATION OF A TRAIN SIMULATOR BY USE OF CAN PROTOCOL

Fatih YARDIM

Keywords: Train simulator, training simulator, CAN protocol

Abstract: Controller Area Network (CAN) communication protocol is used to provide fast and effective data transmission in a communication network which is a type of bus topology having a great number of components. The communication is achieved via CSMA/CA facility based on three main principles: carrier sense, multiple access and collision avoidance. While the bus is idle, all the nodes have the opportunity to access the network at the same time. While multiple nodes are transmitting a message on the bus, the one having the message with the lowest ID number has a higher priority. Transmission is more immune to noise since differential lines employed in network hardware and thus, it is convenient to send messages to very long distances.

In this thesis work, CAN communication protocol is employed to communicate the nodes belonging to the units of a train simulator hardware. The communication is performed at the highest possible baud rate and an API (Application Programming Interface) library special to the device used for communication is utilized as a driver interface software.

In the content of this thesis work, some hardware components belonging to an E43000 type locomotive are used originally or similarly with their actual ones while some are created as virtual components shown on the GUI (Graphical User Interface).

1. GİRİŞ

Simülatör herhangi bir fiziksel sistemin davranışının, önemli niteliklerinin gerçeğiyle benzer biçimde yazılımsal, donanımsal ve grafiksel olarak gerçekleştiren aygıttır. Bugün eğlence dünyasında kendine hatırı sayılır biçimde yer bulmuş bilgisayar oyunları, elektrik devrelerinin, mekanik ve ısıl sistemlerin analizini sağlayan programlar birer simülatör örneğidir. Bunun yanında günümüzde artık cihazların ve sistemlerin çalışmasını esas alan eğitim simülatörleri de yaygınlaşmaktadır.

Günümüzde daha nitelikli eleman yetiştirilmesi için kaçınılmaz olduğu düşünülen eğitim simülatörleri son yıllarda gelişen teknolojiyle birlikte büyük bir ivme kazandı. Bugün her alanda eğitim simülatörü örnekleri görmek mümkün olmakla beraber gün geçtikçe gelişen bilgi teknolojileri ve artan rekabetçi araştırma, geliştirme ve üretim gücü ile bu örneklerin daha modern ve daha yeteneklisini görmek de mümkündür.

1.1. Simülatör Örnekleri

Eğitim simülatörleri bugün eğitimden tıpa, savunma endüstrisinden taşıt kullanımına kadar birçok alanda kendine yer edinmiştir. Bu simülatörlerden belli başlıcaları şunlardır:

Öğretmen Simülatörleri: Bu simülatörde öğretmenler, sınıf yönetimi ve öğretim teknikleri konusunda sanal öğrenciler üzerinde pratik yaparlar. Böylece işi işte öğrenme felsefesinin getireceği problemleri de en aza indirgemiş olurlar[1].

Hasta bakım simülatörleri: Sağlık personeli için sanal hastaya tanı konma, tedavisinin yapılması ve tahlil için gerekli işlemlerin yapılmasını sağlayan hasta bakım simülatörleri bulunmaktadır. Bu simülatörler aracılığı ile yanlış tanı konması, yanlış tedavi uygulanması ihtimalleri azaltılmış olur ve aynı zamanda personel bu

işlemlerin yapılması konusunda pratik ve tecrübe kazanmakla beraber kullanılacak cihazların belirlenmesi ve ustalıkla kullanımı konusunda da eğitilmiş olur[1].

Savunma simülatörleri: Bugün savunma endüstrisi oldukça kapsamlı ve kabiliyetli simülatörlerin şiddetle gereksinim duyulduğu bir alandır. Savunma araçlarının kullanımı konusunda nitelikli teknik eleman yetiştirmeyi amaçlayan savunma sektöründe yaygın olarak kullanılan simülatörler arasında uçak simülatörleri ilk sırada gelir. Uçak simülatörleri (Şekil 1.1) özellikle savaş uçakları için yaygın olarak bulunur ve her uçak tipi için farklıdır. Savaş uçakları ile pilot adayının senaryodan verilen herhangi bir tehdide karşı uygulanacak karşı tedbirin belirlenmesi ve kullanımı, radar ikaz alıcıları ve füze ikaz sistemi aracılığı ile tehditlerin saptanması, yakıt ikmalinden hemen önce mühimmatların boşaltılması gibi işlemler karşısında vereceği tepkiler ölçülür. Bunun yanında savunma endüstrisinde denizaltı taktik simülatörleri, askeri kara araçları için gerekli simülatörler, atış eğitim simülatörleri gibi simülatörler en çok ihtiyaç duyulan simülatörler arasındadır.



Şekil 1.1: F-16 savaş uçağı simülatörü [2]

Ulaşım simülatörleri: Bugün sürücü kurslarında sürücü eğitimi için kullanılan araç simülatörleri (Şekil 1.2) ve demiryolu ulaşımını sağlamak amacıyla makinist eğitiminde kullanılan tren simülatörleri mevcuttur. Bu simülatörlerde yolculuk yapılacak güzergah ve sistemin ilk durum parametreleri senaryo tarafından belirlenir ve simülasyon başlatılır. Mevcut durumlar göstergeler, lambalar ve sesli uyarı

elemanlarıyla gösterilir. Simülasyon esnasında öğrencinin trafik kurallarına uyma, arıza durumunda yapılması gereken işlemleri yapması gibi davranışları değerlendirilir.



Şekil 1.2: Sürücü eğitiminde kullanılan bir araç simülatörü [3]

1.2. Bilimsel Çalışmalar

Günümüzde simülatörlerin geliştirilmesi konusunda bilimsel çalışmalar yapılmış, hem donanım hem de yazılım alanındaki teknolojik gelişmelerden yararlanarak yeni simülatör tasarımları ortaya konmuştur. Bu bölümde simülatör donanım tasarımı ile ilgili yapılan çalışmaları ele alacağız.

Simülatörler donanım döngü simülatörleri ve insan döngü simülatörleri olmak üzere iki başlık altında incelenebilir.

Donanım döngü (hardware-in-the-loop) simülatörleri [4-14] geliştirilmiş bir sistemi veya sistemin bir parçasını test etmek amacıyla kullanılır. Böylelikle ilgili parça veya sistem kullanılmaya başlanmadan önce test edilerek tüm davranışları sorgulanmış olur. Bunun gerçekleştirilmesi için sistemin veya parçanın çıkış parametreleri ölçülerek simülatör bilgisayarına geri beslenir. Bu veriler matematiksel modellerin

çalıştırıldığı simülatör bilgisayarında işlenerek ilgili kontrol parametresi güncellenir. Bu durum çevrimsel olarak çıkış parametresinin ölçülüp kontrol parametresinin yeni değerinin belirlenmesiyle devam eder. Otomotivde kullanılan motor kontrol ünitelerini test eden simülatörler, insansız hava aracı simülatörleri ve roket simülatörleri bu simülatör tipindendir.

İnsan döngü (man-in-the-loop) simülatörleri [15-16] ise daha çok eğitim simülatörü niteliğindedir. İnsan hareketine bağlı olarak değiştirilebilecek girdi kaynaklarından gelen verilere göre işlem yaparlar. Yapılan işlemler sonucunda çıkış parametrelerinin yeni değerleri belirlenir. Taşıt eğitim simülatörleri, savunma endüstrisinde kullanılan simülatörler, uçuş simülatörleri, denizaltı ve tren simülatörleri bunlara örnek olarak verilebilir.

Hem donanım döngü hem de insan döngü simülatörlerinde simülatör donanımına ait elemanların kontrolü ve simülatör bilgisayarı ile haberleşmesi çeşitli haberleşme protokolleri ile gerçekleştirilir. Bu protokoller genelde genel amaçlı bilgisayar ya da üstün nitelikli bir gömülü denetleyicinin daha basit seviyede çok sayıda mikrodenetleyiciyle haberleşmesine imkan verecek nitelikte olmaktadır. Bu nedenle TCP (Transmission Control Protocol) ve USB (Universal Serial Bus) protokollerine göre daha düşük hızda haberleşme sağlamaktadır. Bu tür haberleşmeler çoğunlukla veri yolu topolojisine dayanan protokoller ile gerçekleştirilmektedir. Bunun sebebi donanımın daha basit olması ve verinin ara düğüme ihtiyaç duyulmadan doğrudan hedeflenen düğüme iletilmesidir. Böylelikle daha etkili bir haberleşme sağlanır.

Kullanılan veri yolu haberleşme protokolleri genellikle SPI (Serial Peripheral Interface), I^2C (Inter Integrated Circuit), RS 485 ve CAN olmaktadır. Bu haberleşme protokollerinin nicelikleri Tablo 1.1'de verilmektedir.

Tablo 1.1: Haberleşme Protokolleri Özellikleri

Protokol Adı	**Azami Hız (Mbit/s)**	**Çarpışma Algılama**	**Ağ Yöneticisi**	**Gürültüye Karşı Bağışıklık**
RS 485	1	-	+	+
CAN	1	+	-	+
SPI	10	-	+	-
I^2C	3.4	+	+	-

Yukarıdaki tabloyu kullanarak karşılaştırma yapıldığında aşağıdaki bulgular elde edilmektedir.

- SPI ve I^2C protokolleri CAN ve RS485'e oranla daha yüksek hızlara çıkabilmektedir. Bu yüzden hız gerektiren uygulamalarda tercih edilebilir.
- CAN ve RS485 protokolleri çift hat üzerinden fark gerilimi değerine göre iletim yapar. Bu da gürültüye karşı bağışıklığı artırır. Böylelikle SPI ve I^2C protokollerine göre daha uzak mesafelere iletim yapabilirler.
- CAN ve I^2C protokolleri veri yolu hattında birden fazla düğüm iletim yaparken çarpışma algılama özelliğine sahiptir. Fakat RS485 ve SPI protokollerinin böyle bir özelliği yoktur.
- SPI, I^2C ve RS485 protokolleri ağ yönetimi için bir ağ yöneticine ihtiyaç duyar. Öte yandan CAN protokolünde ise ağ yöneticisine gerek yoktur. Mesaj iletimi mesaj kimlik numarasındaki önceliğe göre belirlenir.

Elde edilen tüm bulgular değerlendirildiğinde CAN haberleşme protokolü hem çarpışma algılama, hem daha uzak mesafelere daha yüksek hızlarda veri iletme mümkün olduğundan diğer protokollere göre daha avantajlıdır. Simülatör alanında yapılan bilimsel çalışmalar [4-16] da genellikle bu protokolü kullanmayı tercih etmektedir.

RS485 protokolüne yer veren bir başka çalışma [17] bir PC üzerinden çok sayıda adım motoru kontrolünü ele almaktadır. Bu çalışma bir simülatör donanımına ait ibreli göstergeleri süren adım motorlarının kontrolünü gerçekleştirir. Bu tasarımda simülatör donanımı ile haberleşme bir Merkezi İşlem Birimi tarafından RS485 protokolü ile gerçekleştirilir. Bu çalışmada kullanılan RS485 protokolü küçük ölçekli simülatör donanımlarında yaygın olarak kullanılabilir. Bir ağ yöneticisi gerektirdiğinden CAN haberleşme protokolüne göre avantaj sağlayabilir nitelikte değildir.

1.3. Çalışmanın Amacı ve İçeriği

Simülatör dünyasında hem donanım hem de yazılım alanında meydana gelen teknolojik gelişmelerden yola çıkarak E43000 tipi tren lokomotiflerinin

simülatöründe kullanılmak üzere simülatör donanımının CAN haberleşme ağı aracılığıyla kontrol edilmesini amaçlayan bu tez çalışmasının bölümleri ve içeriği aşağıda verilmektedir.

1. bölüm simülatör tanımı, günümüzdeki uygulamaları ve simülatör dünyasındaki akademik çalışmalar hakkında bilgi veren literatür taramasından oluşur. 2. bölüm tez çalışmasına konu olan E43000 tipi tren lokomotif simülatörünün bölümleri ve trenin çalışmasına ve lokomotif içindeki elektrikli elemanların işlevlerini içerir. 3. bölüm sistem tasarımı ve kullanılacak olan makinist kabini elemanları ile bunların işlevlerini ele alır. 4. bölümde simülatöre ait donanım ve yazılım bileşenlerinin tasarımı hakkında bilgi verilmektedir. 5. bölüm tren simülatörüyle ilgili olarak yapılan işlevsel testlerde elde edilen test sonuçlarını gösterir. 6. bölümde genel olarak bir özetleme, yapılan çalışmanın yararlılığı ve yapılan çalışmaya ileride ek olarak neler yapılabileceği incelenmektedir.

2. TREN KAVRAMLARI VE SİMÜLATÖRÜN YAPISI

Bu bölümde yapılacak çalışmaya konu olan sistemin tasarımını gerçekleştirmeden önce simülatörü yapılan gerçek sisteme ait temel kavramlar verilecek ve bir tren simülatörün yapısı açıklanacaktır.

2.1. Tren Kavramları

Bu bölümde çalışmada sıklıkla kullanılacak terimlerin tanımı ve açıklaması yapılacak, lokomotifin önemli elemanlarına, servise hazırlanmasına ve totman sistemine değinilecektir.

Burada sözü edilen çalışma ilkeleri ve terimler E43000 tipi lokomotifler için verilmekte olup birçok lokomotif ile benzerlik göstermektedir.

2.1.1. Lokomotif elemanları

Bu kısımda yapılan çalışma kapsamında kullanılacak olan lokomotif elemanlarından söz edilecektir. Bu elemanlardan makinist kabini elemanları gerçeğiyle aynı veya benzer görünümde olup trenin elektrik sisteminin kontrolünü sağlayan bazı şalter ve anahtarlardan oluşmaktadır. Lokomotif üzerinde bulunan kontrol dolaplarındaki şalter ve otomatlar ise sanal olarak temsil edilmektedir. Yapılan çalışmada gerçekleştirilen makinist kabini elemanları ve sanal elemanların tanımı ve işlevleri aşağıda verilmektedir.

2.1.1.1. Sanal elemanlar [19]

Batarya şalteri: Lokomotifin elektrik sisteminin enerjilendirilmesi için gerekli olan kontrol elemanlarının devreye girmesini sağlayan şalterdir. Bu şalter devrede değil ise lokomotif hiçbir zaman enerjilendirilemez. Ayrıca batarya voltajının da kontrol

elemanlarının işlevlerini yapabilmesi için belli bir seviyenin üzerinde olması gerekir. Sistem enerjilendirildikten sonra şalterin devreden çıkması elektrik sisteminde herhangi bir değişikliğe neden olmaz.

Cer grup 1 iptal şalteri: Trenin hareketini sağlayan 2 grup çekiş motorundan 1. grubun iptalini sağlar. Bu durumda tren harekete yalnızca diğer grup motorlarıyla devam eder.

İşletme anahtarı: Lokomotifin kullanılabilmesini sağlayan anahtardır. Lokomotif enerjilendirilmeden önce devreye alınması gerekir. Aksi takdirde lokomotif enerjilendirilemez.

Batarya şarj giriş şalteri: Yardımcı alternatör tarafından sağlanan alternatif gerilimin doğrultulmadan önce aşırı akım veya kısa devre durumuna göre devreyi kesen şalterdir. Şalter attırıldığında batarya şarj olamaz.

Batarya şarj iptal şalteri: Batarya şarj regülatöründen bataryaya giden hat üzerinde bulunur. Aşırı akım veya kısa devre durumunda atarak batarya şarjını engeller.

2.1.1.2. Makinist kabini elemanları [18-19]

Hızlandırma kolu: Hızlandırma kolu kapalı, S ve 1-14 hız kademeleri olmak üzere toplam 16 kademeden oluşur. Hızlandırma kolu kapalı olduğu zaman hem cer motorlarını besleyen ana konvertörde tristör tetiklemesi olmaz, hem de cer motorlarına enerji akışını sağlayan hızlı devre kesiciler devrede değildir. S konumunda olduğu zaman hızlı devre kesiciler devreye girer, fakat ana konvertörde tristör tetiklemesi olmaz. 1-14 hız kademelerinde ise cer motorlarının voltajı kademeli olarak yükseltilir. Böylelikle daha yüksek tork elde edilir. Bu da cer motorlarının ve dolayısıyla trenin hızlanmasını sağlar.

Dinamik fren kolu: Kapalı ve 1-10 fren kademeleri olmak üzere toplam 11 kademeden oluşur. Kapalı durumunda işlevsizdir. 1-10 fren kademelerine hareket ettirilebilmesi için hızlandırma kolunun kapalı durumunda olması gerekir. Bu

kademeler dinamik fren şiddetini belirler ve cer motorları elektriksel olarak frenlenir. Dinamik fren etkin olduğunda cer motor hızlı devre kesicileri devre dışıdır.

Makinist musluğu: Tren dizisine hava freni yaptırır ve yapılan freni çözmeyi sağlar. Seri tahliye, kademeli tahliye, yol, kademeli fren ve seri fren olmak üzere 5 konumu vardır. Seri tahliye ve kademeli tahliye durumları yapılan freni çözmeyi sağlar. Seri tahliye durumunda hızlı çözme mevcut iken kademeli tahliyede yavaş çözme olmaktadır. Yol durumunda iken fren silindirlerine hava doldurulması ve fren silindirlerinden hava tahliye edilmesi iptal edilir. Böylelikle uygulanan fren kuvveti sabit kalır. Tren herhangi bir hızda seyir halinde iken makinist musluğu bu konumdadır. Kademeli fren ve seri fren durumları ise fren yapmayı sağlar. Kademeli fren durumunda yapılan fren şiddeti musluk bu pozisyonda tutuldukça yavaş yavaş artar. Seri fren durumunda ise ani fren yaptırılır ve fren silindirleri çok hızlı dolar. Frenin çözülmesi için tahliye yapılması gerekir.

İmdat butonu: Önemli bir arıza ile karşılaşıldığında treni acilen durdurmak için kullanılır. Lokomotifin elektrik enerjisini keserek seri fren yapılmasını sağlar.

PT çıtçıt anahtarı: Şebekeden elektrik enerjisini almayı sağlayan ve pantograf adı verilen iletkenin şebekeye bağlanmasını sağlayan anahtardır. Ayrıca trenin hareketi tamamlandığında lokomotifin tamamen hattan ayrılmasını da sağlar.

DJ çıtçıt anahtarı: Elektrik enerjisinin lokomotifin elektrik sistemine iletilmesini sağlayan ve disjonktör adı verilen devre kesicinin tutturulmasını sağlar ve bazı emniyet durumlarında lokomotifin elektrik enerjisini kesmek gerektiğinde ya da tren hareketi tamamlandığında elektrik enerjisinin kesilmesini sağlar.

Totman pedalı: Makinistin ölme, bayılma, hastalık gibi durumlarında bulunmadığını göstermek için makinist tarafından tetiklenmesi gereken pedaldır. Belli bir zaman diliminde basılmazsa lokomotifin elektrik enerjisini kesip seri frene geçerek durmasına yol açar.

Elektronik şalter: Elektronik kontrol devrelerinin enerjilenmesini sağlar. Devrede değil iken elektrik sisteminin enerjisinin kesilmesini sağlar.

Hat voltajı göstergesi: Hattan çekilen voltajın değerini gösterir. 0-30 kV aralığındadır. Pantograf inikken indüklenmeden dolayı 3 kV, bazı arızalarda ise 0 kV gösterir.

Cer grup 1 akımı göstergesi: 1. Grup cer motorlarından 2 numaralı motorun çektiği akımı gösterir. 0-1500 A aralığındadır. 2 numaralı motor çalışmıyor, fakat gruptaki diğer motorlar çalışıyorsa dahi ampermetre 0 değeri gösterir.

Batarya voltajı göstergesi: Batarya voltajını gösterir. 0-150 V aralığındadır. Batarya şalteri devrede değil ise gösterge 0 değeri gösterir.

Tren hızı göstergesi: Tren hızını gösterir. 0-150 km/h aralığındadır. Takometre şalteri devrede değil ise gösterge 0 değerini gösterir.

DJ açık lambası: Yeşil renklidir, lamba yanıyorsa DJ'in tutuk olmadığını veya DJ çözdüren emniyet devrelerinden birinin görev yaparak DJ çözdürdüğünü gösterir, lamba yanıyorsa arıza devam ediyordur.

Arıza lambası: Kırmızı renklidir, flaşör şeklinde yanıp söner.

İhbar lambası: Turuncu renklidir. Cer motorlarının (endüvi veya uyarı sargısı) aşırı akım çekmesi, ana transformatör veya ana konvertör hararetlerinde flaşör şeklinde yanar.

Patinaj ihbar lambası: Sarı renklidir. Cer motorları arasındaki kızaklama veya patinajdan kaynaklanan devir farkından dolayı yanar. Kademe düşürülünce veya hızlandırma kolu kapatılınca söner.

Tren ısıtma lambası: Tren ısıtma sigortasının durumunu bildirir. Sigorta devreye konduğunda yanar. Isıtma (sofaj) butonuna basıldığında sofaj verilir ve lamba söner.

Hat voltajı lambası: Hat voltajının 19-30 kV aralığının dışına çıkması durumunda yanar.

Ana transformatör lambası: Ana transformatörün aşırı ısınması veya transformatörde herhangi bir arıza olması durumunda yanar.

Ana konvertör lambası: Ana konvertörün aşırı ısınması veya ana konvertör ile ilgili herhangi bir arıza olması durumunda yanar.

HDK (Hızlı devre kesici) 1-2 lambaları: 1. grup çekiş motorları devre dışı kaldığında HDK1, 2. Grup çekiş motorları devre dışı kaldığında HDK2 lambaları yanar.

Cer motor aşırı yük 1-6 lambaları: İlgili çekiş motorunun endüvi veya alan sargısından aşırı akım çekilmesi durumunda yanar.

Elektronik kontrol lambası: Elektronik kartlarda bir arıza meydana geldiğinde yanar.

Güç faktörü düzeltme lambası: Güç Faktörü Düzeltme devresinde aşırı akım olması durumunda yanar.

Elektriki fren lambası: Dinamik fren devresinde arıza olması durumunda yanar.

Ana dirençler lambası: Dinamik fren dirençlerinde aşırı akım olması veya dinamik fren vantilatörlerinin çalışmaması sonucunda yanan lambadır.

Yardımcı güç kaynağı lambası: Faz konvertörünün veya faz konvertörüne bağlı yardımcı alternatörün çalışmaması durumunda yanan lambadır.

Üfürücü lambası: 1. veya 2. grup çekiş motor vantilatörlerinin çalışmaması durumunda yanan lambadır.

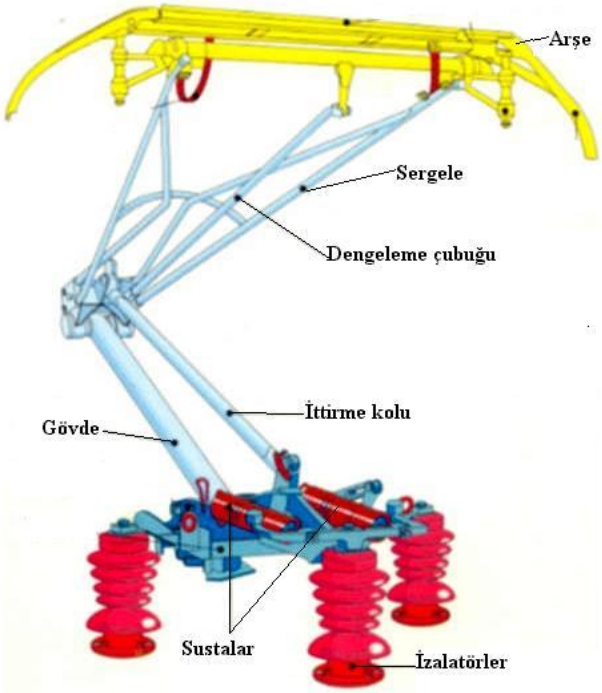
2.1.2. Lokomotifin servise hazırlanması [18-19]

Lokomotifin çalışması için gerekli olan ilk enerji bataryadan sağlanır. Batarya anma (rated) gerilimi 110 V'tur. Batarya şarj regülatörü ile batarya gerilimi bu değere sınırlanır. 95 V değerinin altında batarya işlevsizdir. Lokomotifin kontrolünü sağlayan ikaz ve korumaya ilişkin elektronik teçhizatın çalışması batarya üzerinden sağlanır. Bunun gerçekleştirilebilmesi için batarya şalterinin devrede olması gerekir.

Lokomotifin elektrik sisteminin enerjilendirilip harekete hazır hale getirilmesi sıcağa alma, hareketin durdurulup elektrik sisteminin enerjisinin kesilmesi ve şebekeden ayrılması soğuk yapma işlemi olarak adlandırılır. Sıcağa alma işlemi hat voltajının (Tablo 2.1) alınıp trenin hareketini sağlayacak elemanlara kusursuz olarak iletilmesidir. Hattan enerjinin alınması için pantografın (Şekil 2.1) hatta değdirilmesi gerekir. Pantograf aracılığıyla hattan alınan enerji disjonktör (Şekil 2.2) adı verilen bir vakumlu devre kesiciye iletilir. Disjonktör lokomotifin tüm elektrik sistemini enerjilendirir ve emniyet devrelerini korur. Pantografın kaldırılması ve disjonktörün tutturulmasıyla lokomotif sıcağa alınmış olur. Böylelikle hat enerjisi lokomotif elektrik sistemine (Şekil 2.3) aktarılmış olur.

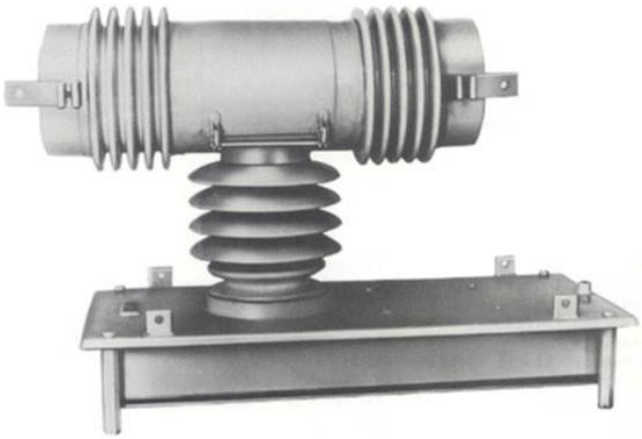
Tablo 2.1: Hat voltajı nicelikleri [19]

Nominal Gerilim	25 kV
Asgari Çalışma	19 kV
Azami Çalışma	30 kV
Frekans	50 Hz. ± %2
Faz Sayısı	1

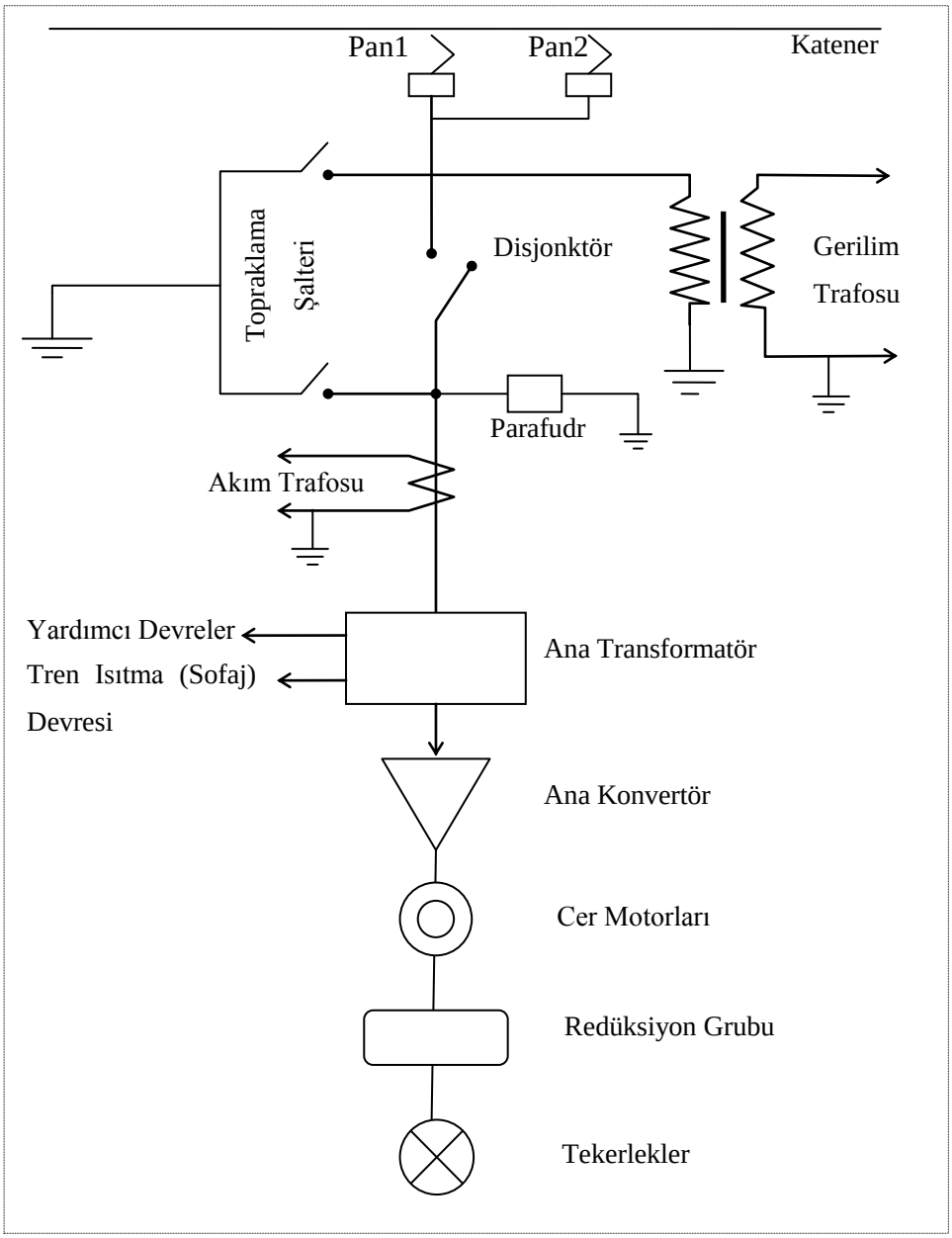


Şekil 2.1: Pantografın görünümü ve yapısı [19]

Pantografın kaldırılabilmesi bir dizi şartın gerçekleşmesine bağlıdır. Bu şartlar sağlandıktan sonra PT (pantograf) çıtçıt anahtarı ile pantografın kaldırılması sağlanır. Disjonktörün tutturulması ise öncelikle pantografın kaldırılmasına bağlıdır. Disjonktörün tutturulmasını sağlayan bir dizi işlem gerçekleştirildikten sonra DJ (disjonktör) çıtçıt anahtarı ile disjonktörün tutturulması sağlanır. Disjonktörün tutturulmasıyla lokomotif üzerinde bulunan ana transformatör enerjilendirilmiş olur. Bu transformatör lokomotifin tüm elektrikli devre elemanları için gerekli olan elektrik enerjisini sağlar.


Şekil 2.2: Disjonktör vakumlu devre kesicisi [19]

Hızlandırma kolunun kapalı konumdan herhangi bir hız kademesine getirilmesiyle cer motorları enerjilendirilerek tren hareket ettirilir. Cer motorları 2 grup olup her grupta 3 adet olmak üzere toplam 6 adettir. Her biri 900 V DC ile çalışır ve 530 kW anma gücüne sahiptir. Herhangi birinde aşırı akım veya kısa devre olması durumunda koruma devresinde bulunan hızlı devre kesicilerin çözmesiyle enerjisi kesilebilir. Arızanın olması durumunda arızalı motor tespit edilip gerek tek tek gerekse grup halinde iptal edilebilir.



Şekil 2.3: E43000 tipi lokomotifin elektrik sistemi [19]

2.1.3. Totman sistemi [18]

Lokomotifi kullanan makinist ve yardımcı makinistin yolculuk esnasında rahatsızlanması, ölmesi, kabini terk etmesi gibi durumlarda treni durduran sistemdir.

Totman devresi 5 km/h hızın üzerinde çalışır. Bu hızın altında totman sistemi işlevsizdir. Seyir halindeki trenin totmana kaçmaması için;

1- Makinist veya yardımcı makinist tarafındaki totman pedallarından birisine basıp bırakmak
2- Hızlandırma kolunu ileri-geri hareket ettirmek
3- Dinamik fren kolunu ileri-geri hareket ettirmek
4- Makinist musluğunu kullanmak

Makinist her 5 saniye içerisinde bir bu işlemlerden herhangi birini yapmazsa totman sistemi devreye girerek önce makinisti sesli ihbar vermek suretiyle uyarır. Makinist bu uyarıdan sonra 10 saniye içerisinde totmana kumanda etmezse lokomotif totmana kaçar. Bu aşamada gerçekleşen olaylar aşağıda verilmektedir.

1- Totman ile ilgili sesli ihbar sürekli çalmaya devam eder.
2- Tren seri frene geçer.
3- Disjonktör çözer.
4- Pantograf iner.
5- Kırmızı renkli "ARIZA" ihbar lambası yanıp sönmeye başlar.

Lokomotifin totmandan kurtarılması için;

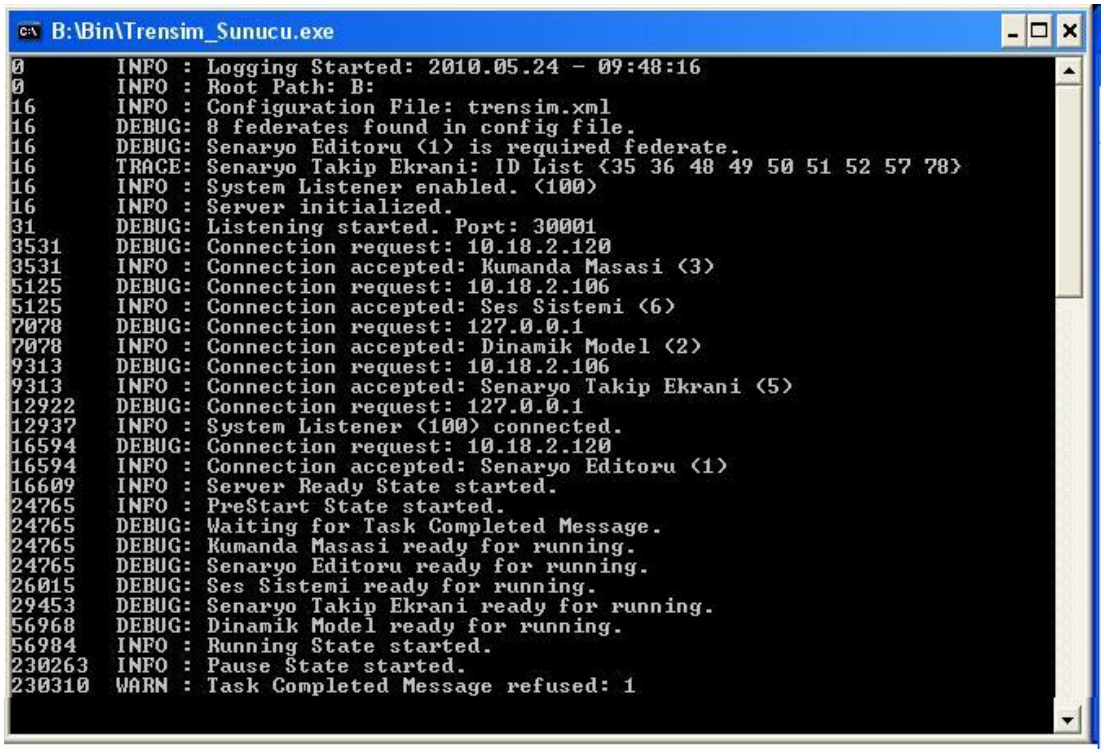
1- Lokomotifin tamamen durması beklenir.
2- Lokomotif tamamen durunca makinist musluğu seri fren ve totmandan kurtarma pozisyonuna getirilir. Böylece lokomotif tutmandan kurtarılmış olur. Daha sonra lokomotife hazırlama işlemi uygulanır.

Ayrıca lokomotifin teknik özelliklerine göre azami hızla seyrederken dinamik fren kullanılacak olursa veya gerektiğinde makinist kürsüsü üzerinde bulunan imdat butonunu kullandığımızda da lokomotif totmana kaçmış işlemi yapacaktır.

2.2. Tren Simülatörünün Bölümleri

Tren simülatöründe yıldız ağ topolojisine göre birbirine yerel ağ bağlantısıyla bağlanmış çok sayıda birim bulunur. Bu yapıda bir ağ yöneticisi bulunur. Diğer birimler birbirleriyle bu yönetici üzerinden haberleşirler. Haberleşme arabirimi olarak genellikle TCP (Transmission Control Protocol) kullanılır.

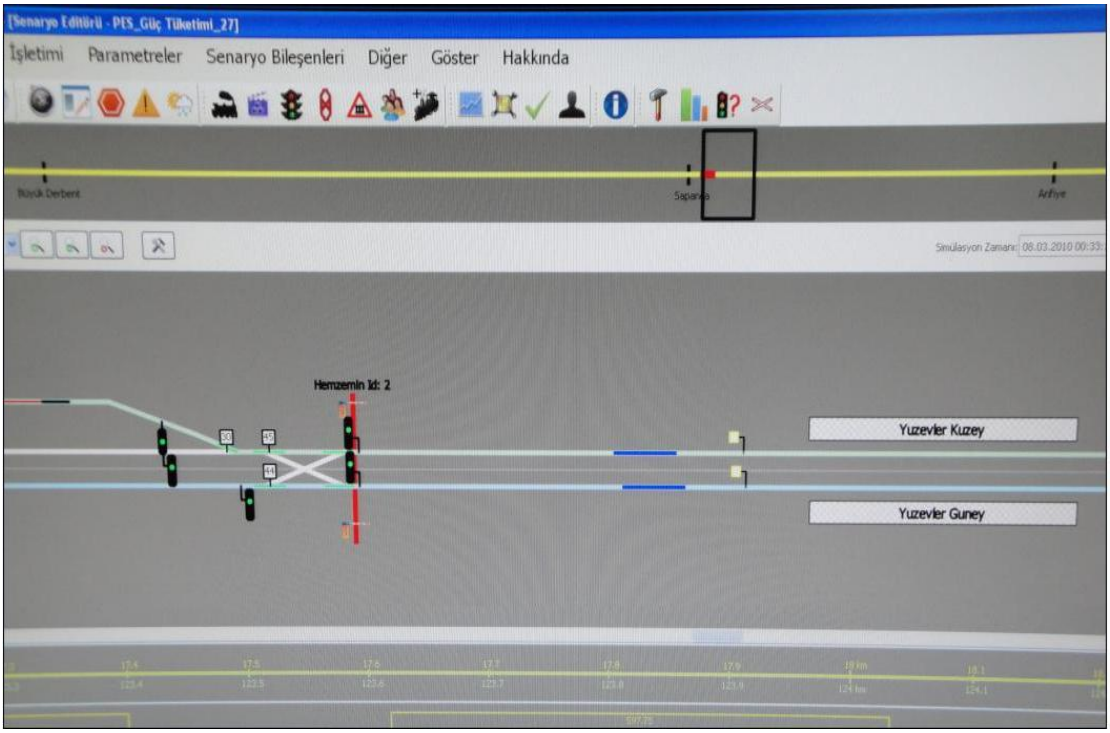
Benzetim motoru: Haberleşme ağ yöneticisi durumundadır ve bir PC üzerinde çalışır (Şekil 2.4). Herhangi bir birimden gelen bağlantı isteklerini kabul eder, bu birimlerden TCP üzerinden gönderilen mesajı alır ve bu mesajı iletilecek birime veya birimlere gönderir.



