

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEMİRYOLU ARAÇLARINDA KULLANILAN VAKUMLU
TUVALET SİSTEMLERİ İÇİN ELEKTRONİK KONTROLÇÜ
TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aykut ALTINTAŞ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı

HAZİRAN 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEMİRYOLU ARAÇLARINDA KULLANILAN VAKUMLU
TUVALET SİSTEMLERİ İÇİN ELEKTRONİK KONTROLCÜ
TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aykut ALTINTAŞ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Muhammed Kürşad UÇAR

HAZİRAN 2023

Aykut ALTINTAŞ tarafından hazırlanan “Demiryolu Araçlarında Kullanılan Vakumlu Tuvalet Sistemlerin için Elektronik Kontrolcü Tasarımı” adlı tez çalışması 09.06.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :

Jüri Üyesi :

Jüri Üyesi :

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Demiryolu Araçlarında Kullanılan Vakumlu Tuvalet Sistemleri için Elektronik Kontrolcü Tasarımı” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(09/06/2023).

Aykut ALTINTAŞ

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans eğitimin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Muhammed Kürşad UÇAR'a, çalışmalar esnasında yardımlarını esirgemeyen değerli eşim Seda Nur ALTINTAŞ'a ve değerli çalışma arkadaşım Sayın Sercan AYGÖN'e teşekkürlerimi sunarım.

Aykut ALTINTAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM	7
3.1. Yöntem	7
3.2. Genel Bilgiler	8
3.2.1. Sistem bileşenleri	8
3.2.2. Sistemin çalışma prensibi	11
3.2.3. VTS'nin kullanıcı isteğine bağlı olan fonksiyonları	14
3.2.4. VTS'nin kontrolcü tarafından yürütülen fonksiyonları	16
3.3. VTS Kontrolcüsünün Donanım Mimarisi	18
3.3.2. VTS kontrolcüsünün çıkış sinyalleri	24
3.4. VTS Kontrolcüsünün Yazılım Mimarisi	27
3.4.1. Ana fonksiyonlar	29
3.4.2. Yardımcı fonksiyonlar	30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	35
4.1. VTS Kontrolcüsünün Masaüstü Testleri	35
4.2. VTS Kontrolcüsünün Son Ürün Haline Getirilmesi	37
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	41
KAYNAKLAR	45

KISALTMALAR

AA	: Alternatif Akım
ADC	: Analog Digital Converter
ARM	: Acorn RISC Machine
AVR	: Alf and Vegard's RISC
BIS	: Bioimpedance spectroscopy
CANBUS	: Controller Area Network Bus
DA	: Doğru Akım
DIN	: Deutsches Institut für Normung
DMU	: Diesel Multiple Unit
ECG	: Electrocardiogram
GND	: Ground
IDE	: Integrated Development Environment
IEC	: International Electrotechnical Commission
ISO	: International Organization for Standardization
LDR	: Light dependent resistor
mA	: Miliamper
MIPS	: Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages
MSB	: Most Significant Bit
PCB	: Printed Circuit Board
PIC	: Peripheral Interface Controller
PRM	: Person with Reduced Mobility
RISC	: Reduced Instruction Set Computer
SHCP	: Shift Register Clock Input
STCP	: Storage Register Clock Input
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TMS	: Train Monitoring System
VTS	: Vakumlu Tuvalet Sistemi

SİMGELER

I_{\max}	: Maksimum akım değeri [miliamper]
I_{\min}	: Minimum akım değeri [miliamper]
P_{adc}	: ADC'de okunan gerilim değerinin basınç karşılığı [bar]
P_{\max}	: Maksimum basınç değeri [bar]
P_{\min}	: Minimum basınç değeri [bar]
R_{sont}	: Şönt rezistörü [ohm]
V_{adc}	: ADC'de okunan gerilim değeri [volt]

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1. DS18B20 sıcaklık sensörünün analog-dijital dönüşümü.	22
Tablo 3.2. DS18B20 sıcaklık sensörünün 16-bitlik register tablosu	22
Tablo 3.3. ADC kanalının okuma aralığı.	23

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. VTS modülünün üstten görünümü.	8
Şekil 3.2. VTS modülü.	8
Şekil 3.3. VTS elektrik paneli.	9
Şekil 3.4. Atık ve temiz su tankı tertibatı.	10
Şekil 3.5. Seviye göstergesi.	10
Şekil 3.6. VTS hava kaynağı pnömatik bağlantı şeması.	11
Şekil 3.7. VTS'nin çevresel birimleri.	12
Şekil 3.8. VTS akış diyagramı.	14
Şekil 3.9. Yıkama fonksiyonu valflerinin çalışma diyagramı.	15
Şekil 3.10. Taşma önleme fonksiyonu valflerinin çalışma diyagramı.	17
Şekil 3.11. Gerilim regüle devresi.	19
Şekil 3.12. Kontrolcünün giriş sinyalleri.	20
Şekil 3.13. Dijital giriş portu devre yapısı.	20
Şekil 3.14. Sıcaklık sensörü bağlantısı (a), basınç transmitteri bağlantısı (b).	21
Şekil 3.15. Kontrolcünün çıkış sinyalleri.	25
Şekil 3.16. Elektropnömatik valflerin sürülmesi için kullanılan devre yapısı.	26
Şekil 3.17. Diyagnostik ledlerini sürme devresinin yapısı (solda), ledleri kontrol eden fonksiyon (sağda).	27
Şekil 3.18. PIC16F877 port ayarları.	29
Şekil 3.19. Kesme değerlerinin hesaplanması.	30
Şekil 3.20. Analog-dijital çeviricinin ayarları.	30
Şekil 3.21. 74HC595 entegresinin örnek sinyal-zaman diyagramı.	31
Şekil 3.22. Buton bounce örneği.	32
Şekil 3.23. VTS fonksiyon akış diyagramı.	33
Şekil 4.1. Kontrolcünün devre çizim programında oluşturulan görüntüsü.	35
Şekil 4.2. Masaüstü testlerinde kullanılan test düzeneği.	36
Şekil 4.3. VTS kontrolcüsünü test etmek için kullanılan test kutusu.	37
Şekil 4.4. VTS elektrik paneli (solda) ve tuvalet kabininin görünüşü (sağda).	38

DEMİRYOLU ARAÇLARINDA KULLANILAN VAKUMLU TUALET SİSTEMLERİ İÇİN ELEKTRONİK KONTROLCÜ TASARIMI

ÖZET

VTS'ler (Vakumlu tuvalet sistemleri), yolcu taşımacılığında kullanılan raylı sistem araçlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. VTS'nin yaygınlaşmasının ana nedenlerinden biri, raylı sistem araçlarının tuvalet kabinlerinde oluşabilecek ve aracın yolcu kullanım alanına yayılabilecek kötü kokuları engellemektir. Ayrıca bir diğer neden ise, gerekli olan hijyen şartlarını sağlayarak tuvalet atıklarından bulaşabilecek enfeksiyonları önlemektir. Bu nedenlere ilave olarak meydana gelebilecek olumsuz çevresel etkileri engellemek için, insan kaynaklı atıklar, atık tankı adı verilen depolarda toplanır ve bu sayede atıkların raylarda korozyon oluşturması engellenir, dolaylı olarak atıklar nedeniyle temiz su kaynaklarının kirletilmesi ihtimali ortadan kaldırılır. Temiz su tüketim miktarları açısından VTS ile standart bir sifonlu tuvalet karşılaştırıldığında, her bir yıkama fonksiyonu döngüsünde VTS standart tuvalete göre %75-80 oranında daha az temiz su tüketmektedir. VTS üreticisi firmalar tarafından sağlanan verilere göre her bir yıkama döngüsünde yaklaşık olarak 0,5 litre temiz su tüketilmektedir. Günümüzde temiz su kaynaklarının hızlı bir şekilde tükendiği gözönüne alındığında, VTS'nin büyük oranda su tasarrufu sağlayabilir olma özelliği eşsizdir.

Bu tez çalışmasının kapsamında, Türkiye'de yolcu taşımacılığında kullanımda bulunan VTS'lere uygun, işletmeci ve demiryolu aracı üreten kurumlara yüksek maliyetler doğurmayacak, bakım/onarım ve imalat işlerini yürüten personellere gerekli kolaylıkları sağlayacak bir VTS elektronik kontrolcüsü tasarlamak amaçlanmıştır. Bu kapsamda bir elektronik kontrolcünün tasarımı yapılmış ve testleri gerçekleştirilmiştir. Testler iki aşamalı olarak ilk aşamada masaüstünde gerekli test ekipmanları kullanılarak, ikinci aşamada ise demiryolu aracı üzerinde mevcut bulunan VTS üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada ilk olarak elektronik kontrolcünün tasarımını oluşturmak için, yolcu taşımacılığında kullanılan raylı sistem araçlarının halihazırda kullanımda bulunan VTS'leri incelenmiş, bunun akabinde tasarımda kullanılacak programlama dili ve işlemci tipi, elektriksel ve fiziksel arayüz, kontrolcünün yürütmesi gereken fonksiyonlar, giriş-çıkış portlarının sayısı, maliyet gibi tasarım parametreleri belirlenmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar materyal ve yöntem bölümünde detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Tasarım tamamlandıktan sonra ilk prototip ürün üretilerek masaüstü ve saha testleri yapılmıştır. Testleri tamamlanan elektronik kontrolcü, Türkiye'de yolcu taşımacılığında kullanılan yolcu vagonları ve dizel tren setlerinde bulunan VTS'lere uygun olarak tasarlanmış ve aktif olarak 2022 yılı içinde yolcu taşımacılığında kullanılan araçlarda kullanılmaya başlanmıştır.

Üretilen elektronik kontrolcü, işletmeci kurum olan TCDDT A.Ş. (Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Taşımacılık A.Ş.) bünyesindeki dizel tren setlerine

ait 124 adet VTS ünitesi ve yolcu vagonlarına ait yaklaşık 300 adet VTS ünitesinde yani toplamda 400 adet üzerinde VTS ünitesinde kullanılabilir. Tasarlanan elektronik kontrolcünün, gerekli görülen bazı fonksiyonların ve modüler olan donanımların uygun bir şekilde eklenip çıkarılmasıyla yani tasarımda gerekli revizyonların yapılmasıyla farklı tiplerdeki raylı sistem araçlarında bulunan farklı tip ve model VTS'lerde de kullanılabilmesi öngörülmektedir.

ELECTRONIC CONTROLLER DESIGN FOR VACUUM TOILET SYSTEMS IN RAILWAY VEHICLES

SUMMARY

Vacuum toilet systems which are working with clean water and pressurized air supply, are systems those control electropneumatic valves to perform operations such as siphon, flush etc. It is a system which designed to provide comfort and necessary hygiene conditions to the users/passengers. VTS needs 3 sources to perform its functions. These are respectively, direct current source, clean water and pressurized air.

Vacuum toilet systems are widely used in rail system vehicles which are used in passenger transportation. One of the aims of the dissemination of VTS is to prevent bad odors that may occur in the toilets of rail system vehicles which may spread to the interior of the vehicle. In addition, another aim is to prevent infections that can be transmitted from toilet waste by providing hygiene conditions. In addition to these purposes, in order to prevent negative environmental effects that may occur, human-made wastes are collected in warehouses called waste tanks, thus preventing the wastes from forming corrosion on the rails, and eliminating the possibility of polluting clean water resources. When comparing the VTS with a standard flush toilet in terms of clean water consumption amounts, the VTS consumes 75-80% less clean water than a standard toilet from each flushing cycle.

Within the scope of this thesis, a cost-effective electronic controller that can be used in VTS of rail system vehicles used in passenger transportation has been designed and tested. In the study, firstly, to design the electronic controller, the VTS of the railway vehicles used in passenger transportation were examined, and the design parameters such as the programming language and processor type to be used in the design, the electrical and physical interface, the functions that the controller should perform, the number of input-output ports, and the cost were determined. Afterwards, desktop and on-board tests of the first prototype product designed were carried out. The electronic controller, whose tests have been completed, has been designed for the VTS in passenger wagons and diesel train sets used in passenger transportation in Turkey and has been started to be actively used in operation in 2022. The controller, which is designed, can be used in 124 VTS units which belong to diesel train sets and approximately 300 VTS units which belong to passenger wagons which are under service of the operating company, TCDD Tasimacilik.

In the thesis section of source research, developments and studies which related to conventional toilets and vacuum toilet systems used in passenger transportation from the beginning of the 1900s to the present, are shared. The reasons why VTSs are preferred over conventional toilets are explained. With the development and spread of technologies such as the internet of things, project proposals regarding the management of VTSs in highly populated areas from a control center and the efficient

execution of public services are shared. VTSs specially developed for the elderly, disabled and sick individuals are exemplified. Thanks to the developing technology, it has been exemplified that VTSs can be used in the early diagnosis of diseases in the healthcare field. A project where comfort conditions can be adjusted individually in VTSs which were developed for elderly and disable individuals has been shared.

In the material and method section of the thesis, the characteristics of the microcontroller to be used in the electronic controller, details of the circuit drawing platform and the code development environment and why they were preferred, are explained. In the system components subsection, equipments such as toilet module, electrical panel, clean/wastewater system in VTS are explained and shared with their visuals. In the working fundamental subsection, firstly how VTS gets the pressurized air source which provided by the railway vehicle's air compressor and its pneumatic diagram are shared. The placement levels of the level sensors in the clean water and waste tanks are indicated in the tanks. It is explained how the electronic controller evaluates the received information from these sensors and what actions the controller does with the information. The controls that need to be done by the VTS controller for VTS to be ready for operation, are shared in detail. In the functions of VTS subsection, it is explained how functions such as washing/vacuum, bidet, faucet work and how user/passenger demand is created. Working-time diagrams of the 6 electropneumatic valves operated in overflow and washing functions that recorded by the help of a logic analyzer and how these functions are carried out, are explained in detail.

In the hardware architecture subsection, the circuit structures which used in VTS electronic controller are explained in detail. These are the voltage regulation circuit used to regulate supply voltage to the appropriate level for the microcontroller, the input port circuit structure which used for the signals produced by the peripheral units as logic 0 or 1, the temperature sensor and pressure transmitter's interface to the electronic controller, the circuit structure which drives the electropneumatic valves and finally circuit structure which drives the diagnostic leds. In the input/output signals of the controller subsection, the electrical interface between the electronic controller and the peripheral units and the signals available in the interface are explained in detail. Also, in the same subsection, the data of the temperature sensor which used to prevent freezing in the liquid installation and the evaluation of this data by the controller are shared. By sharing the data conversion table of the pressure value which read from the ADC (Analog digital converter) module of the microcontroller, the effect of these pressure values on the functions of the VTS, is explained in detail. How the lower limit and upper limit of the pressure values which were determined for the VTS and how the system works under the influence of these values are examined in detail.

In the software architecture subsection, pseudo-codes of the software which is run by the VTS electronic controller, are shared and these codes explained in detail. In this section, initialization parameters of the microcontroller, the settings of the timer functions, the settings of the analog-digital conversion module are shared and explained in detail. Timer functions are used to drive electropneumatic valves of the VTS and to generate diagnostic data. The analog-digital conversion module is used in pressure control processes in the VTS electronic controller. Also, in this section, information about the control function of the user/passenger buttons, the control of the peripheral units related to the anti-freeze function, and finally software for the washing and overflow functions are given in detail.

In the research findings section, desktop tests results for the electronic controller which is produced by the help of the circuit drawing platform are given in detail. The test box, which is prepared for test operations, has switches to test the input signals, a potentiometer to simulate analog pressure value as voltage value and finally 8 led indicators to see the outputs of the electronic controller. A logic analyzer is also placed inside the test box to see the run-time diagrams of the electropneumatic valves. After the completion of desktop tests, the electronic controller is mounted of the VTS electric panel, and afterwards on-board tests are done, and it was shown that the VTS is ready for passenger service. In addition, in this section, the necessary procedures to mount the electronic controller to the electrical panel are explained in detail.

In the discussion and conclusion section, the purposes of designing a new electronic controller and which railway vehicles it is suitable for are explained. The advantages and disadvantages of the electronic controller are also given in detail in this section. The improvement works that can be done for the controller, which was designed for this thesis, are briefly explained.

1. GİRİŞ

Günümüzde yolcu taşımacılığında kullanılan demiryolu araçlarında elektro pnömatik veya tamamen mekanik olan tuvalet sistemleri kullanılmaktadır. Eski nesil demiryolu araçlarında ise, tuvalet kaynaklı atıkları trenlerden atmak/tahliye etmek için hopper tuvalet olarak bilinen bir sistem kullanılmaktadır [1]. Hopper tuvalet tipi sistemde tuvalet atıkları demiryolu rayları üzerine ya da genel olarak raya yakın bir zemine tahliye edilir. Sistem, tahliye işlemini herhangi bir dış etki olmadan doğrudan trenin tabanındaki delikten veya sifon çekilmesi vasıtasıyla gerçekleştirir. Bu tip tuvaletlere doğrudan tahliyeli tuvalet veya sifonlu tuvalet denmektedir. Birçok ülkede, özellikle eski raylı taşıtları işleten ülkelerde bu tip tuvaletler yaygın olarak kullanılmaktadır [2]. Bu tuvaletlerin kullanılmasının en büyük dezavantajları, hijyen gerekliliklerini sağlamaması, yolcuya konforunun yeterli düzeyde sağlanamaması, insan sağlığı ve çevre için tehlikeli sonuçlar meydana getirebilir olmasıdır. Demiryoluna veya raya doğru tahliye edilen tuvalet atıkları demiryolu hatlarını kirletir. Ayrıca demiryolu altyapısının yaygınlığı gözönüne alındığında, bu atıkların temiz su kaynaklarını kirletme riski bulunmaktadır. Bu tip tuvaletler kullanılırken belli başlı iyileştirmeler yapılmıştır. Örnek olarak bu tarz tuvalet ünitelerinin tren yolcu istasyonuna geldiği anda tahliye yapmaması için birtakım yöntemler geliştirilmiştir. Yöntemlerden biri trenin istasyona yaklaşması esnasında tuvalet kabinlerinin kapılarının yolcuların tuvaleti kullanmasını önlemek amacıyla otomatik olarak tren sürücüsü tarafından kilitlemesidir. Farklı bir yöntem ise tren personelinin kumanda edebileceği bir sistem ile tuvalet tahliye deliğinin gerek görülen zamanlarda mekanik veya pnömatik olarak kapatılmasıdır [3].

Hopper tip tuvaletlerde yapılan ilk iyileştirme Amerika Birleşik Devletleri'nde 1915 yılında olmuştur. Bu sistem tuvalet atıklarının ara bir tanka tahliye edilerek toplanmasını ve trenin 40 mil/h'lik (65 km/h) bir hıza ulaştığında atık tankının tahliye yolunu kapatan elektro pnömatik valfin enerjilendirilmesiyle çalışır. Valf yolu açtığı anda tanktaki atıklar hopper tuvalettekine benzer şekilde yola tahliye edilir [4]. Birleşik Krallık'ta işletimde bulunan yolcu taşıyan raylı taşıtlarda 1995 yılına dek geçen zamanda bu tuvaletler kullanılmaya devam edilmiştir [5, 6]. 2000'li yılların

sonrasında raylı taşıtlarda da uçak tuvaletlerine benzer yapıdaki vakumlu tuvalet sistemleri kullanılmaya başlamış ve VTS yeni üretilen raylı taşıtlarda büyük oranda yaygınlaşmıştır [7].

VTS, temiz su kaynağı ve basınçlandırılmış hava beslemesi ile çalışan ve sifon/yıkama vb. işlemleri gerçekleştirmek için elektropnömatik valfleri kumanda eden bir sistemdir. Geleneksel tuvaletlerle kıyaslandığında büyük oranda su tasarrufu sağlayan, atıkları özel olarak üretilmiş tren üzerinde monteli tanklarda muhafaza ederek çevrenin kirletilmesini engelleyen, kullanıcı/yolcu konforunu ve gerekli hijyen koşullarını sağlamak için tasarlanmış bir sistemdir [8, 9]. VTS fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için 3 tane kaynağa ihtiyaç duyar. Bunlar sırasıyla DA (Doğru akım) besleme, temiz su ve basınçlı hava kaynağıdır.

Yolcu taşımacılığında kullanılan raylı taşıtlarda VTS'ye olan ihtiyaç, yolcuların konfor ve hijyen talepleri, uzun mesafeli ve süreli yolculuklar düzenleyen raylı taşıtların kullanımının yaygınlaşması üzerine meydana gelmiştir [10, 11].

Türkiye'de günümüzde kullanılan raylı taşıtlarda 3 tip VTS bulunmaktadır [12-14]. Bunlar ergonomik açıdan engelli yolcuların kullanımına uygun olarak tasarlanan PRM (Person with reduced mobility), alafranga (european ya da oturmali) ve alaturka (squat ya da çömelmeli) tuvalet sistemleridir. Kullanımda bulunan VTS'ler yüzdesel olarak büyük oranda ithal malzemelerden oluşmaktadır ve yüksek maliyetli sistemlerdir. Günümüzde Türkiye'de birtakım firmalar tarafından üretilen VTS'ler bazı demiryolu araçlarında kullanılsa da bu sistemlerde kullanılan malzemelerin yerlilik oranı istenen seviyeye gelememiştir. Buna ek olarak VTS'nin yurtiçinde üretilmiş veya ithal olarak tedarik olmasından bağımsız olarak, sistem ekipmanlarının maliyetinin yüksek olması raylı taşıtları imal eden (Türkiye Raylı Sistem Araçları A.Ş.) ve işletmesini gerçekleştiren (TCDD Taşımacılık A.Ş.) kuruluşlara maddi olarak ağır bir külfet oluşturmaktadır.

Bu çalışmayla beraber tasarlanan ve üretilen kontrolcü, yurtiçinde yolcu taşımacılığı işletmeciliğinde kullanılan TVS modelli yolcu vagonları ve DMU 15400 (Diesel multiple unit) serisi olarak isimlendirilen dizel tren setlerinin VTS'lerine entegre edilerek kullanılabilir [15, 16]. Çalışmanın amacı VTS ekipmanlarının

mümkün olan en yüksek oranda yerleştirilmesi, raylı taşıtları imal eden kuruluşa VTS tasarım ve üretim yeteneğinin kazandırılması, sistem imalat ve bakım/onarım maliyetlerinin uygun seviyelere çekilmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında tasarımı yapılan elektronik kontrolcünün sayesinde istenildiğinde demiryolu aracını imal eden kuruluşun hem yolcu isteklerini değerlendirerek tasarım şartlarını belirleyebileceği hem de kendi bünyesinde üretebileceği uygun maliyetli bir VTS projelendirilerek üretilebilecektir.

VTS birçok alt ekipmandan oluşmaktadır. Bunlar; tuvalet kabini, tuvalet modülü, elektronik kontrolcüyü içeren elektrik dağıtım paneli, havalandırma ekipmanı, iklimlendirme ekipmanı, lavabosu, temiz su ve atık tankları vb. ekipmanlardır. VTS'nin ekipmanlarından sadece biri olan elektronik kontrolcünün maliyeti açısından karşılaştırıldığında, çalışma kapsamında tasarlanan kontrolcünün halihazırda kullanılan VTS'lerde kullanılan kontrolcülerden yaklaşık %80 oranında daha düşük maliyete sahip olduğu hesaplanmıştır. Tasarlanan kontrolcünün yaygınlaşması sayesinde bakım/onarım işlemlerini yapan personellere yeterli eğitimler verilerek, bakım/onarım faaliyetleri için gereken işçilik sürelerinden tasarruf edilecektir.

Tez çalışması kapsamında tasarlanan elektronik kontrolcü ile ilgili benzer çalışmalara 2. Bölümde Literatür araştırması bölümünde yer verilmiştir. 3. bölümde ise VTS kontrolcüsü ile ilgili bilgiler verilmiştir. 3. bölümde, kontrolcünün tasarımı, tasarımda kullanılan malzemeler ve sistem yapısı açıklanmıştır. Ayrıca kullanılan programlama dili, yazılım geliştirme ortamı ve devre çizim platformu ile ilgili bilgiler 3. bölümde anlatılmıştır. 4. bölümde tasarım aşamasından sonra gerçekleştirilen masaüstü ve saha testleri ile ilgili bilgiler paylaşılmıştır. 5. bölümde çalışması sonuçları değerlendirilmiş, tasarlanan kontrolcünün avantajları ve dezavantajları ortaya konulmuş, sonraki süreçte yapılması planlanan çalışmalar açıklanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Hopper tipi tuvaletlerdeki atığın herhangi bir yerde tahliye edilmesi doğaya ve insan sağlığına ciddi sonuçlar doğurmaktadır. Bunu önlemek amacıyla; tahliye deliğinin trendeki yetkili personel tarafından uygun olan zamanlarda açılıp kapatılması [3], tahliye yolunun 65 km/sa hız geçildiğinde açılması [1] önerileri yapılmıştır. Bu önerilere benzer şekilde, atığın güvenli şekilde depolanması ve daha sonra uygun bir yerde bertaraf edilmesi için önerilen bir sistemde [9], atık tankı ekipmanı kullanılmakta ve tankın çıkış yani tahliye ucundaki valfin kontrolü elektronik olarak yapılmaktadır. Hopper tuvaletlerindeki bu iyileştirmelerin yetersiz olması ile VTS'nin yukarıda bahsedilen avantajları, sistemin demiryollarında yaygın şekilde kullanılmasına önayak olmuştur. Geleneksel tuvaletlere göre çok daha az miktarda su kullanmasıyla [14, 17], VTS'ler ön plana çıkmaktadır.