Şekil 2.4: Benzetim motorunun görünümü

Senaryo editörü: Senaryonun hazırlandığı, parametrelerin ilk değerlerinin atandığı, arıza durumlarının ortam hava ve yol durumlarının, ortamdaki nüfus yoğunluğunun

güncellendiği birimdir (Şekil 2.5). Simülasyon başlamadan önce eğitmen tarafından girilen parametre değerlerine göre senaryo dosyası oluşturur. Diğer birimler simülasyonda kullanacağı ilk değerleri bu dosyayı okuyarak alırlar. Ortam hava ve yol durumu, nüfus yoğunluğu, arıza durumlarının güncellenmesi ise eğitmen tarafından simülasyon esnasında yapılır. Güncellenen durumlar TCP mesajı ile ilgili birimlere gönderilir.



Şekil 2.5: Senaryo editörü

Görsel sistem: Simülatör ekranı (Şekil 2.6) olarak da adlandırılır. Senaryodan gelen ilk durum parametreleri ve daha sonra güncellenen değerlere göre, ortam şartları, nüfus yoğunluğu, sanal tren görünümü gibi parametrelerin değişiminin gösterildiği birimdir.



Şekil 2.6: Görsel sistem

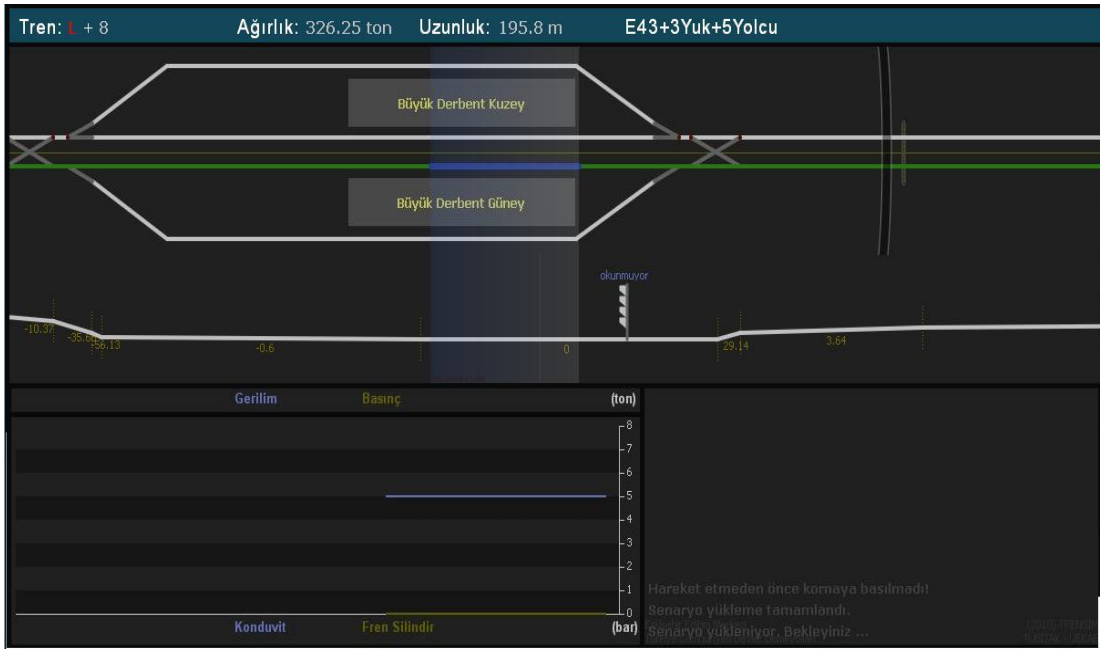
Ses sistemi: Simülasyon esnasında tren üzerinde çalışan motorların, arıza durumunda duyulan seslerin, uyarı elemanlarının çıkardığı seslerin ve ortam seslerinin üretildiği birimdir. Diğer birimlerden TCP üzerinden gönderilen mesajların durumuna göre işlem yapar.

Kumanda masası ekranı: Lokomotif üzerinde bulunan makinist kabinindeki donanım elemanlarının anlık durumlarının ve değişimlerinin eğitmen tarafından görüldüğü birimdir (Şekil 2.7). Diğer birimlerden TCP üzerinden gönderilen mesajların durumuna göre işlem yapar.



Şekil 2.7: Kumanda masası ekranı

Senaryo Takip Ekranı: Trenin güzergâh üzerinde ilerleyişini gösteren birimdir (Şekil 2.8). İlgili birimlerden konum, yol ve zemin karakteristiklerini TCP üzerinden mesajla alır ve bu mesajların durumuna göre trenin izlediği yolu ekranda kuşbakışı gösterir. Hem öğrencinin hem de eğitmenin olduğu tarafta bulunur.



Şekil 2.8: Senaryo takip ekranı

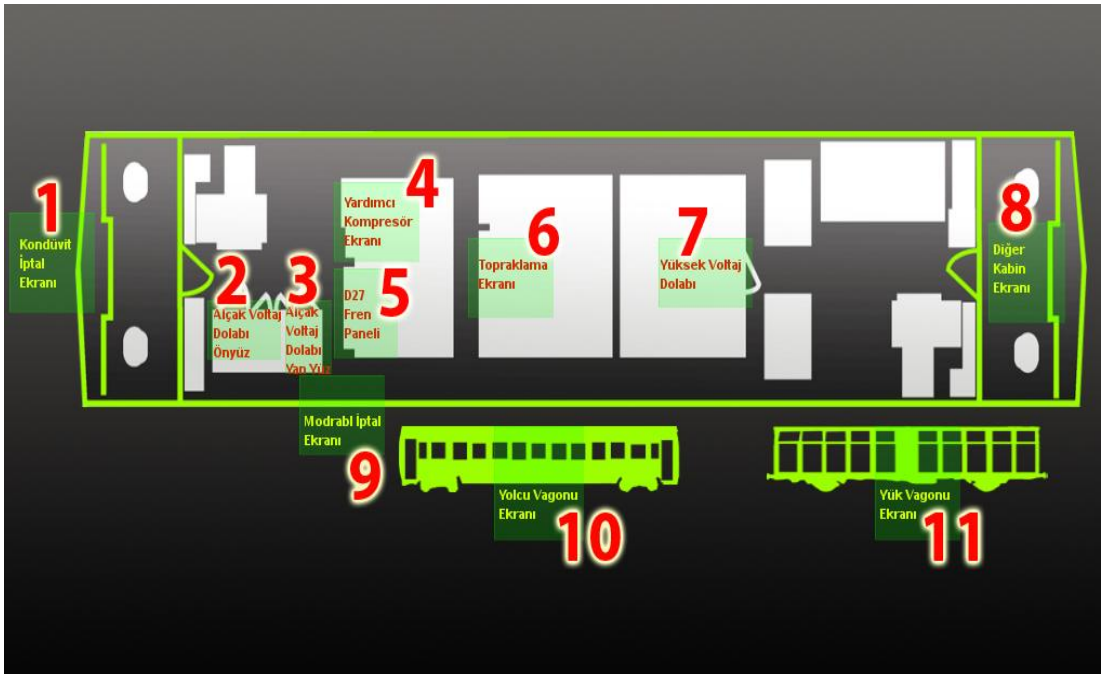
Dinamik Model: Donanım biriminden gelen girdi kaynaklarının değişimine göre trenin hız, ivme, alınan yol, lokomotif üzerinde bulunan pnömatik sistemin basınç

değerlerini, cer motorlarının çektiği akım, tren dizisinin şebekeden çektiği akım ve toplam tüketilen enerji gibi parametrelerin değerini günceller. TCP mesajı ile bu bilgileri donanım ve diğer ilgili birimlere gönderir.

Donanım: Makinist kabini üzerinde bulunan göstergeler, ikaz lambaları, anahtarlar, kollar, butonlar ile enerji ve kontrol ünitesi üzerinde bulunan şalterler, valfler ve kontrol otomatlarını kontrol eden birimdir. Genel olarak 3 bölümden oluşur.

1) Merkezi Donanım Bilgisayarı: Senaryo Editörü ve Dinamik Modelden aldığı mesajları işleyerek donanım birimindeki diğer alt birimlere ait elemanların durumunu güncelleyerek bir mesaj ile bunu ilgili alt birime gönderir. Diğer alt birimlerden eleman durum değişimlerini mesaj ile alır ve kendi içinde yapacağı işlemlerde elemanın güncel konumunu kullanır. Elemanların durum bilgilerini diğer birimlerin yapacağı işlemlerde kullanması için TCP mesajı ile ilgili birimlere gönderir.

2) Kabin Arıza Ekranı: Enerji ve Kontrol Ünitesi üzerinde bulunan valf, şalter, kontrol otomatı gibi elemanların makinist tarafından değişimini ve Merkezi Donanım Bilgisayarından gelen mesaj ile değişimini gerçekleştirir. Sanal birim (Şekil 2.9) niteliğindedir, bir dokunmatik ekran ve bulundurduğu elemanların resimleri ile kullanıcı arayüzü sağlar. Elemanların durum değişimlerini mesaj ile Merkezi Donanım Bilgisayarına gönderir.



Şekil 2.9: Kabin Arıza Ekranı

3) Makinist Kabini: Lokomotifin makinist kabininde (Şekil 2.10) bulunan göstergeler, ikaz lambaları gibi elemanların Merkezi Donanım Bilgisayarından gelen mesajlara göre güncellenmesini gerçekleştirir. Ayrıca makinist tarafından kol, anahtar, buton gibi elemanlarda yapılan durum değişimini mesaj ile Merkezi Donanım Bilgisayarına bildirir.



Şekil 2.10: Makinist kabini elemanları

Performans ve Değerlendirme Sistemi: Makinistin trafik kurallarına uymasını ve yol, hava şartları, zemin karakteristiğine göre hızını, tüketilen enerjiyi, uyarı elemanlarını kullanmasını, treni hiçbir arıza olmadığında kesintisiz biçimde kullanmasını kontrol eden ve yapmış olduğu eylemlere göre değerlendirme yapıp notlandıran birimdir. Değerlendirme kriterleri olarak kullanacağı parametreleri Donanım, Dinamik Model ve Ses Sistemi birimlerinden mesaj ile alır.

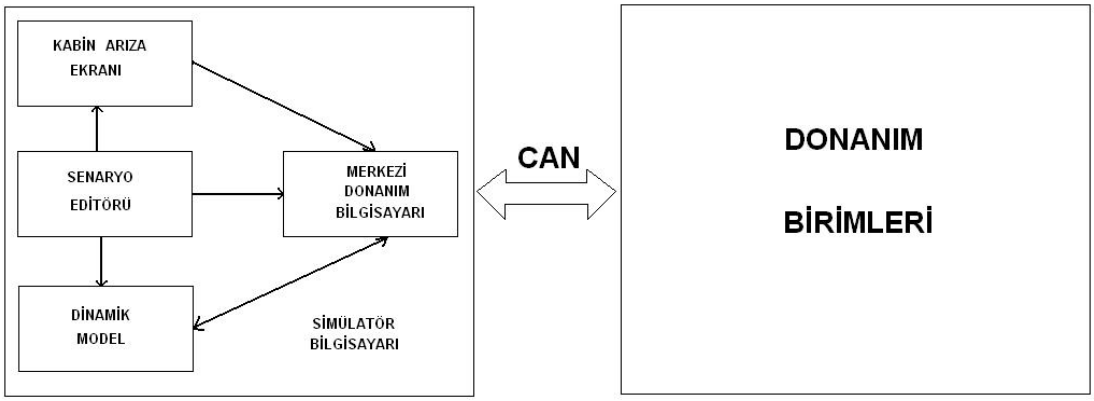
3. SİSTEM TASARIMI

Bu bölümde tez çalışmasına konu olan sistemin tanımı yapılmakta ve sistemi oluşturan öğelerin işlevleri hakkında kısa bilgi verilmektedir. Ayrıca sistemin haberleşme altyapısının gerçekleştirildiği CAN haberleşme protokolünün karakteristiklerine de değinilmektedir.

3.1. Sistem Bileşenleri

Bu bölümde tez çalışmasına konu olan sistemin tasarımı ele alınacaktır. Yapılacak çalışmada amaç simülatörün Donanım, Senaryo Editörü ve Dinamik Modelden gelen değişimlere göre nasıl tepki verdiğini incelemek ve günümüzde yaygın olarak kullanılan CAN haberleşme protokolünün donanım birimlerinin haberleşmesinde kullanılabilirliğini test etmektir.

Yapılan çalışmada Senaryo Editörü, Dinamik Model birimleri ile Donanım biriminde bulunan Merkezi Donanım Bilgisayarı ve Kabin Arıza Ekranı alt birimine ilişkin yapılacak işlemler simülatör bilgisayarı (Şekil 3.1) olarak adlandırılan bir PC üzerinde gerçekleştirilmektedir. Kabin Arıza Ekranı ve Senaryo Editörünün kullandığı elemanlar bir Grafik Kullanıcı Arayüzü aracılığı ile ekranda gösterilir. Dinamik Model ve Merkezi Donanım Bilgisayarı ise donanımda ve grafik kullanıcı arayüzünde meydana gelen değişimlere göre hesaplamış olduğu parametrelerin değerlerini günceller. Merkezi Donanım Bilgisayarı ayrıca donanımda bulunan elemanlar ve PC arasında bir ağ oluşturarak haberleşme trafiğini yönetir.

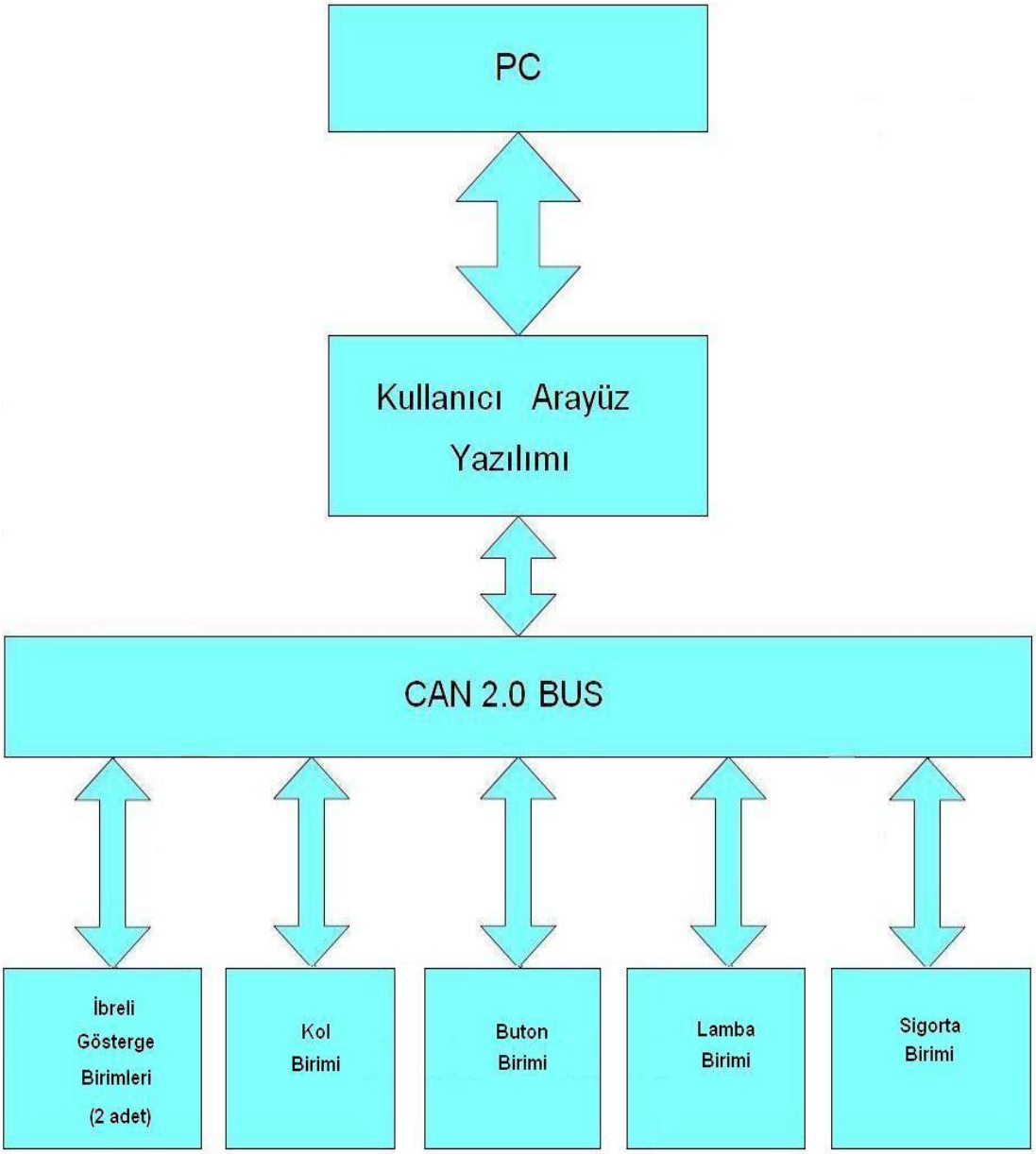


Şekil 3.1: Simülatör bilgisayarı birimleri ve donanım arayüzü

Sistem tasarımı donanım ve yazılım tasarımı olmak üzere iki bölümde incelenir. PC üzerinde bir grafik kullanıcı arayüzü aracılığıyla gerçekleştirilen bölüm yazılım bileşeni olarak adlandırılır. Bu bileşen sistem parametrelerinin ilklendirmesini yapar, donanım birimlerinden aldığı verileri işleyerek parametrelerin güncel değerlerini elde eder. Elde edilen güncel değerleri donanım birimlerine göndererek makinist kabinindeki lambalar ve göstergeler gibi elemanların kontrolünü sağlar. Ayrıca değeri hesaplanmış nicelikleri kullanıcı arayüz ekranında gösterir.

Donanım bileşeni ise makinist kabininde bulunan elemanların (Bölüm 2.2.1) kontrolünü sağlar. Kol, şalter, buton gibi elemanların periyodik olarak konumlarını okur ve CAN haberleşme ağı üzerinden mesaj ile PC'ye bildirir. PC'den gönderilen işlenmiş lamba durumu ve gösterge konumu bilgilerini alıp bu elemanların durumunu günceller.

Donanım ve yazılım bileşenlerinden oluşan sistemin blok şeması Şekil 3.2'de verilmektedir.



Şekil 3.2: Sistem Blok Şeması

3.2. CAN Haberleşme Protokolü

CAN haberleşme protokolü otomobillerde kablo kullanımını ve kablo kullanımından kaynaklanan arızaları ve karmaşıklığı azaltmak amacıyla 1986 yılında Robert BOSCH Ltd. Şti. tarafından geliştirilmiş bir protokoldür. Bugün otomotivin yanı sıra endüstriyel otomasyon, tıbbi cihazlar ve test teçhizatlarında da kullanılmaktadır.

3.2.1. CAN temel özellikleri

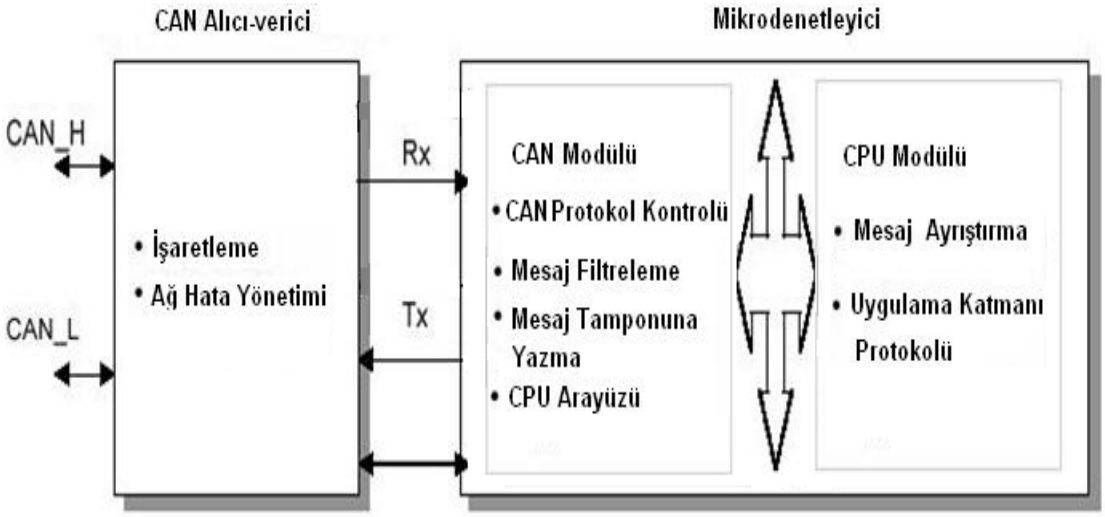
- Ağ topolojisi veri yolu yapısında olup ağa bağlı her düğüm ağa ortak erişim hızına sahiptir.
- Ağa bağlı bulunan her düğüm göndermek istediği mesajı başka herhangi bir düğüme gerek kalmaksızın hedeflediği düğüme gönderebilir.
- Ağa trafiğini yönetmek amacıyla bir ağ yöneticisine ihtiyaç duyulmaz.
- Mesajı ilgili hedefe ulaştırmak için düğüm adresine gerek yoktur. Mesaj numarasına göre alım ve iletim işlemleri yapılır.
- Haberleşme işleminde mesaj iletimi mesaj numarasına göre yapılır. Aynı anda iki düğüm ağa çıktığı anda mesaj numarası küçük olan mesajın önceliği vardır ve daha önce iletilir.
- Yayınlanan bir mesajı birden fazla düğüm alabilir.
- Veri yolu yapısındaki haberleşme hattı diferansiyel olduğundan gürültüye karşı bağışıklık sağlar ve bundan dolayı daha uzak mesafelere veri iletimi yapılabilir.
- Maksimum haberleşme hızı 1 Mbit/s'dir. Bu hızda 40 metre mesafeye kadar iletim yapabilir. Haberleşme hızı düştükçe daha uzak mesafelere veri iletimi yapılabilir.

3.2.2. CAN düğüm karakteristikleri

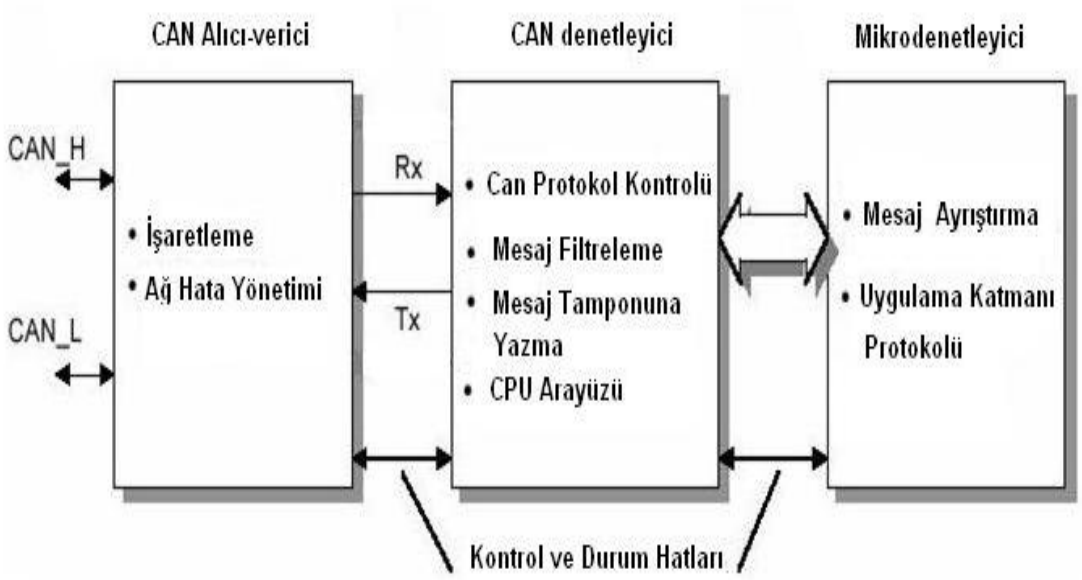
CAN veri yolu topolojisinde haberleşme düğümler arasında gerçekleşir. Bir CAN düğümünü meydana getiren elemanlar aşağıda verilmektedir:

- Mikrodenetleyici
- CAN denetleyicisi
- CAN alıcı vericisi

CAN düğümü CAN denetleyicisi ve mikrodenetleyicinin bir arada bulunduğu tümleşik yapı (Şekil 3.3), her ikisinin de birbirinden ayrı olduğu bağımsız yapı (Şekil 3.4) olarak gerçekleştirilebilir.



Şekil 3.3: CAN Düğümü (Tümleşik yapı) [20]



Şekil 3.4: CAN düğümü (Bağımsız yapı) [20]

3.2.3. CAN ağ karakteristikleri

Bir haberleşme ağı için belirtilen tüm ISO/OSI katmanları en yüksek seviyeden en alçak seviyeye aşağıda listelenmiştir.

- Uygulama
- Sunum
- Oturum
- Taşıma
- Ağ

- Veri Bağı Katmanı
- Fiziksel Katman

CAN Bus haberleşme protokolü bu katmanlardan yalnızca veri bağı katmanı, fiziksel katman ve uygulama katmanını belirler. Fiziksel katman ve veri bağı katmanında sırasıyla aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir:

Fiziksel katman: Bit zamanlama, bit kodlama, senkronizasyon gibi işlemlerin yapıldığı kısımdır. Bu katmanda ayrıca maksimum ağ haberleşme hızı, ağ donanımı ve sinyal seviyeleri belirlenir.

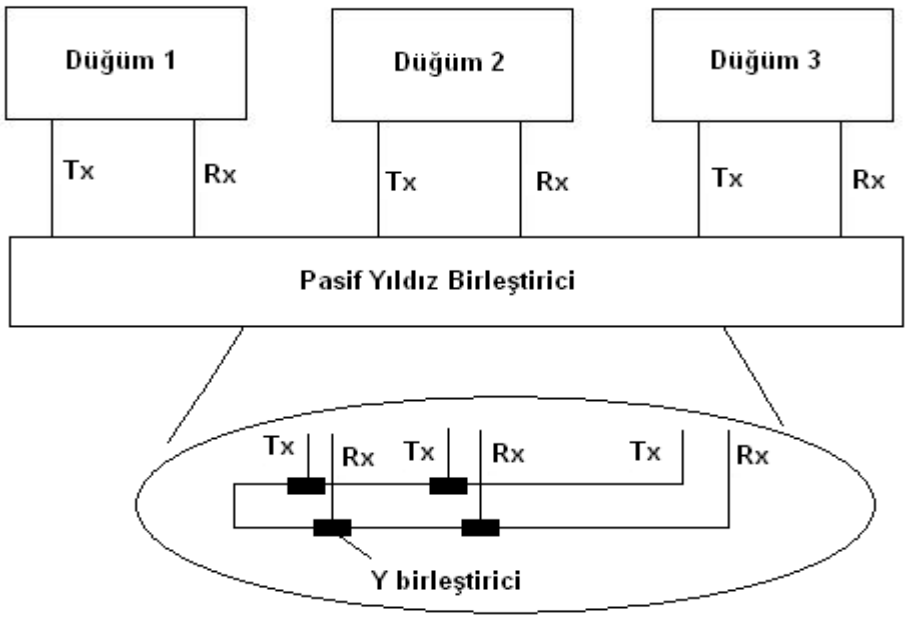
Veri bağı katmanı: Ortam Erişim Kontrol ve Mantıksal Bağ Kontrolü olmak üzere iki alt katmandan oluşur. Ortam Erişim Kontrolü katmanı mesaj için gerekli olan formatın oluşturulmasını sağlayan mesaj çerçeveleme, mesaj iletiminin sağlıklı yapılabilmesi için çarpışma algılama, mesaj alındı bilgisi, hata saptama ve bunların işaretlenmesi işlemlerini gerçekleştirir. Mantıksal Bağ Kontrolü ise mesaj filtreleme, aşırı yükleme bildirimi ve hata yönetimi işlemlerini gerçekleştirir. Veri bağı katmanında yer alan tüm işlemler CAN denetleyicisi tarafından gerçekleştirilir.

3.2.4. Ağ donanımı

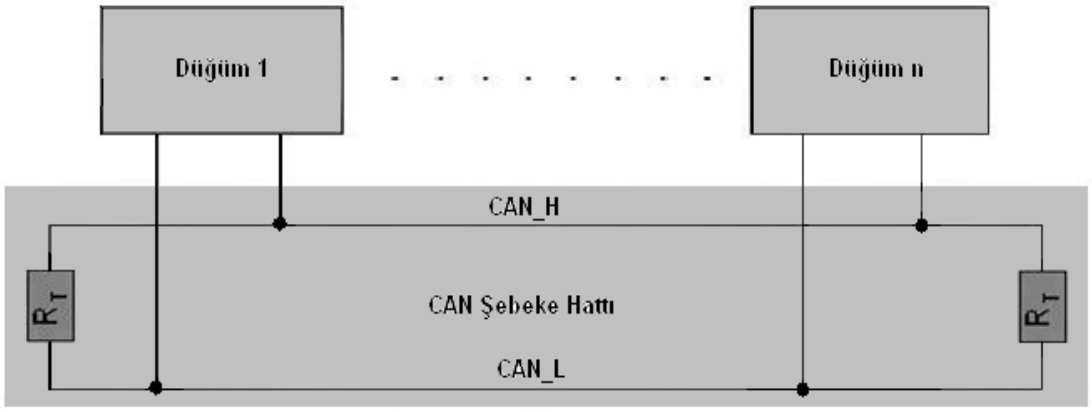
Ağ donanımının tasarımında kullanılacak iletim ortamı, konektör, alıcı-verici modülü gibi elemanlar belirlenir.

İletim ortamı olarak elektriksel ve optik ortamlar kullanılır. Optik iletim ortamı [21] elektriksel izolasyonun kaçınılmaz olduğu elektromanyetik girişime maruz kalabilecek veya patlayıcılığı yüksek ortamlarda tercih edilir. Bu ortamda iletim fiber optik kablolar ile sağlanır. Bu iletim ortamı ayrıca yıldız birleştirici (Şekil 3.5) olarak adlandırılır. İletim gücü elektriksel ortama oranla daha düşüktür. Bu yüzden ağın maksimum uzunluğu ve barındırdığı düğüm sayısı sınırlıdır. Elektriksel iletim ortamı (Şekil 3.6) kıvrımlı (twisted) kablo çiftleriyle sağlanır. Ağın her iki tarafında bulunan düğümlere paralel olarak birer sonlandırma direnci eklenir. Bunun amacı sinyal

iletiminin yapılabilmesi için yansımaların önlenmesidir. Kablonun yapısından kaynaklanan sinyal iletimindeki gecikme ağın maksimum haberleşme hızını etkiler.

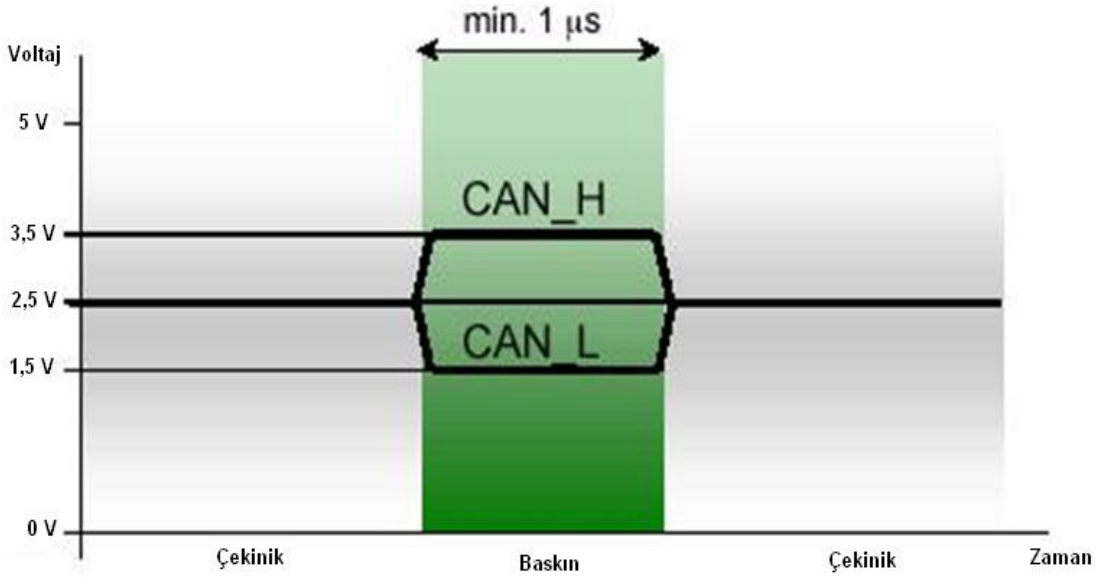


Şekil 3.5: CAN Ağının optik ortamdaki görünümü [21]



Şekil 3.6: CAN Ağının elektriksel ortamdaki görünümü [20]

Alıcı verici modülü sinyalin voltaj seviyesindeki uyumluluğu sağlar. Aynı zamanda çok sayıda düğüme iletim yapılabilmesi için bir yükseltici olarak görev yapar. Sayısal olarak adlandırılan lojik 0 ve lojik 1 değerleri birer analog voltaj seviyesine dönüştürülür. Bu durumda lojik 0 baskın, lojik 1 çekinik bit olarak adlandırılır. Voltaj seviyelerine bakıldığında (Şekil 3.7) baskın bitin iletimi yapılırken CAN_H alıcı verici modül çıkışı 3.5 V, CAN_L çıkışı 1.5 V seviyesindedir. Çekinik bitin iletimi yapılırken CAN_H ve CAN_L çıkışları eşit ve 2.5 V seviyesindedir. Bu voltaj seviyeleri alıcı verici modülünün çalışma voltajına göre değişebilir.



Şekil 3.7: CAN Şebeke Voltaj Seviyesi [20]

Ağın maksimum haberleşme hızı ağda bulunan düğümlerin maksimum çalışma saat frekansına, donanımda bulunan kablo ve alıcı verici modüllerindeki sinyal iletim gecikmesine bağlıdır. Bununla birlikte CAN bus haberleşme protokolü günümüzde maksimum 40 metre mesafede 1 Mbit/s haberleşme hızını destekleyebilmektedir. Mesafe arttıkça maksimum haberleşme hızı (Tablo 3.1) düşmektedir.

Tablo 3.1: Ağ Haberleşme Hızının Mesafeye Göre Değişimi [22]

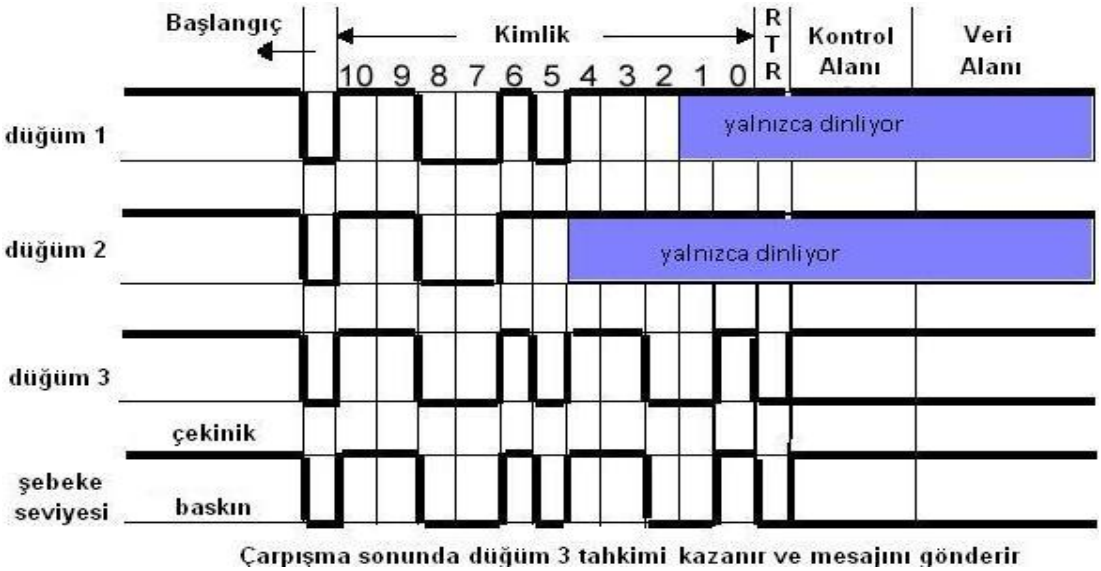
Ağ Uzunluğu (m)	**Maksimum Hız (bps)**
40	1 M
100	500 k
200	250 k
500	125 k
6000	10 k

3.2.5. CAN mesaj yapısı

CAN bus haberleşme protokolü CAN 2.0A (standart kimlik) ve CAN 2.0B (genişletilmiş kimlik) olmak üzere iki tip mesaj numarası içerir. Standart kimlikte mesaj numarası 11 bit, genişletilmiş kimlikte ise 29 bittir.

CAN haberleşme protokolü taşıyıcı duyarlı çoklu erişim ve çarpışma algılama (CSMA/CA) algoritmasına göre çalışır. Bundan dolayı CAN bus topolojisinde her düğüm mesaj iletmeden önce ağı inceler. Ağda herhangi bir hareket yoksa tüm düğümler mesaj iletmek için ağa eşit erişim hızına sahiptir. Birden fazla düğüm aynı anda ağa erişmeye kalktığında iletilen mesajların numaraları farklı olduğu için çarpışma algılanır ve mesaj numarası düşük olan öncelikli olarak mesaj iletim hakkına sahiptir ve ağı kullanarak mesajı iletir. Diğer düğümler de iletim sonlandıktan sonra ağa çıkarlar ve iletmek istediği mesajları öncelik sırasına göre iletirler.

Çarpışma algılama (Şekil 3.8) ve düşük mesaj numarası olan düğüme mesaj iletiminde öncelik verilmesi mesaj numarasındaki baskın bitin diğer düğümlerdeki aynı anda iletilen çekinik bite hâkimiyet kurmasıyla sağlanır. Herhangi bir mesajın alınması istenmiyorsa o mesajı almamak için filtreleme yapılabilir. Bir düğüm başka bir düğümden kendi ihtiyacı olan bir verinin son durumunu almak için o düğümden alacağı mesajın numarasıyla diğer düğüme mesaj göndererek veri isteme talebinde bulunabilir.