Basınçlı hava kaynağı ile çalışması nedeniyle VTS'nin güvenli bir şekilde tuvalet fonksiyonlarını yürütmesinin sağlanması oldukça önemlidir. Bu amaçla önerilen sistemde [7], VTS tuvalet modülünün üst tarafındaki oturma alanının altına yerleştirilen ağırlık sensöründen alınan bilgiye göre, VTS'nin oturma alanında bulunan kişi algılanır ve vakum işlemi gibi işlemlerin yürütülmesi engellenir. Böylece, özellikle çocuklar ve yaşlı yolcuların VTS'si kullandıkları esnada olumsuz durumlarla karşılaşılması önlenmektedir. Uçaklarda kullanılan VTS için önerilen bu sistem sayesinde, yolcu güvenliğinin artırılmasının yanısıra yaşanabilecek kazalardan kaynaklı olarak oluşabilecek prestij kaybının ve dolayısıyla finansal kayıpların da önüne geçilmektedir.

Nesnelerin İnterneti teknolojisi internetin ve interneti kullanan cihazların yaygınlaşması ile birçok alanda kullanılmaktadır. Nesnelerin İnterneti teknolojisini, şehirlerdeki umuma açık tuvaletlerin kontrolünde kullanılmasını öneren bir çalışma da mevcuttur [18]. Çalışmada, umuma açık tuvaletlerde hijyenin Nesnelerin İnterneti ve Makine Öğrenmesi ile sağlanması önerilmiştir. Önerilen çalışmaya göre, ultrasonik sensörler vasıtasıyla tuvaleti kullanan kişi sayısı belirlenip sistemde bulunan temiz su ve atık miktarı yaklaşık olarak belirlenmektedir. Hijyen şartlarını karşılamak için

gereken temizlik malzemelerinin miktarı Infrared sensörle takip edilirken, tuvalet kabini aydınlatmasını kontrol etmek için LDR (light dependent resistor) kullanılmaktadır. Tuvalet alanının içine yerleştirilen optik bir sensör vasıtasıyla taşma vb. istenmeyen durumlar takip edilebilmektedir. Ayrıca sistemde meydana gelebilecek herhangi bir sorun makine öğrenmesi ile önceden tespit edilip gerekli servis işlemleri gerçekleştirilebilmektedir.

Diğer bir çalışmada umuma açık tuvaletlerin takibi ve kontrolü sağlanırken toplanan verinin Büyük Veri (Big Data) ile bir bulut sisteminde değerlendirilmesi de önerilmiştir [19]. Önerilen sistemde, umuma açık tuvaletlerde bulunan sensörlerin verileri, kullanım alanlarında bulunan kameraların görüntüleri (güvenlik amacıyla), aydınlatma sisteminin kullanımına ait veriler bulut sistemine gönderilerek bu verilere mobil cihazlar üzerinden erişim yapılması amaçlanmıştır. Toplanan büyük miktardaki veri bulut sisteminde değerlendirilerek nüfus yoğunluğu yüksek şehirlerdeki umuma açık tuvaletlerde verilen hizmetin kesintisiz bir şekilde devam ettirilmesi için gereken servis işlemlerinin yönetimi tek merkezden yapılabilmektedir.

Tuvalet sistemlerinden elde edilen verinin sağlık alanında değerlendirilmesini öneren çalışmalar da mevcuttur. Yapılan bir çalışmada [20], tuvalet sistemi kullanıcının idrarından bir numune almaktadır. Bu numune ve tuvalet sisteminde bulunan gömülü yazılımlı elektronik ekipmanlar yardımıyla kullanıcının kanındaki şeker seviyesi tahmin edilmiştir. Başka bir çalışmada [21], tuvaleti kullanan kişinin ağırlığı, kan basıncı, biyoempedans, kalp atış hızı gibi değerleri ölçülür. Ölçülen değerlerin yanında alınan idrar numunesi de değerlendirilerek (BIS-Bioimpedance spectroscopy ve ECG-Electrocardiogram testleriyle) kişinin genel sağlık durumu ile ilgili kapsamlı değerlendirme ve erken teşhis çalışmaları yapılabilmektedir.

Yaşlı ve engelli bireyler, tuvaleti kullanırken çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu bireylere tuvaleti kullanırken yaşayabilecekleri problemleri engellemek için önerilen çalışmada [22], tuvalet sistemi üzerinde sesli iletişim aygıtı, sesli ikaz aygıtı, düşme algılama sensörü, hareket algılama sensörü vb. ekipmanlar bulunmaktadır. Bu ekipmanlar, yaşlı ve engelli bireylerin tuvaleti kullanım deneyimlerini iyileştirmek amacıyla merkezi bir kontrolcüyle tümleşik olarak çalışmaktadır. Geliştirilen bir mobil uygulama vasıtasıyla tuvalet sisteminin konfigürasyonu ayarlanabilmekte ve sisteme ait veriler görüntülenebilmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Yöntem

Tez kapsamında tasarlanan kontrolcü için EasyEDA isimli çevrimiçi devre tasarım ortamı seçilip VTS kontrolcüsünün şematikleri oluşturulmuştur [23]. Oluşturulan şematik kullanılarak ve tasarlanan kontrolcünün VTS elektrik panelinde yerleştirileceği lokasyonun ölçüleri belirlenerek PCB (printed circuit board) çizimi yapılmıştır. Tasarımı tamamlanan PCB üretilerek, dizgi makinesi yardımıyla üzerindeki elektronik parçalar dizilmiştir.

Kontrolcü içinde kullanılacak mikrodenetleyici modeli; sistemin giriş/çıkış sinyali sayısı, mikrodenetleyicinin maliyeti ve erişilebilirliği, mikrodenetleyici için kod geliştirirken kullanılacak kaynaklar ve kod kütüphaneleri vb. parametreler nedeniyle Microchip firması tarafından üretilen “PIC16F877” olarak belirlenmiştir [24]. Yazılım geliştirme ortamı PIC C (Peripheral interface controller) dilinde kodlamaya imkân tanıyan MPLABX IDE (Integrated development environment) olarak belirlenmiştir [25].

Mikrodenetleyicinin kodları geliştirilirken kullanılan Netbeans tabanlı MPLABX IDE, Microchip firması tarafından üretilen 8, 16 ve 32-bit; Harvard, ARM (Acorn RISC machine) ve MIPS (Microcontroller without interlocked pipeline stages) mimarisine sahip mikroişlemciler için hazırlanmış bir tümleşik geliştirme ortamıdır. Bu platformda C dilinde derleme ve hata ayıklama işlemleri yapabilmek için 8-bitlik işlemciler için üretilmiş XC8 adlı derleyici kullanılmıştır. Bu derleyici Microchip firması tarafından üretilen 8-bit PIC ve AVR (Alf and Vegard’s RISC) mikrodenetleyicilerini desteklemektedir. XC8 Derleyicisi; tıbbi cihazlar için yazılım yaşam çevrimi süreçlerinin normlarını oluşturan IEC 62304 (IEC-International Electrotechnical Commission), otomotiv alanında fonksiyonel güvenlik normlarını içeren ISO 26262 (ISO-International Organization for Standardization), programlanabilir elektronik güvenlik ekipmanlarının normlarını içeren IEC 61508, ev vb. lokasyonlarda kullanılan elektronik ekipmanların normlarını içeren IEC 60730 gibi

fonksiyonel güvenlik standartlarına sahiptir. XC8 derleyicisi 3. parti derleyicilerin (MicroC, PICBasic, PIC C vb.) aksine mikrodenetleyici üreticisi firmanın tam desteğine sahiptir [26].

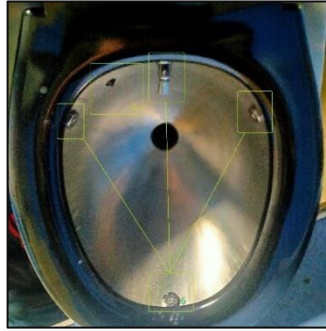
3.2. Genel Bilgiler

3.2.1. Sistem bileşenleri

Vakumlu tuvalet sistemi içeriğinde aşağıda isimleri verilen ekipmanlar bulunmaktadır:

a. VTS tuvalet modülü (Şekil 3.1 ve 3.2 [27])

- Pnömatik valf adası ve elektropnömatik valfler (1)
- Taşma önleme sensörü (2) [28]
- Giriş ve çıkış klape düzenekleri (elektropnömatik valflerle hareket ettirilen pistonlar ve klape ekipmanları) (3)
- Manyetik reed sviç (4)
- Basınç transmitteri ve basınç anahtarı (5)
- Taharet musluğu ve su püskürtme nozulları (6)
- Ara tank (Basınçlandırma ve vakumlama işlemi için kullanılan) (7)



Şekil 3.1. VTS modülünün üstten görünümü.



Şekil 3.2. VTS modülü.

b. VTS elektrik paneli (Şekil 3.3)

- Elektriksel arayüz konnektörleri (1)
- Dağıtım klemensleri (2)
- Röleler (3)
- Donma önleme fonksiyonu kumanda anahtarları (4)
- Sigorta grubu (5)
- Kabin sıcaklık termostatı (6)
- İzolasyon trafosu (7)
- Elektronik kontrolcü (Bu tez çalışması kapsamında tasarWımı yapılan ürün) (8)



Şekil 3.3. VTS elektrik paneli.

c. VTS kabin alanı

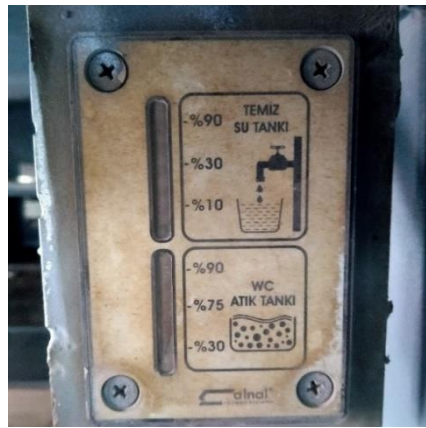
- Taharet ve yıkama fonksiyonu butonları
- Musluk tertibatı ve musluk butonu
- Ayna
- Elektrik prizi
- Acil durum butonu

d. Temiz su ve atık tankları (Şekil 3.4 ve 3.5)

- Atık tankı ve temiz su tankı üzerinde bulunan 3'er adet seviye şamandırası (1)
- Seviye göstergesi (2)
- Sıvı tesisatı içeriğindeki malzemeler (doldurma ve tahliye muslukları vb.)
- Donma önleme fonksiyonu için kullanılan tahliye (drain) valfi (4)
- Temiz su tankı ısıtıcısı (5)



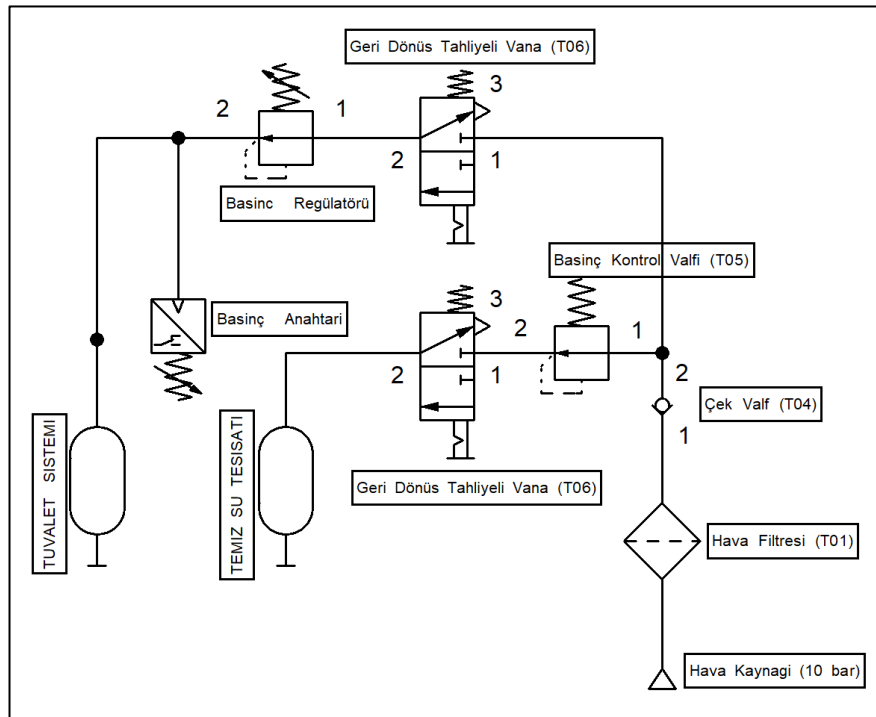
Şekil 3.4. Atık ve temiz su tankı tertibatı.