Şekil 3.8: Çarpışma Algılama Mekanizmasının Çalışması [20]

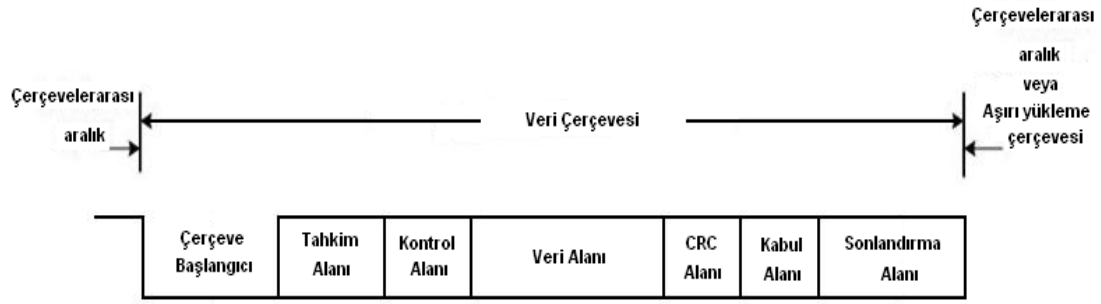
Mesaj gönderiminde sinyal seviyesi bit süresince aynı değerde kalır. Yani şebekede bir bit süresince lojik 0 ya da lojik 1 görülür. 5 adet aynı bitin iletiminden sonra bunların tümleyeni olan bit 6. bit gönderilmeden önce çerçeveye dâhil edilir. Bu olay bit sıkıştırma (bit stuffing) olarak adlandırılır. Mesajı alan düğüm bu biti göz ardı eder. 4 farklı şekilde mesaj alımı ve iletimi yapılır. [23]

- Veri Çerçevesi (Data Frame)
- İstek Çerçevesi (Remote Frame)
- Hata Çerçevesi (Error Frame)
- Aşırı Yükleme Çerçevesi (Overload Frame)

3.2.5.1. Veri çerçevesi [23]

Bir veri çerçevesinin (Şekil 3.9) bölümleri aşağıda verilmektedir.

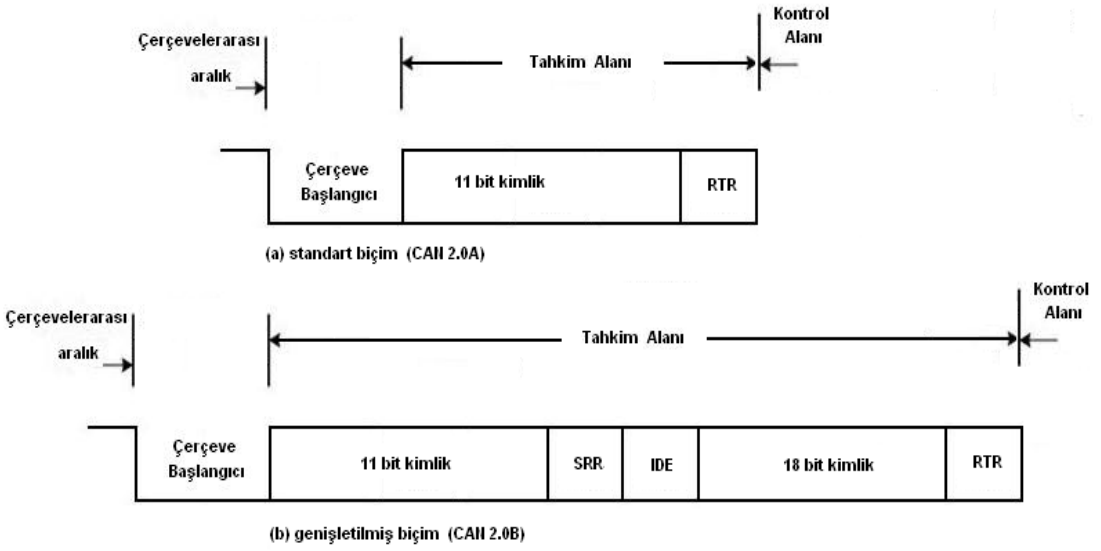
- Çerçeve Başlangıcı (Start of Frame)
- Tahkim Alanı (Arbitration Field)
- Kontrol Alanı (Control Field)
- Veri Alanı (Data Field)
- CRC Alanı (CRC Frame)
- Kabul Alanı (Acknowledge Frame)
- Sonlandırma Alanı (End of Frame)



Şekil 3.9: Veri Çerçevesi [23]

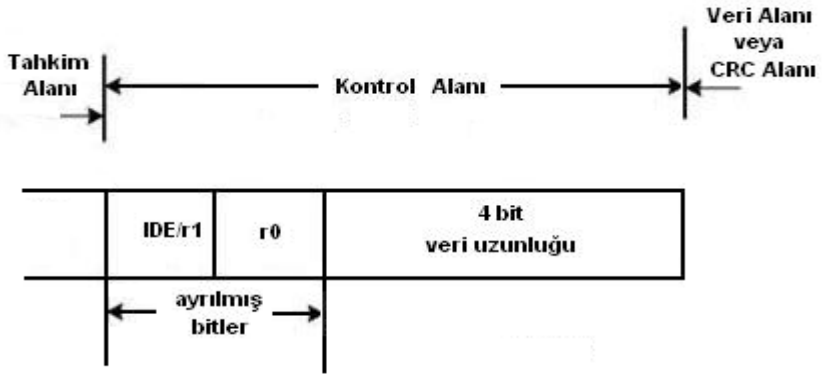
Çerçeve başlangıcı: Ağ boş durumda iken başka bir deyişle hiçbir mesaj iletilmez iken ağ lojik 1 (çekinik) seviyesindedir. Yeni bir mesajın başlatılması 1 bit süresince lojik 0 (baskın) yayınlanması ile olur. Yayınlanan baskın bit çerçeve başlangıcıdır.

Tahkim alanı: Bu alan CAN 2.0A ve CAN 2.0B (Şekil 3.10) standartlarına göre farklılık gösterir. CAN 2.0A standart kimliğe göre 12 bit, CAN 2.0B genişletilmiş kimliğe göre 32 bitten oluşur. CAN 2.0A standardında 11 bit mesaj numarasından 1 bit mesaj istek bitinden (RTR) oluşur. CAN 2.0B standardında ise ilk 11 bit mesaj numarasının ilk 11 bitinden 12. bit mesaj istek yerine koyma (SRR) bitinden, 13. bit mesajın CAN 2.0A veya CAN 2.0B standardına ait olduğunu bildiren IDE bitinden sonraki 18 bit mesaj numarasının son 18 bitinden ve son bit mesaj istek (RTR) bitinden oluşur.



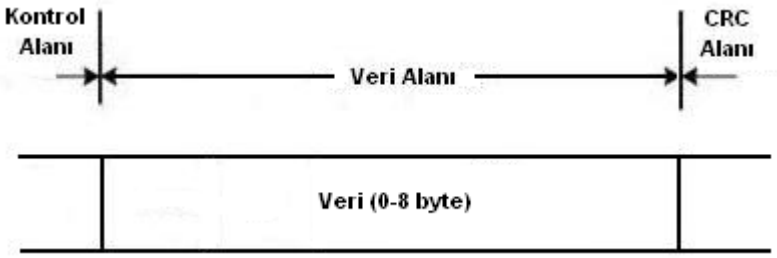
Şekil 3.10: Tahkim Alanı [23]

Kontrol alanı: Bu alan 6 bitten oluşur. CAN 2.0A ve CAN 2.0B standartlarına göre (Şekil 3.11) farklılık gösterir. CAN 2.0A standardına göre ilk bit mesajın CAN2.0A veya CAN 2.0B standardına ait olduğunu bildiren IDE bitidir. CAN 2.0B standardında ise ilk bit herhangi bir işlem için ayrılmıştır. 2. bit her iki standartta da herhangi bir işlem için ayrılmıştır. Diğer 4 bit mesajın veri uzunluğunu byte cinsinden bildirir. 0-8 byte arasında bir değer alır.



Şekil 3.11: Kontrol Alanı [23]

Veri alanı: 0-8 byte uzunluğunda bilgiye sahiptir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12: Veri Alanı [23]

CRC alanı: Verinin doğru alınıp alınmadığı bilgisini kontrol etmek amacıyla hesaplanan ve 15 bit uzunluğunda olan CRC verisi ve 1 bitlik CRC sonlayıcı olmak üzere toplam 16 bitten (Şekil 3.13) oluşur. CRC sonlayıcı her zaman lojik 1 (çekinik) seviyesindedir.



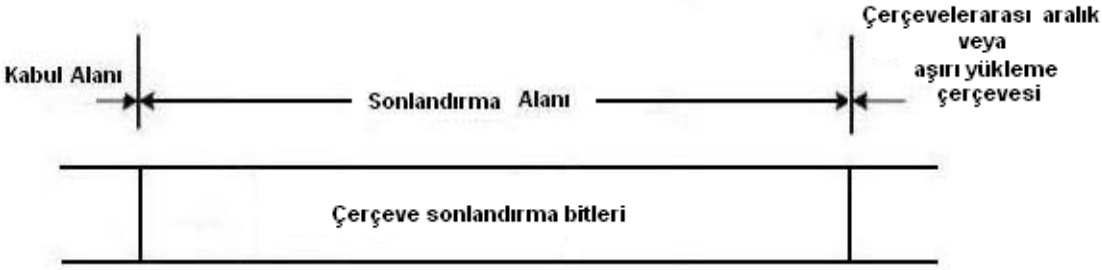
Şekil 3.13: CRC Alanı [23]

Kabul alanı: Mesajın doğru alınıp alınmadığını bildiren ACK biti ve 1 bitlik ACK sonlayıcı olmak üzere toplam 2 bitten (Şekil 3.14) oluşur. ACK biti gönderen düğüm tarafından lojik 1 olarak atanır ve en az bir düğüm mesajı doğru almış ise bu biti lojik 0'a çeker. ACK sonlayıcı biti ise lojik 1 seviyesindedir.



Şekil 3.14: Kabul Alanı [23]

Sonlandırma Alanı: 7 adet lojik 1 (çekinik) bitten (Şekil 3.15) oluşur. Mesajın sonlandığını bildirir. Bu alanın alımı sürerken bit seviyesinde herhangi bir farklılık mesaj alımının tamamlanmadığını gösterir ve hataya neden olur.

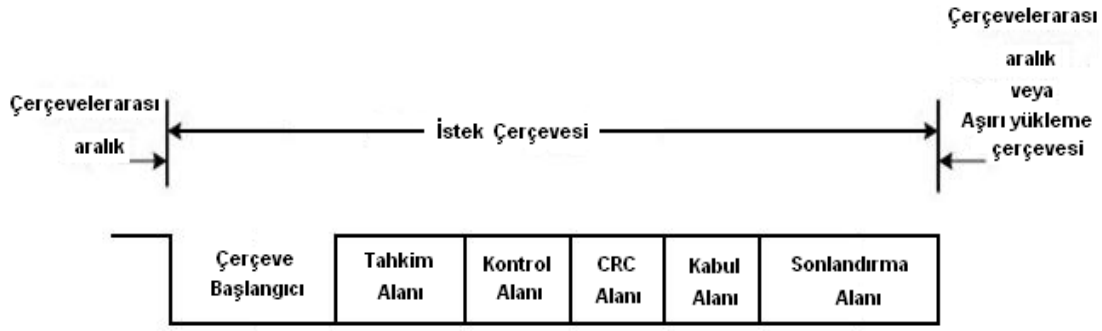


Şekil 3.15: Sonlandırma Alanı [23]

Her mesajın iletiminden sonra bir başka mesajın iletimine kadar geçen zaman aralığı çerçeveler arası boşluk olarak adlandırılır ve en az 3 adet çekinik bitten oluşur. Ağda herhangi bir mesaj iletilmediği zaman bu süre daha da uzar.

3.2.5.2. İstek çerçevesi

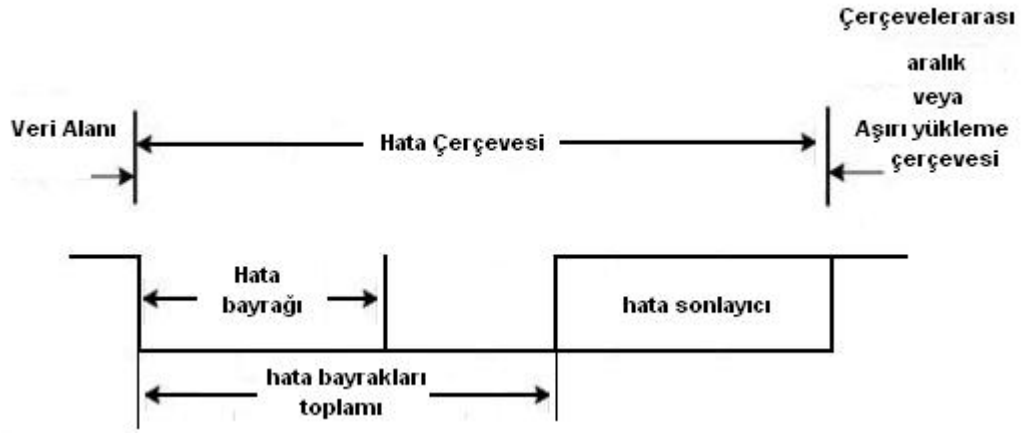
Yapı itibariyle veri çerçevesi ile aynıdır. Bu çerçeve (Şekil 3.16) veri alanı içermez ve veri uzunluğu 0'dır. Bu çerçevede RTR biti lojik 1 seviyesindir.



Şekil 3.16: İstek Çerçevesi [23]

3.2.5.3. Hata çerçevesi

Bu çerçeve hata bayraklarının toplamı ve hata sonlayıcı olmak üzere iki alandan oluşur (Şekil 3.17). Hata bayrakları ya aktif hata bayrağı ya da pasif hata bayrağıdır. Aktif hata bayrağı 6 adet baskın bitten, pasif hata bayrağı 6 adet çekinik bitten oluşur. Hata sonlayıcı ise 8 adet çekinik bitten oluşur.



Şekil 3.17: Hata Çerçevesi [23]

Bir ağda 5 çeşit hata meydana gelebilir.

- Bit hatası
- Sıkıştırma (stuff) hatası
- CRC hatası
- Form hatası
- Kabul hatası

Bit hatası mesaj çerçevesinin tahkim alanı ve kabul biti dışında herhangi bir farklılık durumunda meydana gelir. Bu hata mesajı gönderen düğüm tarafından tespit edilir ve hata mesajı yayınlanır.

Sıkıştırma hatası mesaj çerçevesinin çerçeve başlangıcından CRC alanı sonuna kadar herhangi bir alanda 5 bit süresince aynı bit gönderildiğinde 6. bitin tümleyen bit olarak gönderilmemesidir. Bunu hem mesajı alan hem de gönderen düğüm fark eder.

Kabul hatası gönderilen mesajın hiçbir düğüm tarafından doğru alınmamasından kaynaklanır. Gönderen düğüm tarafından çekinik olarak gönderilen kabul biti, mesajı alan hiçbir düğüm tarafından baskın bite çevrilmez. Bu hata gönderen düğüm tarafından algılanır ve gönderilen mesaj tekrar edilir.

Form hatası, değeri önceden sabit olarak tahsis edilmiş bitlerin (örnek; sonlandırma alanı, CRC sonlayıcı, ACK sonlayıcı, hata ve aşırı yükleme sonlayıcı) farklı olarak algılanmasından kaynaklanır. Hem mesaj alan hem de gönderen düğümler tarafından algılanır ve hata mesajı yayınlanır. Mesaj alan düğümler için sonlandırma alanının son biti ile hata ve aşırı yükleme sonlayıcı son bitlerindeki farklılık form hatası olarak algılanmaz.

CRC hatası, mesaj alan düğüm tarafından algılanır. Gönderen düğümün göndermiş olduğu CRC değeri ile alan düğümün hesaplamış olduğu CRC değerinin farklı olmasından kaynaklanır. Alan düğüm bu durumda kabul bitini baskın bite çevirmez ve kabul bitinden sonra CRC hatasından dolayı hata mesajı üretir.

Bir düğümdeki hata durumları gönderme ve alma hata sayaçlarıyla kontrol edilir. Bu sayaçlar düğüm herhangi bir mesajı hatalı gönderdiğinde veya aldığında ayrı ayrı sayaçlar artırılır. Herhangi bir mesaj doğru alındığında veya gönderildiğinde sayaç değeri belirli oranda azaltılır.

Bir düğüm alma veya gönderme hata durumlarıyla ilgili olarak 3 durumda bulunur.

- Hata aktif
- Hata pasif
- Ağ kapalı

Hata aktif: Düğüm haberleşmeye başladığında hata aktif durumundadır. Bu durumda iken ağ haberleşmesine aktif olarak katkıda bulunur. Hata mesajı yayınladığında bu

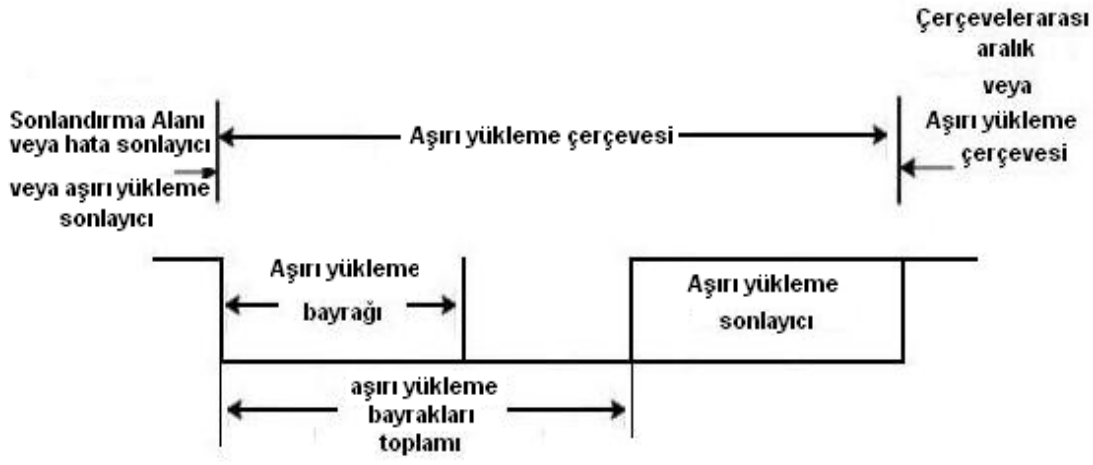
mesaj mesajı alan düğümler tarafından sıkıştırma hatası olarak yorumlanır ve alan düğümler de hata aktif veya hata pasif durumuna göre hata mesajı göndermeye başlar.

Hata pasif: Gönderme veya alma hata sayısı 127'yi geçtiği anda düğüm hata pasif durumuna geçer. Bu durumda herhangi bir mesajı hatalı aldığında veya gönderdiğinde pasif hata mesajı yayınlar. Pasif hata mesajında çekinik bitler göndereceği için bu durum herhangi bir mesaj ağda iletiliyorken sesini duyuramayacaktır. Bundan dolayı mesaj gönderimi bittiği anda 3 bitlik aralık süresinden sonra 8 bit süresi bekleyip daha sonra pasif hata mesajını yayınlar.

Ağ kapalı: Gönderme hata sayısı 255'i geçtiği anda düğüm ağdan soyutlanır. Bu durumda düğüm mesaj gönderemez ve alamaz. Herhangi bir hata mesajı da yayınlayamaz. Ağ boş durumdayken 96 bit süresi geçtikten sonra tekrar aktif hata durumuna geçerek haberleşmeye katılır. Alma hata durumunun ağ kapalı durumuna bir etkisi olmaz.

3.2.5.4. Aşırı yükleme çerçevesi

Bu çerçeve hata çerçevesinin özelleşmiş bir şeklidir. 6-12 bit süresince tüm düğümlerin aşırı yükleme toplamından ve aşırı yükleme sonlayıcı alanlarından oluşur. Aşırı yükleme mesajı (Şekil 3.18) 6-12 baskın bitten oluşan aşırı yükleme alanı, aşırı yükleme sonlayıcı 8 çekinik bitten oluşur.



Şekil 3.18: Aşırı Yükleme Çerçevesi [23]

Aşırı yükleme mesajı göndermeyi gerektiren 3 durum vardır:

- Mesaj gönderme işlemi bittikten sonra tüm mesaj tamponları dolu olan düğüm alınan mesajlardan birini işleyebilmesi için aşırı yükleme mesajı yayınlar. Böylelikle bir sonraki gönderilecek mesajın geciktirilmesini sağlar.
- 3 bitlik aralık süresinin ilk 2 bit süresinde baskın bit algılama
- Sonlandırma alanının son bit süresinde baskın bit algılama

Aşırı yükleme mesajının gönderimi mesaj sonlandırma alanı tamamlandıktan hemen sonra gerçekleştirilir.

4. DONANIM VE YAZILIM TASARIMI

Bu bölümde tez kapsamında tren simülatörü için geliştirilen donanım ve yazılım bileşenleri hakkında ayrıntılı bilgiler verilecektir.

4.1. Donanım Tasarımı

Simülatör donanımı makinist kabini elemanlarının kontrolünü gerçekleştirir. Bu çalışmada kontrolü sağlanacak makinist kabini elemanları ve işlevleri aşağıda verilmektedir.

- İbreli Gösterge Birimleri
- Kol Birimi
- Buton Birimi
- Sigorta Birimi
- Lamba Birimi

İbreli gösterge birimleri: İbreli gösterge birimleri 2 adet ibreli gösterge biriminden oluşur. 1. ibreli gösterge birimi hat voltajı ve 1. grup cer motor akımı, 2. ibreli gösterge birimi batarya voltajı ve tren hızı göstergelerinin kontrolünü gerçekleştirir.

Kol birimi: Hızlandırma kolu, dinamik fren kolu ve makinist musluğunun kontrolünü gerçekleştirir.

Buton birimi: PT çıtçıt anahtarı, DJ çıtçıt anahtarı, imdat butonu ve totman pedalının kontrolünü gerçekleştirir.

Sigorta birimi: Elektronik kontrol devrelerinin enerjilenmesini sağlayan elektronik şalterin kontrolünü gerçekleştirir.

Lamba birimi: Bölüm 2.2.1'de verilen **a**rıza ve ihbar durumlarını bildiren beşli arıza (Tablo 4.1) ve matris tablo (Tablo 4.2) lambalarının kontrolünü gerçekleştirir.

Tablo 4.1: Beşli Arıza Lambaları

Lamba No	Lamba Adı
1	DJ Açık
2	Arıza Flaş
3	İhbar flaş
4	Patinaj ihbar
5	Tren Isıtma

Tablo 4.2: Matris Tablo Lambaları

Lamba No	Lamba Adı
1	Hat Voltajı
2	Ana Transformatör
3	Ana Konvertör
4	Hızlı Devre Kesici 1
5	Hızlı Devre Kesici 2
6	Cer Motor 1 Aşırı Yük
7	Cer Motor 2 Aşırı Yük
8	Cer Motor 3 Aşırı Yük
9	Cer Motor 4 Aşırı Yük
10	Cer Motor 5 Aşırı Yük
11	Cer Motor 6 Aşırı Yük
12	Güç Faktörü Düzeltme
13	Elektronik Kontrol
14	Elektriki Fren
15	Ana Dirençler
16	Yardımcı Güç Kaynağı
17	Üfürücü

Ayrıca, simülatörün yazılım kısmına ait veriler, PC üzerinden bir CAN düğümü oluşturarak gönderilir. Bunun için Peak-Systems firmasının geliştirmiş olduğu USB-CAN dönüştürücü kullanılır.

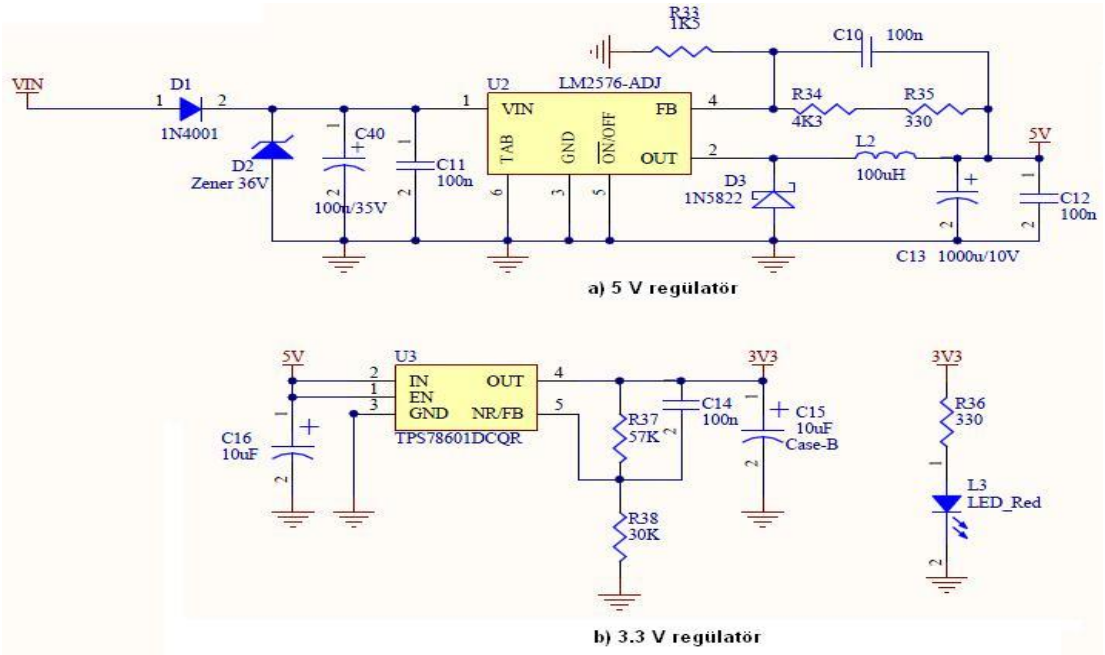
Yukarıda tanımları ve işlevleri verilen birimlerin her biri birer mikrodenetleyici tarafından kontrol edilecektir. Bu birimlerin gereksinim duyduğu donanım 3 alt birimden oluşmaktadır.

- Güç Birimi
- Denetleyici Birimi
- İşlevsel Birim

Güç ve denetleyici alt birimleri tüm birimlerde ortaktır. İşlevsel alt birim birimin kontrol ettiği elemanlara göre değişmektedir. Bu nedenle güç ve denetleyici alt birimleri tüm birimler için ortak olarak tasarlanabilir.

4.1.1. Güç birimi tasarımı

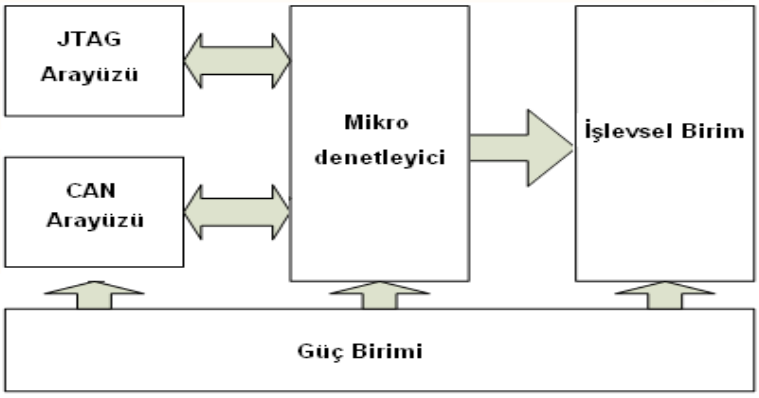
Güç birimi iki ayrı DC/DC çevirici devresi (Şekil 4.1) ile gerçekleştirilmektedir. Biri 12 V giriş voltajını 5 V çıkış voltajına, diğeri ise elde edilen 5 V voltajı 3.3 V çıkış voltajına dönüştüren bir DC/DC çeviricidir. 5 V gerilim dönüştürücü için çıkış gerilimi ayarlanabilir LM2576 entegresi, 3.3 V gerilim dönüştürücü için Texas Instruments firmasının geliştirmiş olduğu çıkış gerilimi ayarlanabilir TPS78601 entegresi kullanılmıştır. 3.3 V gerilim mikrodenetleyicinin ve haberleşme devrelerinin beslemesinde kullanılır. 5 V ve 12 V gerilim seviyeleri ise işlevsel birimlerin enerjilenmesinde kullanılır.



Şekil 4.1: Güç birimi devre şeması

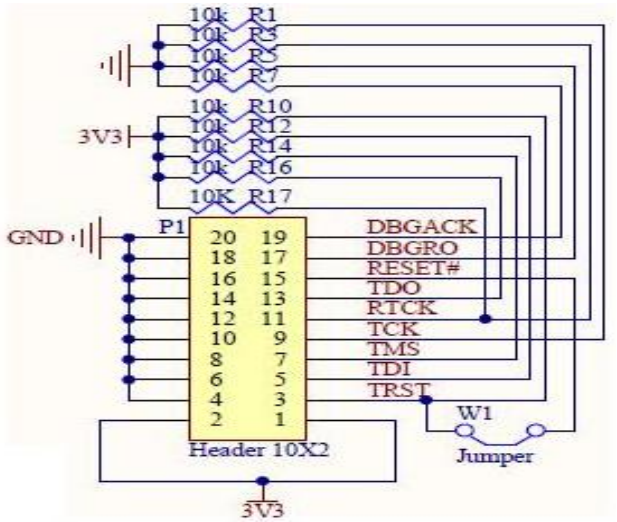
4.1.2. Denetleyici birimi tasarımı

Denetleyici birimi (Şekil 4.2) programlamak ve yazılım geliştirirken hata ayıklamak için JTAG arayüz devresi, diğer birimler ve kullanıcı arayüzü ile haberleşebilmek için CAN haberleşme arabirim devresi ve bir mikrodenetleyiciden oluşmaktadır.



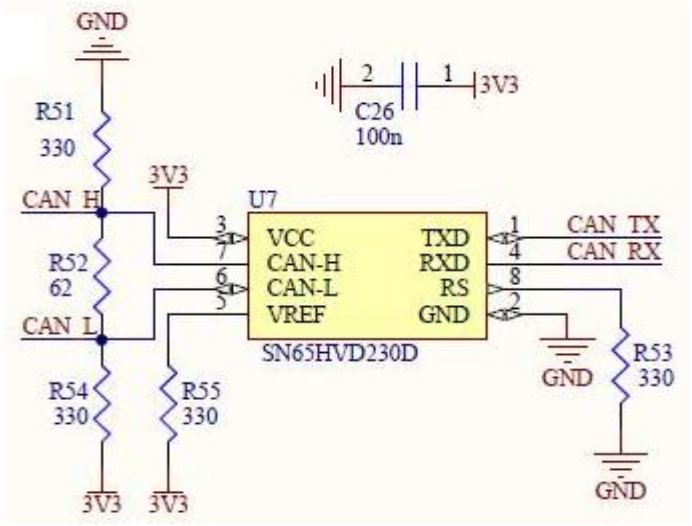
Şekil 4.2: Denetleyici birimi blok şeması

JTAG arayüz devresi: Mikrodenetleyiciye çalışacak programı yüklemek için kullanılan JTAG arabirim devresinin programın geliştirildiği ortam olan kullanıcı bilgisayarına bağlanabilmesi için ihtiyaç duyulan devredir (Şekil 4.3). 20 pinli bir JTAG konektör, konektör giriş ve çıkış sinyallerini ayarlamak için 10 kOhm'luk dirençler ve bir bağlantı köprüsünden oluşur. Bağlantı köprüsü açık devre olduğunda normal çalışma durumunda, kısa devre olduğunda programlama ve hata ayıklama durumunda kullanılır.



Şekil 4.3: JTAG arayüz devresi

CAN arabirim devresi: Diğer birimlerle olan haberleşme arayüzünü sağlar (Şekil 4.4). Arabirim devresi için Texas Instruments firması tarafından geliştirilen SN65HVD230D CAN alıcı-verici entegresi kullanılmaktadır. Bu entegre 3.3 V gerilimde çalışmaktadır.



Şekil 4.4: CAN arabirim devresi

Mikrodenetleyici: İşlevsel birimlerde kullanılan donanım elemanlarının kontrolünü sağlar. Buton, kol ve sigortalardan durum verilerini alarak CAN haberleşme ağı üzerinden simülatör bilgisayarına, oradan gelen verilerle de gösterge ve lambaları sürer. Mikrodenetleyici olarak ST Microelectronics firmasının geliştirmiş olduğu STM32 ailesinden ARM Cortex tabanlı STM32F103VB mikrodenetleyicisi kullanılmaktadır. Mikrodenetleyici 3.3 V gerilimde çalışmaktadır. Komutları işlemek için kullanılan saat frekansı 8 MHz kristal osilatör aracılığıyla elde edilir.

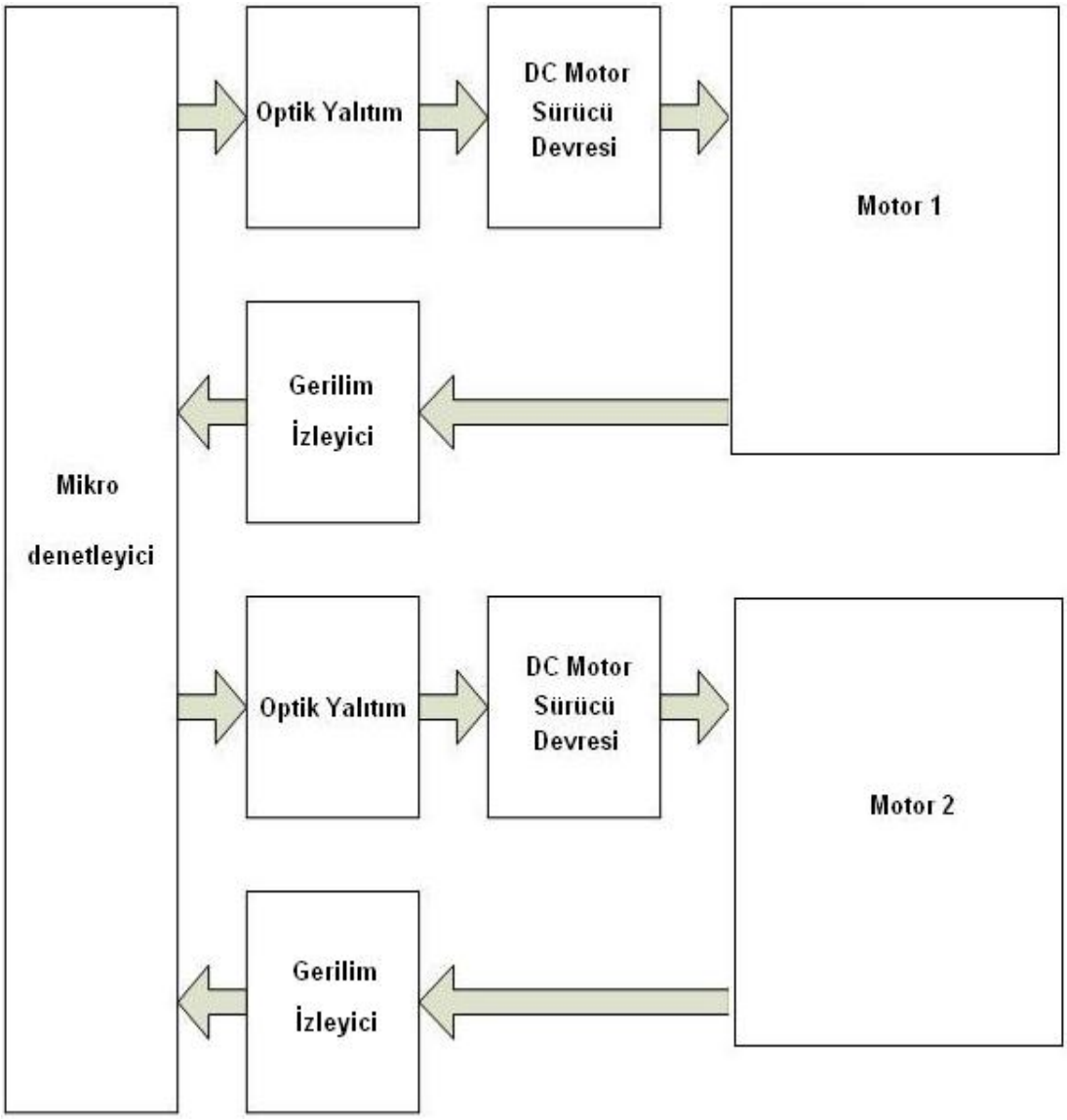
4.1.3. İşlevsel birim tasarımı

4.1.3.1. İbreli gösterge birimleri tasarımı

İbreli gösterge birimleri 2 adet ibreli gösterge biriminden oluşur. 1. ibreli gösterge birimi hat voltajı ve 1. grup cer motor akımı, 2. ibreli gösterge birimi batarya voltajı ve tren hızı göstergelerinin kontrolünü gerçekleştirir.

İbreli Gösterge Birimlerinde (Şekil 4.5) bulunan her bir gösterge 1 adet DC motor ile kontrol edilmektedir. Her bir gösterge biriminde bulunan 2 adet DC motor bir DC motor sürücü entegresi tarafından kontrol edilir. Sürücü entegresi olarak ST Microelectronics firması tarafından geliştirilen L6219 entegresi kullanılmaktadır. Sürücü entegresi 2 adet tam köprü DC/DC dönüştürücüden oluşur. Her bir dönüştürücü 1 adet DC motoru besler. Sürücü devresinin kontrol sinyalleri

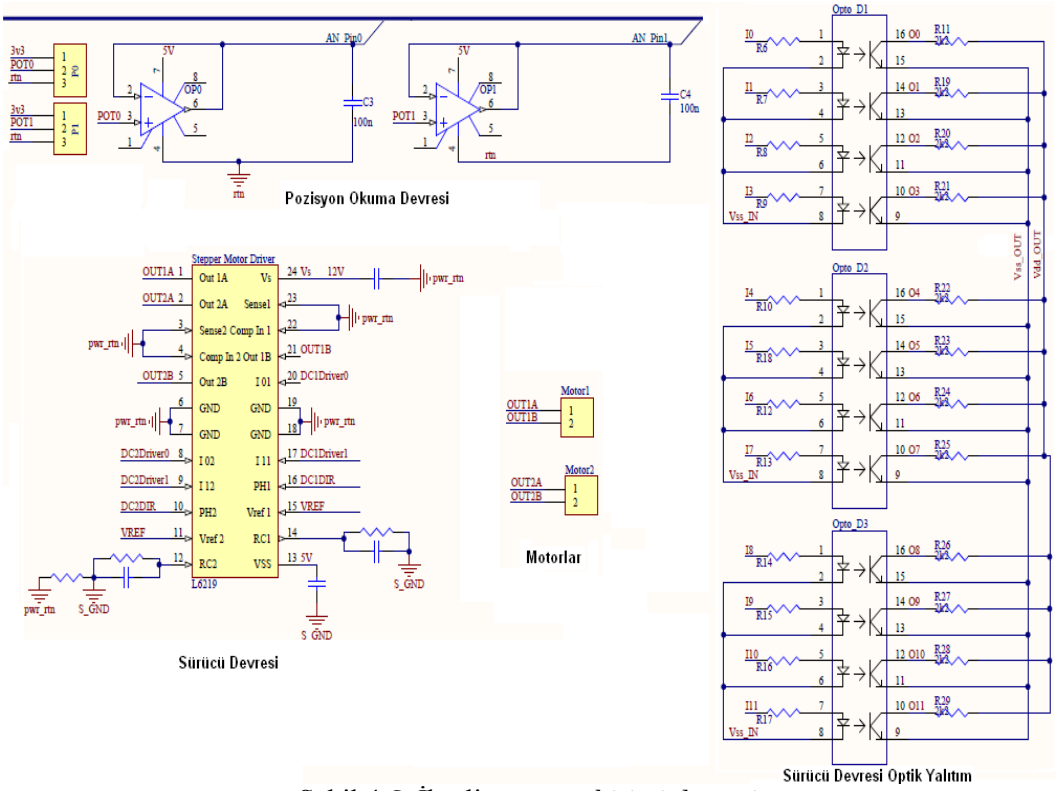
mikrodenetleyici tarafından sağlanır. Bu durumda sürücüyü mikrodenetleyiciden izole etmek için mikrodenetleyicinin sürücü devresine giden her bir çıkışı için 1 adet optoizolatör kullanılmaktadır. Sürücü devresinin motor sargıları besleme voltajı 12 V, kontrol gerilimi 5 V'tur. Her iki gerilim seviyesi de Güç Biriminden sağlanır. Mikrodenetleyiciyi işlevsel ibreli gösterge biriminden (Şekil 4.6) yalıtmak için mikrodenetleyicinin sürücü devresine bağlanan her bir çıkışına 1 opto-izolatör, hem de mikrodenetleyicinin pozisyon okuma devresine bağlanan her bir girişine 1 gerilim izleyici konulmaktadır.