Şekil 3.5. Seviye göstergesi.

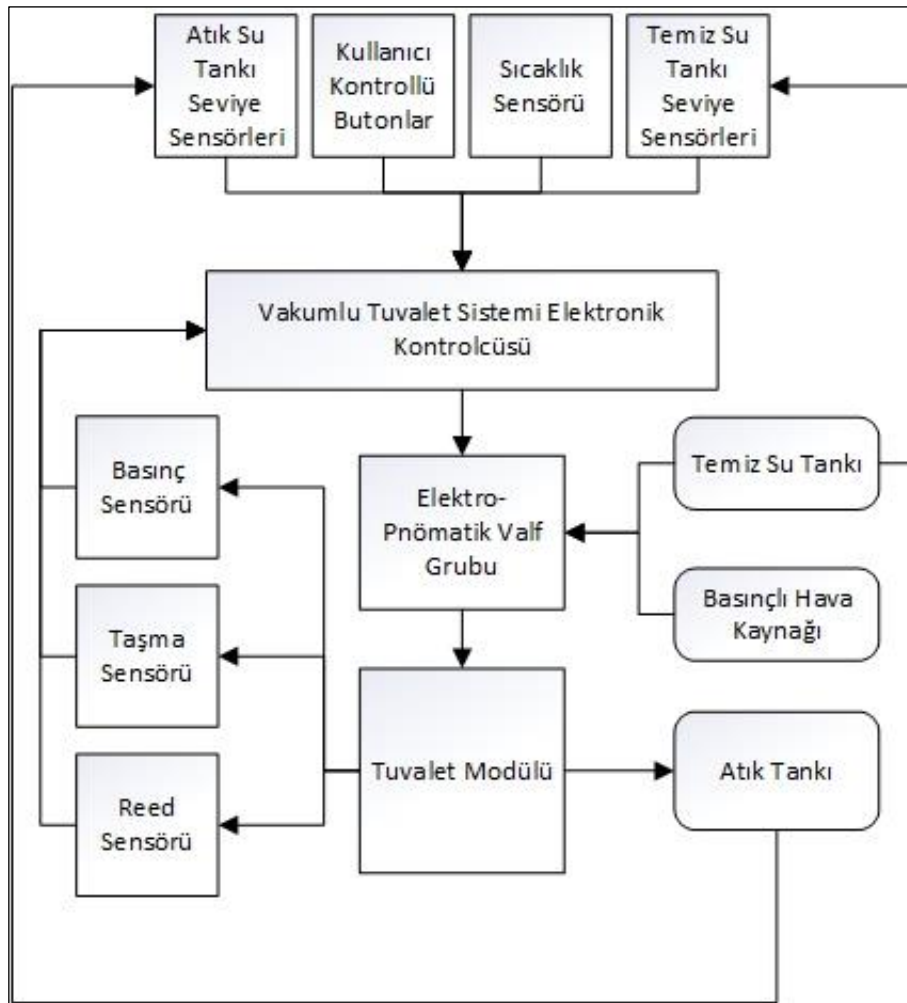
3.2.2. Sistemin çalışma prensibi

VTS kontrolcüsü sistemi servise hazır hale getirmek için önce bazı ön kontroller yapmaktadır. VTS tuvalet fonksiyonlarını yerine getirebilmek için 5 bar basınçlı havaya ve temiz suya ihtiyaç duyar. Gerekli olan 5 bar basınç değerindeki havayı raylı taşıtta bulunan hava kompresöründen sağlar. Genellikle raylı taşıtlardaki hava kompresörleri 10 bar seviyesinde basınçlandırılmış hava üretmektedir [29]. Şekil 3.6'da VTS'nin pnömatik bağlantı şeması verilmiştir. Festo firmasına tarafından geliştirilen Fluidsim adlı pnömatik çizim/simulasyon platformunda hazırlanan pnömatik bağlantı diyagramında hava filtresinin (T01) girişine 10 bar basınçlandırılmış hava gelir [30]. Çek valften (T04) geçen basınçlı hava basınç sınırlama valfine (T05) gelir. Basınç sınırlama valfi hava kaynağından çıkan basınçlandırılmış havanın değerini takip eder ve eğer üretilen basınç bu valfte ayarlanan basıncın üstündeyse (VTS'de $P \geq 5$ bar ise) hava geçişine izin verir. İzolasyon vanaları (T03 ve T06) sisteme beslenen basınçlı havayı açıp kapatmak için kullanılmıştır. İzolasyon vanalarından geçen hava basınç regülatörü olarak isimlendirilen bir valf vasıtasıyla 5 bar seviyesine regüle edilir [31]. Bir basınç anahtarı vasıtasıyla sistemde yeterli basınç değerinde hava olup olmadığı durumu kontrolcüye iletir [32].



Şekil 3.6. VTS hava kaynağı pnömatik bağlantı şeması.

Şekil 3.7’de VTS sisteminde bulunan çevresel birimler ve birbiriyle ilişkileri verilmiştir. VTS’de temiz su ve atık tankı seviyelerini ölçmek için şamandıra tipi seviye sensörleri kullanılmıştır. Bu sensörler toplamda 6 adet olmak üzere, bunlardan 3 adedi temiz su tankının seviyesini, diğer 3 adet ise atık tankının seviyesini ölçmekte kullanılır [33]. Sensörler, temiz su tankının hacimsel olarak %10, %30 ve %90 seviyelerinde dolu olup olmadığını ölçebilecek şekilde tank üzerine yerleştirilmiştir [34]. Bu sensörler temiz su seviye şamandırası olarak adlandırılır ve su seviyesi durumunu kontrolcüye elektriksel olarak iletirler. Temiz su tankının %30 ve %90 seviyelerinde bulunan şamandıralardan sinyal gelmezse kontrolcü sistemde az su kaldığına dair bir uyarı üretir. Eğer %10 seviyesini ölçen şamandıradan bilgi gelmiyorsa elektronik kontrolcü temiz su tankı seviyesinin yetersiz olduğunu tespit ederek, VTS’yi hazır durumdan hata durumuna geçirerek bütün tuvalet fonksiyonlarını duraksatır. Kontrolcü ayrıca temiz suyun VTS’de bulunmadığı ve bu nedenle VTS’nin



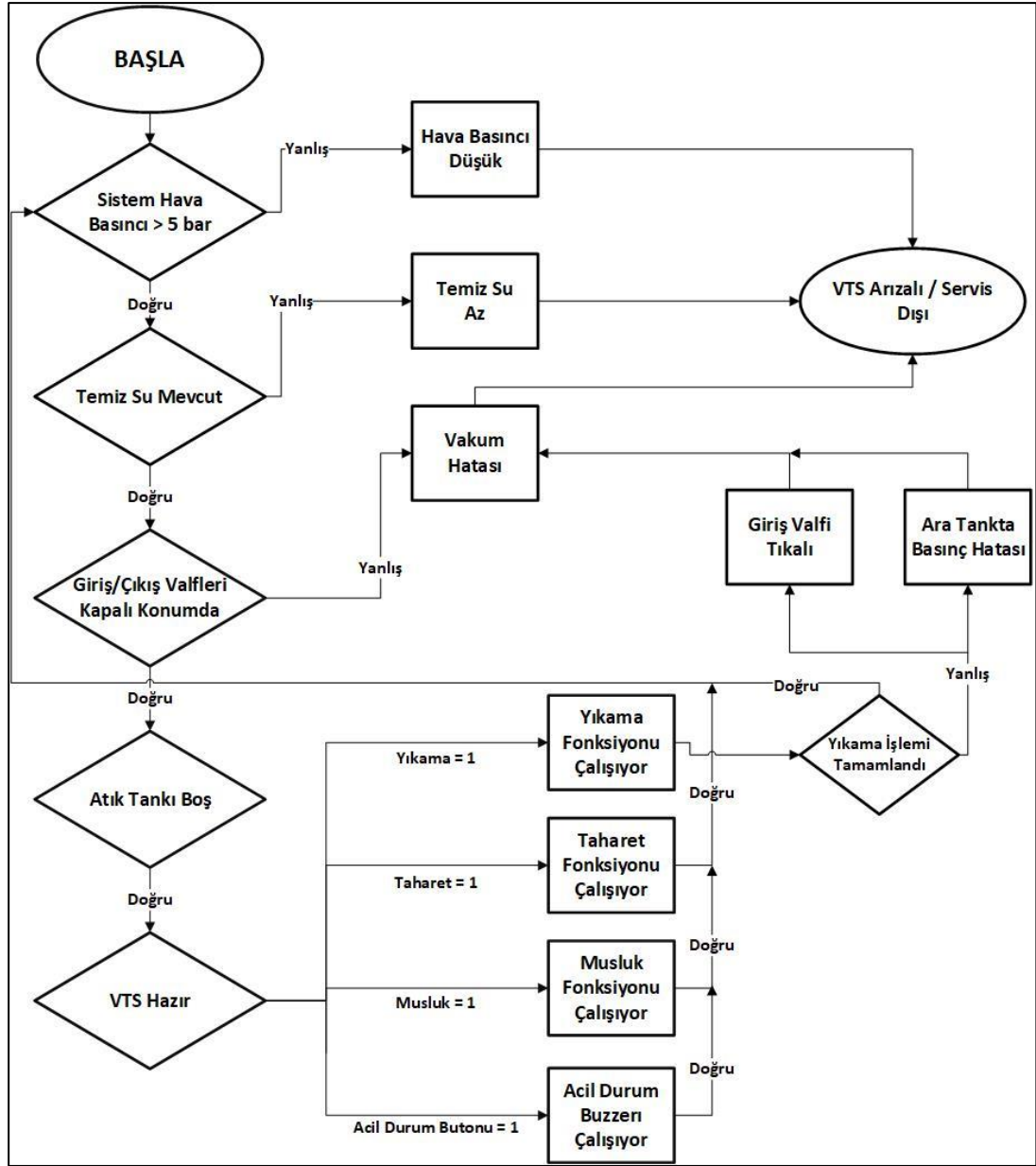
Şekil 3.7. VTS'nin çevresel birimleri.

hata durumuna geçtiği bilgisini araç bilgisayarına (TMS: Train monitoring system) bildirir. Atık tankında 3 adet seviye şamandırası bulunmaktadır. Bu seviye şamandıraları atık tankının %30, %75 ve %90 seviyelerinde konumlandırılmıştır. Kontrolcü atık tankının %90 seviyesine ait şamandıradan bilgi alırsa VTS'yi hata durumuna geçirerek ve tüm fonksiyonları durdurur. Tankın dolu olduğu bilgisi ve bundan kaynaklı olarak VTS'nin devre dışı kaldığı bilgisi araç bilgisayarına kontrolcü tarafından bildirilir [35].