Şekil 4.5: İbreli gösterge birimi blok şeması

İbreli gösterge biriminde motor kontrolü kapalı döngü pozisyon kontrolü yapılarak sağlanır. Motor milinin pozisyonu bir potansiyometre yardımıyla anlık olarak

ölçülür. Ölçülen değer mikrodenetleyicinin ADC (Analog-Sayısal Dönüştürücü) birimi aracılığıyla sayısal veriye dönüştürülür. Bu veri CAN ağı üzerinden ibreli gösterge birimine gönderilen değer ile karşılaştırılır. Motor sürücüye oransal kontrol uygulanır. İstenen değer gerçek değerden büyük ise motor ileri yönde, küçük ise geri yönde döndürülür.



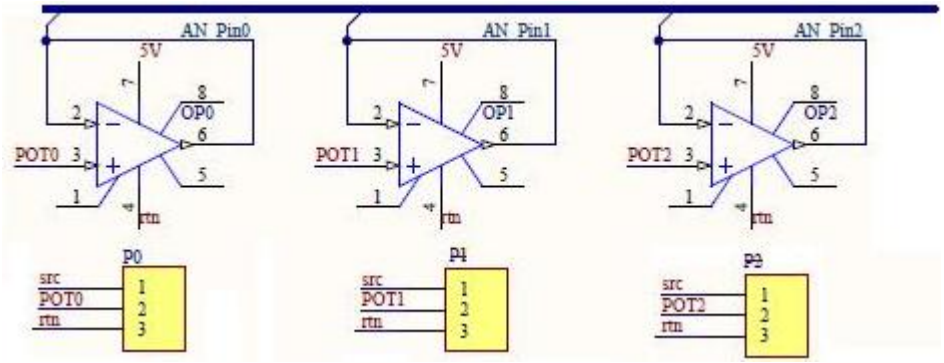
Şekil 4.6: İbreli gösterge birimi devresi

4.1.3.2. Kol birimi donanım tasarımı

Kol Birimi (Şekil 4.7) hızlandırma kolu, dinamik fren kolu ve makinist musluğu olmak üzere 3 kolun kontrolünü gerçekleştirir. Her bir kol birer potansiyometre aracılığıyla gerçekleştirilir. Kol birimi 5 V gerilim değerinde çalıştırılır. Kol durumu periyodik olarak potansiyometre ile ölçülür. Potansiyometre bir gerilim izleyici (Şekil 4.8) devresiyle yalıtılarak mikrodenetleyiciye bağlanır. Ölçülen değer mikrodenetleyicinin ADC birimi aracılığıyla sayısal veriye dönüştürülür. Bu veriyi kullanarak kolun hangi kademede olduğu belirlenir. Bu değer CAN ağ üzerinden simülatör bilgisayarına gönderilir.



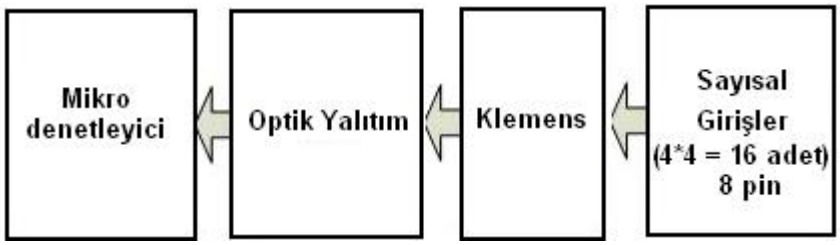
Şekil 4.7: Kol birimi blok şeması



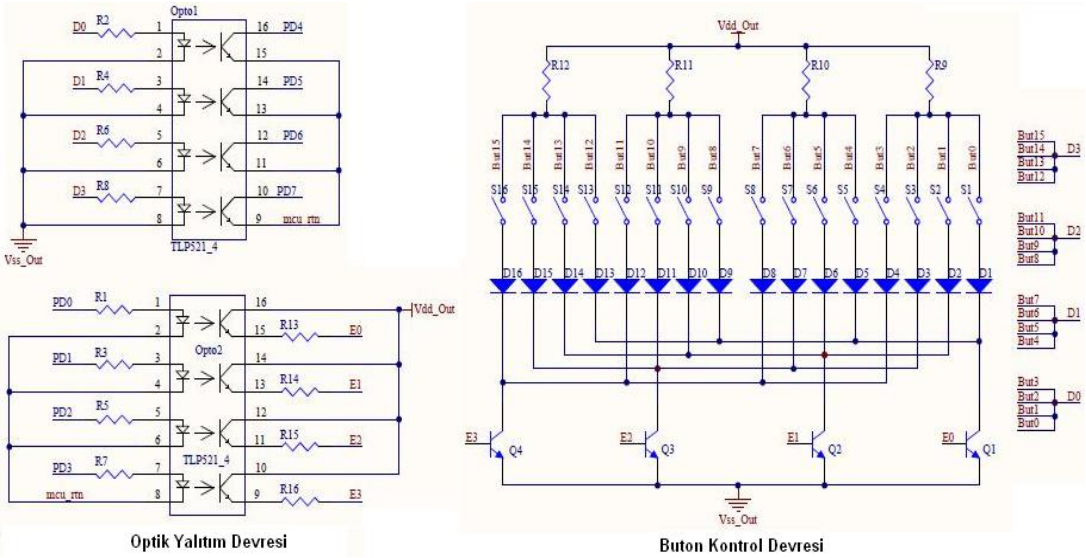
Şekil 4.8: Kol birimi devresi

4.1.3.3. Buton birimleri donanım tasarımı

Buton Birimi (Şekil 4.9) imdat butonu, PT çıtçıt anahtarı, DJ çıtçıt anahtarı ve totman pedalının kontrolünü gerçekleştirir. Şekil 4.10'da şematik devresi verilen buton birimi 4*4 matris yapıda butonların olduğu birimdir. Bu yapı ile mikrodenetleyicinin 8 adet giriş pinini kullanarak en fazla 16 adet buton kontrol edilebilir. Yapılan çalışmada bunlardan ancak 4 adedi kullanılacaktır. Diğer 12 adet buton ileride eklenebilecek butonlar için ayrılmıştır. Buton Biriminde buton kontrolü periyodik olarak buton durumu taramasıyla sağlanır. Buton biriminde butonlar ile mikrodenetleyicinin giriş pinleri arasında izolasyon sağlamak için optoizolatörler kullanılmıştır. Sayısal olarak okunan buton durumunun değeri CAN haberleşme ağı üzerinden simülatör bilgisayarına gönderilir.



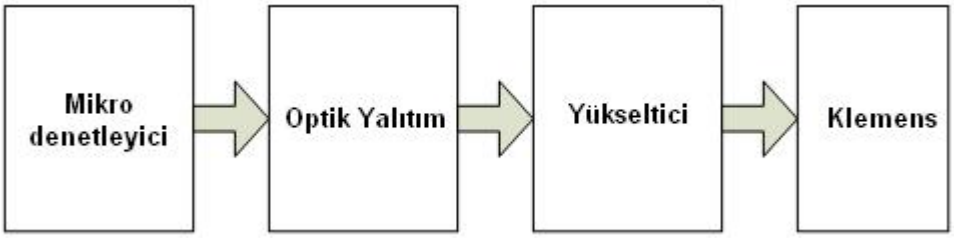
Şekil 4.9: Buton birimi blok şeması



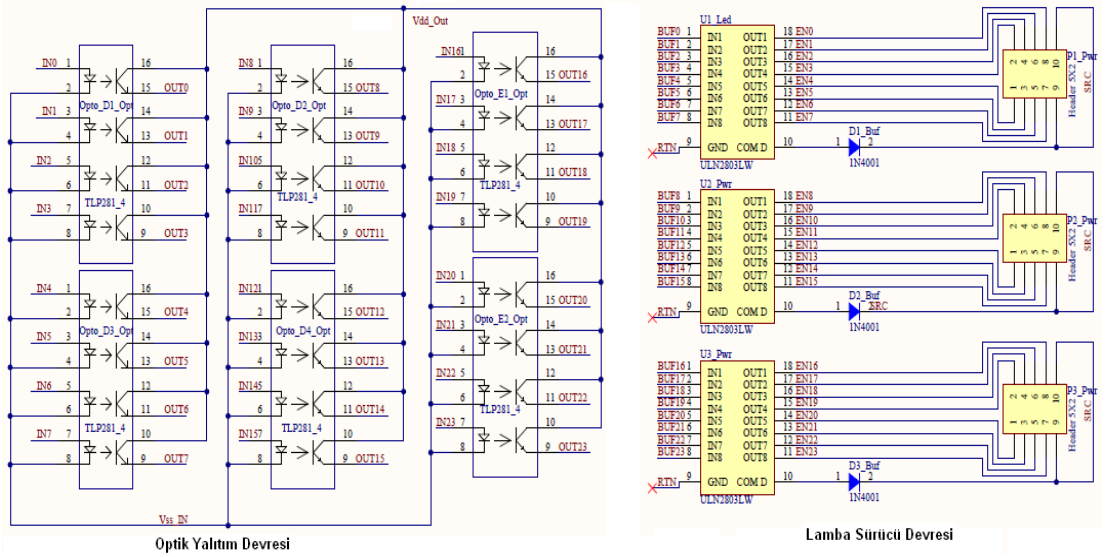
Şekil 4.10: Buton birimi devresi

4.1.3.4. Lamba birimi donanım tasarımı

Lamba Birimi 5 adet Beşli Arıza lambaları (Tablo 4.1) ve 17 adet Matris Tablo lambaları (bkz. Tablo 4.2) olmak üzere toplam 22 adet lambadan oluşmaktadır. Lamba Biriminde (Şekil 4.11) mikrodenetleyicinin çıkış pinleri ile lamba sürümünü gerçekleştiren işlevsel birim arasında yalıtımı sağlayan optoizolatörler bulunur. Optoizolatörün çıkışına bağlanmış olan akım yükseltici devresi ile lambalar için gerekli akım sağlanmış olur. Lamba Biriminde kullanılan lambalar LEDler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Lambanın yanma, sönme ve flaş yapma olarak 3 durumu bulunmaktadır. Devre şeması Şekil 4.12'de verilen Lamba Birimine ait lambaların durumları simülatör bilgisayarından lamba durumlarında değişim olması gerektiğinde CAN ağı üzerinden Lamba Birimine gönderilir.



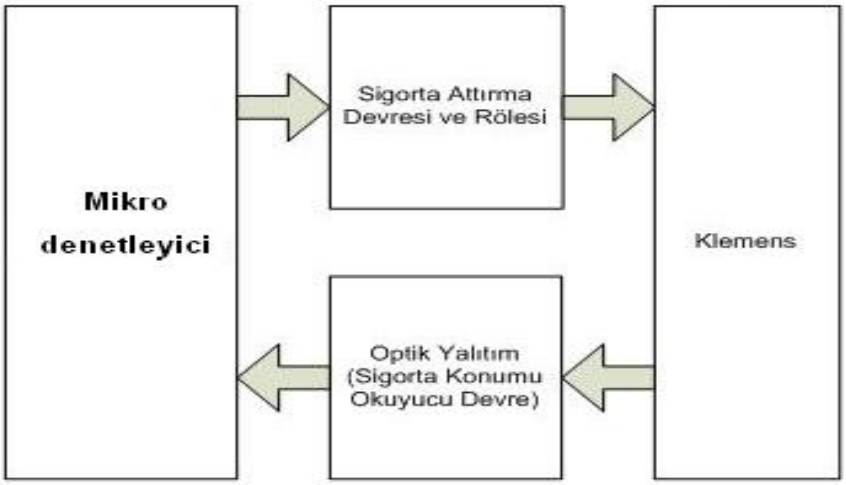
Şekil 4.11: Lamba birimi blok şeması



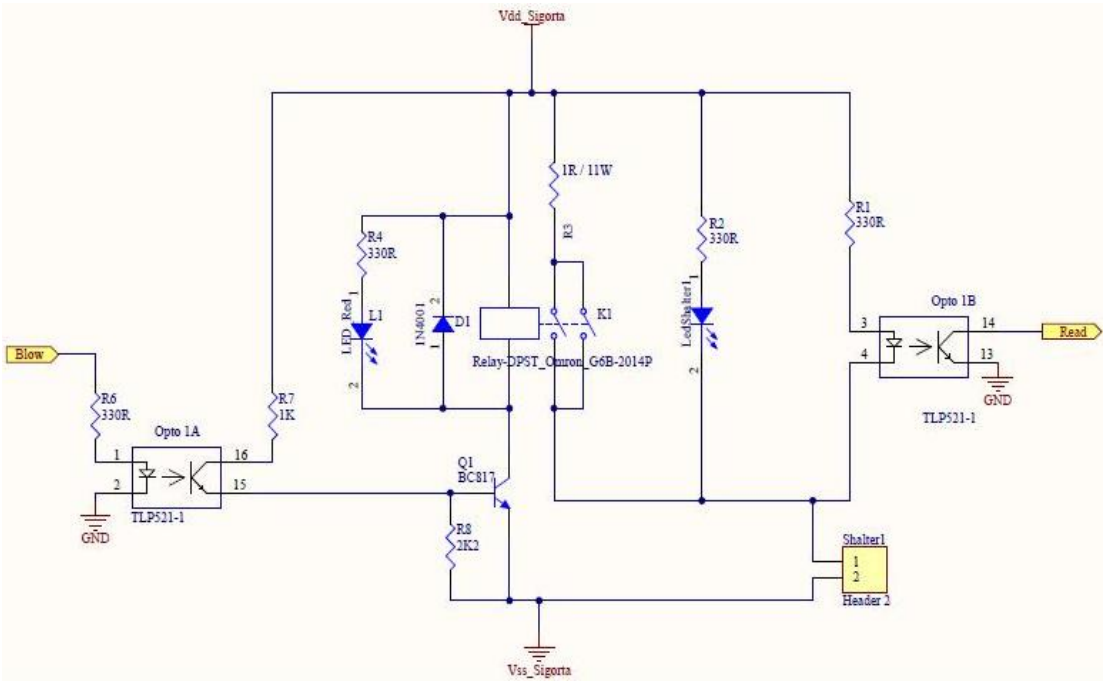
Şekil 4.12: Lamba birimi devresi

4.1.3.5. Sigorta birimi donanım tasarımı

Sigorta Birimi donanımı (Şekil 4.13) makinist kabininde bulunan elektronik şalterin kontrol edilmesini sağlar. Aşırı akım durumunda bir arıza ile veya makinist tarafından kaza ile bu şalter attırılabilir. Ayrıca makinist tarafından arızayı gidermek için eski durumuna tekrar getirilebilir. Devre şeması Şekil 4.14'te verilen Sigorta Birimi 2 Amper anma değerinde bir sigorta ve mikrodenetleyici tarafından sürülen bir sürücü devresinden oluşur. Sigorta durumu periyodik olarak okunur ve durum CAN ağı üzerinden simülatör bilgisayarına gönderilir. Simülatör bilgisayarından elektronik şalter arızası Sigorta Birimine gönderildiğinde sürücü devresi aracılığıyla 1 Ohm'luk bir güç direncine 5 V gerilim uygulanır. Böylelikle direncin üzerinden 5 A akım geçirilir. Bu akım değeri sigorta için aşırı akım olarak algılanır ve bu durumda sigorta atar. Periyodik okumanın sonunda sigortanın durumu simülatör bilgisayarına gönderilir.



Şekil 4.13: Sigorta birimi blok şeması



Şekil 4.14: Sigorta birimi devresi

4.2. Yazılım Tasarımı

Yapılan çalışmada gerçekleştirilen yazılım 3 bölümden oluşur. Bu bölümler aşağıda verilmektedir.

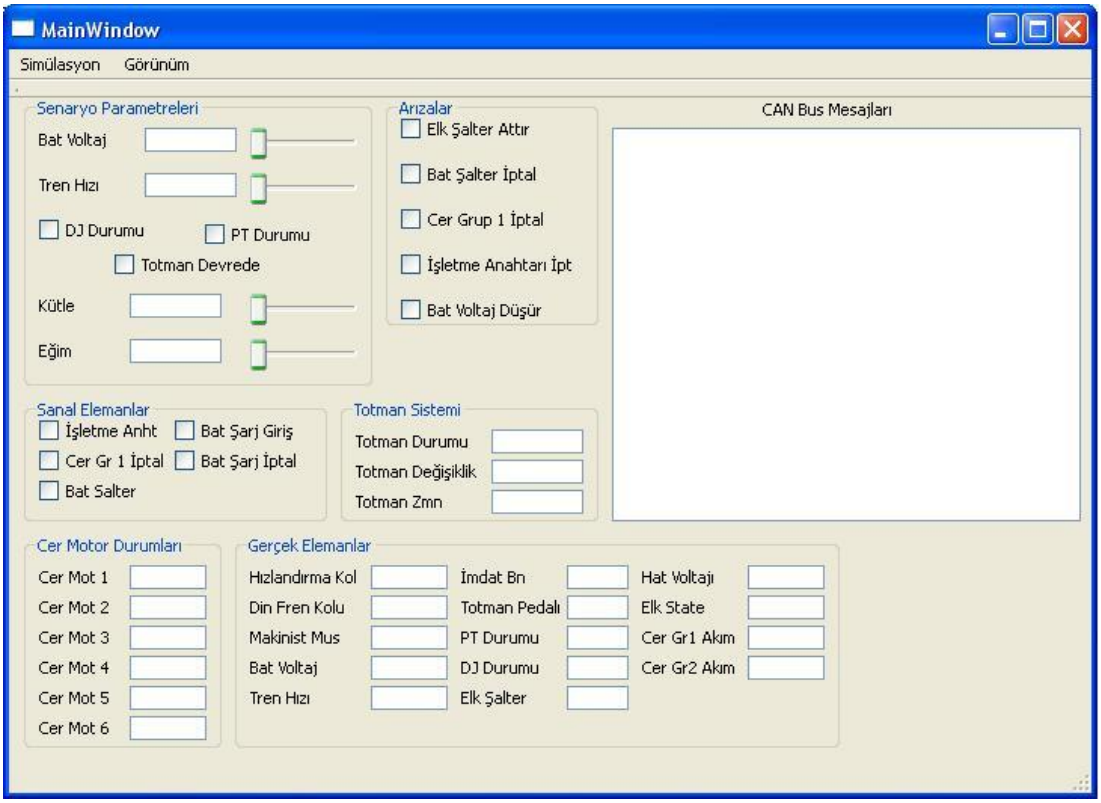
- Grafik Kullanıcı Arayüz Yazılımı
- CAN Sürücü Arayüz Yazılımı
- Model Yazılımları

Yazılım geliştirme yapılırken programlama dili olarak nesne yönelimli bir dil olan C++ dili seçilmiştir. Böylelikle yazılımı oluşturan birimler birer sınıf olarak tanımlanıp bu sınıflara ait birer nesne oluşturulabilmektedir. Bu da yazılımda basitlik sağlamaktadır. Geliştirme ortamı olarak QT Creator Tümleşik Geliştirme Ortamı kullanılmıştır. Bu ortamın avantajı kullanıcı arayüz için kullanılacak elemanlar için güçlü bir kütüphane desteği olan QT kütüphanesinden yararlanılmasıdır. İşletim sistemi olarak CAN sürücü arayüz yazılımından faydalanmak için Windows işletim sistemi kullanılmıştır. Ayrıca yazılım tasarımında kullanılan tüm yazılım akış diyagramları UML (Unified Modeling Language) kullanılarak çizilmiştir.

4.2.1. Grafik kullanıcı arayüz yazılım tasarımı

Grafik Kullanıcı Arayüz Yazılımı grafik kullanıcı arayüzünde (Şekil 4.15) yer alan elemanların denetimini sağlar. Yazılım aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır.

- Senaryo Parametreleri
- Arızalar
- Sanal Elemanlar
- Gerçek Elemanlar
- Cer Motorları
- Totman Sistemi
- CAN Ağ Mesajları



Şekil 4.15: Grafik kullanıcı arayüzü

1) Senaryo parametreleri: Simülasyon esnasında değeri güncellenen niceliklerin ilk değerleri eğitmen tarafından senaryo parametreleri aracılığıyla ilklendirilir. Senaryo tarafından aşağıdaki parametrelerin ilk değerleri belirlenir.

- Batarya voltajı: Lokomotifin sıcak yapılmasını, çeşitli elektronik kontrol devreleri ekipmanları ve elektrovalflerin çalışmasını sağlar. Anma gerilimi 110 V'tur. 95 V'un altında batarya sistemlerin çalışmasını sağlayamaz. Batarya, lokomotif sıcak yapıldığı anda batarya şarj regülatörü tarafından şarj edilir. Senaryo parametreleri bölümünde değeri 95 V ile 110 V arasında değişecek şekilde ayarlanır. Bu değeri değiştirmek için kullanıcı arayüzünde kaydırıcı (slider) kullanılır.

- Tren ilk hızı: Trenin ilk hızını, 0 ile trenin maksimum hızı arasında kaydırıcı ile değiştirebilecek şekilde değiştirir. Simülasyona tren sıfırdan farklı hızlarda başlayabilir.

- Pantograf durumu: Simülasyon başlangıcında pantografın hatta temas edip etmediğini gösterir. Kullanıcı arayüzünde bir kontrol kutusu ile gösterilir. Kutunun işaretlenmesi pantografın kalkık, işaretlenmemesi ise inik olduğunu gösterir.

- Disjonktör durumu: Simülasyon başlangıcında disjonktörün tutup tutmadığını gösterir. Kullanıcı arayüzünde bir kontrol kutusu ile gösterilir. Kutunun işaretlenmesi disjonktörün tutuk, işaretlenmemesi ise çözük olduğunu gösterir.

- Totman devrede: Totman sisteminin devrede olup olmadığını gösterir. Kullanıcı arayüzünde bir kontrol kutusu ile gösterilir. Kutu işaretlenmişse totman devrededir. İşaretlenmemişse totman devrede değildir.

- Trenin kütlesi: Tren kütlesinin tren hızını nasıl etkilediğini göstermek amacıyla senaryo parametrelerinde yer alır. Lokomotifin kütlesi 120 ton ve her bir vagonun kütlesi 40 tondur. Simülasyon esnasında değeri 120-240 ton arasında değiştirilebilir olacaktır.

- Eğim: Tren hızına etki eden bir parametre olarak simülasyonda yer almaktadır. Değeri senaryo parametrelerinden açısal olarak verilmektedir. Tren en fazla 3° eğime maruz kaldığından değeri 0-3 arasında değişmektedir. Simülasyon esnasında değeri kullanıcı tarafından değiştirilebilir.

Ayrıca, senaryo parametrelerinden hat voltajı, trenin azami hızı ve raylardaki kıvrımları gösteren kurp yarıçapı parametreleri de belirlenebilir. Fakat yapılan çalışmada tren hızı ve cer motorları akımlarının hesaplanmasında kolaylık sağlamak amacıyla bu parametrelerin değeri simülasyon boyunca sabit kalmaktadır. Hat voltajı 25000 V, azami hız 90 km/h, kurp yarıçapı ise 100000 m olarak alınmaktadır.

2) Arızalar: Kullanıcı arayüzünden simülasyon esnasında herhangi bir anda eğitmen tarafından seçilen en fazla 5 adet arıza verilebilmektedir. Bu arızalardan bazıları

eğitmen tarafından kaldırılabilir nitelikte olacaktır. Eğitmen tarafından verilecek arızalar hakkında bilgi aşağıda verilmektedir.

a) Elektronik şalter arızası: Elektronik şalter trenin elektrik sisteminde bulunan elektronik kontrol devrelerinin çalışmasını sağlar. Bu arıza sonucunda aşağıdaki işlemler gerçekleşir:
   - Elektronik şalter atar.
   - DJ çözer. Cer motorları durur. Tren yavaşlamaya başlar.
   - Beşli Arıza Lambalarından DJ Açık lambası yanar ve Arıza lambası flaş yapar.
   - Matris Tablo lambalarından Hızlı Devre Kesici 1-2 ve elektronik kontrol lambaları yanar.

Arızanın giderilmesi için elektronik şalterin yeniden tanzim edilmesi gerekir. Şalter tanzim edildiğinde yanan ve flaş yapan tüm lambalar söner. Fakat disjonktörün DJ çıtçıt anahtarının makinist tarafından tekrar tutturulması gerekir. Bu arıza eğitmen tarafından iptal edilemez.

b) Batarya şalteri attırma arızası: Batarya şalteri, lokomotifin sıcak yapılmasını sağlamak amacıyla bataryadan ilk enerjinin alınmasını sağlayan devre elemanıdır. Ayrıca lokomotif soğuk olduğunda ikaz lambaları ve elektronik kontrol devrelerini besler. Batarya şalteri attırma arızasının sonucunda aşağıdaki işlemler gerçekleşir:
   - Batarya şalteri atar.
   - Arıza pantograf kalkmadan önce verilmiş ise pantograf kalkmaz, disjonktör tutmaz. Cer motorları devreye girmez. Beşli Arıza Lambalarından DJ Açık lambası yanar. Matris Tablo lambalarından Hızlı Devre Kesici 1-2 lambaları yanar.
   - Arıza lokomotif sıcak ve cer motorları devrede iken verilirse herhangi bir değişiklik olmaz.

Arızanın giderilmesi için batarya şalterinin yeniden tanzim edilmesi gerekir. Şalter tanzim edildiğinde yanan ve flaş yapan tüm lambalar söner. Fakat disjonktörün DJ

çıtçıt anahtarının makinist tarafından tekrar tutturulması gerekir. Bu arıza eğitmen tarafından iptal edilebilir. Bu durumda her şey arızadan önceki durumuna döner.

c) Cer motorları grup 1 iptal arızası: Cer motorlarından herhangi birinin çalışmasını engelleyecek bir arıza olması durumunda cer motorları grup olarak iptal edilebilir. Cer motorları, her grupta 3 motor olmak üzere toplam 6 adettir. Cer motorlarından 1. Grubun iptali sonucunda aşağıdaki işlemler gerçekleşir:
   - Cer motorları Grup 1 iptal şalteri devre dışı bırakılır.
   - 1. Grup cer motorları durur.
   - Beşli Arıza Lambalarından Arıza lambası flaş yapar.
   - Matris Tablo lambalarından Hızlı Devre Kesici 1 lambası yanıyor ise söner.
   - Cer motorları grup 1 akım göstergesi 0 gösterir.

Arızanın giderilmesi için cer motorları grup 1 iptal şalterinin yeniden tanzim edilmesi gerekir. Şalter tanzim edildiğinde yanan ve flaş yapan tüm lambalar söner. Bu arıza eğitmen tarafından iptal edilebilir. Bu durumda her şey arızadan önceki durumuna döner.

d) İşletme anahtarı arızası: İşletme anahtarı lokomotifin sıcağa alınmasını sağlayan anahtardır. Bu arıza tren seyir halinde iken verilemez. Eğitmen tarafından bu arıza verildiğinde aşağıdaki işlemler gerçekleşir:
   - İşletme anahtarı devre dışı bırakılır.
   - Pantograf kalkmaz, disjonktör tutmaz, cer motorları devreye girmez.
   - Beşli Arıza Lambalarından DJ Açık lambası yanar, arıza lambası flaş yapar.
   - Matris Tablo lambalarından Hızlı Devre Kesici 1 ve 2 lambaları yanar. Arızanın giderilmesi için işletme anahtarının yeniden tanzim edilmesi gerekmektedir.

Şalter tanzim edildiğinde flaş yapan arıza lambası söner. Bu arıza eğitmen tarafından iptal edilebilir. Bu durumda her şey arızadan önceki durumuna döner.

e) Batarya voltajı düşürme arızası: Batarya voltajı, batarya şarj giriş ve batarya şarj iptal şalterleri ile kontrol edilir. Bu şalterlerden herhangi biri devre dışı bırakıldığında batarya ikaz lambaları ve elektronik devreleri beslediğinden voltajı düşmeye başlar. Eğitmen tarafından bu arıza verildiğinde aşağıdaki işlemler gerçekleşir:
   - Batarya şarj giriş ve batarya şarj iptal şalterleri devre dışı bırakılır.
   - Batarya voltajı düşer. Batarya voltajı 95 V'un altına indiği anda pantograf iner, disjonktör çözer, cer motorları durur.
   - Beşli Arıza Lambalarından DJ Açık lambası yanar, arıza lambası flaş yapar.
   - Matris Tablo lambalarından Hızlı Devre Kesici 1 ve 2 lambaları ile Yardımcı Güç Kaynağı lambası yanar.

Arızanın giderilmesi için her iki şalterin de yeniden tanzim edilmesi gerekir. Şalter tanzim edildiğinde arıza lambası ve yardımcı güç kaynağı lambaları söner. Bataryanın harici olarak şarj edilmesi gerekir. Bu arıza eğitmen tarafından iptal edilebilir. Bu durumda her şey arızadan önceki durumuna döner.

3) Sanal elemanlar: Lokomotif üzerinde elektrik kumanda dolapları (alçak voltaj dolabı, yüksek voltaj dolabı, fren paneli vb.) içinde bulunan elemanlar sanal olarak temsil edilmektedir. Bu elemanlar kullanıcı arayüzü üzerinden kontrol edilmektedir. Sanal olarak temsil edilen elemanlar işletme anahtarı, cer motorları grup 1 iptal şalteri, batarya şalteri, batarya şarj giriş ve batarya şarj iptal şalterleridir.

4) Gerçek elemanlar: Lokomotif üzerinde makinist kabini üzerinde bulunan hızlandırma kolu, dinamik fren kolu, makinist musluğu, imdat butonu, totman pedalı, PT çıtçıt anahtarı, DJ çıtçıt anahtarı, elektronik şalter, batarya voltajı, tren hızı, hat voltajı, cer motor grup 1 akım göstergelerinin durumları gösterilmektedir. Bu bölümde ayrıca cer motor grup 2 akım değerleri ve aynı zamanda pantograf ve disjonktör durumlarına göre lokomotifin hangi durumda olduğunu gösteren elektrik sistem durumu değişkeni de bulunmaktadır. Bu elemanların durumları aynı zamanda makinist kabininden de gözlenebilir. Makinist kabinindeki

elemanların durumlarını kullanıcı arayüzünden de izleyebilmek amacıyla kullanıcı arayüzünde gösterilmektedir.

5) Cer motorları: Trenin hareket etmesini sağlayan 6 adet cer motorunun durumlarını gösterir. Cer motorları hareket halindeyken durumlarını ON, herhangi bir arıza sonucu ve hızlandırma kolunun kapatılması durumunda cer motorları OFF durumundadır.

6) Totman sistemi: Totman sisteminin durumunu gösterir. Totmanın "DEVRE DIŞI", "TOTMAN NORMAL", "TOTMAN İHBAR", "TOTMANA KAÇTI" olmak üzere 4 durumu vardır. Totman sisteminde herhangi bir değişiklik olduğunda totman durumu güncellenir. Totman durumlarının özellikleri ve arasındaki geçişler aşağıda verilmektedir.

- Devre dışı: Totman sistemi senaryodan devre dışı bırakıldığında veya tren hızı 5 km/h'in altına düştüğünde devre dışı modundadır.

- Totman normal: Hızlandırma kolu, dinamik fren kolu veya totman pedalı hareket ettirildiği sürece totman sistemi bu durumdadır.

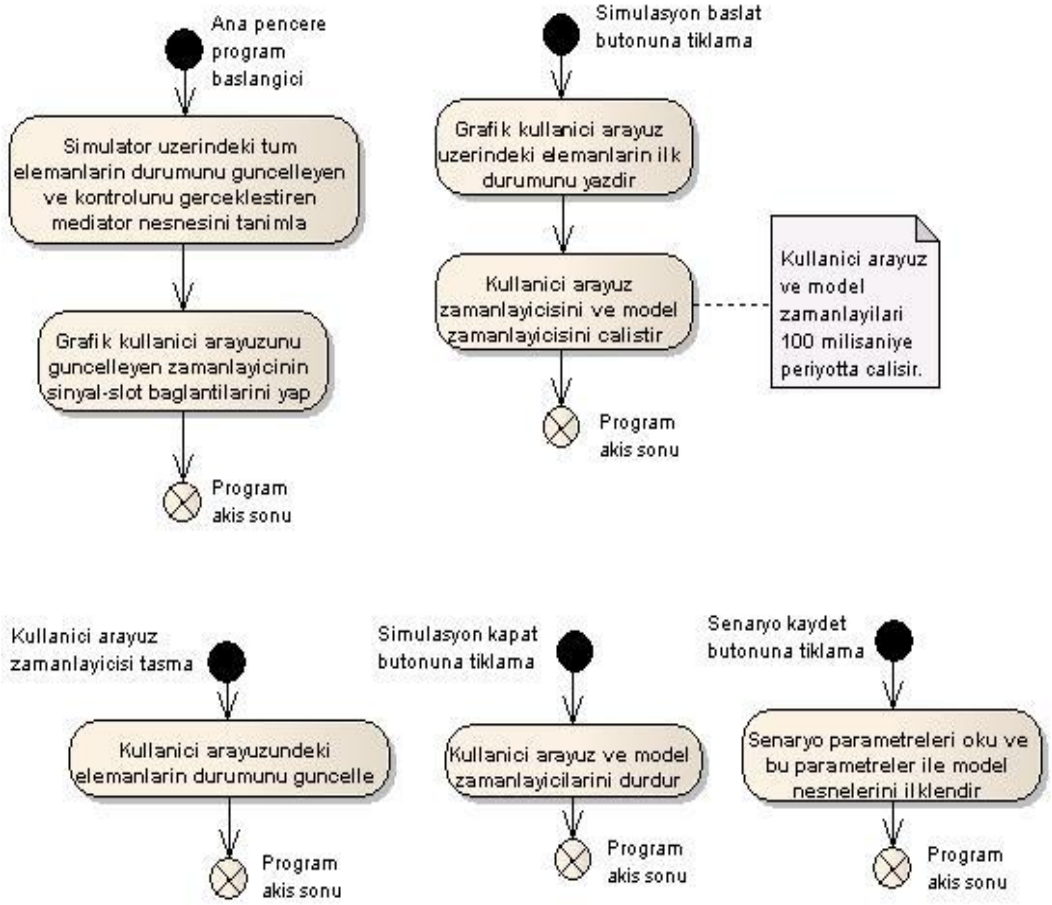
- Totman ihbar: Totman normal durumda iken hızlandırma kolu, dinamik fren kolu ve totman pedallarından herhangi biri 5 saniye içinde hareket ettirilmediği zaman totman ihbar durumuna girer ve sesli uyarı ile makiniste haber verir.

- Totmana kaçtı: Totman ihbar durumunda iken 10 saniye içinde yukarıdaki işlemlerden herhangi biri yapılmadığı zaman totman sistemi totmana kaçtı uyarısı verir. Bu durumda pantograf iner, disjonktör çözer. DJ Açık lambası yanar. Arıza lambası flaş yapar.

Tren maksimum hızla seyrederken dinamik fren kullanıldığında veya imdat butonuna basıldığında da sistem "Totmana Kaçtı" uyarısı verir.

7) CAN Ağ Mesajları: CAN Ağı üzerinden gömülü donanım birimlerine ve simülatör bilgisayarına gönderilen mesajları içerir. Gönderilen mesajın adını, kimlik numarasını ve verisini bildirir.

Grafik kullanıcı arayüz yazılımına ait akış diyagramları Şekil 4.16'da verilmektedir.



Şekil 4.16: Grafik kullanıcı arayüz işlevleri yazılım akış diyagramı

4.2.2. CAN sürücü arayüz yazılımı

Simülatör bilgisayarı ile gömülü donanım birimleri arasında haberleşmeyi sağlayan ve USB-CAN dönüştürücüye erişime izin veren yazılımdır. CAN sürücü arayüz yazılımı iki bölümden oluşur. İlk bölüm CAN düğüm donanımına erişmeyi sağlayan uygulama programlama arayüz yazılımı, diğer bölüm ise uygulama programlama arayüzü işlevlerini kullanarak CAN ağına gönderilecek verileri hazırlayan, CAN ağından alınan verileri kaydeden ve alınan mesaja göre işlem yapan haberleşme uygulama yazılımıdır.

4.2.2.1. Uygulama programlama arayüz yazılımı

Uygulama programlama arayüz yazılımı USB-CAN dönüştürücü cihazının sürücü yazılımına erişimi sağlayan yazılımdır. Bir dinamik bağ kütüphanesinden oluşur ve bu kütüphane bir DLL dosyası olarak derlenecek projeye yüklenir. Bu kütüphanenin kaynak kodunda yer alan işlevlere dinamik bağ kütüphanesi ile aynı isimde olan bir uygulama programlama arayüzü başlık dosyası (header file) aracılığı ile erişilir.

Dinamik bağ kütüphanesi yazılımında yer alan ve uygulama yazılımında kullanılan işlevler aşağıda tanımlanmaktadır.

- CAN Düğümü İlklendirme: Bu işlem dll kaynak kodda yer alan CAN Düğümü ilklendirme fonksiyonu ile gerçekleştirilir. CAN Düğümü İlklendirme fonksiyonu parametre olarak bit zamanlama saklayıcı ve mesaj tipi değişkenlerinin değerlerini alır ve ilklendirme işleminin sonucunu döndürür. Bit zaman saklayıcısına CAN ağ hızına ilişkin değer yazılır. Yapılan uygulamada CAN ağ hızı maksimum hız olan 1 Mbps olarak seçilmiştir. Bunun için bit zaman saklayıcısına 0x0014 değeri yazılır. Mesaj tipi standart veya genişletilmiş olabilir. İlklendirme işleminin sonucu ise işlem hatalı veya işlem başarılıdır.

- CAN Mesajları Filtreleme: Bu işlem dll kaynak kodda yer alan CAN mesaj filtreleme fonksiyonu ile gerçekleştirilir. CAN mesaj filtreleme fonksiyonu parametre olarak taban mesaj kimlik numarası, son mesaj kimlik numarası ve mesaj tipi değişkenlerini alır ve filtreleme işleminin sonucunu döndürür. Bu fonksiyon taban mesaj kimlik numarası ile son mesaj kimlik numarası arasında kalan mesajların alınmasını sağlar. İşlem hatalı veya işlem başarılı sonucunu döndürür.

- CAN Mesajı Yazma: Bu işlem dll kaynak kodda yer alan CAN mesaj yazma fonksiyonu ile gerçekleştirilir. CAN mesaj yazma fonksiyonu parametre olarak mesaj tamponunun adresini alır ve yazma işleminin sonucunu döndürür. Mesaj yazma fonksiyonu çağrılmadan önce RAM alanında geçici bir mesaj tamponu hazırlanmalıdır. Bu tamponda mesaj kimlik numarası, mesaj tipi, mesaj uzunluğu

ve 8 byte'lık mesaj verisi bölümleri vardır. Bu tamponun adresi mesaj yazma fonksiyonuna geçirilir. Mesaj yazma fonksiyonu işlem hatalı, işlem başarılı, ağ kopuk ve iletim tamponu dolu gibi sonuçlar döndürür.