VTS kontrolçüsü su ve basınçlı hava kontrollerini tamamlayınca bir sonraki kontrole başlar. VTS'nin mekanik ünitesinin üst haznesi ile ara tankı arasındaki bağlantıyı bir pistonu hareket ettirerek açıp kapayan bir pnömatik valf bulunmaktadır. Bu valfin hareket ettirerek giriş klapesi denilen bağlantıyı kontrol ettiği pistonun üzerinde pistonun konumunu izleyen ve kontrolçüye bu bilgiyi ileten bir manyetik sensör (reed sensörü) bulunur [36]. VTS herhangi bir işlem yürütmediği esnada üst hazne ve ara tank arasındaki bağlantı kapalı olacağından reed sensörünün çıkışı lojik "1" değerinde olur. Sistemin bütün kontrolleri yaparak hazır duruma gelebilmesi giriş klapesinin kapalı olması gerekmektedir. Giriş klapesinin açık durumdayken tıkanması/kapanmaması, klapeyi açıp/kapanan pnömatik valfin bozulması, manyetik sensörün doğru veri sağlayamaması durumunda kontrolcü VTS'yi hata durumuna geçirerek bütün yıkama/vakum fonksiyonlarını durdurur. Reed sensöründen çıkışı aktif ve giriş klapesi başlangıç anında kapalıysa bir sonraki kontrole geçilir. Ara tank üzerine monteli, 4-20 mA (Miliamper) akım çıkışı verebilen ve 0-5 bar arasında basınç ölçümü yapabilen bir basınç transmitteri bulunmaktadır. Burada bahsi geçen ara tank tuvalet modülünün üst haznesi ile atık tankı arasında konumlandırılmış olan, sistem tasarımında öngörülen basınç değerleri arasında deformasyona uğramayan, VTS'ye özel olarak üretilmiş 4-5 litrelik hacme sahip bir tanktır. Ara tankın VTS'de kullanılmasının amacı atığı üst haznedan vakumlayabilmek ve sonrasında basınçlı hava vasıtasıyla atık tankına tahliye etmektir. Ara tankın içindeki basınç değeri okunarak 4-20 mA sinyal aralığında kontrolçüye iletilir. Ara tank üzerinden okunan basınç değeri uygun değerler aralığındaysa VTS çalışmaya hazır duruma geçer [37].

VTS'de iki tip fonksiyon grubu vardır. 1.grup fonksiyonlar kullanıcı isteğine bağlı olarak yürütülen; yıkama, taharet, el yıkama ve acil durum fonksiyonlarıdır. 2.grup fonksiyonlar ise kullanıcı isteklerinden bağımsız olarak yürütülen; donma önleme, taşma önleme, geri sifon/servis sifonu fonksiyonları ve VTS'ye ait diyagnostik

bilgilerinin araç bilgisayarına/tren personeline bildirilmesidir. VTS fonksiyonlarına ait akış diyagramı Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. VTS akış diyagramı.

3.2.3. VTS'nin kullanıcı isteğine bağlı olan fonksiyonları

- Yıkama fonksiyonu: Yıkama fonksiyonunu çalıştırmak için butona basıldığı anda üst hazneye su bırakan iki adet pnömomatik valf çalışmaya başlar. Pnömatik valfler (flush basınç valfi ve flush çek valf) suyu püskürten nozulların boyutlarına göre belirlenen sürede eş zamanlı devreye girip çıkar. Üst haznede toplanan atığı ara tanka doğru vakumlamak için ara tank üzerinde bulunan ejektör valf olarak isimlendirilen valf kontrolcü tarafından belirlenen süre ve basınç değerleri

gözetilerek çalıştırılır. Ara tankta meydana gelebilecek deformasyon ve hasarları önlemek amacıyla tankın içinde regüle edilebilecek minimum ve maksimum basınç değerleri kontrolcü tarafından yazılımsal olarak sınırlandırılmıştır. İstenen vakum etkisini sağlayabilecek basınç değerine ulaşıldığı anda ejektör valfi kapatılır ve giriş valfi enerjilendirilir. Giriş valfinin enerjilendirilmesiyle birlikte üst hazne ara tanka bağlanır ve üst haznedeki atıklar ara tanka vakumlanır. Üst haznedeki atıklar tamamen tahliye edildikten sonra giriş valfi kapatılır. Ara tank izole edildikten sonra basınç valfi enerjilendirilerek tank içindeki basınç yaklaşık olarak 1.5 bara çıkartılır. Basınç değerine ulaşıldığı anda ara tank ile atık tankı arasında bulunan çıkış valfi enerjilendirilerek ara tankta bulunan atık, atık tankına tahliye edilir. Tahliye işlemi tamamlandıktan sonra ilk aşamada çalıştırılan valfler (flush basınç valfi ve flush çek valfi) tekrar enerjilendirilerek hazneye bir miktar temiz su bırakılır. Temiz suyun hazneye bırakılmasının nedeni tuvaletten kaynaklanabilecek kokuları engellemek ve VTS'nin kuru bir şekilde vakum/yıkama çevrimi yapmasını engelleyip mekanik parçaları korumaktır. Yıkama işlemi yapılırken reed sensörü ile pozisyonu takip edilen giriş valfinin istenildiği şekilde açılıp kapanmaması durumunda, yıkama işlemi yarıda kesilir ve kontrolcü “giriş valfi tıkalı” hatasını üretir. Yıkama işlemi esnasında bu hataya ek olarak ara tankta okunan basınç değerleri yazılımsal olarak tanımlanan değerlere istenen sürelerde ulaşamazsa “vakum hatası” uyarısı kontrolcü tarafından verilir. Son olarak ise yıkama işlemi esnasında basınç transmitterinin okuduğu değer eşik olarak belirlenen basınç değerlerini aşarsa kontrolcü “yüksek basınç/alçak basınç



Şekil 3.9. Yıkama fonksiyonu valflerinin çalışma diyagramı.

hatası” uyarısı verir. Şekil 3.9’da yıkama fonksiyonu esnasında çalıştırılan

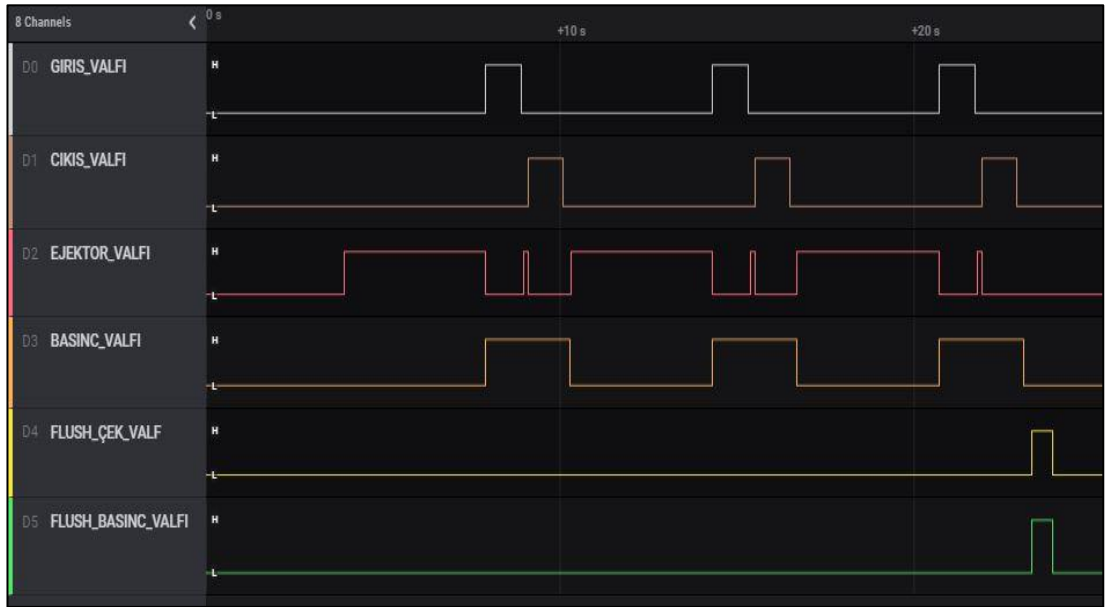
pnömatik valflerin lojik analizör vasıtasıyla kaydedilen zaman diyagramları görülmektedir [38].

- Taharet fonksiyonu: Taharet musluğunu çalıştırmak için butona basıldığı anda taharet valfi olarak isimlendirilen valf enerjilendirilerek sistemdeki temiz su taharet musluğundan akıtılmaya başlar. Kullanıcı istekleri ve su tüketim miktarı gözönüne alınarak taharet valfi 10 saniye süreyle kontrolcü tarafından enerjilendirilmektedir. Bu süre farklı projelerde isteğe bağlı olarak değiştirilebilmektedir.
- El yıkama musluğunu çalışma fonksiyonu: El yıkama musluğunu çalıştırmak için butona basıldığı anda musluk valfi enerjilendirilir. El yıkama muslukları tip olarak araç bazında değişiklik göstermektedir. Bazı VTS’lerde butona basıldıktan sonra mekanik anahtar vasıtasıyla suyun açılması gerekirken, diğer tiplerde sadece dokunmatik buton vasıtasıyla çalıştırılabilmekte ve bazı yeni nesil araçlarda ise yakınlık sensörü önüne gelen nesne algılanarak çalıştırılmaktadır.
- Acil durum fonksiyonu: Yolcuların acil bir durumda tren personelinden yardım isteme ihtiyacına binaen böyle bir fonksiyon kullanılmıştır. Acil durum butonuna basıldığında, yolcu oturma alanından duyulabilecek tiz bir ses üreten buzzer çalışmaya başlar ve VTS kabini üzerindeki acil durum indikatörü sabit bir şekilde yanmaya başlar. Buton toggle mantığı ile çalışmaktadır. Fonksiyonun çalışmasını durdurmak için kullanıcının tekrar basmasıyla buzzer ürettiği ses kesilir ve indikatör normal duruma döner.

3.2.4. VTS’nin kontrolcü tarafından yürütülen fonksiyonları

- Donma önleme fonksiyonu: Kontrolcü, VTS kabininde bulunan sıvı tesisatının üzerine monte edilmiş bir sıcaklık sensöründen ortam sıcaklığı verisini sürekli olarak takip etmektedir. Tren setlerinde donmayı önlemek amacıyla kullanılan birtakım sıvı ısıtıcıları bulunsada dış ortam şartlarının çok değişken ve ağır kış koşullarının yaşanabildiği ülkemizde bu fonksiyonun bulunması elzem olmuştur. Ortam sıcaklığının çok düşük seviyelere düştüğünde donmayı önlemek amacıyla kontrolcü drain valf olarak da bilinen valfi enerjilendirerek hem temiz su tankındaki suyu hem de sıvı tesisatının diğer parçalarının içinde bulunan suyu hızlı bir şekilde tahliye eder. Ortam sıcaklığı 5° C altına düştüğünde kontrolcü bu fonksiyonu çağırır. Bu fonksiyon sayesinde sıvı tesisatı ve temiz su tankı parçalarında herhangi bir maddi zarar oluşmasının önüne geçilir.

- VTS diyagnostik verilerinin araç bilgisayarına gönderilmesi: VTS kontrolcüsü atık tankının dolu olmasını, temiz suyun az olmasını ve VTS'nin servis dışı/hata durumunda olmasını TMS olarak isimlendirilen Tren Görüntüleme Sistemi'ne ileterek tren makinistine VTS ile ilgili gerekli olan bilgileri aktarır. Bu sayede VTS'nin atık tankının boşaltılması, temiz su yenilemesinin yapılması ve diğer arıza giderme işlemlerinin ve takiplerinin yapılmasını kolaylaştırır. Ayrıca bu hatalardan biri mevcut ise VTS kabini üzerinde bulunan servise hazır/servis dışı indikatörüyle kullanıcı ve tren personeline uyarı verir.
- Taşma önleme fonksiyonu: VTS'ye ait tuvalet modülünün üst haznesinin %90 seviyesinde taşmayı algılamak amacıyla optik bir sensör kullanılmaktadır. Sensör bulunduğu seviyeye kadar su vb. geldiği anda kontrolcüye çıkış verir. Kontrolcü sinyali algıladığı anda daha önce yıkama fonksiyonunda bahsi geçen üst hazneye su bırakan valfleri enerjilendirmeden yıkama/vakum döngüsünde kullanılan valfleri aynı süreleri baz alarak 3 sefer ard arda çalıştırır. 3 vakum/yıkama döngüsü tamamlandığında hazneye su bırakan valfler yine belirtilen amaç olan kokuyu engelleme amacıyla çalıştırılır. Şekil 3.10'da pnömomatik valflerin taşma önleme fonksiyonu esnasındaki lojik analizör vasıtasıyla kaydedilen çalışma diyagramı verilmiştir [38].



Şekil 3.10. Taşma önleme fonksiyonu valflerinin çalışma diyagramı.

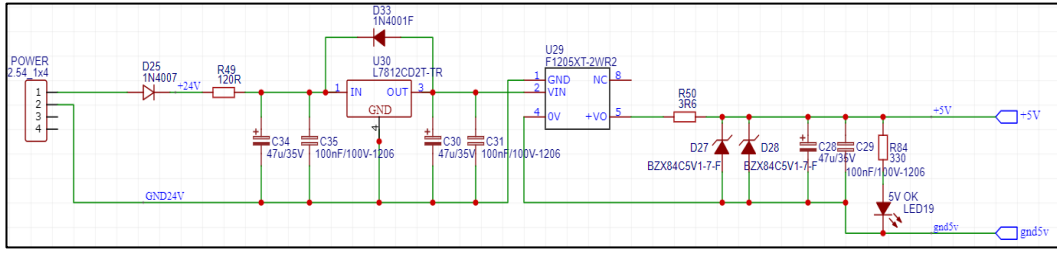
- Geri sifon/servis sifonu fonksiyonları: VTS bazı bilinçsiz kullanımlar dolayısıyla, örneğin katı atıkların tuvalet haznesine bırakılmasından dolayı tıkanıp servis dışı kalabilir. Bakım personelinin bu sorunu giderebilmesi için kullanabileceği iki adet

fonksiyon bulunmaktadır. Bunlarda ilki olan geri sifon fonksiyonu, üst hazneyle ara tankı birbirine bağlayan giriş valfinde tespit edilen tıkanıklığı gidermek için kullanılır. Bu fonksiyonda butona basıldığı anda ara tankın içindeki basınç yükseltilir. Yeterli basınç değerine ulaşıldığında giriş valfi enerjilendirilerek sıkışan atığın üst hazneye atılması sağlanır. Diğer fonksiyon olan servis sifonunda ara tankta bulunan ejektör valfi belirli bir süre çalıştırılır ve sistem gerekli olan vakum etkisi oluşturduğu anda giriş valfi açılarak sıkışan atığın ara tanka atılması sağlanır. Bu fonksiyonlar sadece bakım/onarım personelinin kullanabileceği riskli fonksiyonlar olduğu için kontrolcü üzerinde bulunan belirli butonların kombinasyonlarıyla bu işlemlerin yapılmasına izin vermektedir.

3.3. VTS Kontrolcüsünün Donanım Mimarisi

VTS'ye kontrol edecek kontrolcü tasarımı için EasyEDA isimli çevrimiçi devre tasarım platformu kullanılmıştır. Gömülü sistem fonksiyonlarını yürütmek üzere kontrolcü üzerinde Microchip firması tarafından üretilen PIC16F877 kodlu işlemci seçilmiştir [23, 24]. VTS kontrolcüsünde kullanılan PIC16F877 kodlu mikrodenetleyiciye özel kod geliştirme ortamı olarak yine Microchip firması tarafından geliştirilen MPLABX Ide kullanılmıştır. Bu platformda yapılan kod derleme işlemleri için XC8 derleyicisi kullanılmıştır [25, 35].

VTS kontrolcüsü üzerinde bulunan mikrodenetleyici ve çevresel birimler için gerekli olan gerilim (5 Volt DA) raylı taşıttaki akü grubundan alınan 24 Volt DA gerilimin regüle edilmesiyle sağlanır. Gerilim regüle işlemini yapabilmek için Şekil 3.11'de görülen devre yapısı kullanılmıştır. D25 diyotu kontrolcüye dışardan gelebilecek ters polariteli gerilimi engellemek, Kapasitörler (C28-C29-C30-C31-C34-C35) raylı taşıtt tarafından sisteme gelebilecek harmonikleri, istenmeyen AA (Alternatif akım) bileşenlerini filtrelemek için konulmuştur. Devre yapısında görülen 5.1 Volt eşik değerlikli zener diyotlar ise (D27-D28) regülatör çıkışında oluşabilecek 5 Volt üzeri gerilimlere karşı devrenin geri kalanını korumak için kullanılmıştır.



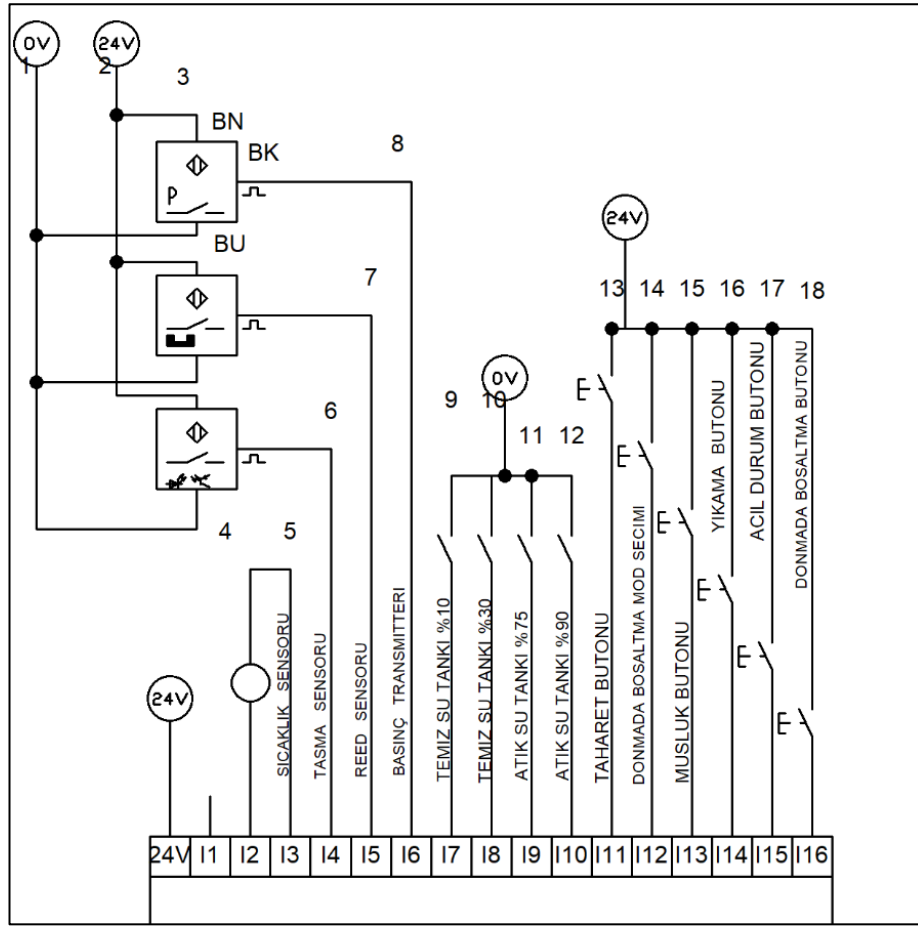
Şekil 3.11. Gerilim regüle devresi.

3.3.1. VTS kontrolcüsünün giriş sinyalleri

Şekil 3.12’de VTS kontrolcüsüne giren sinyaller gösterilmiştir. VTS kontrolcüsü 14 adet giriş sinyalini alarak sistemi yönetir. 15 adet sinyalin 6 adeti (Şekil 3.12’de I11-I12-I13-I14-I15-I16) lojik 1 (24 Volt DA) seviyesinde kontrolcüye verilen VTS’de kullanıcının yapabileceği işlemleri kontrol eden butonlardır. Bu butonlar sırasıyla; yıkama, acil durum, donma önleme, musluk, donma önleme mod seçimi (otomatik-sıcaklığa göre/manuel-kullanıcı talebine göre) ve taharet butonlarıdır. 4 adet giriş sinyali (Şekil 3.12’de I7-I8-I9-I10) temiz su tankı ve atık tankı üzerinde bulunan seviye sensörlerinden alınan bilgileri gösterir. Bu sensörler temiz su tankı için %10 ve %30 seviyelerini, atık tankı için %75 ve %90 seviyelerini ölçer. Seviye sensörleri belirtilen seviyeye ulaştığında çıkışını lojik 0 (GND-Ground) seviyesine çeker.

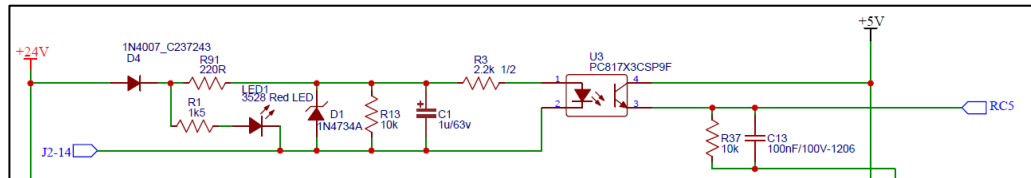
Daha önceki kısımda belirtilen giriş sinyallerinin dışındaki 5 adet sinyal ise (Şekil 3.12’de I2-I3-I4-I5-I6) sırasıyla; VTS’nin üst haznesine konumlandırılmış taşma sensörünü, ara tanktaki basınç değerini ölçmek için kullanılan basınç sensörünü, giriş klapesinin/valfinin üzerinde bulunan manyetik anahtarı (reed switch) ve “DS18B20” kodlu (Sensörün elektriksel arayüzü için 2 adet port kullanılır. Bunlar I2 ve I3 portlarıdır.) donma önleme fonksiyonu için kullanılan sıcaklık sensörünün elektriksel arayüzüdür.

Giriş sinyalleri VTS elektronik kontrolcüsü üzerinde bulunan uygun arayüz entegreleri ve pasif komponentler yardımıyla PIC16F877 mikrodenetleyicisinin algılayabileceği sinyal seviyelerine dönüştürülerek değerlendirilir. Analog giriş sinyalleri 0-5 Volt aralığındaki seviyeye, 24 Volt DA seviyesindeki lojik-dijital giriş sinyalleri ise 5 Volt DA seviyesine düşürülür. Dijital sinyaller için kullanılan devre yapısı Şekil 3.13’te görüldüğü gibi kullanılarak optik olarak gerekli izolasyon sağlanır.



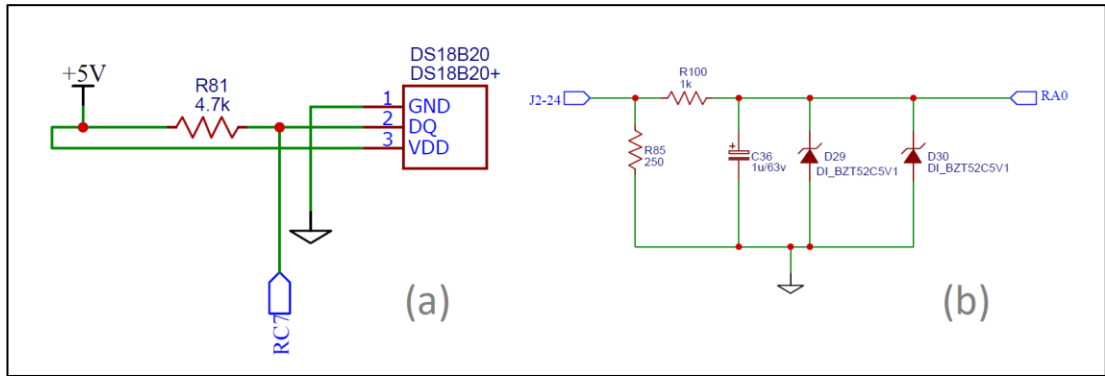
Şekil 3.12. Kontrolcünün giriş sinyalleri.

Şekil 3.13'te VTS kontrolcüsüne gelen dijital sinyalleri algılamak için kullanılan elektronik arayüz (devre yapısı) örnek olarak verilmiştir. Giriş sinyali demiryolu taşıtının üzerinde bulunan akü grubundan alınan gerilim ile sağlandığından dolayı kontrolcüyü anlık olarak oluşabilecek ripple, harmonik vb. bozucu etkilerden korumak amacıyla kontrolcünün giriş tarafı ile işlemci tarafını optik olarak izole etmeye yarayan "PC817" kodlu optokuplör entegresi kullanılmıştır [39]. Optokuplör entegresinin girişinde ve çıkışında oluşabilecek AA bileşenleri filtrelemek amacıyla C1-C13 kapasitörleri yerleştirilmiştir. Kontrolcünün giriş portuna seri olarak bağlanan D4 olarak isimlendirilen diyot ters polarite koruması yapmak, D1 olarak isimlendirilen diyot (Eşik gerilimi 33V) ise giriş portuna gelebilecek aşırı gerilimlerden korumak için kullanılmıştır.



Şekil 3.13. Dijital giriş portu devre yapısı.