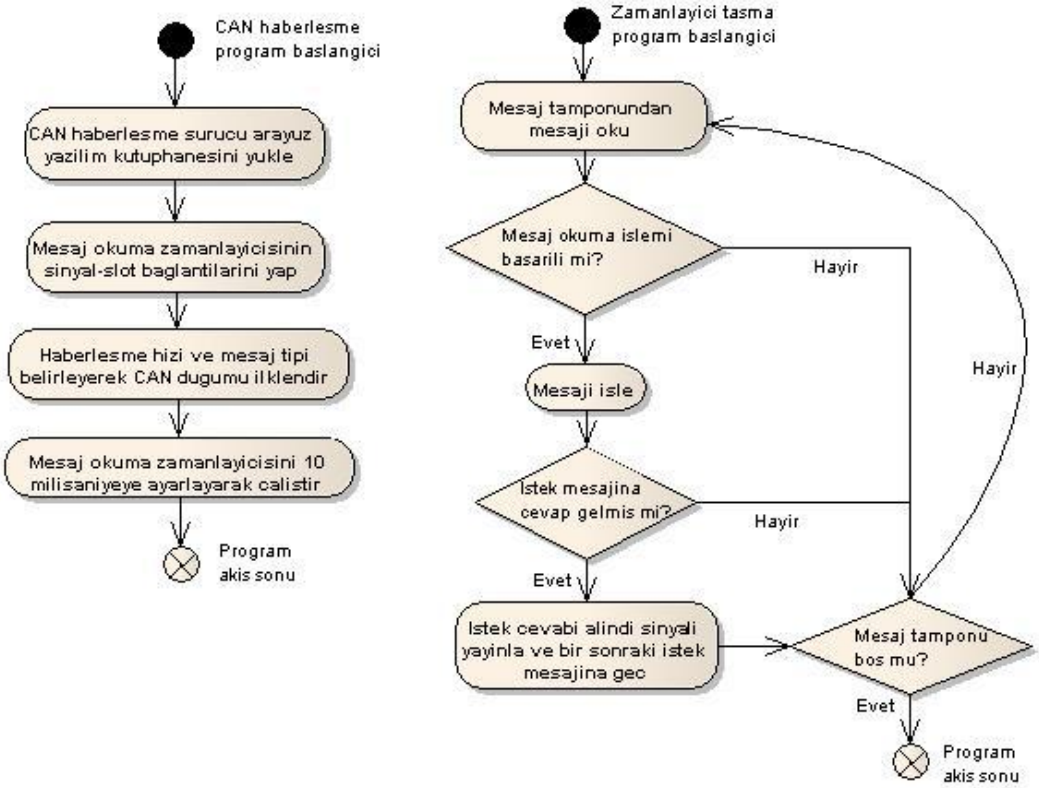
- CAN Mesajı Okuma: Bu işlem dll kaynak kodda yer alan CAN mesaj okuma fonksiyonu ile gerçekleştirilir. CAN mesaj okuma fonksiyonu parametre olarak mesaj tamponunun adresini alır ve okuma işleminin sonucunu döndürür. Mesaj okuma fonksiyonu çağrılmadan önce RAM alanında geçici bir mesaj tamponu tanımlanır. Bu tampon mesaj yazma işlemindeki ile aynı parametrelere sahiptir. Mesaj okuma fonksiyonu ile CAN denetleyicinin mesaj alma tamponundan gerekli veriler alınıp RAM alanında tanımlı mesaj tamponuna yazılır. Mesaj okuma fonksiyonu işlem hatalı, işlem başarılı, alım tamponu boş gibi sonuçlar döndürür. CAN düğümünde bulunan mesaj alım tamponunda biriken mesajlar 10 ms periyodik aralıklar ile RAM alanındaki mesaj tamponuna yazılır.

- CAN Düğümü Sonlandırma**:** Bu işlem dll kaynak kodda yer alan CAN düğüm sonlandırma fonksiyonu ile gerçekleştirilir. CAN düğüm sonlandırma fonksiyonu hiçbir parametre almaz ve okuma işleminin sonucunu döndürür. CAN düğümü sonlandırma fonksiyonu düğüm için gerekli CAN haberleşme donanımını sonlandırır ve sonlandırma işleminin sonucunu işlem başarılı veya işlem hatalı olarak gönderir.

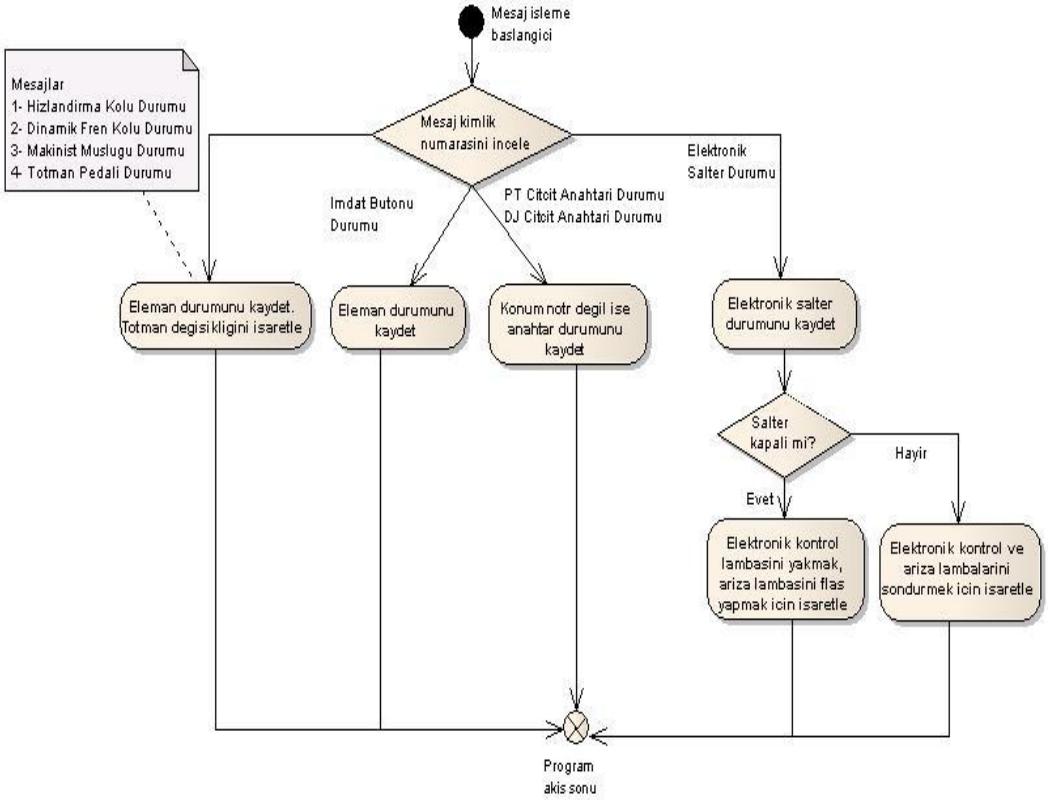
4.2.2.2. Haberleşme uygulama yazılımı

Haberleşme uygulama yazılımı uygulama programlama arayüz yazılımına erişim sağlayarak CAN haberleşmesine imkan tanıyan yazılımdır.

Haberleşme uygulama yazılımı düğüm oluşturma ve ilklendirme, mesaj okuma ve mesaj işleme işlevlerinden oluşur. Bu işlevlerin yazılım akış diyagramları Şekil 4.17 ve 4.18'de verilmektedir.



Şekil 4.17: İlklendirme ve mesaj okuma işlevleri yazılım akış diyagramları



Şekil 4.18: Mesaj işleme işlevi yazılım akış diyagramı

4.2.2.3. CAN ağ mesajları

Simülatör bilgisayarı CAN ağı üzerinden İbreli Gösterge Birimleri, Lamba Birimi ve Sigorta Birimine mesaj gönderir. Kol Birimi, Buton Birimi ve Sigorta Biriminden mesaj alır. Her bir birimdeki elemanlar için gelecekteki güncellemeler ve eklemeler düşünülerek 1 adet kontrol mesajı, 1 adet de durum mesajı tahsis edilmiştir. Kontrol mesajlarının kaynağı simülatör bilgisayarı, durum mesajlarının kaynağı gömülü donanım birimleridir. Mesajların önceliği ilk olarak elemanın önem durumuna, sonra da kaynağına bakılarak belirlenir. Mesaj kaynağı ele alındığında durum mesajları, kontrol mesajlarına göre yüksek önceliğe sahiptir. Çünkü elemanın güncel durumunu bildirir. Bu durum simülatörün çalışmasında değerlendirilmek zorundadır. Bu yüzden belirleyici olması amacıyla simülatör bilgisayarından gönderilen mesajlar son biti 1 olacak şekilde, gömülü donanım birimlerinden gönderilenler ise son biti 0 olacak şekilde düzenlenmiştir. Simülatör bilgisayarının aldığı mesajların adları ve kimlik numaraları Tablo 4.3'de, gönderdiği mesajların adları ve kimlik numaraları Tablo 4.4'de verilmektedir.

Tablo 4.3: Simülatör bilgisayarının aldığı mesajlar

Sıra	Mesaj Adı	Birim Adı	Mesaj Kimlik No
1	İmdat Butonu	Buton Birimi	0x00000000
2	Elektronik Şalter Durum	Sigorta Birimi	0x00000010
3	Makinist Musluğu	Kol Birimi	0x00000020
4	Hızlandırma Kolu	Kol Birimi	0x00000030
5	Dinamik Fren Kolu	Kol Birimi	0x00000040
6	Totman Pedalı	Buton Birimi	0x00000050
7	PT Çıtçıt Anahtarı	Buton Birimi	0x00000060
8	DJ Çıtçıt Anahtarı	Buton Birimi	0x00000070

Tablo 4.4: Simülatör bilgisayarından gönderilen mesajlar

Sıra	Mesaj Adı	Birim Adı	Mesaj Kimlik No
1	Elektronik Şalter Attır	Sigorta Birimi	0x00000011
2	Hat Voltajı	İbreli Gösterge Birimi	0x00000081
3	Cer Grup1 Akımı	İbreli Gösterge Birimi	0x00000091
4	Batarya Voltajı	İbreli Gösterge Birimi	0x000000A1
5	Tren Hızı	İbreli Gösterge Birimi	0x000000B1
6	DJ Açık Lambası	Lamba Birimi	0x000000C1
7	Arıza Lambası	Lamba Birimi	0x000000D1
8	İhbar Lambası	Lamba Birimi	0x000000E1
9	Patinaj İhbar Lambası	Lamba Birimi	0x000000F1
10	Tren Isıtma Lambası	Lamba Birimi	0x00000101
11	Hat Voltajı Lambası	Lamba Birimi	0x00000111
12	Ana Transformatör Lambası	Lamba Birimi	0x00000121
13	Ana Konvertör Lambası	Lamba Birimi	0x00000131
14	Hızlı Devre Kesici 1 Lambası	Lamba Birimi	0x00000141
15	Cer Motor 1 Aşırı Yük	Lamba Birimi	0x00000151
16	Cer Motor 2 Aşırı Yük	Lamba Birimi	0x00000161
17	Cer Motor 3 Aşırı Yük	Lamba Birimi	0x00000171
18	Hızlı Devre Kesici 2	Lamba Birimi	0x00000181
19	Cer Motor 4 Aşırı Yük	Lamba Birimi	0x00000191
20	Cer Motor 5 Aşırı Yük	Lamba Birimi	0x000001A1
21	Cer Motor 6 Aşırı Yük	Lamba Birimi	0x000001B1
22	Güç Faktörü Düzeltme	Lamba Birimi	0x000001C1
23	Elektronik Kontrol	Lamba Birimi	0x000001D1
24	Elektriki Fren	Lamba Birimi	0x000001E1
25	Ana Dirençler	Lamba Birimi	0x000001F1
26	Yardımcı Güç Kaynağı	Lamba Birimi	0x00001001
27	Üfürücü	Lamba Birimi	0x00001011

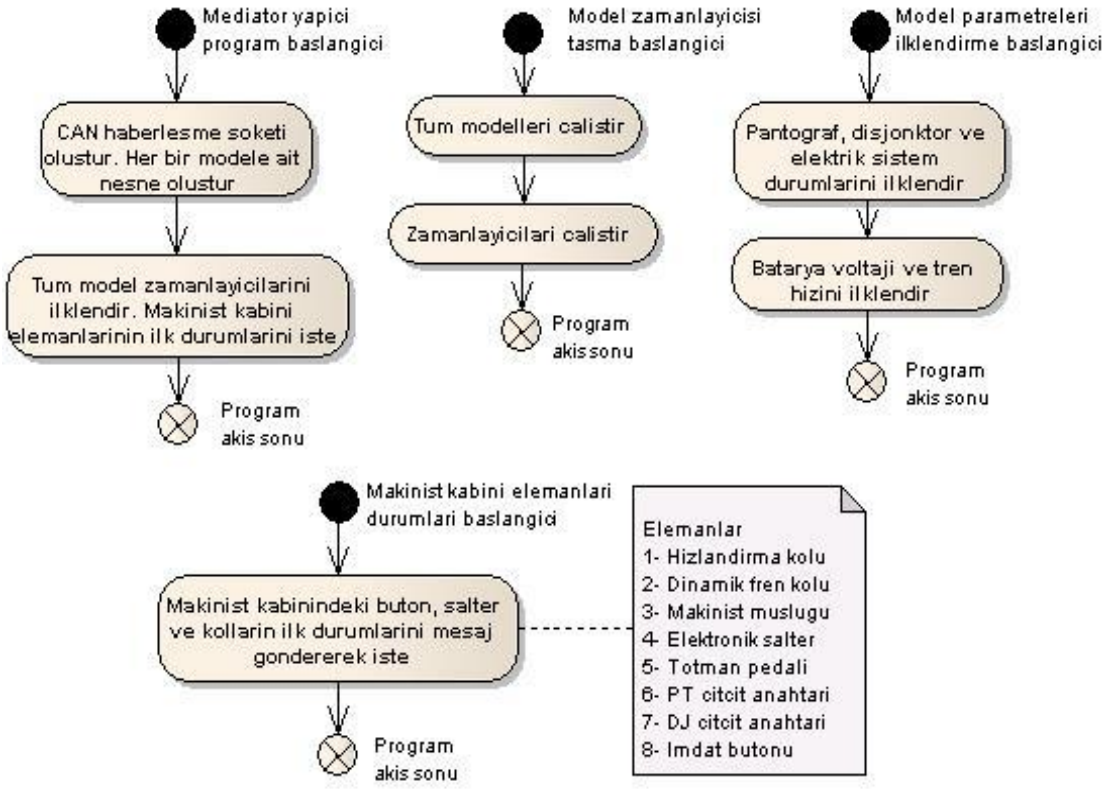
4.2.3. Model yazılımları

Simülatör bilgisayarında sistemin işleyişi, mesaj gönderme işlemleri, ara değişkenlerin güncellenmesi her birine ayrı görev tahsis edilen modeller tarafından gerçekleştirilir. Modellerin tümü ayrı birer sınıf olarak tanımlanmış ve ortam yürütücüsü adı verilen bir sınıf içinde birer nesne olarak yer alırlar. Yazılımı gerçekleştirilen modeller:

- Elektrik Sistem Modeli

- Cer Motorları Modeli
- Batarya Şarj Modeli
- Lambalar Modeli
- Totman Modeli
- Tren Hızı Hesaplama Modeli
- Cer Akımı Hesaplama Modeli

Bu modeller her 100 ms'de bir periyodik olarak çalıştırılır. Ortam yürütücüsü sınıfına ait yazılım nesnesinin gerçekleştirmiş olduğu işlevlerin yazılım akış diyagramları Şekil 4.19'da verilmektedir.



Şekil 4.19: Ortam yürütücüsü işlevlerinin yazılım akış diyagramları

4.2.3.1. Elektrik sistem modeli

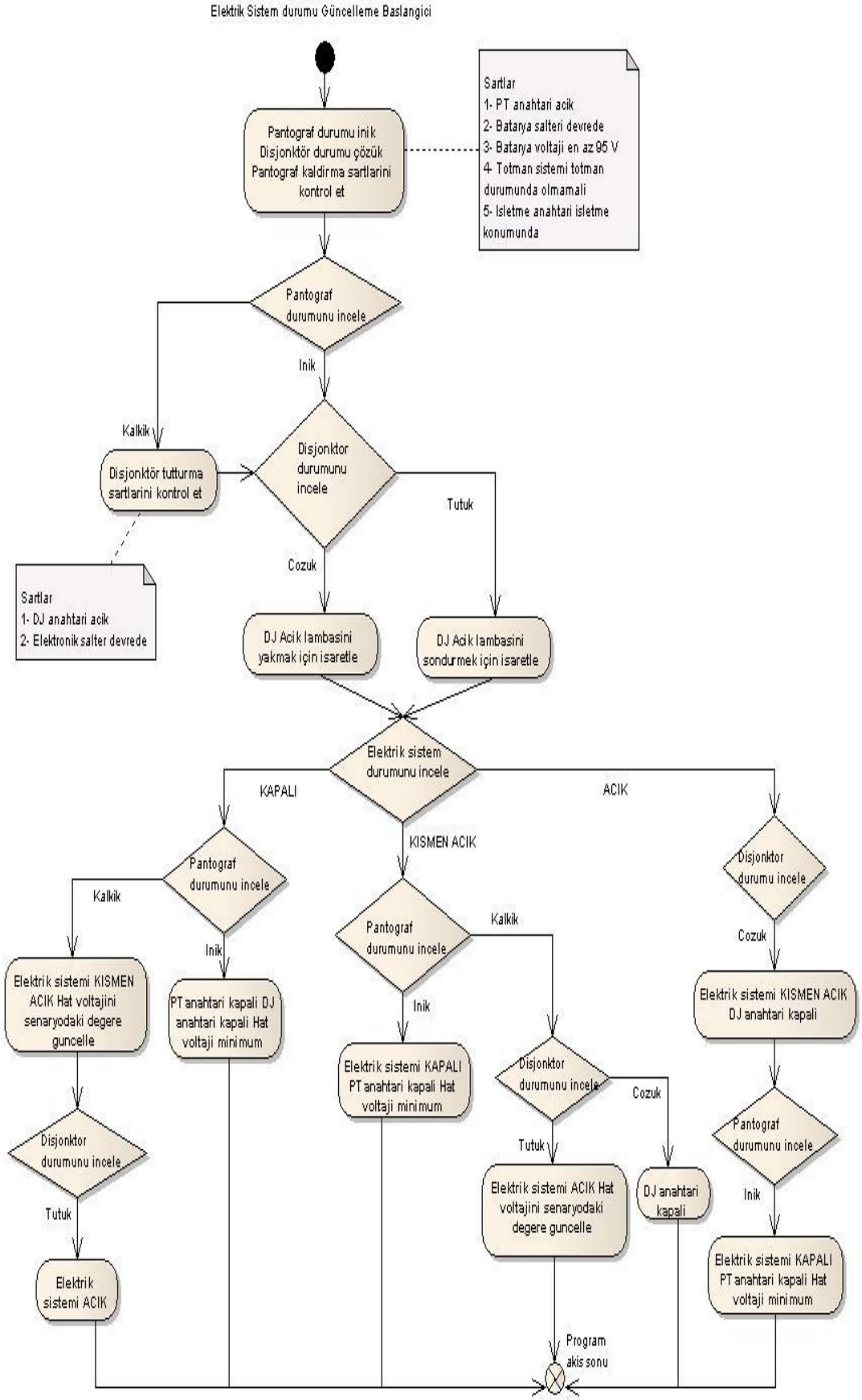
Elektrik Sistem modelinde elektrik sistem ara değişkeni tanımlanır ve model her çalıştırıldığında bu değişkenin durumu güncellenir. Bu değişken ile birlikte pantograf

ve disjonktörün durumları ile hat voltajı değeri de güncellenir. Bu değişkenin alabileceği durumlar ve tanımları aşağıda verilmektedir.

- KAPALI: Pantograf inik, disjonktör çözük olma durumu
- AÇIK: Pantograf kalkık, disjonktör tutuk olma durumu
- KISMEN AÇIK: Pantograf kalkık, disjonktör çözük olma durumu

Elektrik sistem değişkeninin bu durumlarına göre DJ Açık lambası yakıp veya söndürmek için işaretlenir. Ayrıca elektrik sistem durumuna ve senaryo parametrelerinden gelen hat voltajı değerine göre hat voltajının değeri güncellenir. Güncellenen hat voltajı değeri CAN ağı üzerinden ibreli gösterge birimine gönderilerek hat voltmetresinin güncellenmesi sağlanır.

Elektrik sistem modelinin yazılım akış diyagramları Şekil 4.20'de gösterilmektedir.



Şekil 4.20: Elektrik sistem durumu güncelleme işlevi yazılım akış diyagramı

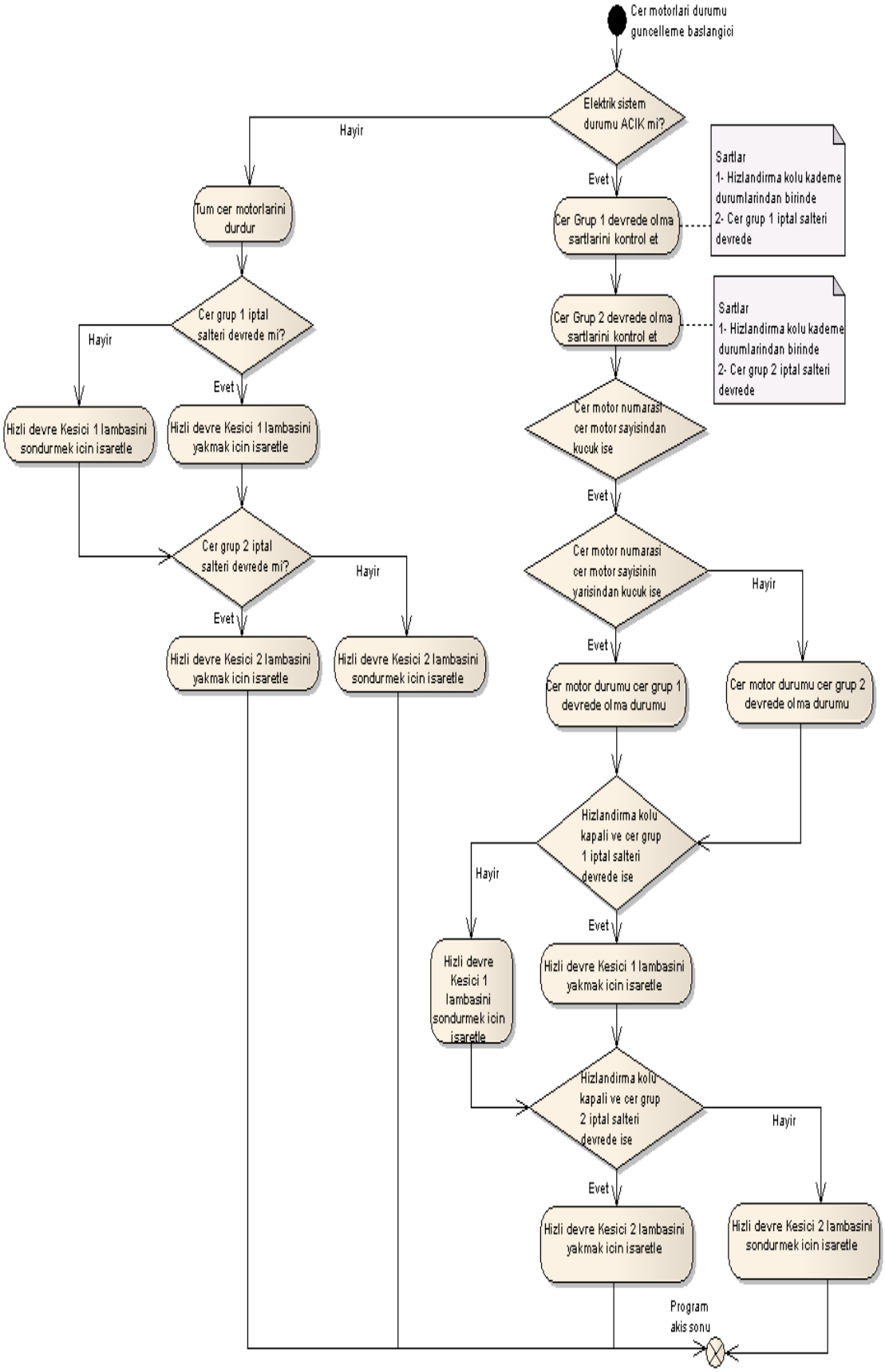
4.2.3.2. Cer motorları modeli

Cer motorlarının çalışma durumunu kontrol eder. Cer motorlarının çalışması ile ilgili ölçütler aşağıda verilmektedir.

- Elektrik sistemi açık durumda olmalıdır.
- Hızlandırma kolu hız kademelerinden herhangi birinde olmalıdır.
- Dinamik fren kolu kapalı durumda olmalıdır.
- Cer grup 1 ve 2 iptal şalterleri enerjilendirilmiş durumda olmalıdır.

Cer grup 1 iptal şalteri iptal edilmiş ise cer grup 1 motorları, cer grup 2 iptal şalteri iptal edilmiş ise cer grup 2 motorları devre dışı bırakılmış olur.

Cer motorları modelinin yazılım akış diyagramı Şekil 4.21'de gösterilmektedir.



Şekil 4.21: Cer motor durumları güncelleme işlevi yazılım akış diyagramı

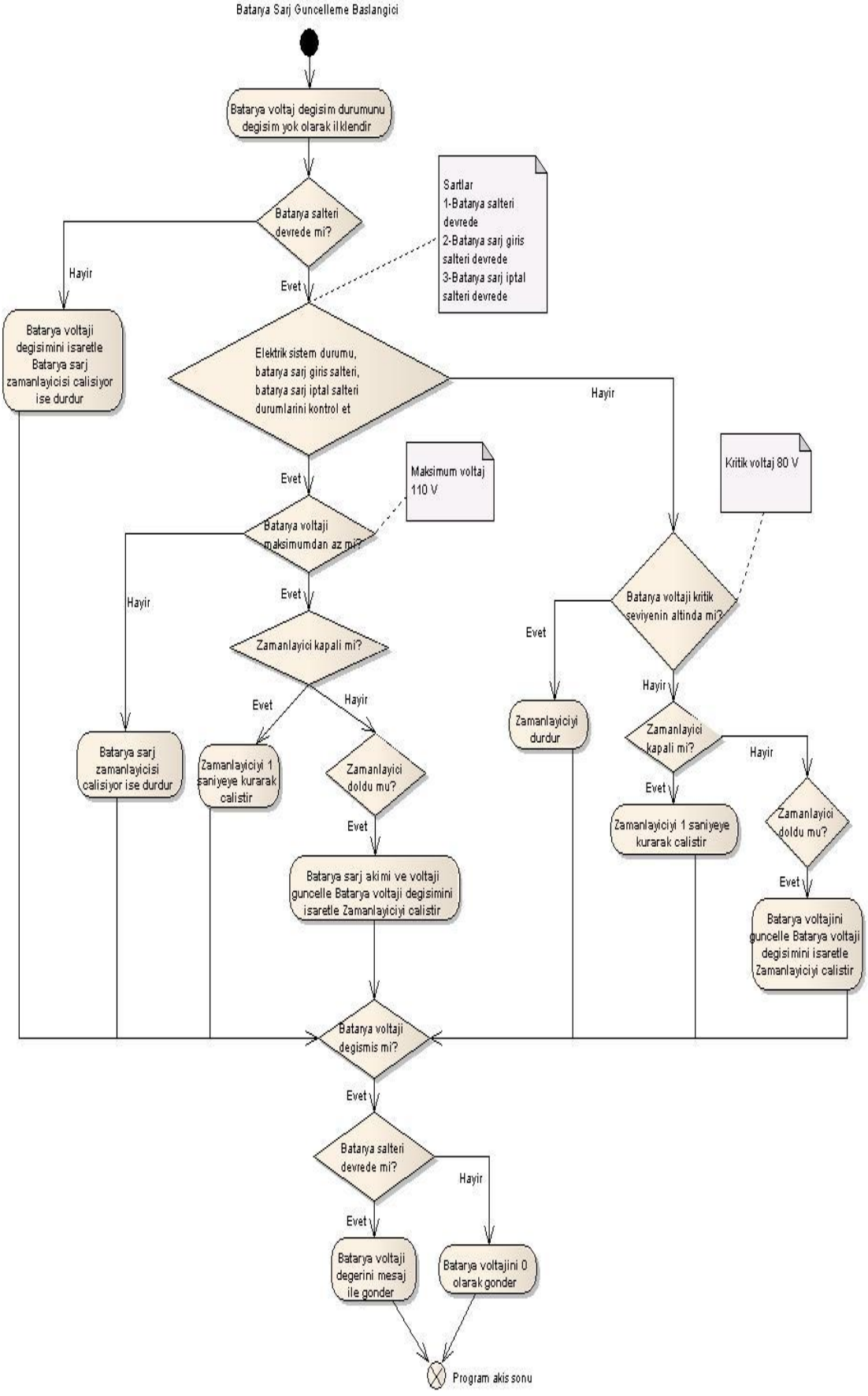
4.2.3.3. Batarya şarj modeli

Batarya voltajının güncellenmesini sağlar. Bunu gerçekleştirirken batarya şarj akımı ve batarya şarj zamanlayıcısını kullanır. Batarya şarj zamanlayıcısı her 1 saniyede bir periyodik olarak çalışır. Batarya voltajı da bu periyoda göre güncellenir. Batarya voltajı aşağıdaki durumlara göre güncellenir.

- Elektrik sistemi açık iken batarya şarj giriş, batarya şarj iptal ve batarya şalterleri devrede ise batarya voltajı azalan şarj akımı ile şarj edilir. 110 V anma değerine ulaştığında batarya şarj olmaz.
- Elektrik sistemi açık değil iken veya batarya şarj giriş ve batarya şarj iptal iptal şalterlerinden biri devrede değil iken batarya şalterleri devrede batarya minimum akım ile deşarj edilir. Batarya voltajı alt limit değerine ulaştığında deşarj durumu kesilir.
- Batarya şalteri devrede değil iken batarya voltmetresi 0 gösterir.

Yukarıdaki durumlara göre batarya voltajı güncellemesi yapıldıktan sonra eğer batarya voltajı değiştiyse batarya voltaj değeri CAN ağı üzerinden ibreli gösterge birimine gönderilir.

Batarya şarj modelinin yazılım akış diyagramı Şekil 4.22'de gösterilmektedir.



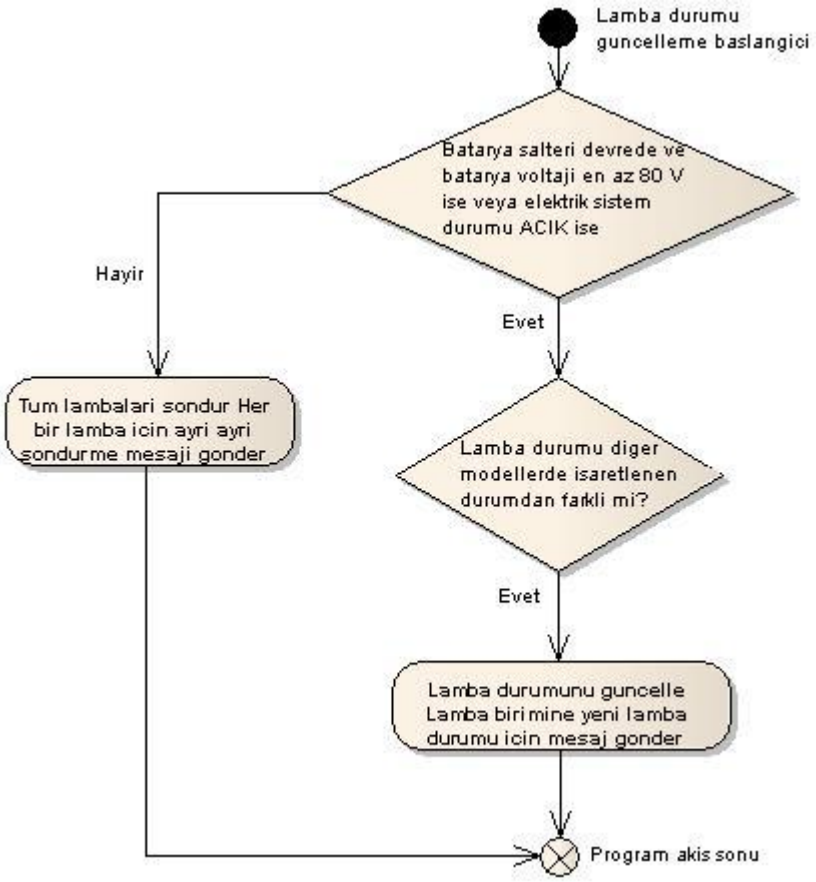
Şekil 4.22: Batarya şarj güncelleme işlevi yazılım akış diyagramı

4.2.3.4. Lambalar modeli

Lamba durumlarının güncellenmesini sağlar. Lamba durumları aşağıdaki durumlara göre güncellenir.

- Elektrik sistemi açık değil ise ve batarya şalteri devrede değil veya batarya voltajı kritik değer olan 80 V'un altında ise hiçbir lamba yanmaz.
- Elektrik sistemi açık ise veya batarya şalteri devrede ve batarya voltajı kritik değer olan 80 V'un üzerinde ise diğer modellerin çalışması sonucu işaretlenen lambaların durumu güncellenir.

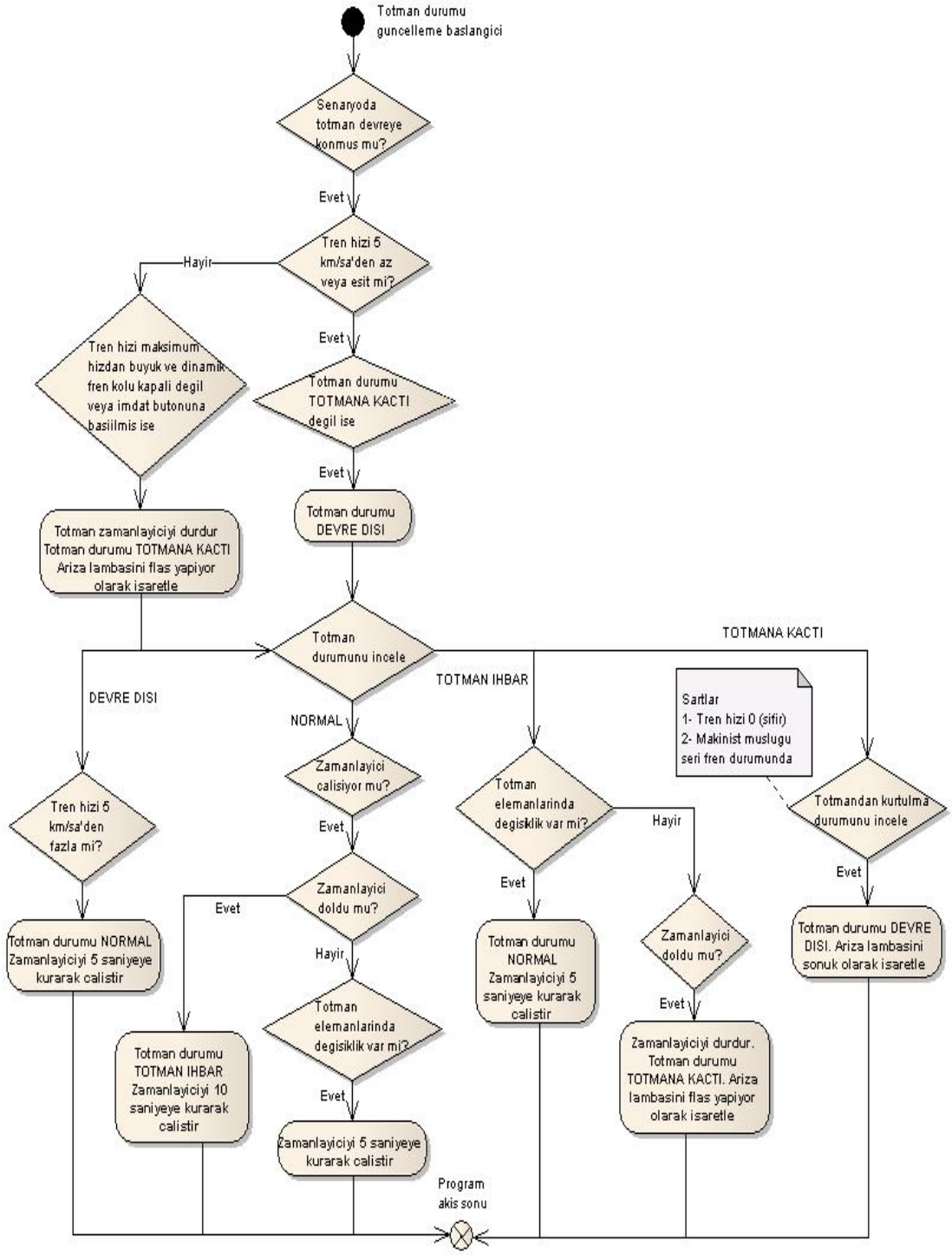
Güncellenen lambaların durumları CAN ağı üzerinden mesaj ile lamba birimine gönderilir ve gönderilen mesajın içeriğine göre makinist kabini üzerindeki lambaların durumları güncellenir. Lambalar modelinin yazılım akış diyagramı Şekil 4.23'te gösterilmektedir.



Şekil 4.23: Lamba durumu güncelleme işlevi yazılım akış diyagramı

4.2.3.5. Totman modeli

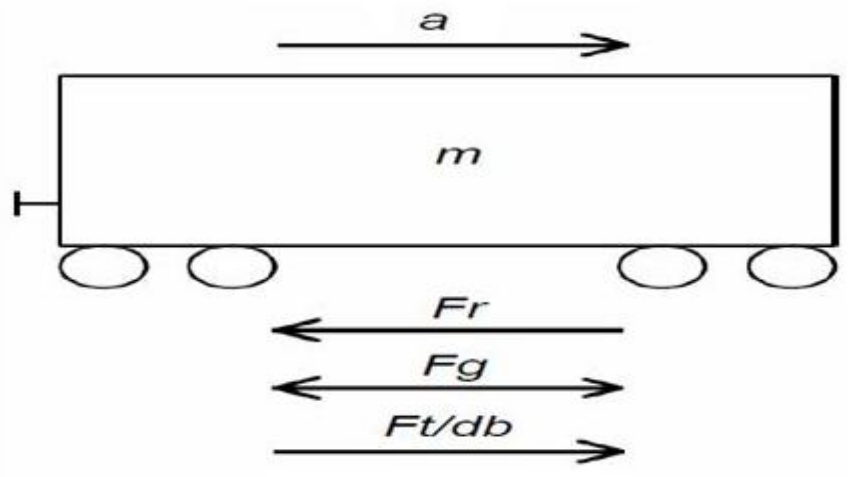
Totman durumlarının arasındaki geçişleri kontrol eder. Totman modelinin çalışma şekli Bölüm 4.1'de açıklanmıştır. Bu modelin yazılım akış diyagramı Şekil 4.24'te gösterilmektedir.



Şekil 4.24: Totman durumu güncelleme işlevi yazılım akış diyagramı

4.2.3.6. Tren hızı hesaplama modeli [24]

Tren hızı cer motorlarının hıza göre çekiş kuvveti grafiğinden elde edilir. Şekil 4.25'de gösterilen trenin hareketinde aşağıdaki kuvvetler etkilidir.