Şekil 3.14(a)'de donma önleme fonksiyonu için kullanılan “DS18B20” kod numarasına sahip dijital sıcaklık sensörünün bağlantı yapısı verilmiştir. Bu sıcaklık sensörü işlemci olarak kullanılan “PIC16F877” işlemcisine, OneWire haberleşme protokolü üzerinden analog olarak ölçülen sıcaklık bilgisini dijital formata çevirerek 16 bit dijital değer olarak gönderir [40]. Tablo 1’de sıcaklık sensörünün analog-dijital dönüşümü yaptığı esnada ortaya çıkan değerler örnek olarak gösterilmiştir. VTS’de donma önleme fonksiyonunu çalıştırmak için kullanılan drain valfi ortamın sıcaklık değeri 5° C’nin altına düştüğü anda enerjilendirilir. 5° C’nin altındaki bütün pozitif sıcaklık değerlerinde ve negatif sıcaklık değerlerinde VTS, mekanik sıvı tesisatını korumak amacıyla kontrolcü vasıtasıyla sistemdeki suyu dış ortama tahliye eder [41].



Şekil 3.14. Sıcaklık sensörü bağlantısı (a), basınç transmitteri bağlantısı (b).

“DS18B20” kodlu sıcaklık sensörünün ürettiği 16 bitlik dijital sıcaklık verisine ait bit açıklamaları Tablo 3.1’de verilmiştir. Analog-dijital dönüşüm yapılırken sıcaklık değeri negatif ise MSB (most significant bit) olan ilk 5 bitin değeri 1, değer pozitif olduğunda ise belirtilen bu bitlerin değeri 0 olmaktadır. Tablo 3.2’de Bit (0) ve Bit (10) dahil gönderilen bütün bitlerin sıcaklık değeri olarak karşılıkları verilmiştir. En düşü değerlikli bit olan 0. Bit’in gerçek değeri 0,0625’tir. Bu değer aynı zamanda sıcaklık sensörünün çözünürlüğü yani her bir bit için adım aralığını verir. Donma önleme fonksiyonu ortam sıcaklığının değeri 5° (0030h) ve altında olduğunda aktif edildiği için kontrolcü tarafından okunacak veri pozitif sıcaklık değerler için “0050h” değerinde veya küçük olmalıdır. Negatif ortam sıcaklığı değerleri içinse “F8xxh” değerinden büyük değer almalıdır. Ortam sıcaklığının negatif değerlerdeyken kontrolcü en yüksek değerlikli ilk 5 bitin değerinin ‘1’ olduğunu algıladığında donma önleme fonksiyonunu doğrudan çalıştırır. Bu nedenle yukarıda belirtilen “F8xxh” verisindeki ‘x’ olarak belirtilen değerlerin ne olduğu önemsizdir [41].

Tablo 3.1. DS18B20 sıcaklık sensörünün analog-dijital dönüşümü.

Sıcaklık (°C)	Çıkış (binary)	Çıkış (Hex)
+125	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85	0000 0101 0101 0000	0550h
+25,0625	0000 0001 1001 0001	0191h
+10,125	0000 0000 1010 0010	00A2h
+5	0000 0000 0101 0000	0050h
+0,5	0000 0000 0000 1000	0008h
0	0000 0000 0000 0000	0000h
-0,5	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10,125	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25,0625	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55	1111 1100 1001 0000	FC90h

Tablo 3.2. DS18B20 sıcaklık sensörünün 16-bitlik register tablosu

Bit Numarası	Adım Büyüklüğü Değeri	Bit Numarası	Adım Büyüklüğü Değeri
BIT 0	2^{-4}	BIT 8	2^4
BIT 1	2^{-3}	BIT 9	2^5
BIT 2	2^{-2}	BIT 10	2^6
BIT 3	2^{-1}	<i>BIT 11</i>	
BIT 4	2^0	<i>BIT 12</i>	
BIT 5	2^1	<i>BIT 13</i>	<i>İşaret Bitleri</i>
BIT 6	2^2	<i>BIT 14</i>	
BIT 7	2^3	<i>BIT 15</i>	

Ara tankın içindeki basıncı ölçmek için kullanılan basınç sensörünün arayüz bağlantısı Şekil 3.14(b)'de verilmiştir. VTS'de kullanılan sensör 0-5 bar aralığındaki basınç değerini 4-20 mA aralığındaki akım değerine lineer olarak dönüştürür. Sensörün ürettiği akım değeri işlemci tarafından algılanabilmesi için akım-gerilim dönüşümü yapılması gerekmektedir. Bu işlem 250 ohm'luk bir şönt rezistörü (R85 olarak isimlendirilen) vasıtasıyla yapılır. D29-D30 adlı zener diyotlar (Eşik gerilim değeri 5,1V) kontrolcünün analog değer okuma kanalını 5,1V ve üzerinde gelebilecek

gerilimlerden korumak için kullanılmıştır. R100 olarak isimlendirilen (1kΩ değerlikli) direnç analog portuna gelecek akımı limitlemek için kullanılır. Microchip firması tarafından üretilen “PIC16F877” kodlu işlemci 10 bitlik ADC çözünürlüğüne sahiptir [42, 43]. Analog kanalın çözünürlüğü ya da her bir bit karşılığı adım büyüklüğü, (işlemcinin besleme gerilimi/(2^N)) denkleminde hesaplanabilir. ‘N’ değişkeni işlemcinin ADC modülünün bit çözünürlüğü sayısıdır. Bu durumda ADC modülünün çözünürlüğü ya da her bir bit için adım büyüklüğü 5/1024=0,004882813 (volt) olarak bulunur. Örnek olarak işlemcinin ADC modülü tarafından okunan gerilim değerlerinin dijital karşılıkları Tablo 3.3’te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. ADC kanalının okuma aralığı.

ADC Değeri	Gerilim Değeri (V)	Hava Basıncı (Bar)
0	0	0,00
100	0,49	-0,64
200	1,00	0,00
250	1,22	0,28
370	1,81	1,01
400	1,95	1,19
600	2,93	2,41
650	3,17	2,72
800	3,91	3,63
1010	4,93	4,91
1024	5,00	5,00

Tablo 3.3’te örnek olarak verilen ADC dönüşüm değerlerinin yanında VTS’nin yıkama ve taşma önleme fonksiyonlarında kullanılan eşik basınç değerleri yapılan sistem testleri sonucunda belirlenmiştir. Ara tankta yapılan vakum işlemi esnasında oluşturulabilecek en düşük basınç değeri 0,275 bar’dır. Bu basınç değerinin analog gerilim değeri karşılığı 1,22 Volt DA, işlemcinin ADC modülünün hesapladığı dijital değer ise 250’dir. Aynı zamanda yapılan testler sonucundan ara tankta basınçlandırma işlemi esnasında oluşturulabilecek en büyük basınç değeri 2,7125 bar’dır. Bu basınç değerinin analog gerilim değeri karşılığı 3,17 Volt DA, işlemcinin ADC modülünün hesapladığı dijital değer ise 650’dir. VTS’nin yıkama işlemi yürütmediği anlarda okunan basınç değeri 1 bar’dır. Bu basınç değerinin analog gerilim değeri karşılığı 1,8 Volt DA, işlemcinin ADC modülünün hesapladığı dijital değer 370’tir.

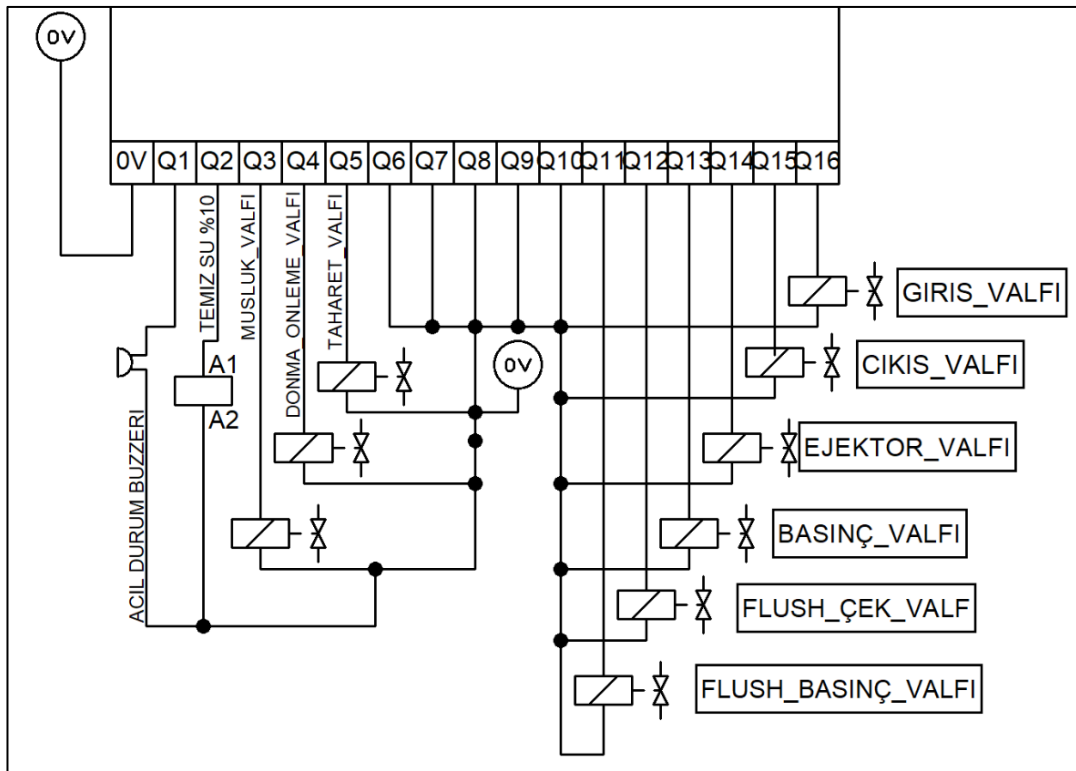
Denklem 3.1’de işlemcinin ADC modülünün girişinde bulunan (V_{adc}) analog geriliminin, (P_{adc}) sensörden okunan basınç değerine dönüştürülmesi için kullanılan denklem verilmiştir. R_{sont} değeri 250 ohm, I_{min} değeri 4 mA, I_{max} değeri 20 mA, P_{min} değeri 0 bar ve P_{max} değeri 5 bardır.

$$P_{adc} = \left(\left(\frac{V_{adc}}{R_{sont}} - I_{min} \right) \times (P_{max} - P_{min}) \right) \div (I_{max} - I_{min}) \quad (3.1)$$

3.3.2. VTS kontrolcüsünün çıkış sinyalleri

Şekil 3.15’te VTS kontrolcüsünün çıkış sinyallerinin prensip şeması verilmiştir. VTS kontrolcüsü 11 adet çıkış sinyalini yöneterek VTS’ye ait fonksiyonlarını yürütmektedir. Çıkış portlarından 6 tanesi (Q11-Q12-Q13-Q14-Q15-Q16) yıkama ve taşma önleme fonksiyonlarında kullanılan elektronik kontrolcünün yönettiği 6 adet elektropnömatik valf için kullanılır. Bunlar giriş, çıkış, basınç, ejektör, flush basınç ve son olarak flush çek valfleridir. Kullanılan bu valfler pnömatik olarak 3/2 yollu olarak ifade edilen, elektrik ile konumu değiştirilen ve besleme gerilimi kesildiği anda içlerinde bulunan yay vasıtasıyla ilk durumuna geri dönen valflerdir [44]. Q5 çıkış portu, tuvalet sonrasında kullanıcının temizlik ihtiyacını gidermek için kullandığı taharet valfini (3/2 yollu, elektrik tahrikli, yay geri dönüşlü) enerjilendirmek için kullanılır. Q4 çıkış portu temiz su tankının ve sıvı tesisatının ortam sıcaklığının asgari ortam çalışma sıcaklıklarından düşük olduğu durumlarda donarak zarar görmesini engellemek için kullanılan ve yine 3/2 yollu, elektrik tahrikli yay geri dönüşlü donma önleme valfini kumandan etmek için kullanılmaktadır. Q3 çıkış portu kullanıcının el, yüz vb. kısımlarını yıkaması için kullanılan musluk valfini yönetmek için kullanılmaktadır. Q2 çıkış portu çıkışındaki bir röleyi yöneterek VTS’de bulunan suyun yetersiz olduğunu araç bilgisayarına iletir ve tuvalet kabini üzerinde bulunan yolcu indikatörünü VTS’nin servis dışı olduğunu belirtecek şekilde kumanda eder. Q1 çıkış portu VTS kabininde bulunan kullanıcının acil bir durumla karşılaştığında tren personelinden yardım isteyebilmesi için gereken sesli uyarı için kullanılan sesli ikaz aygıtını, kullanıcı talebi olduğu anda enerjilendirir.