Şekil 4.25: Trene etki eden kuvvetler [26]

a: Trenin ivmesi

m: Trenin kütlesi

F_r: Yavaşlatıcı kuvvetlerin toplamı

F_g: Rampa direnci kuvveti

$F_{t/db}$: Çekiş veya dinamik fren kuvveti

Trenin hızı yukarıda tanımı verilen kuvvetlerin bileşkesinden elde edilir. Yavaşlatıcı kuvvetler (4.1) yuvarlanma ve aerodinamik direnç kuvveti, kurp direnci kuvveti, pnömatik fren kuvveti olmak üzere 3 bileşenden oluşmaktadır.

F_{pr}: Yuvarlanma ve aerodinamik direnç kuvvetlerinin toplamı

F_{cr}: Kurp direnç kuvveti

F_b: Pnömatik fren kuvveti

$$F_r = F_{pr} + F_{cr} + F_b \tag{4.1}$$

4.2.3.6.1. Çekiş veya dinamik fren kuvveti [24]

Tren ya da lokomotifi üzerindeki yük ile birlikte pozitif ivmelendiren, sabit hızda ilerleten ya da negatif ivmelendirerek frenlemesine neden olan kuvvettir. Çekiş kuvvetinin hıza göre değişimi Şekil 4.26'da, dinamik fren kuvvetinin hıza göre değişimi Şekil 4.27'de verilmektedir.

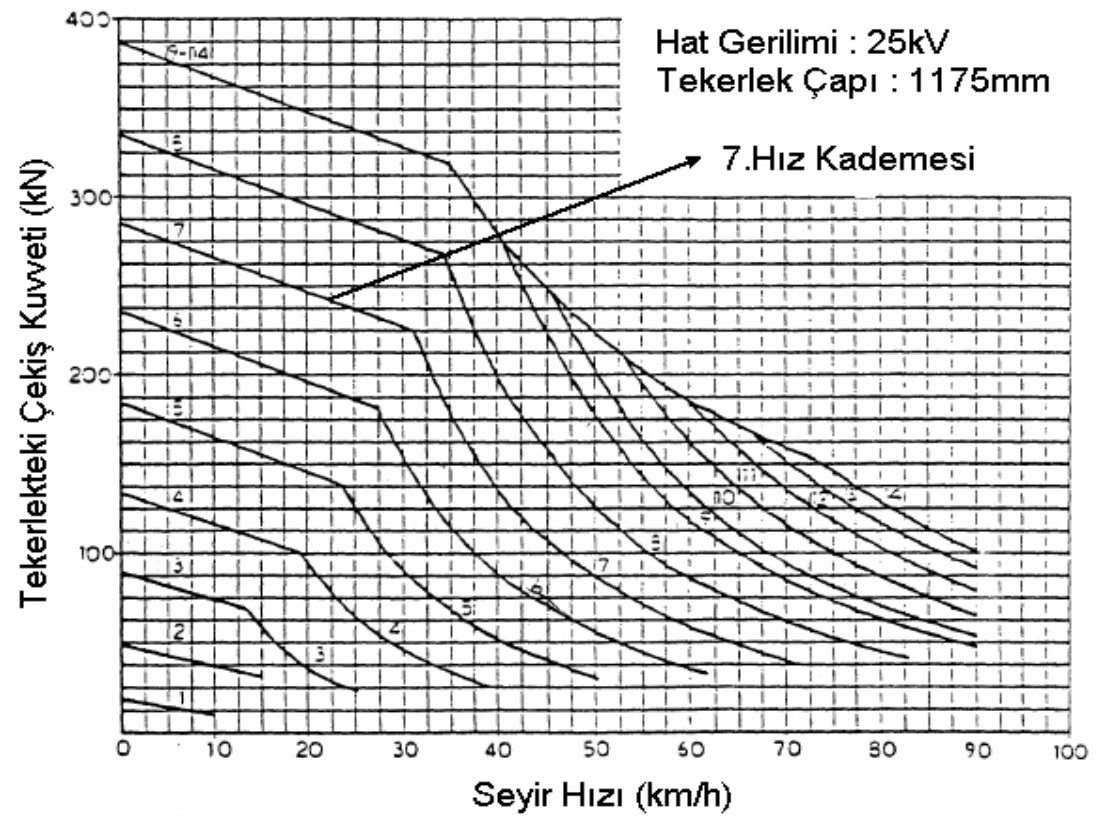
8 kademeli bir motorun çekiş kuvveti (4.2) eşitliği ile bulunabilir. Denklemdeki simgeler aşağıda verilmiştir.

$N_{t/db}$: hız ya da dinamik fren kademesi [boyutsuz]

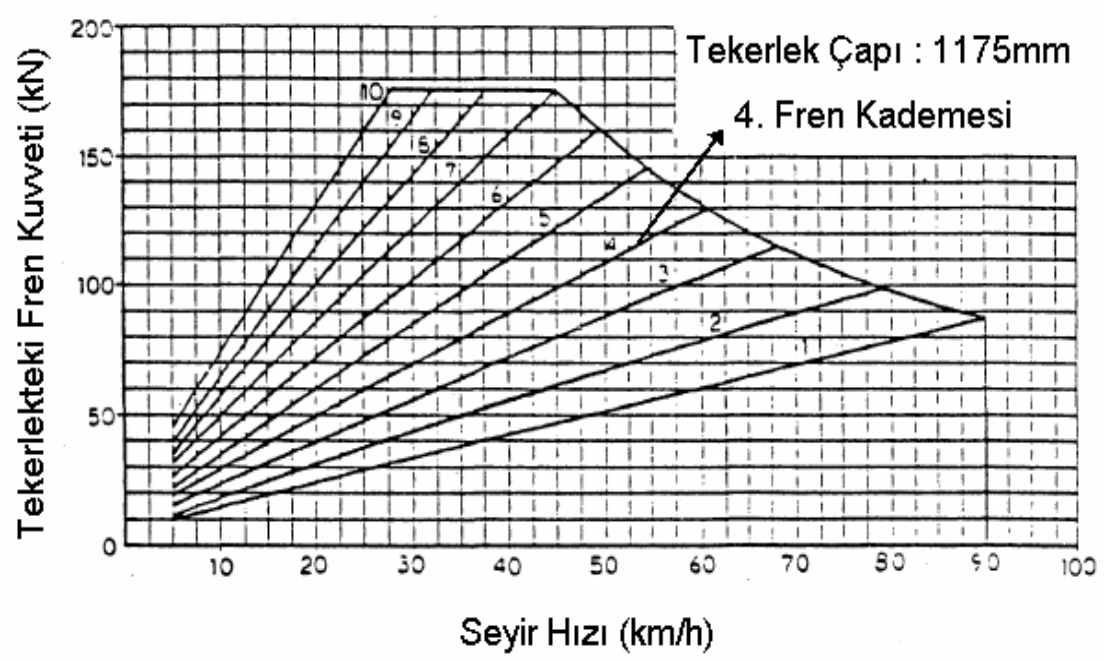
P_{maks}: lokomotifin azami çekiş gücü [W]

V_t: trenin seyir hızı [m/s]

$$F_{t\,/\,db} = \frac{(N_{t\,/\,db}/8)^2 * P_{maks}}{V_t} \tag{4.2}$$

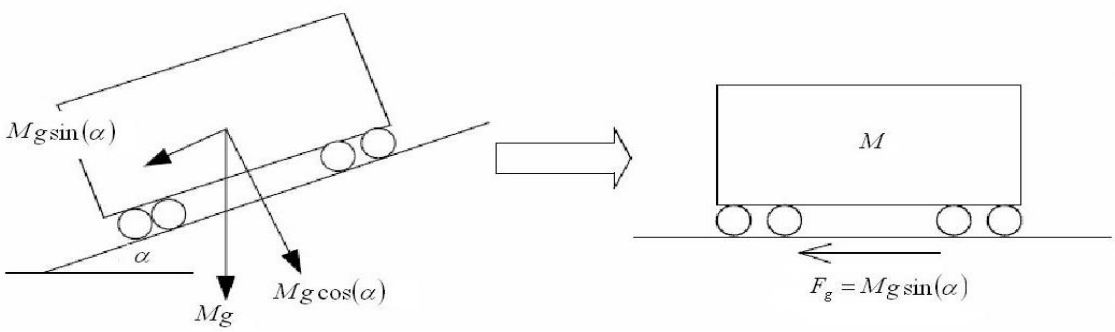


Şekil 4.26: Çekiş kuvvetinin hıza göre değişimi [25]



Şekil 4.27: Dinamik fren kuvvetinin hıza göre değişimi [25]

4.2.3.6.2. Rampa direnç kuvveti



Şekil 4.28: Trene etki eden rampa direnç kuvveti [25]

Şekil 4.28'de görüldüğü gibi eğim açısı α olan bir yüzeyde tren ağırlığının yatay bileşeni tren rampa yukarı gidiyorken trenin hızını azaltmaya yönelik bir kuvvet olarak rol oynamaktadır. Aynı şekilde bu kuvvet tren rampa aşağı hareket ederken trenin hızını artırıcı yönde etki etmektedir. Buna göre (4.3)'de verilen rampa kuvveti trene etki etmektedir.

$$F_g = mg\sin(\alpha) \tag{4.3}$$

4.2.3.6.3. Yuvarlanma ve aerodinamik direnç kuvvetleri toplamı [24]

Trenin boylamsal hareketini sağlayan tekerlek setlerinin yuvarlanmaya karsı göstereceği direncin hızlanma üzerinde negatif etkisi olmaktadır. Bu direnç kuvveti "Yuvarlanma Direnç Kuvveti" olarak adlandırılabilir ve tekerlek-setlerinin kendi eksenleri etrafındaki yuvarlanma kütlesel atalet momentleri ile doğru orantılıdır.

Ayrıca lokomotifi durdurmaya çalışan "Aerodinamik Direnç Kuvveti"nden de söz edebiliriz ki bu kuvvet karada, denizde ya da havada rüzgâra karsı ilerlemekte olan tüm cisimler ve taşıtlar için geçerlidir. (Hava molekülleri kendisine çarpan cismin hızını yavaşlatma eğilimindedir.) Seyir hızının karesinin etkinliğindendir ki belirli bir hız limitinden sonra etkisini fazlasıyla göstermeye başlayan aerodinamik direnç kuvveti havanın yoğunluğu, lokomotifin seyir hızı, taşıtın aerodinamiklik katsayısı ve rüzgâra karsı duran kesit alanı ile doğrudan ilişkilidir. Bu ilişki aerodinamik direnç kuvvetini ifade eden (4.4) eşitliğinde tanımlanmıştır.

F_{Ad}: Aerodinamik direnç kuvveti

V: Trenin seyir hızı

ρ: Havanın yoğunluğu

C_d: Taşıtın aerodinamiklik katsayısı

A: Taşıtın kesit alanı olmak üzere

$$F_{Ad} = \frac{1}{2} V^2 \rho (C_d A) \tag{4.4}$$

Yuvarlanma ve aerodinamik direnç kuvvetleri toplamı (4.5)'te verilen formülle ifade edilebilir.

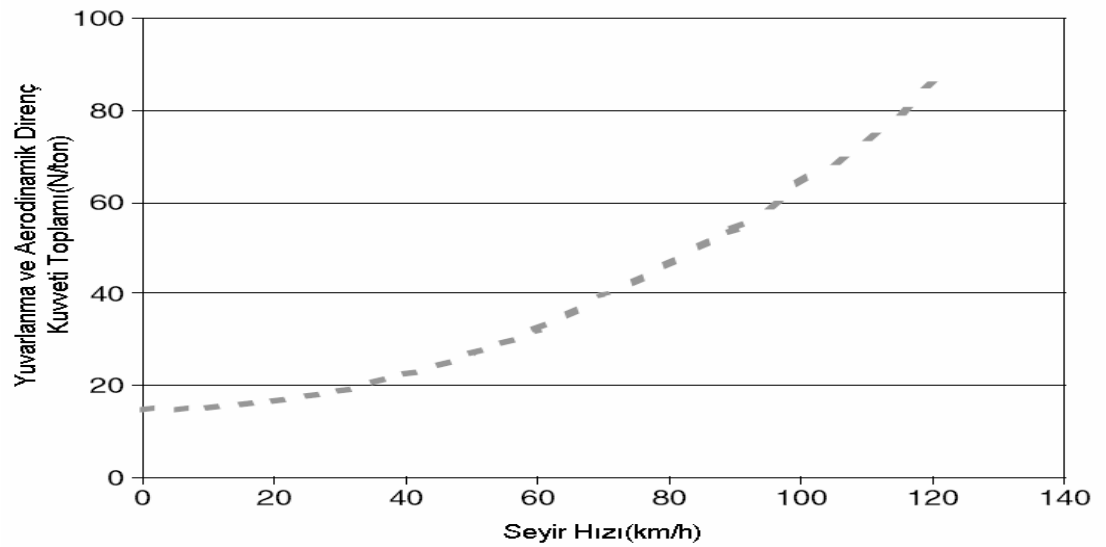
M: Trenin kütlesi

g: Yerçekimi ivmesi

V: Trenin hızı olmak üzere

$$F_{pr} = \frac{Mg(1.5 + 0.05V)}{1000} \tag{4.5}$$

Yuvarlanma ve aerodinamik direnç kuvvetleri toplamının tren hızına göre değişimi Şekil 4.29'da verilmektedir.



Şekil 4.29: Yuvarlanma ve aerodinamik direnç kuvvetlerinin seyir hızına göre değişimi [25]

4.2.3.6.4. Kurp direnç kuvveti [24]

Kurp Direnç Kuvveti ray profili, rayın yağlanması ve kurp yarıçapı parametrelerine bağlıdır. Ray profili, rayın yağlanması değişiklik göstereceğinden direnç kuvvetini, kurp yarıçapının fonksiyonu olarak göstermek daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

F_{cr}: Kurp direnç kuvveti

R: Kurp yarıçapı olmak üzere

$$F_{cr} = \frac{M\,(6116 / R)}{1000} \tag{4.6}$$

4.2.3.6.5. Pnömatik frenleme kuvveti

Trenin pnömatik fren kuvveti fren silindirlerinde depolanan basınca, silindirlerin kesit alanına, mekanik sistem kuvvet kazancına, tekerlek ile fren pabucu arasındaki sürtünme katsayısına ve tekerlek sayısına bağlıdır.

P: Fren silindiri basıncı (bar)

S: Silindirin kesit alanı (m^2)

G: Kuvvet kazancı

μ: Tekerlek ile fren pabucu arasındaki sürtünme katsayısı

N: Tekerlek sayısı

Fb: Pnömatik fren kuvveti (N)

Buna göre pnömatik fren kuvveti 4.7'deki eşitlikte verildiği şekilde hesaplanabilir.

$$F_b = P * S * G * \mu * \mathrm{N} \tag{4.7}$$

Fren silindirlerinin depolayabileceği maksimum basınç 3.8 bardır. Silindirin kesit alanı çapı 25.4 cm olan bir dairedir. Kaldıraç sisteminden yararlanılarak elde edilen kuvvet kazancı 3.73, tekerlek ile fren pabucu arasındaki sürtünme katsayısı tipik olarak 0.32 değerindedir. Hesaplanan kuvvet yalnızca 1 tekerlek içindir. Lokomotifte 12 adet tekerlek bulunmaktadır. Pnömatik fren kuvveti hesaplanırken bu değerler dikkate alınmaktadır.

4.2.3.6.6. Kuvvet dengesinden tren hızına geçiş [24]

Tren hızı hesaplanırken trenin ivmesi ve ivmenin periyodik olarak hesaplandığı zaman aralığı dikkate alınır. Tren ivmesi (4.8) eşitliğindeki ifade ile hesaplanır.

$$a = \frac{F_{net}}{M} = \frac{F_{t\,/\,db} - (F_{pr} + F_{cr} + F_b) \pm F_g}{M} \tag{4.8}$$

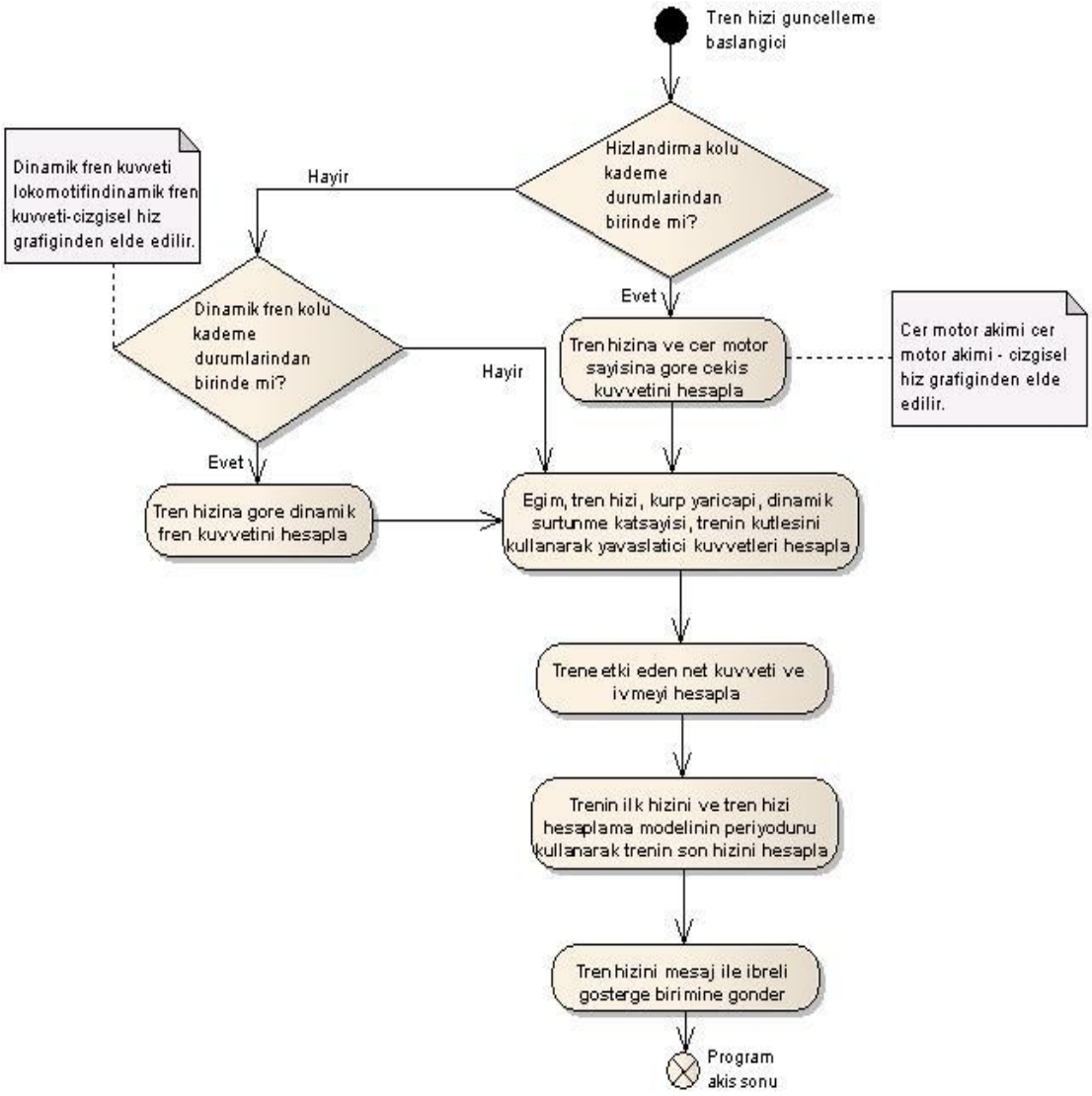
F_{net} pozitif ise ivme de pozitif olur ve tren hızlanmaya devam eder. F_{net} negatif ise tren yavaşlar, sıfır ise tren sabit hızla gitmeye devam eder. (4.8) eşitliği ile ivme hesaplanıp (4.9) eşitliğinde yerine konarak trenin son hızına ulaşılır.

$$V = V_i + a\Delta t \tag{4.9}$$

V_i: ilk hız

Tren Hızı Hesaplama Modeli yazılımında trenin çekiş veya dinamik frenleme kuvveti Şekil 4.26 ve 4.27'deki grafikler kullanılarak elde edilmektedir. Trenin hızına etki eden yavaşlatıcı kuvvetler ise senaryodan gönderilen ve değeri

değiştirilen parametrelere göre değişmektedir. Değeri değiştirilen parametreler trenin kütlesi M ve yolun eğimidir. Kurp yarıçapı ve tekerlek ile fren pabucu arasındaki sürtünme katsayısı sabit kabul edilmektedir. Tren Hızı Hesaplama Modelinin yazılım akış diyagramı Şekil 4.30'da verilmektedir.

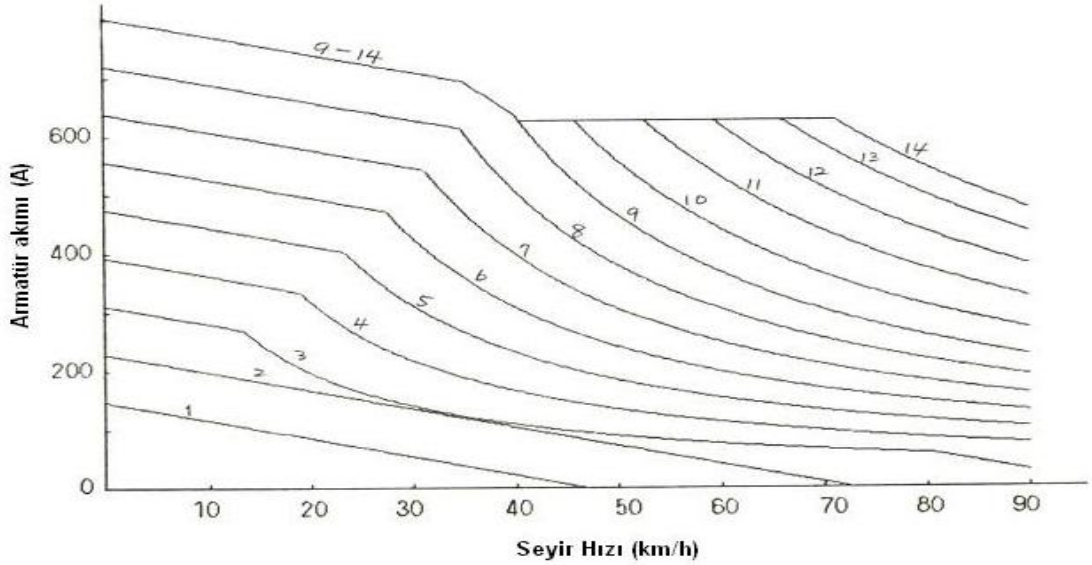


Şekil 4.30: Tren hızı güncelleme işlevi yazılım akış diyagramı

4.2.3.7. Cer akımı hesaplama modeli

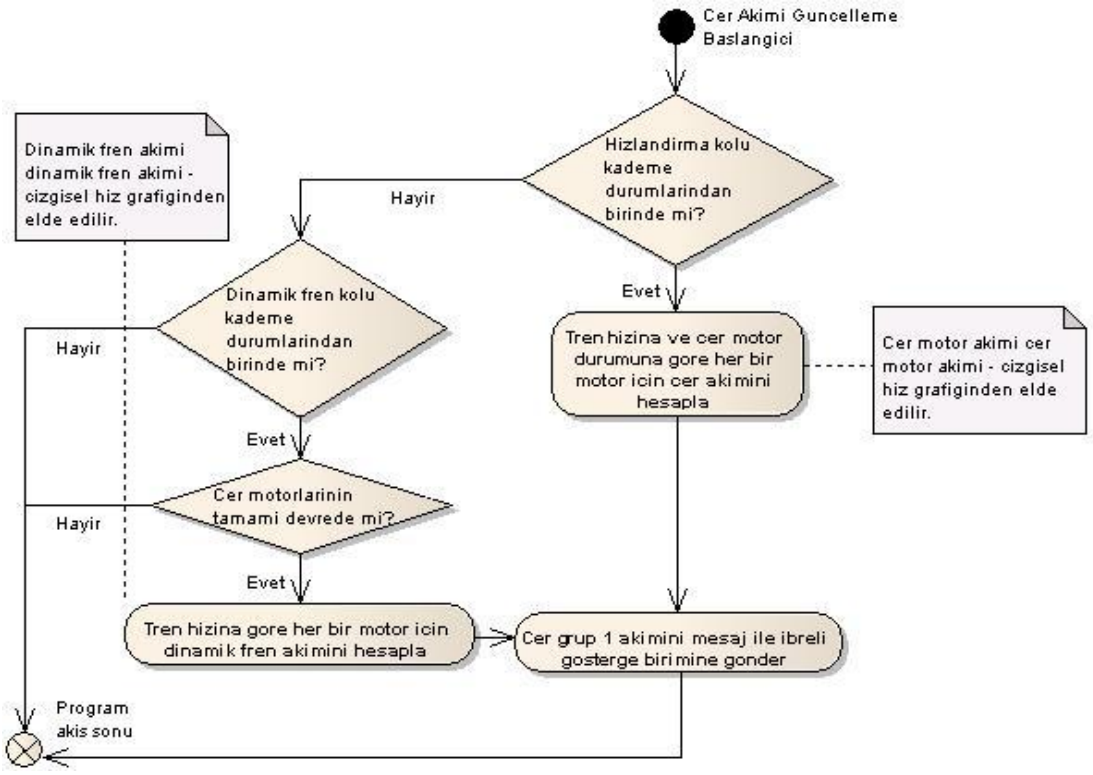
Cer motorları grup 1 ve grup 2 akımları cer akımının hıza göre değişiminden elde edilir. 6 adet cer motorunun çekmiş olduğu akımın cer durumunda iken hıza göre değişimi Şekil 4.31'deki grafikte verilmektedir. Dinamik fren esnasındaki frenleme akımları ise Şekil 4.27'de verilen dinamik fren kuvvetinin hıza göre değişim grafiğinden elde edilir. Maksimum frenleme akımı 375 Amperdir ve fren kademesi

artırıldıkça cer motorlarının alan akımları artırılarak frenleme kuvvetinin de artırılması sağlanır. Buna göre aynı hız değerinde farklı kol kademelerinde kademe yüksek olduğunda dinamik fren kuvveti de daha fazla olmaktadır.



Şekil 4.31: Cer akımının hıza göre değişimi [25]

Cer Akımı Hesaplama Modelinin yazılım akış diyagramı Şekil 4.32'de verilmektedir.

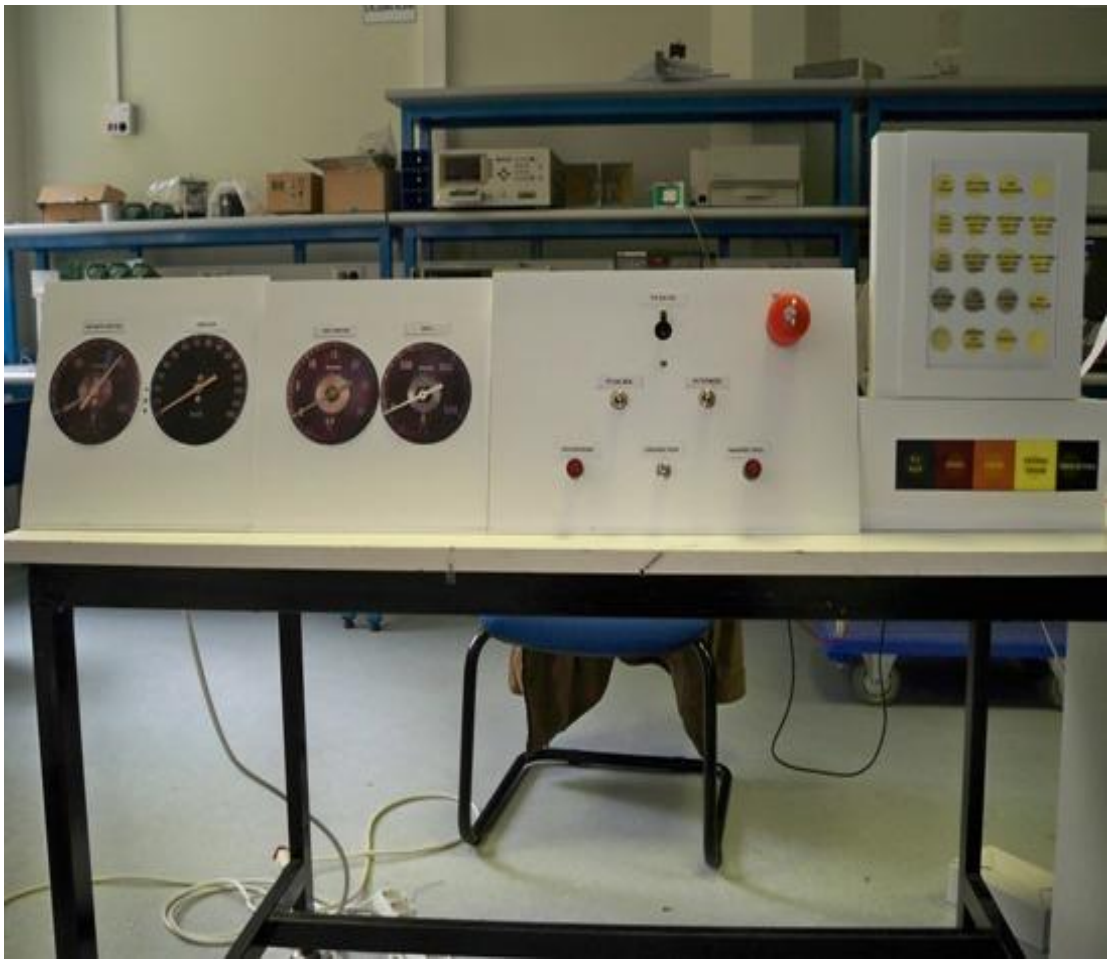


Şekil 4.32: Cer motor akımı güncelleme işlevi yazılım akış diyagramı

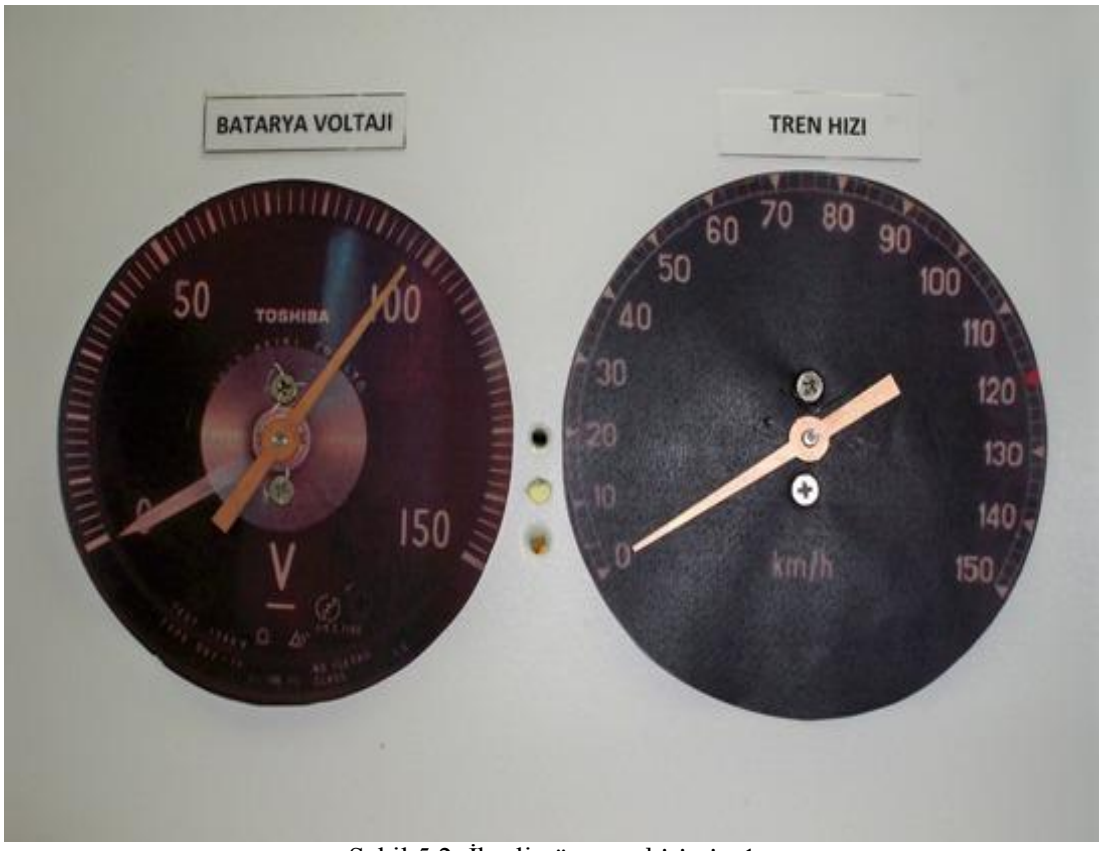
5. TESTLER

Kullanıcı arayüzü ve model yazılımları ile gömülü donanım birimleri arasındaki CAN haberleşme ağını test etmek üzere bazı testler gerçekleştirildi. Bu testlerde senaryo parametrelerinin ilk değerlerine ve sonradan değiştirilen iklim ve yol şartlarına göre simülatör donanımının ne tepki verdiği ölçülür. Ayrıca simülatör donanımındaki elemanların anlık olarak durumları da grafik kullanıcı arayüzünde gösterilmektedir.

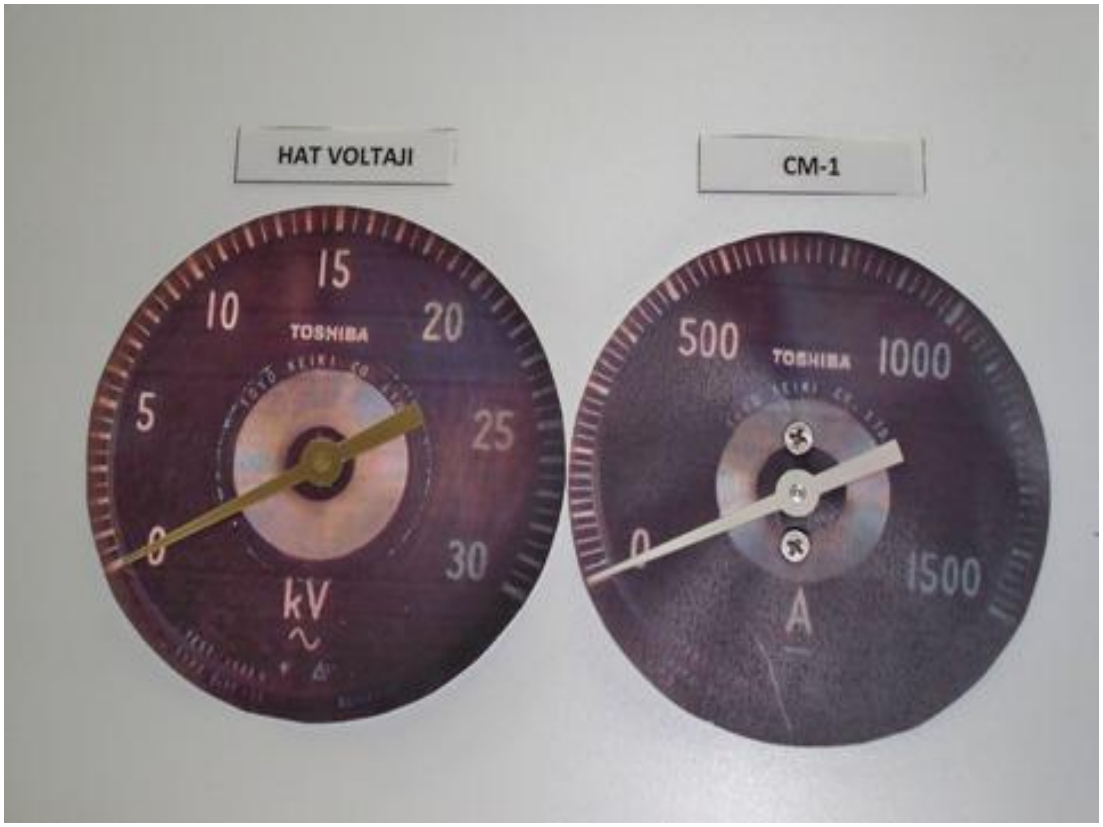
Simülatör donanımını temsil etmek üzere hazırlanan ve testler esnasında kullanılacak düzeneğin görünümü Şekil 5.1 - 5.6'da gösterilmektedir.



Şekil 5.1: Makinist kabini donanımı



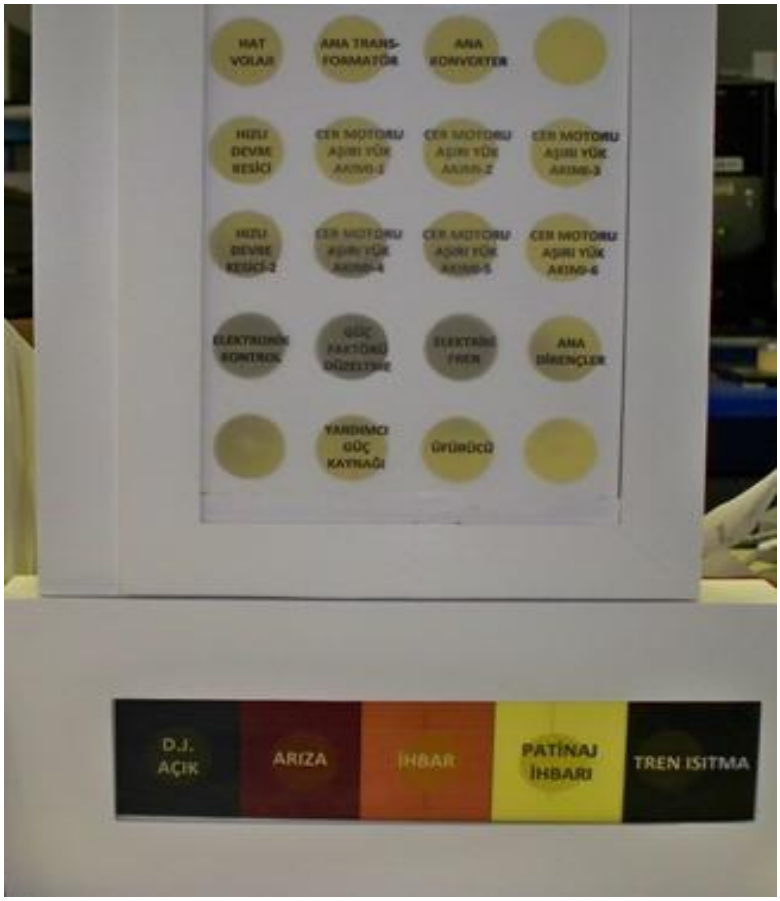
Şekil 5.2: İbreli gösterge birimi - 1



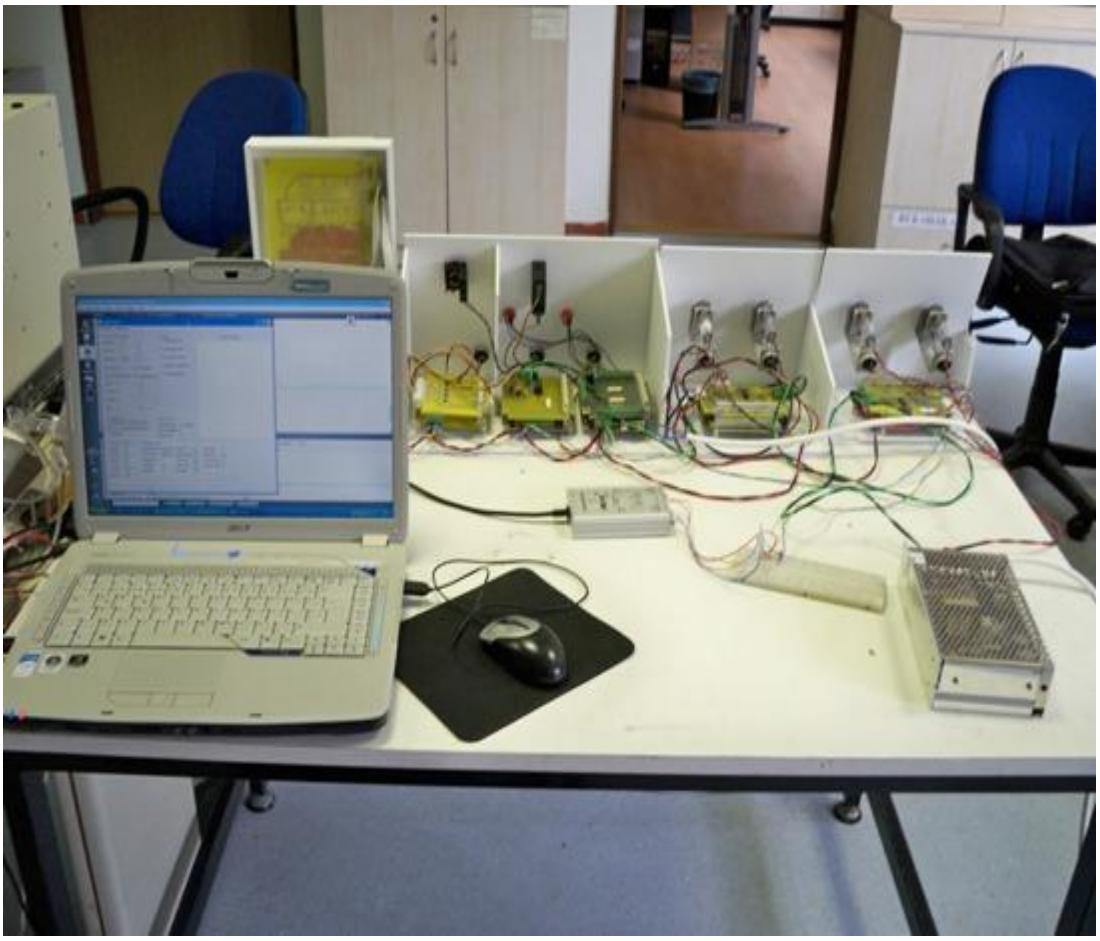
Şekil 5.3: İbreli gösterge birimi – 2



Şekil 5.4: Buton, sigorta ve kol birimi elemanları



Şekil 5.5: Lamba birimi



Şekil 5.6: Test düzeneği arkadan görünümü ve simülatör bilgisayarı

5.1. Lokomotifin Servise Hazırlanması ve Kullanımı

Bu testte senaryo parametrelerinin ilklendirmesiyle başlatılan simülasyonda lokomotifin servise hazır hale getirilmesi, trenin hareket ettirilmesi, hızlandırma kolu, dinamik fren kolu ve makinist musluğunun konumları ile ortam şartlarına göre trenin seyir hızı değişimi sorgulanacaktır.

5.1.1. Senaryo parametreleri ilklendirme

Bu testin gerçekleştirilebilmesi için grafik kullanıcı arayüzü üzerinde bulunan Senaryo Parametreleri bölümünden aşağıdaki değişikliklerin yapılması gerekmektedir.

- Batarya Voltajı: 110 V
- Tren Hızı: 0

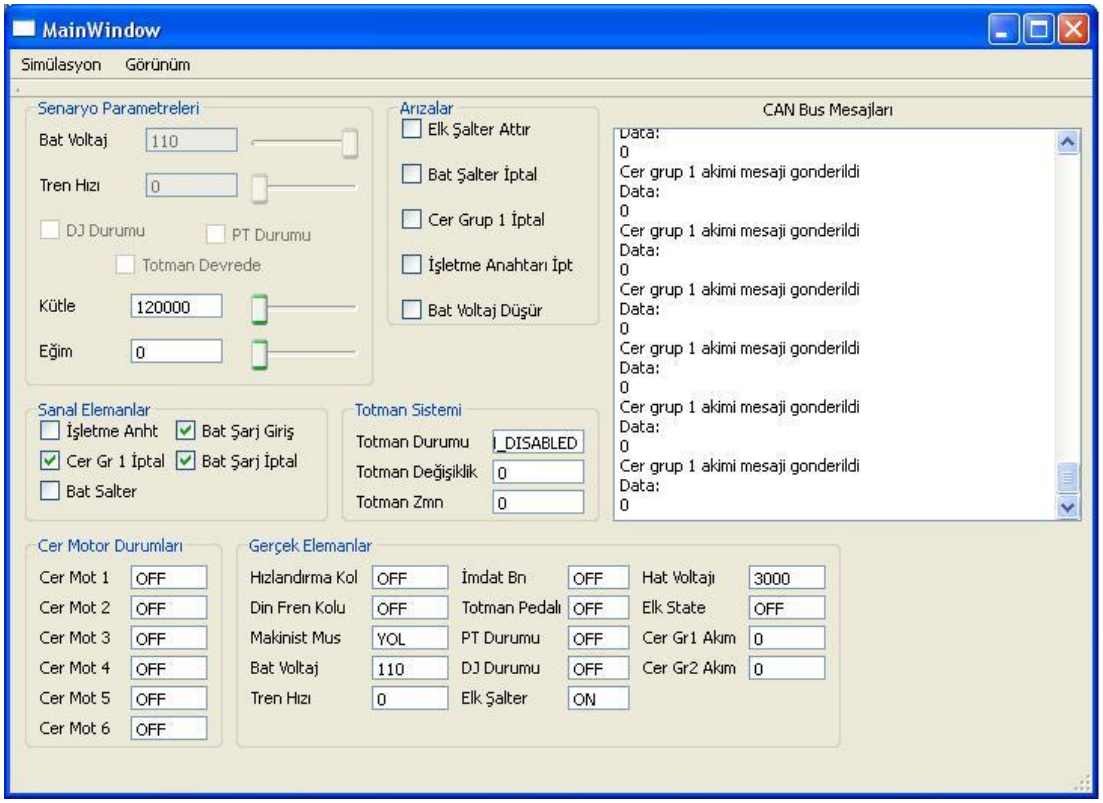
- PT Durumu: İnik
- DJ Durumu: Çözük
- Totman: Devrede değil
- Kütle: 120000 kg
- Eğim: 0 °

Sanal elemanlar bölümünde ise batarya şarj giriş ve batarya şarj iptal şalterleri ile cer motorları grup 1 iptal şalteri devrede olması gerekirken batarya şalteri ve işletme anahtarı devre dışı olmalıdır.

Makinist kabini elemanlarında ise aşağıdaki değişiklikler yapılmalıdır.

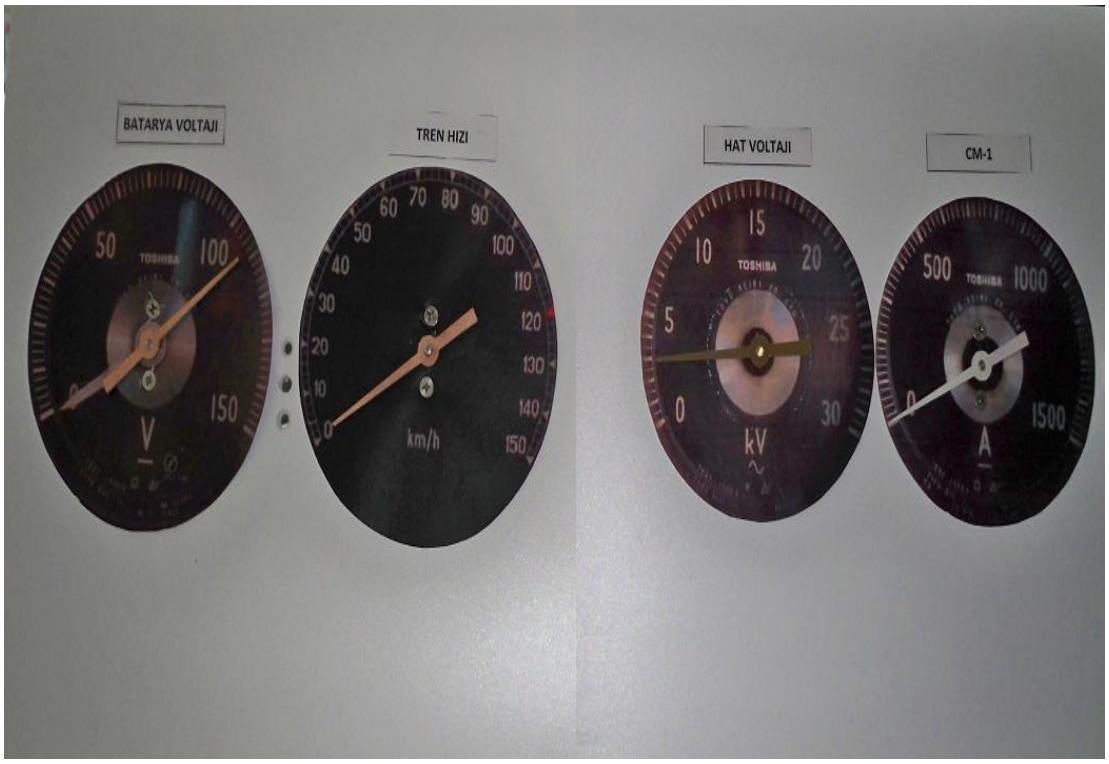
- Elektronik Şalter: Devrede
- Pantograf: İnik
- Disjonktör: Çözük
- İmdat Butonu: Kapalı
- Totman Pedalı: Kapalı
- Makinist Musluğu: Yol
- Dinamik Fren Kolu: Kapalı
- Hızlandırma Kolu: Kapalı

Tüm değişiklikler yapıldıktan sonra grafik kullanıcı arayüzünden Görünüm menüsünden "Senaryo Kaydet" seçeneği seçilerek senaryo kaydedilir. Daha sonra Simülasyon menüsünden "Başlat" seçeneği seçilerek simülasyon başlatılır. Grafik kullanıcı arayüz ekranında tüm parametreler simülasyon ilklendirme değerlerine göre güncellenecektir. Bu aşamada grafik kullanıcı arayüzünün görünümü Şekil 5.7'deki gibi olacaktır.

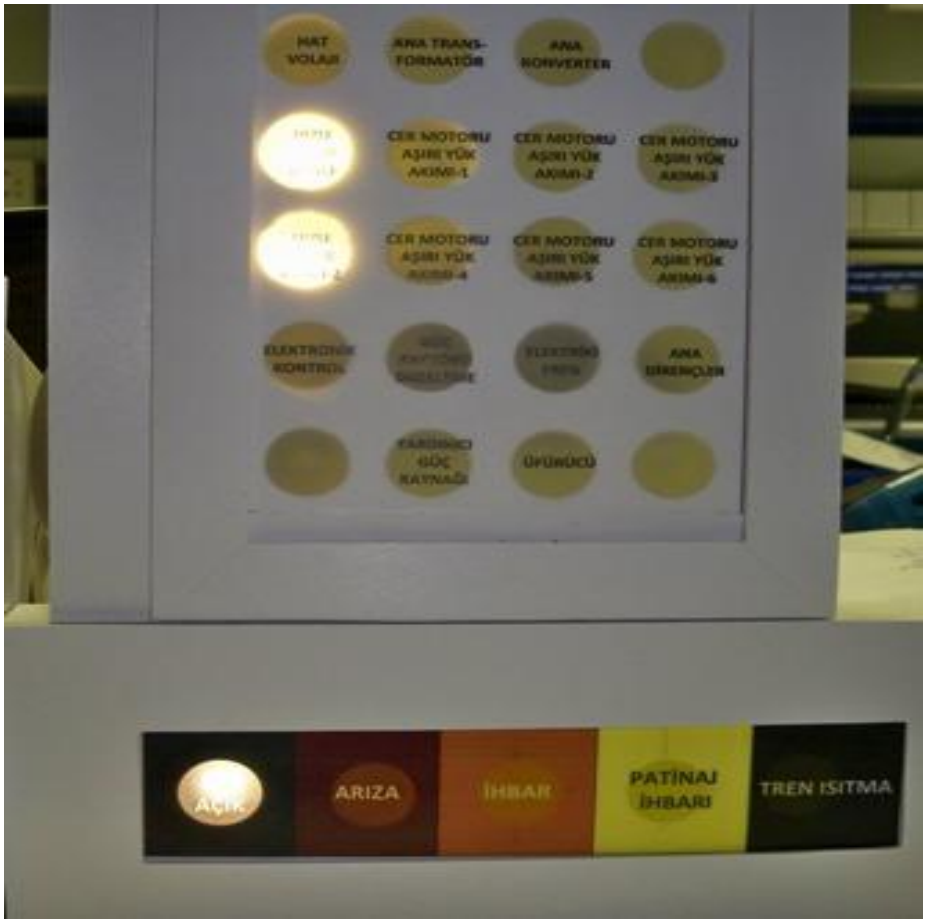


Şekil 5.7: Simülasyon başlangıcı kullanıcı arayüzü görünümü

Makinist kabininde ise tren hızı göstergesi senaryo parametrelerinden verilen 0 değerini, batarya voltajı göstergesi senaryodan verilen 110 V değerini gösterir. Hat voltajı göstergesi pantograf inik olduğundan indüklenen gerilim olan 3000 V değerini, cer motor grup 1 akım göstergesi ise hiçbir cer motoru henüz çalışmadığından durumları kapalı olarak gösterilir. Bu durumda batarya şalteri devrede olmadığından hiçbir lamba yanmaz. Sanal Elemanlar bölümünden batarya şalteri işaretlenerek devreye alınır. Bu durumda disjonktör tutmadığından DJ Açık lambası, cer motorları devrede olmadığı için HDK 1 ve 2 lambaları yanar. Makinist kabininin görünümü Şekil 5.8 - 5.9'da gösterilmektedir.



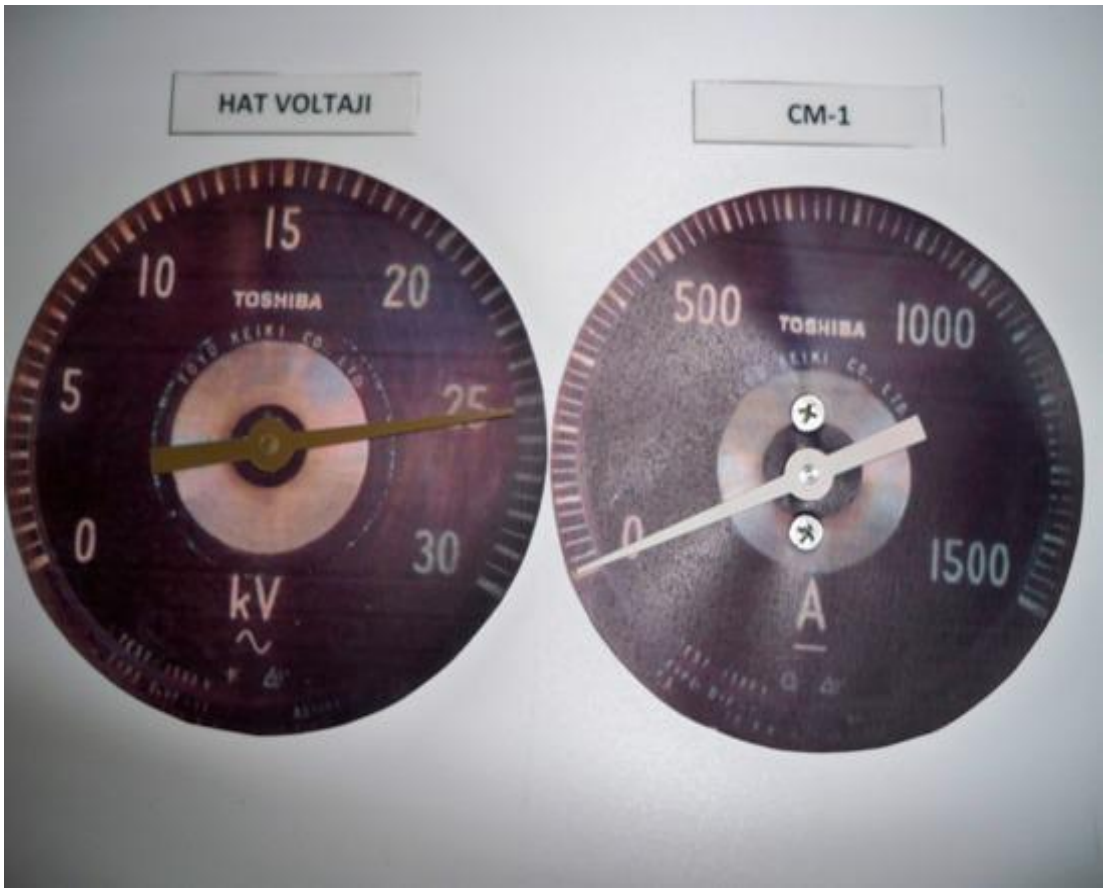
Şekil 5.8: Simülasyon başlangıcı ibreli göstergeler durumu



Şekil 5.9: Simülasyon başlangıcı lamba birimi görünümü

5.1.2. Lokomotif elektrik sisteminin enerjilendirilmesi

Öncelikle grafik kullanıcı arayüzünden işletme anahtarı devreye alınmalıdır. Böylelikle sistem enerjilendirilmeye hazır hale getirilmiş olur. Ardından PT çıtçıt anahtarı kaldırılarak pantografın kaldırılması sağlanmış olur. Hat voltajı göstergesi hat voltajı değeri olan 25000 V göstermeye başlar. Daha sonra DJ çıtçıt anahtarı yukarı kaldırılarak disjonktör tutturulur. Böylelikle lokomotifin elektrik sisteminin enerjilendirilmesi sağlanmış olur. Bu durumda disjonktör tutturulduğundan DJ Açık lambası söner. Makinist kabini Şekil 5.10 – 5.11'de gösterilmektedir.



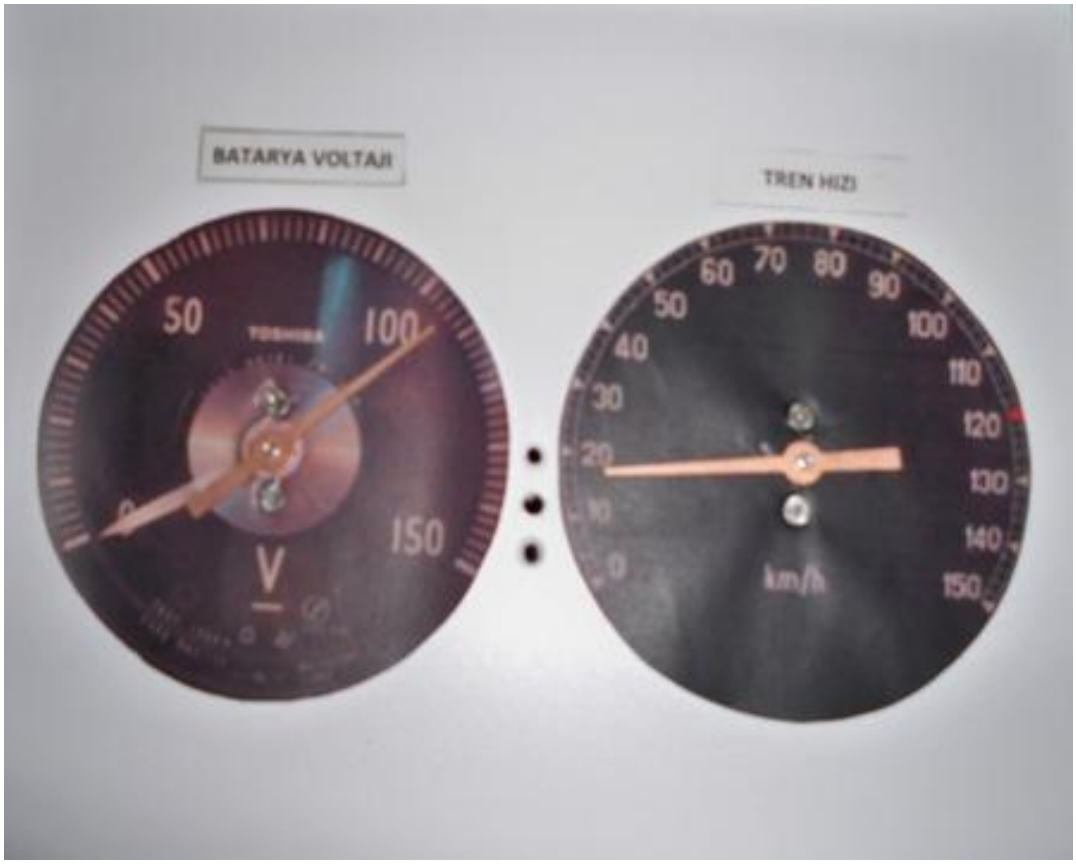
Şekil 5.10: Pantograf kaldırıldığında hat voltajı değeri



Şekil 5.11: Elektrik sistemi enerjilendiğinde lamba durumları

5.1.3. Lokomotifin hızlandırılması

Bu aşamada lokomotif hareket ettirilmeye hazırdır. Hızlandırma kolu önce S konumu sonra da 1. hız kademesine alınarak cer motorları çalıştırılır ve lokomotif hızlanmaya başlar. Bu durumda tren hızı uygulanan çekiş kuvveti yeterli olduğu sürece hızlanmaya devam eder. Aksi takdirde sabit hızda veya yavaşlayarak hareketine devam eder (Şekil 5.12). Eğer daha yüksek hızlara ulaşmak isteniyorsa hız kademesi yavaş yavaş artırılır. 14. hız kademesinde iken tren maksimum hıza yakın bir değere ulaşır (Şekil 5.13).



Şekil 5.12: Hızlandırma kolu 1. hız kademesi azami hız değeri



Şekil 5.13: Hızlandırma kolu 14. hız kademesi azami hız değeri

5.1.4. Tren hızına eğimin etkisi

Hızlandırma kolunun 7. hız kademesine alınıp trenin sabit hıza ulaşması beklenir (Şekil 5.14). Tren bu hız kademesinde 78 km/h sabit hıza ulaşır. Sabit hıza ulaştıktan sonra eğim 3°'ye getirilir. Bu durumda rampa direnç kuvveti ve diğer yavaşlatıcı kuvvetlerin toplamı çekiş kuvvetinden yüksek olacağından tren yavaşlamaya başlar ve 65 km/h hız değerine ulaşır ve bu değerde sabit kalır. Trene etki eden yavaşlatıcı kuvvetlerin de artmasından dolayı cer motorlarından çekilen akımın da daha yüksek değerlere çıktığı (Şekil 5.15) görülmektedir. Bu durumda iken kütle 240000 kg'a çıkarılırsa rampa direnç kuvveti de iki katına çıkacağından tren tekrar yavaşlamaya başlar. Bu defa 51 km/h hız değerine ulaşıp bu hız değerinde hareketine devam eder. Yavaşlatıcı kuvvetler toplamı daha fazla arttığından cer motorlarından çekilen akım da (Şekil 5.16) artmaktadır.



Şekil 5.14: Hızlandırma kolu 7. hız kademesi azami hız değeri



Şekil 5.15: Eğim 3° iken 7. kademede tren hızı ve cer grup 1 akımı



Şekil 5.16: Eğim 3° ve kütle 240 ton iken 7. kademe hız ve cer grup 1 akımı

5.1.5. Lokomotifin makinist musluğu ile frenlenmesi

Makinist musluğu ile frenlemenin tren hızına etkisini görebilmek için öncelikle kütlenin 120000 kg'a, eğimin 0°'ye getirilmesi gerekmektedir. Bu durumda ulaşılabilecek hız olan 78 km/h değerine ulaşıldıktan sonra makinist musluğu yol konumundan seri fren konumuna getirilir ve bu konumda bir süre bekletilir. Seri fren

konumunda fren silindirleri 1.6 saniyede azami basınç olan 3.8 bar değerine ulaşır. Bu süreden sonra azami pnömatik fren kuvveti trene etki eder. Bu kuvvet bu hız kademesinde treni durdurmak için yeterli gelmemektedir. Tren hızı sabit 3.5 km/h değerine (Şekil 5.17) ulaşır. Ayrıca cer motorlarından çekilen akım da çok yüksek düzeylere çıkmaktadır.



Şekil 5.17: Hızlandırma kolu 7. kademede iken seri fren durumu

Treni tamamen durdurmak için hızlandırma kolu daha düşük hız kademelerine alınabilir. Bu durumda tren hızı çok kısa sürede sıfıra inecektir. Tren durduktan sonra makinist musluğu seri tahliye durumuna alınarak fren silindirlerindeki basınç tahliye edilir.

5.1.6. Lokomotifin dinamik fren ile frenlenmesi

Dinamik fren ile frenlemenin tren hızına etkisini görebilmek için öncelikle trenin hızlandırılması gerekmektedir. Bunu yapabilmek için makinist musluğunu yol konumuna ve hızlandırma kolunu kapalı konuma getirmek gerekir. Bu durumda tren hızlandırılmaya hazırdır. Hızlandırma kolu 1. hız kademesine getirilip sabit hız değerine (17.5 km/h) ulaştıktan sonra hızlandırma kolu kapatılır. Daha sonra dinamik fren kolu 1. fren kademesinden başlayarak 10. fren kademesine kadar değeri artırılır. Böylelikle tren daha kısa sürede yavaşlayacaktır. Hız 5 km/h değerine (Şekil 5.18)

ulaştığında dinamik fren devreden çıkar. Bu durumda tren kendisine etki eden yavaşlatıcı kuvvetler aracılığıyla durur.



Şekil 5.18: Dinamik fren durumunda ibreli gösterge durumları

5.2. Totman Sistemi

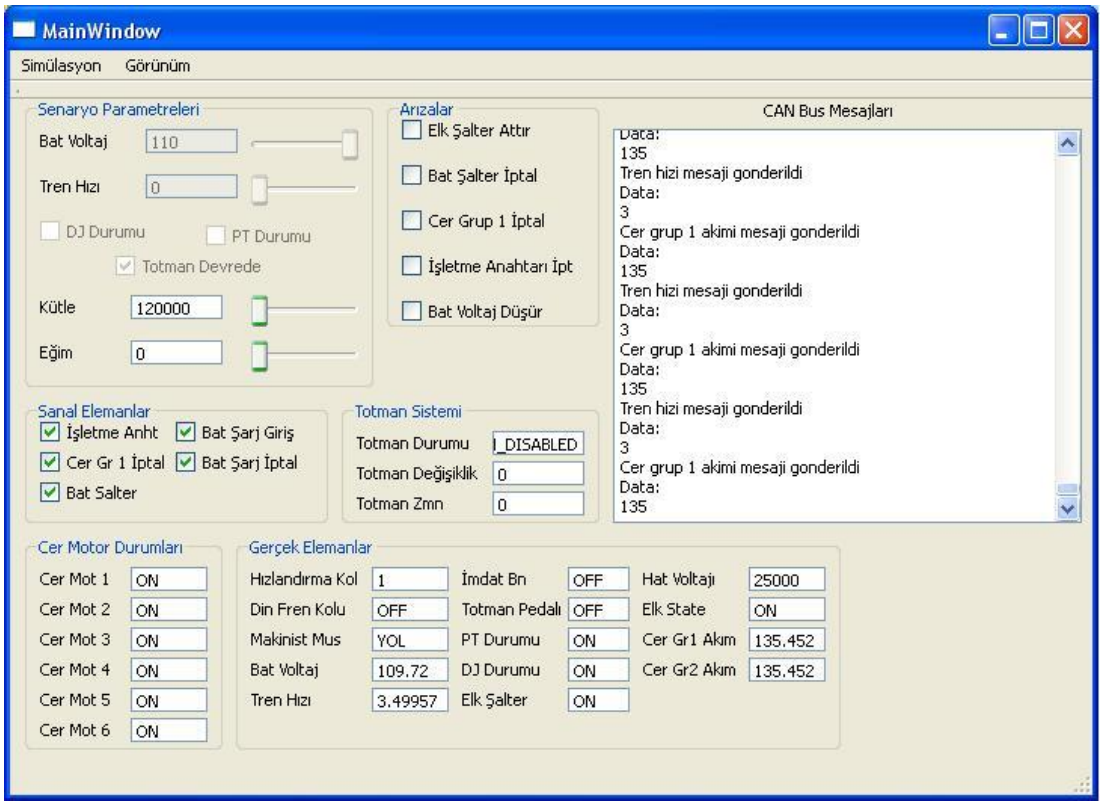
Bu testte totman sistemi devrede olduğunda girdi kaynaklarından gelen değişim sonucunda totman sisteminin buna nasıl tepki verdiği sorgulanacaktır. Bölüm 2.3'de totman sistemine etki eden girdi kaynakları verilmektedir. Burada totman sistemine etki için kullanılacak girdi kaynağı totman pedalıdır.

5.2.1. Senaryo ilklendirme

Senaryo parametreleri bölümünden senaryo başlangıç parametreleri, makinist kabini elemanlarının ve sanal elemanların durumları Bölüm 5.1.1'deki gibi seçilir. Totman Devrede seçeneği işaretlenir. Bu durumda totman sistemi devrede olacak ve sistem girdi kaynaklarından gelen değişikliklere yanıt verecektir.

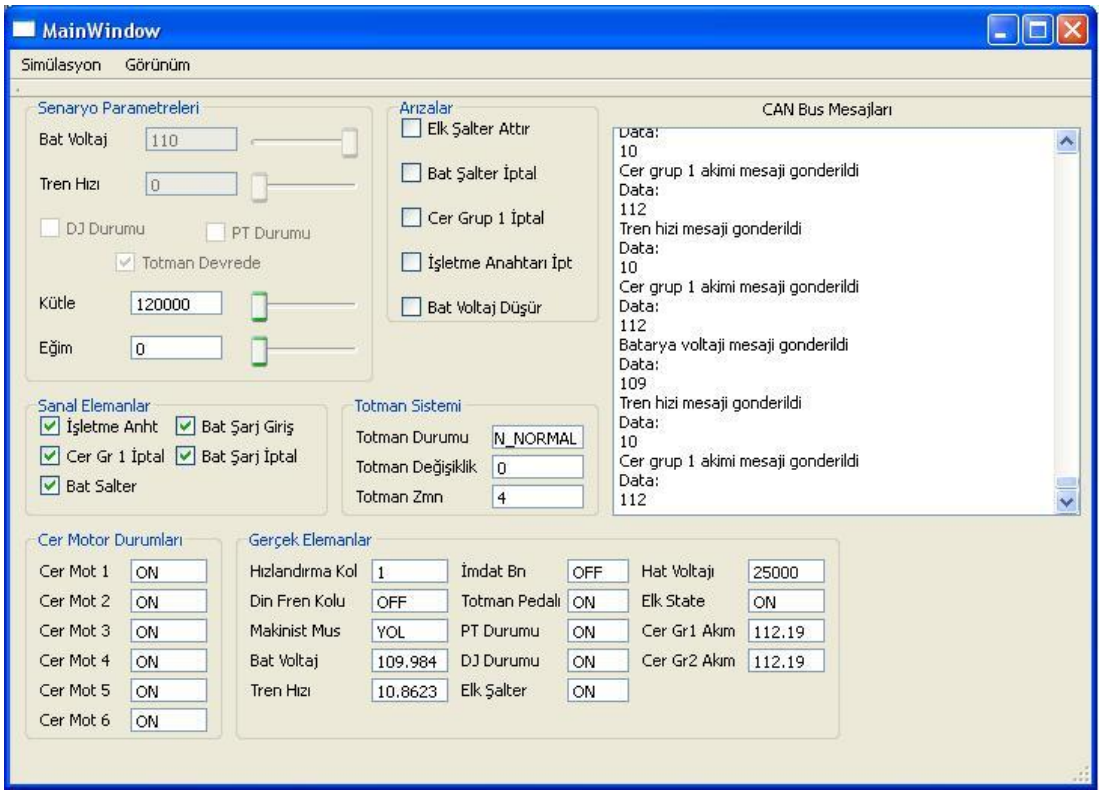
5.2.2. Totman sisteminin çalışması

Grafik kullanıcı arayüzünde bulunan Simülasyon menüsünden Başlat seçeneğine tıklanır. Makinist kabini üzerinde bulunan PT çıtçıt anahtarı yukarı konuma alınarak pantograf kaldırılır. Daha sonra DJ çıtçıt anahtarı yukarı konuma alınır ve disjonktör tutturulur. Hızlandırma kolu kapalı konumdan 1. hız kademesi konumuna alınır. Bu durumda tren hızı 0 olduğundan kullanıcı arayüzünden totman sistemi "Devre Dışı" olarak (Şekil 5.19) görünür.

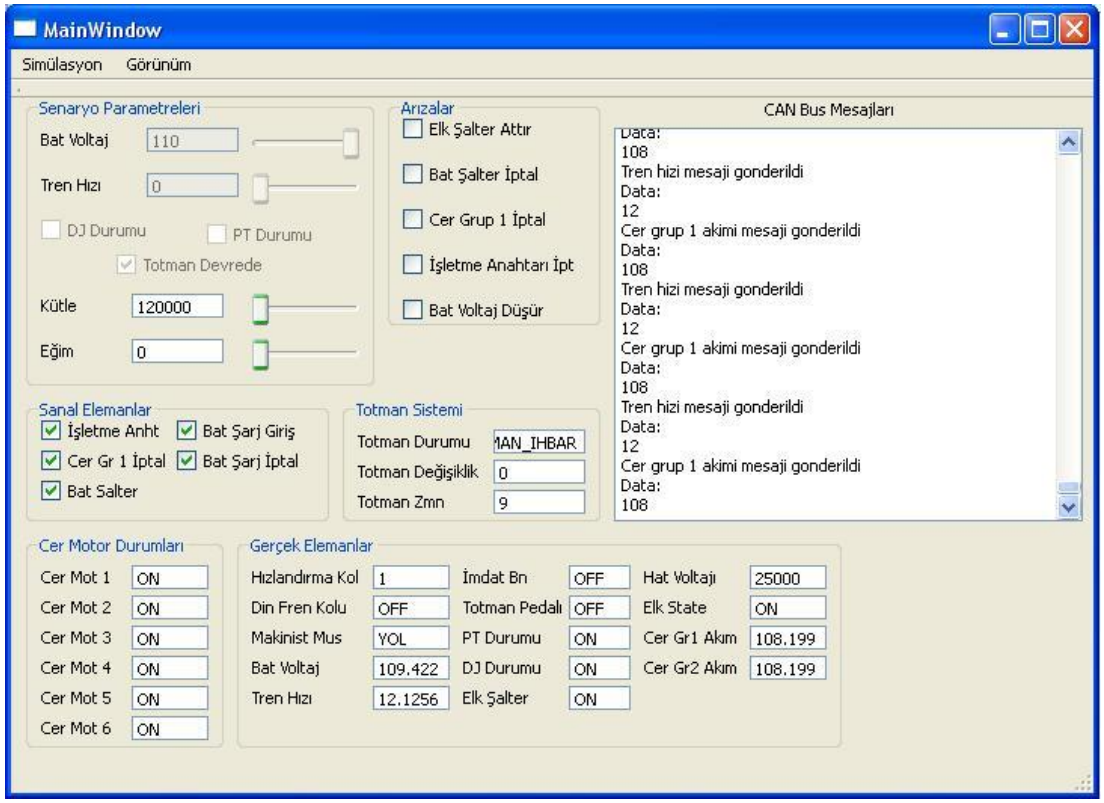


Şekil 5.19: Totman devre dışı durumu

Hız 5 km/h değerini geçtiği anda totman sistemi devreye girer. Bu aşamada totman sistemi "Totman Normal" durumuna geçer ve totman zamanlayıcısı devreye girer. Totman zamanlayıcısı 5 saniyeye ayarlıdır. Bu süre zarfında totman pedalına basılarak bırakılır ve kullanıcı arayüzünde totman zamanlayıcısının tekrar 5 saniyeye kurulduğu (Şekil 5.20) görülür. Totman sistemi normal durumda iken hiçbir değişiklik yapılmayarak totman sisteminin ihbar durumuna geçmesi (Şekil 5.21) gerçekleştirilir ve totman zamanlayıcısı 10 saniyeye ayarlanır.

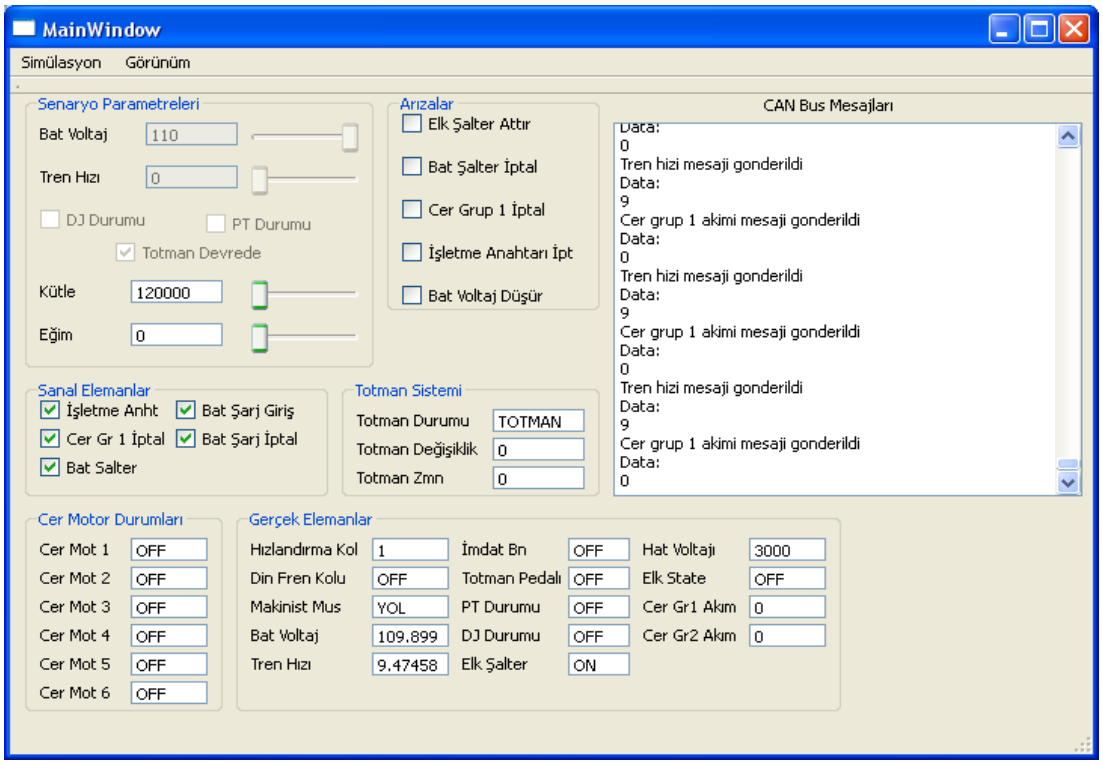


Şekil 5.20: Totman normal durumu



Şekil 5.21: Totman ihbar durumu

Bu durumda herhangi bir değişiklik yapılmaz ise totman sistemi 10 saniyelik sürenin sonunda Totmana Kaçtı durumuna (Şekil 5.22) geçecektir.



Şekil 5.22: Totmana kaçtı durumu

Totmana kaçma işleminde tren seri fren yapar. Pantograf iner, disjonktör çözer, DJ Açık lambası yanar ve arıza lambası flaş yapar (Şekil 5.23). Bu durumda tren tamamen durduğunda makinist musluğu seri fren durumuna getirilerek totman sistemi totmandan çıkarılır. Totmandan çıkarıldığı anda arıza lambası söner ve totman durumu kullanıcı arayüz ekranında "Devre Dışı" olarak görünür.

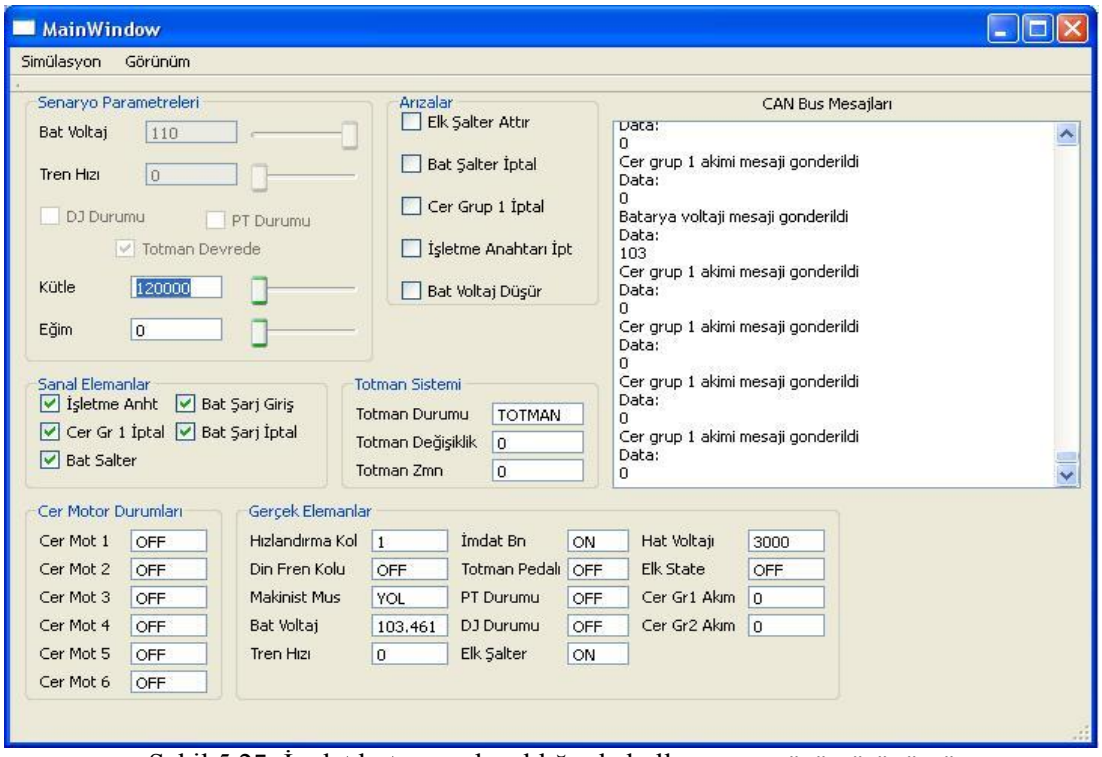


Şekil 5.23: Totmana kaçtı durumu ibreli gösterge durumları



Şekil 5.24: Totmana kaçtı durumu lamba durumları

Totmana kaçma durumu tren herhangi bir hızda seyrediyor iken imdat butonuna basıldığında da gerçekleşir. Bu durumu test etmek amacıyla pantograf ve disjonktör tekrar devreye alınır ve hızlandırma kolu da yine 1. hız kademesine getirilir. Bu aşamada hız 5 km/h'in üzerine çıktıktan sonra imdat butonuna basılır. Bu durumda da (Şekil 5.25) totman sistemi "Totmana Kaçtı" durumuna gelecektir. Totmana Kaçtı durumunda iken yine makinist kabininde yukarıda sözü edilen işlemler gerçekleşecektir ve aynı şekilde totmandan çıkarılacaktır.



Şekil 5.25: İmdat butonuna basıldığında kullanıcı arayüzü görünümü

5.3. Arızalar

Lokomotif üzerinde bulunan makinist kabini elemanları ve sanal olarak gerçekleştirilen kontrol dolabı elemanları ile ilgili Bölüm 4.2.1'de tanımlanan 5 adet arıza verilecek ve bu arızalar sonucunda meydana gelecek arızalar simülatörde gerçekleştirilecektir. Ayrıca arızalar makinist tarafından giderildiğinde simülatör donanımının durumu sorgulanacaktır.

5.3.1. Senaryo ilklendirme

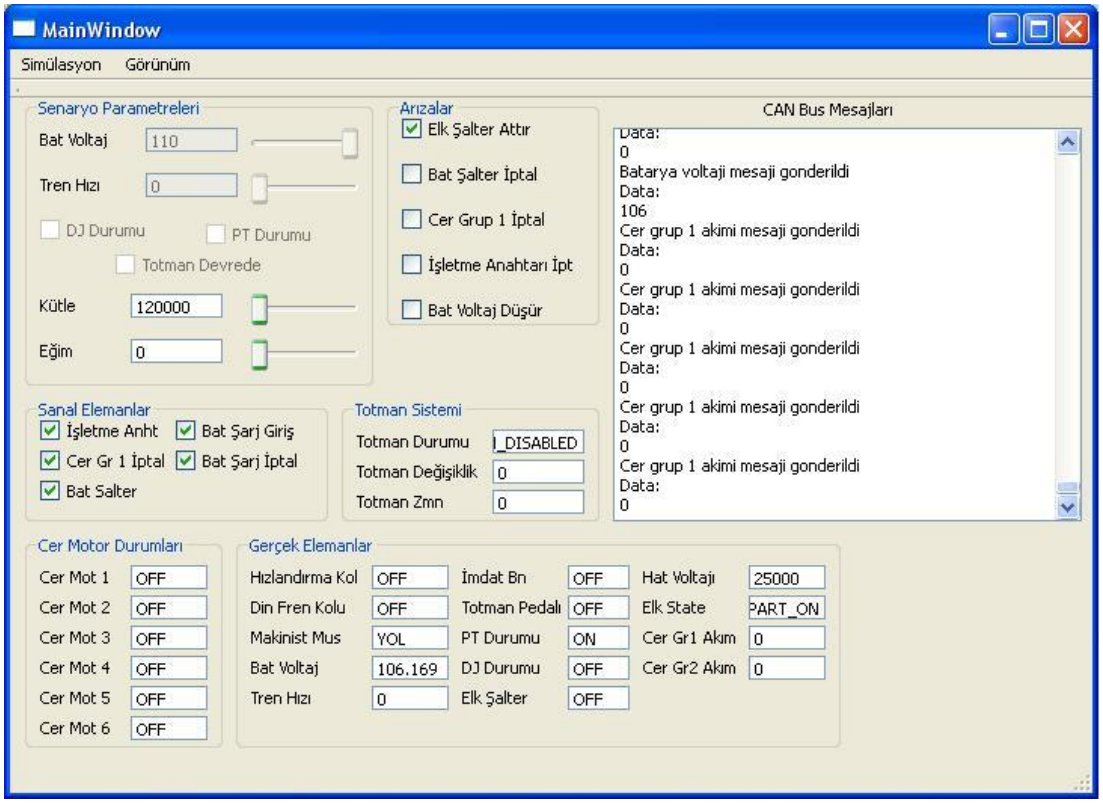
Senaryo parametreleri bölümünden senaryo başlangıç parametreleri, makinist kabini elemanlarının ve sanal elemanların durumları Bölüm 5.1.1'deki gibi seçilir. Totman Devrede seçeneği işaretlenmez. Bu durumda totman sistemi devrede olmayacaktır.

5.3.2. Elektronik şalter attırma arızası

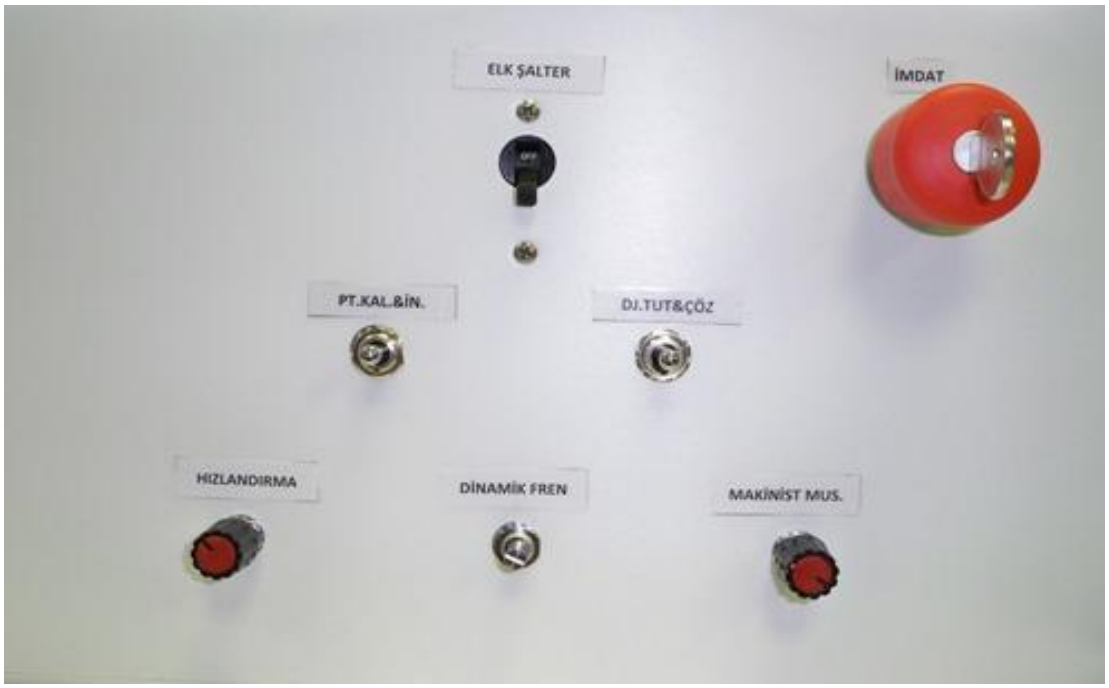
Öncelikle pantograf ve disjonktör devreye alınır ve hızlandırma kolu 1. hız kademesine getirilir. Bu durumda tren hızlanmaya başlayacaktır. Hız kademesi yavaş yavaş artırılır. Grafik kullanıcı arayüzünden Arızalar bölümünden "Elektronik Şalter Attır" arızası işaretlenecektir. İşaretlenince simülatör bilgisayarından sigorta birimine mesaj gönderilerek elektronik şalter attırılır. Elektronik Şalter durum mesajı sigorta biriminden simülatör bilgisayarına gönderildikten sonra kullanıcı arayüz ekranında şalterin durumu kapalı olarak görünür. Elektronik şalter arızası gerçekleşince makinist kabininde aşağıdaki değişiklikler gerçekleşir.

- Disjonktör çözer.
- DJ Açık, Elektronik Kontrol, HDK 1 ve 2 lambaları yanar.
- Arıza lambası flaş yapar.

Bu arızanın sonucunda grafik kullanıcı arayüz ekranı ve makinist kabininin görünümü Şekil 5.26 - 5.29'da gösterildiği gibidir.



Şekil 5.26: Elektronik şalter arızasında kullanıcı arayüzü görünümü



Şekil 5.27: Elektronik şalter arızasında elektronik şalter durumu



Şekil 5.28: Elektronik şalter arızasında ibreli gösterge durumları



Şekil 5.29: Elektronik şalter arızasında lamba durumları

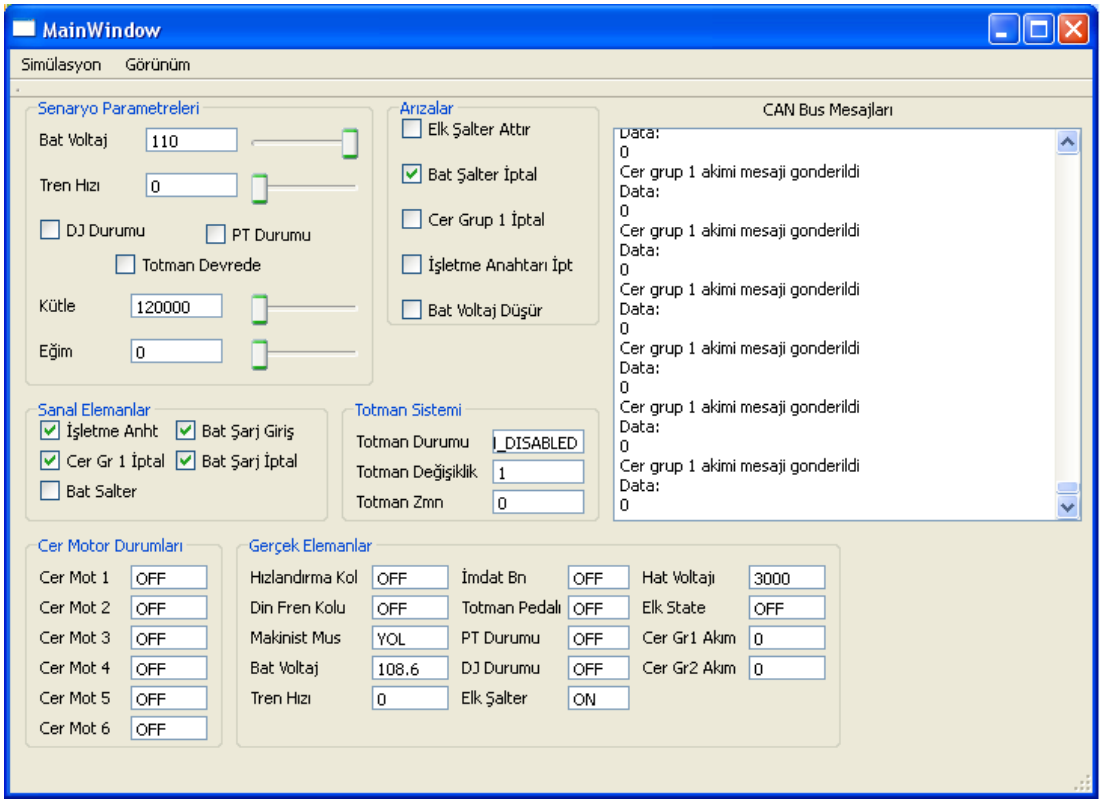
Arızanın giderilmesi için makinistin elektronik şalteri devreye alması gerekmektedir. Şalter devreye alındığında Arıza lambası söner.

5.3.3. Batarya şalteri iptal arızası

Bu arıza için pantograf inik ve disjonktör çözük durumda olacaktır. Kullanıcı arayüzünde Arızalar bölümünden "Batarya Şalteri İptal" arızası işaretlenir. Sanal Elemanlar bölümünde batarya şalterinin attığı görülür. Batarya şalteri arızası gerçekleşince makinist kabininde aşağıdaki değişiklikler gerçekleşir.

- PT çıtçıt anahtarı ile pantograf kaldırılmak istendiğinde pantograf kalkmaz.
- DJ çıtçıt anahtarı ile disjonktör tutturulmak istendiğinde disjonktör tutmaz.
- Elektrik sistemi enerjilenmediğinden ve batarya şalteri devre dışı olduğundan hiçbir lamba yanmaz .
- Hat voltajı voltmetresi 3000 V, batarya voltmetresi 0 değeri gösterir.

Bu arızanın sonucunda grafik kullanıcı arayüz ekranı ve makinist kabininin görünümü Şekil 5.30 – 5.31'de gösterildiği gibi olacaktır.



Şekil 5.30: Batarya şalteri arızasında kullanıcı arayüzü görünümü



Şekil 5.31: Batarya şalteri arızasında ibreli gösterge durumları

Arızanın giderilmesi için batarya şalterinin devreye alınması gerekmektedir. Bu durumda batarya voltmetresi gerçek batarya voltaj değerini gösterecektir.

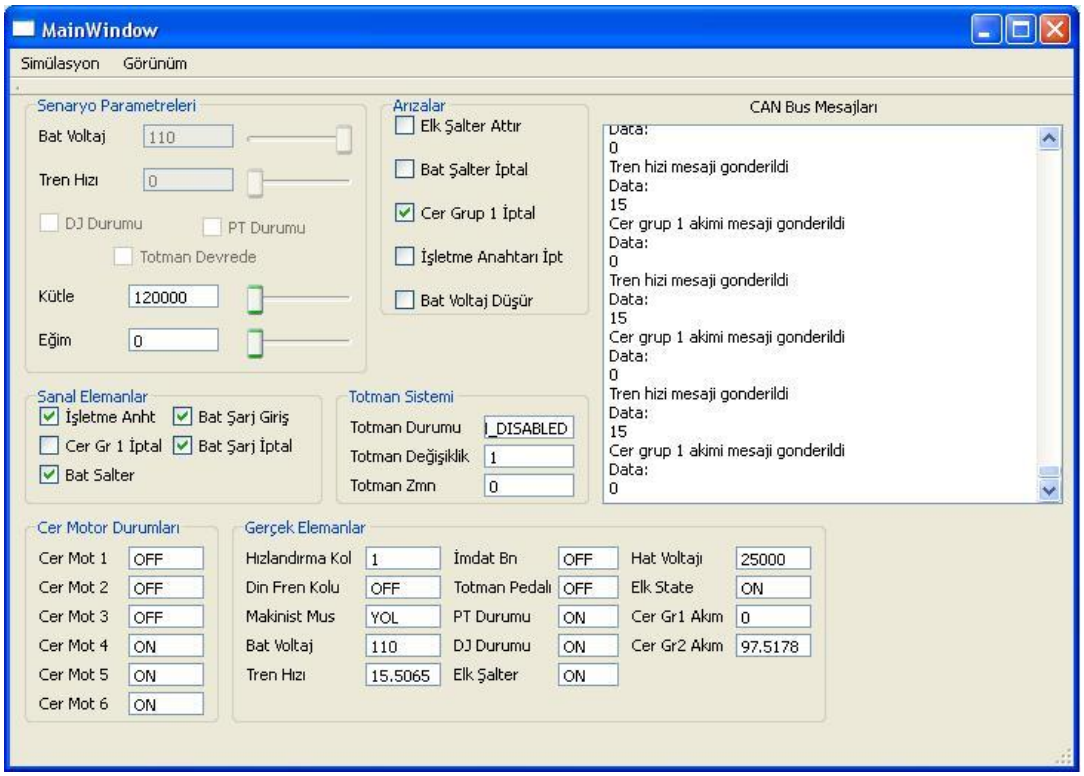
5.3.4. Cer grup 1 iptal arızası

Öncelikle pantograf ve disjonktör devreye alınır ve hızlandırma kolu 1. Hız kademesine getirilir. Bu durumda tren hızlanmaya başlayacaktır. Hız kademesi yavaş yavaş artırılır. Bu noktada kullanıcı arayüzünde cer motorlarının devrede olduğu görülür. Arızalar bölümünden "Cer Grup 1 İptal" arızası işaretlenecektir. İşaretlenince cer grup 1 şalteri devre dışı kalır. Böylelikle arıza verilmiş olur. Arıza gerçekleştiğinde 1. Grup cer motorlarının devre dışı olduğu kullanıcı arayüz ekranında görülür. Makinist kabininde ise aşağıdaki değişiklikler görülür.

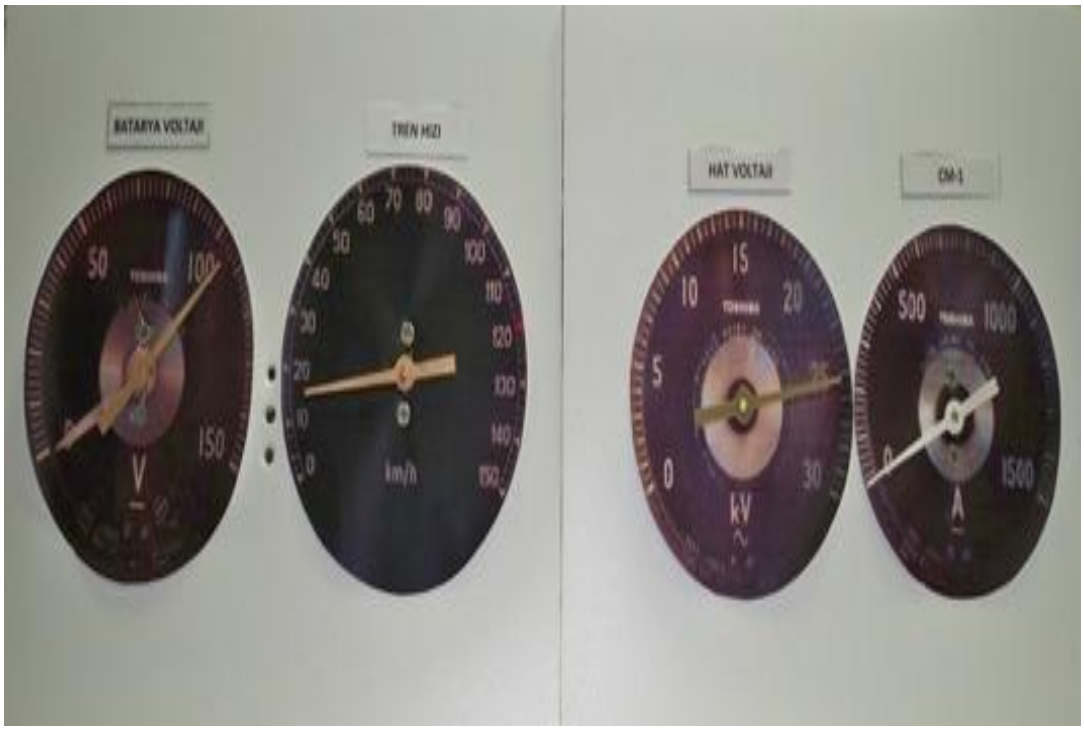
- HDK 1 lambası yanıyor ise söner.
- Arıza lambası flaş yapar.
- Cer grup 1 akım göstergesi 0 değerini gösterir.

Bu esnada 1. Grup cer motorları devreden çıktığı için lokomotifin toplam çekiş kuvveti yarıya düşer. Bu da trenin daha uzun sürede denge hızına ulaşmasına neden olur. Eğer arıza verildiğinde tren denge hızına ulaşmış ise çekiş kuvveti düşeceğinden yavaşlamaya başlar ve daha düşük bir hız değerinde (15.5 km/h) dengeye gelir.

Bu arızanın sonucunda grafik kullanıcı arayüz ekranı ve makinist kabininin görünümü Şekil 5.32 - 5.34'te gösterilmektedir.



Şekil 5.32: Cer grup 1 iptal arızasında kullanıcı arayüz görünümü



Şekil 5.33: Cer grup 1 iptal arızasında ibreli gösterge durumları



Şekil 5.34: Cer grup 1 iptal arızasında lamba durumları

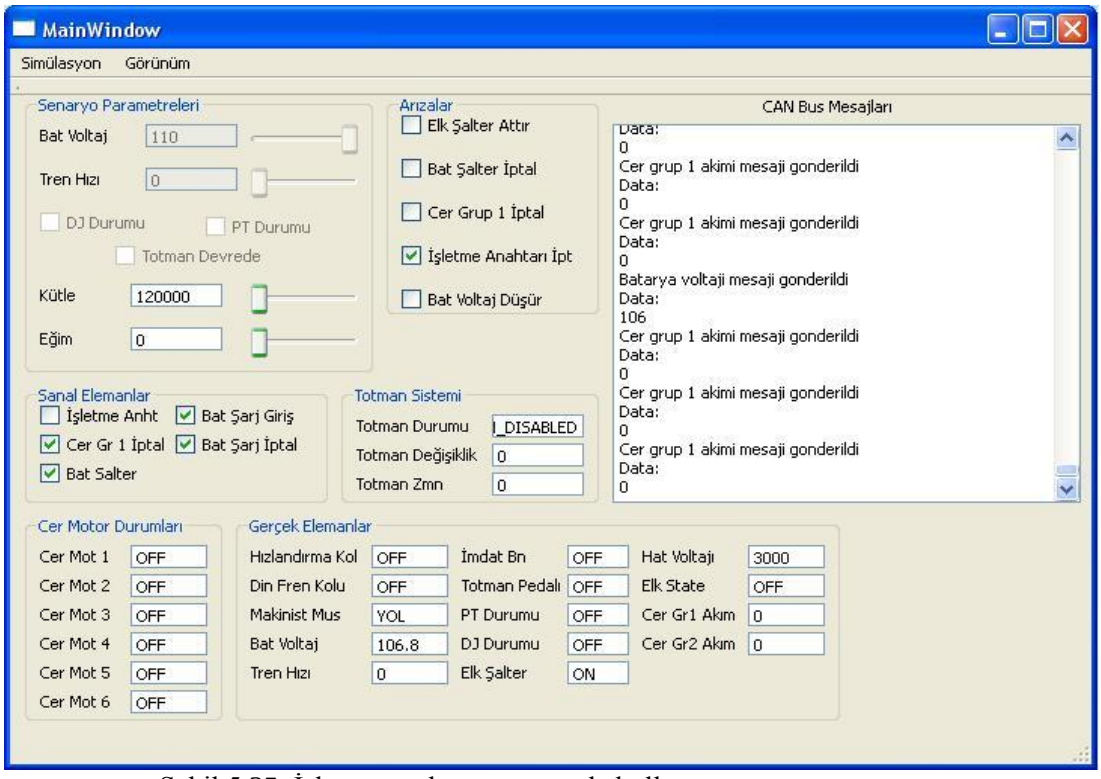
Arızanın giderilmesi için makinistin cer grup 1 iptal şalterini devreye alması gerekmektedir. Şalter devreye alındığında Arıza lambası söner ve tren tekrar hızlanmaya başlar.

5.3.5. İşletme anahtarı iptal arızası

Bu arıza için pantograf inik ve disjonktör çözük durumda olacaktır. Kullanıcı arayüzünde Arızalar bölümünden "İşletme Anahtarı İptal" arızası işaretlenir. Sanal Elemanlar bölümünde işletme anahtarının kapalı konuma geldiği görülür. İşletme anahtarı arızası gerçekleştiğinde makinist kabininde aşağıdaki değişiklikler gerçekleşir.

- PT çıtçıt anahtarı ile pantograf kaldırılmak istendiğinde pantograf kalkmaz.
- DJ çıtçıt anahtarı ile disjonktör tutturulmak istendiğinde disjonktör tutmaz.
- DJ Açık lambası ve HDK 1-2 lambaları yanar.
- Hat voltajı voltmetresi 3000 V gösterir.

Bu arızanın sonucunda grafik kullanıcı arayüz ekranı ve makinist kabininin görünümü Şekil 5.35 – 5.37'de gösterildiği gibi olacaktır.



Şekil 5.35: İşletme anahtarı arızasında kullanıcı arayüzü görünümü


Şekil 5.36: İşletme anahtarı arızasında ibreli gösterge durumları



Şekil 5.37: İşletme anahtarı arızasında lamba durumları

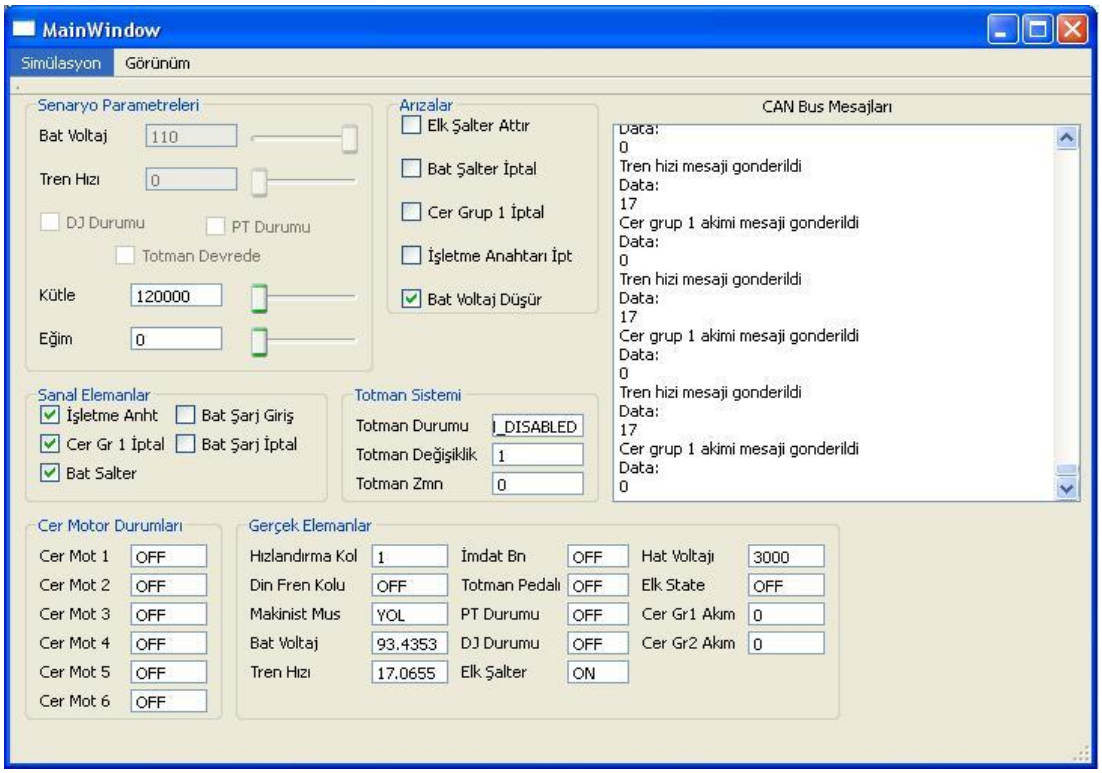
Arızanın giderilmesi için işletme anahtarının devreye alınması gerekmektedir. Böylelikle PT ve DJ çıtçıt anahtarları üzerindeki kısıtlama kalkar. Hat voltmetresi hat voltajı değerini gösterir.

5.3.6. Batarya voltajı düşürme arızası

Bu arızanın sisteme etkisini görebilmek için pantograf ve disjonktör devreye alınır ve hızlandırma kolu 1. hız kademesine getirilir. Bu durumda tren hızlanmaya başlayacaktır. Hız kademesi yavaş yavaş artırılır. Grafik kullanıcı arayüzünden Arızalar bölümünden "Batarya Voltajı Düşür" arızası işaretlenecektir. İşaretlenince batarya şarj giriş ve batarya şarj iptal şalterlerinin attığı kullanıcı arayüzünde görülecektir. Böylelikle arıza başlatılmış olur. Bu durumda batarya şarj olamayacak ve batarya voltajı zamanla azalmaya başlayacaktır. Bu safhada batarya voltajının azaldığı kullanıcı arayüz ekranından görülebilir. Batarya voltajı yaklaşık 3 dakika sonunda 95 V'un altına inecektir. Bu durumda makinist kabininde aşağıdaki değişiklikler gerçekleşir.

- Pantograf iner.
- Disjonktör çözer.
- DJ Açık, HDK 1 ve 2 lambaları yanar.
- Hat voltajı voltmetresinde hat voltajı 3000 V olarak görünür.

Bu arızanın sonucunda grafik kullanıcı arayüz ekranı ve makinist kabininin görünümü Şekil 5.38 - 5.40'daki gibi olacaktır.



Şekil 5.38: Batarya voltajı arızasında kullanıcı arayüzü görünümü

Arızanın giderilmesi için batarya şarj giriş ve batarya şarj iptal şalterleri devreye alınması gerekmektedir. Bu durumda batarya voltmetresi 95 V değerine çekilecektir. Böylelikle pantograf ve disjonktörün devreye alınabilmesi için gerekli kısıtlama ortadan kalkmış olur.



Şekil 5.39: Batarya voltajı arızasında ibreli gösterge durumları



Şekil 5.40: Batarya voltajı arızasında lamba durumları

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada bir insan döngü simülatörü örneği olan tren simülatörüne ait donanımın kontrolü bu teze özgün olarak CAN haberleşme protokolü aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca bu tren simülatörüne ait birimler bir PC üzerinde birleştirilmiş, bu birimlere erişim bir grafik kullanıcı arayüzü ile sağlamıştır. Gömülü donanım birimlerinin kontrolü bu arayüz aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler başarıyla sonuçlanmış ve CAN haberleşme protokolünün tren simülatör donanımındaki birimlerin haberleşmesinde kullanılmasının uygun olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışma tren simülatörünün karakteristiklerinin ve davranışlarının basitleştirilmiş bir halini ele alır. Bu çalışmanın devamı olabilecek nitelikte yapılabilecek çalışmalarda ele alınabilecek konular aşağıda verilmektedir.

- Aynı çalışma ayrıca farklı bir haberleşme protokolü (RS485 ya da I^2C) ile gerçekleştirilerek CAN protokolü ile gerçekleştirilen çalışmaya göre karşılaştırma yapılabilir. Böylelikle her iki haberleşme protokolünün de performansı test edilmiş olur.
- Yazılım bileşeninin tasarımı model tabanlı olarak yapılmıştır. Bu modeller 100 milisaniye periyot ile ardışık çalışmaktadır. Yazılım tasarımı için zaman tetiklemeli yapı (time-triggered) yerine olay tetiklemeli (event-triggered) yapı kurulabilir. Böylelikle her iki yapının performansı test edilmiş olur. Olay tetiklemeli yapı mesajların alınmasına göre gerçekleştirilir. Örneğin CAN ağı üzerinden "Elektronik Şalter Durumu" mesajı alındığında şalter devrede ise arıza ve elektronik kontrol lambaları söndürür, disjonktör ve cer motorları üzerindeki kısıtlama kalkar. Eğer şalter devrede değil ise disjonktör çözülür, cer motorlarının enerjisi kesilir, gerekli lambalar yakılır.

KAYNAKLAR

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Simulator, **(Ziyaret Tarihi: 01.04.2010).**

[2] http://tekgek.com/2009/06/ultra-hd-military-f-16-flight-simulator-runs-on-120-pc-graphic-cards-flight-simulators, **(Ziyaret Tarihi: 01.04.2010).**

[3] http://55dogan58.blogcu.com/araba-simulatoru-gercek-gibi/1891232, **(Ziyaret Tarihi: 02.04.2010).**

[4] K. Yonemoto, T. Shidooka, K. Okuda, "Development and Flight Test of Winged Rocket", ***27th International Symposium on Space Technology and Science,*** Tsukuba City/Japan, (2009).

[5] S. Ateş, I. Bayezit, G. Inalhan, "Design and Hardware-in-the-Loop Integration of a UAV Microavionics System in a Manned-Unmanned Joint Airspace Flight Network Simulator", ***Journal of Intelligent and Robotic Systems***, volume 54, 359-386 (2008).

[6] L. Gangyan, X. Jun, "An Information Acquisition Method of City Bus Integrated Control Network," csie, vol. 3, 722-725, ***2009 WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering***, (2009).

[7] S. L. Woodruff, L. Qi, M. J. Sloderbeck, "Hardware-in-the-Loop Experiments on the Use of Propulsion Motors to Reduce Pulse-Load System Disturbances", ***2007 IEEE Electric Ship Technologies Symposium***, (2007).

[8] J. Feng, H. Zhong, G. Ao, J. Wang, H. Tang, X. Mao, B. Zhuo, "Principles and Application of the Real-Time Hardware-in-the-Loop Simulation Platform Based On Multi-Thread and CAN", ***IEEE International Symposium on Industrial Electronics***, 2225-2230 (2008).

[9] Cover L. Kis, G. Regula, B. Lantos, "Design and hardware-in-the-loop test of the embedded control system of an indoor quadrotor helicopter", ***2008 International Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems***, 1-10 (2008).

[10] M. Short, M. J. Pont, "Hardware in the Loop Simulation of Embedded Automotive Control Systems", ***2005 IEEE Intelligent Transportation Systems Proceedings***, 426-431 (2005).

[11] G. Tang, T. Zhang, X. Liu, W. Liu, T. Mei, "Vehicle hardware-in-the-loop simulation facility for driverless vehicle", ***2nd International Conference on Power Electronics and Intelligent Transportation System***, (2009).

[12] G. Cai, B. M. Chen, T. H. Lee, M. Dong, "Design and Implementation of a Hardware-in- the-loop Simulation System for Small-scale UAV Helicopters", ***Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics***, 29-34 (2008).

[13] P. Chen, X. Tang, Q. Ren, "Hardware-in-the-Loop Simulation of Parameters Self-tuning for Servo System", ***4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications***, 3158-3162 (2009).

[14] C. E. Lin, H. M. Yen, "Reliability And Stability Survey On Can-Based Avionics Network For Small Aircraft", ***24th Digital Avionics Systems Conference*** vol 2 1-8 (2005).

[15] G. Liu, Q. Huang, B. Zhang, J. Han, E. Xu, "A Study on Quick Cockpit for Flight Simulators Prototype Systems," icmtma, vol. 2, 28-31 ***2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation***, (2009).

[16] Z. Lei, J. Hongzhou, L. Hongren, "PC Based High Quality and Low Cost Flight Simulator", ***Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics***, 1017-1022 (2005).

[17] Ü. Gökmen, " Bir Eğitim Simülatöründeki Çok Sayıda Adım Motorunun PC ile Hız ve Konum Kontrolünün Gerçekleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul (2008).

[18] H. Soltekin, "E43000 Tipi Lokomotif Eğitimi Servise Hazırlama ve Loko Kullanma", ***Eskişehir Eğitim Merkezi Müdürlüğü***, (Eylül 2005).

[19] H. Soltekin, "E43000 Tipi Lokomotif Eğitimi Elektrik Bilgisi", ***Eskişehir Eğitim Merkezi Müdürlüğü***, (Eylül 2005).

[20] CiA (CAN in Automation) Group, "Controller Area Network", ***Technical Report***, (2001)

[21] K. Etschberger, "Controller Area Network: Basics, Protocols, Chips and Applications", ***IXXAT Automation GmbH basımı, Almanya*** (2001).

[22] R. Shah, X. Dong, "An Introduction to TTCAN", ***EE 2900 Class Discussion, Department of Electrical Engineering and Computer Science at University of California at Berkeley***, (7 Mart 2002).

[23] H.W. Huang, "The HCS12/9S12: An Introduction to Software and Hardware Interfacing", Chapter 13 (Controller Area Network), ***Thomson Delmar Learning basımı.***

[24] A. E. Atalay, "E43000 Lokomotifinin Dinamik Modelinin Oluşturulması ve Titreşim Kontrolü", ***Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, s. 62-71, (2009).

[25] Toshiba E43000 Katalogu RTX-E1225 P-1 ve RTX-M5399 P-1 sayfaları.

[26] Iwnicki, S., "Handbook of Railway Vehicle Dynamics", ***Taylor&Francis Group,*** Florida (2006).

KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER

1. YARDIM, F., URHAN, O., "An Embedded Train Simulator Based on A CAN Enabled Network", ***4th Workshop on Artificial Transportation Systems and Simulation,*** 19 September 2010, Değerlendirmede.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Sakarya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sakarya'da tamamladı. 1998 yılında girdiği Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden 2003 yılında mezun oldu. 2009 yılı Şubat ayında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2010 yılında mezun olma durumundadır.

Çeşitli kurumlarda Elektronik Mühendisi olarak görev yaptıktan sonra 2008 yılı Ağustos ayında Tübitak UEKAE'de (Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü) Araştırmacı olarak göreve başladı. Halen bu görevine devam etmektedir.