Şekil 3.16’da VTS kontrolcüsünün yıkama ve taşma önleme fonksiyonlarını yürütürken çalıştırdığı valfler için kullanılan elektronik devre yapısı verilmiştir. “ULN2003BDR” kodlu entegre röle, aydınlatma ekipmanları vb şalt ekipmanlarını sürmek için elektronik devrelerde yaygın olarak tercih edilen, her bir çıkış portundan 500 mA değerine kadar yük akımı çıkartabilen, proje ihtiyaçlarına göre değişken voltaj seviyelerinde kullanılabilen özel amaçlı bir entegredir. Entegrenin yapısında bulunan darlington dizili transistörler, gerekirse daha büyük kapasiteli yükleri beslemek/sürmek için de kullanılır. Bunu sağlamak için birden fazla çıkış portu birbirine paralel bağlanır [45].

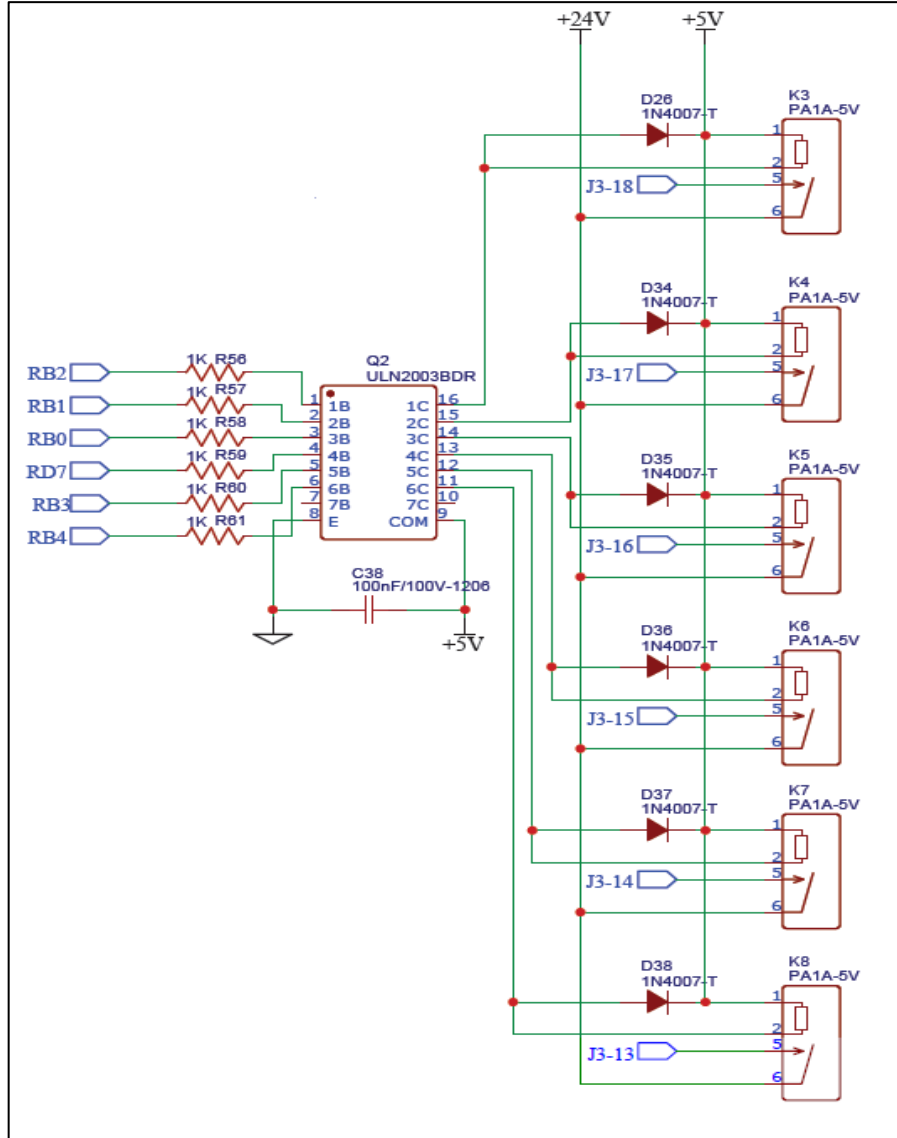


Şekil 3.15. Kontrolcünün çıkış sinyalleri.

Şekil 3.17’de VTS durum verilerini kullanıcıya ve tren personeline iletmek için oluşturulan devre yapısı ve “ledDurum” olarak isimlendirilip bu işlemi yazılımsal olarak yürüten örnek kod bloğu paylaşılmıştır. “74HC595D” olarak isimlendirilen entegre 8 bit işlem yapabilen bir shift register entegresidir. Entegre tek bir girişinden işlemcinin clock sinyaline göre seri olarak gelen 8 bitlik veriyi, her bir clock sinyalinde 1’er bit kaydırarak 8 tane olan çıkış portuna aktarır. SHCP (Shift register clock input) uçlarına uygulanan gerilim değeri lojik 1/0 olarak her bir bit için değişim yapılırken entegre gelen 8 bitlik veriyi en yüksek değerlikli bitinden başlayarak STCP (Storage register clock input) registerına kaydeder. Bu veriyi 8 adet çıkış portundan (Q1-Q2-

Q3-Q4-Q5-Q6-Q7-Q7/2) aynı anda paralel olarak çıkartır [46]. Bu entegrenin tercih edilmesinin amacı projede kullanılan 6 adet durum ledini yönetmek (entegre, 8 adet çıkışa kadar sürebilir) için sadece 3 adet işlemci çıkış portunun kullanılmasıdır.

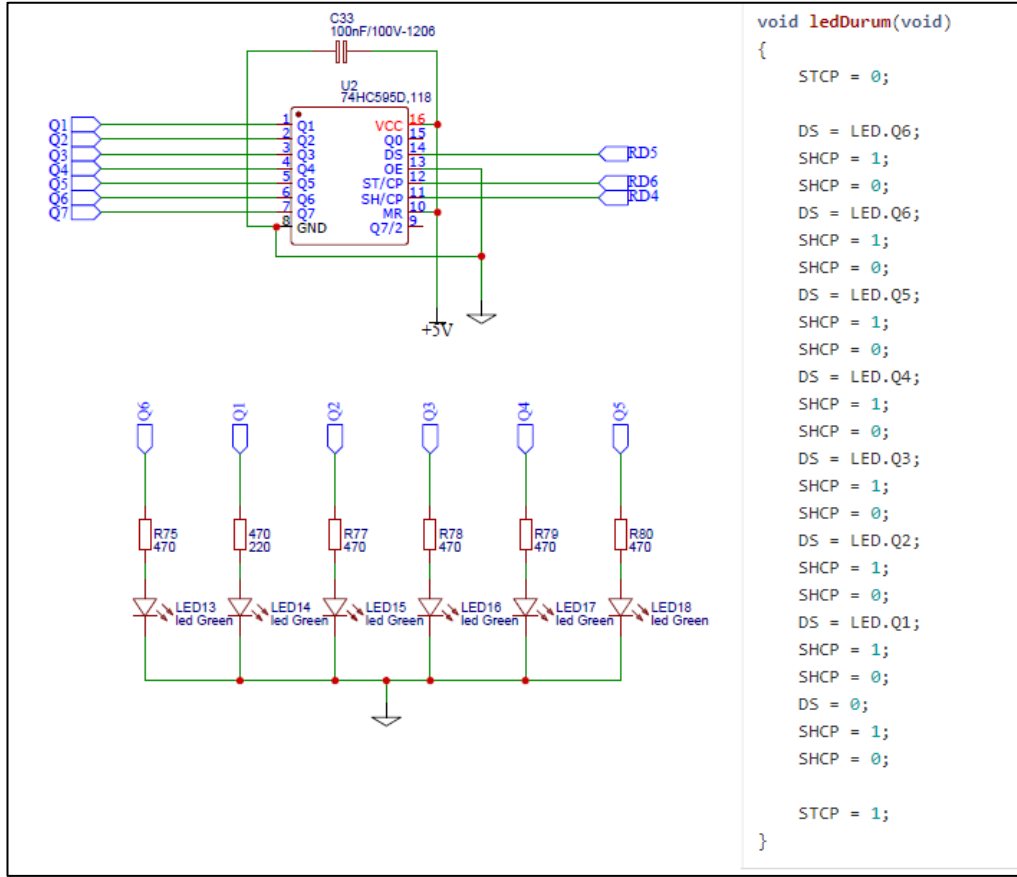
Diyagnostik için kullanılan bilgi ledlerinin açıklamaları aşağıdaki şekildedir;



Şekil 3.16. Elektropnömatik valflerin sürülmesi için kullanılan devre yapısı.

- VTS'nin çalışmaya hazır olup olmadığı/Servis modunda (VTS Bakım modudur) olup olmadığı,
- VTS'de temiz su seviyesinin yeterli olup olmadığını,
- Sistemde vakum hatasının mevcut olup olmadığını,
- Sistemin alçak ya da yüksek basınç değerlerini aşıp aşmadığını,

- Giriş valfi üzerinde bulunan manyetik reed sensörünün çalışıp çalışmadığını,
- Atık tankının dolu olup olmadığı bilgisini kullanıcıya/bakım personeline iletir.



Şekil 3.17. Diyagnostik ledlerini sürme devresinin yapısı (solda), ledleri kontrol eden fonksiyon (sağda).

3.4. VTS Kontrolcüsünün Yazılım Mimarisi

VTS kontrolcüsünün gömülü yazılımı MPLABX Ide isimli kod geliştirme ortamında geliştirilmiştir. Yazılımı içeriğindeki VTS'ye ait bütün fonksiyonlar "main.c" olarak isimlendirilen kaynak dosyasında yönetilmektedir. Ana program gerektiğinde alt fonksiyonlara dallanarak istenen fonksiyonları yürütmektedir VTS'ye ait gömülü yazılım ana programının (main.c) pseudo (sözde) kodları aşağıdaki şekilde verilmiştir;

```
Program main ();
```

```
    Pwrt ();          /* besleme gerilimi kontrol edilir ve stabil olana kadar beklenir
```

```
*/
```

```
Init (); /* konfigürasyon ayarları yapılır; timer ayarları, ADC modülü ayarları,  
giriş/çıkış portlarının belirlenmesi ve başlangıç değer ayarları*/
```

```
While(true)
```

```
PressureControl (); /*Basınç kontrol işlemleri yapılır*/
```

```
FaultControl (); /*Hata kontrol işlemleri yapılır */
```

```
LedDurum (); /*Diyagnostik ledlerinin kontrolü yapılır */
```

```
ButtonControl (); /*VTS'de bulunan butonların kontrolü yapılır */
```

```
If (donma_onleme_mod_secimi=manuel) /*donma önleme modunun seçimi */
```

```
DrainMAN (); /*donma önleme fonksiyonunun buton ile kontrolü */
```

```
Else
```

```
DrainAUTO (); /*donma önleme fonksiyonunun sıcaklık ile kontrolü*/
```

```
End;
```

```
If (yikama butonuna basıldı)
```

```
Washing ();
```

```
End;
```

```
If (taharet butonuna basıldı)
```

```
Bidet (); /* belirlenen sürelerde taharet musluğunun çalışmasını sağlar
```

```
*/
```

```
End;
```

```
If (musluk butonuna basıldı)
```

```
Tap (); /* belirlenen sürelerde el yıkama musluğunun çalışmasını  
sağlar */
```

```
End;
```

```
If (taşma algılandı)
```

```
Overflow (); /* taşma önleme valflerini çalıştırır */
```

```
End;
```

```
End;
```

3.4.1. Ana fonksiyonlar

-Pwrt ():

Mikrodenetleyiciye gelen besleme voltajınının uygun değerlere yükselene kadar geçen sürede dahili bir ösilatör yardımıyla mikrodenetleyicinin reset durumunda tutulması için kullanılır. Gecikme süresi kullanılan mikrodenetleyici için 72 ms kadardır. Belirtilen gecikme sonrasında mikrodenetleyici hazır konuma gelmektedir [47].

-Init ():

Bu fonksiyon mikrodenetleyicinin çevresel birimlerini ayarlamak için kullanılır. Bu çevresel birimler zamanlayıcı (timer) modülü, ADC modülü, giriş-çıkış portlarıdır. Ayrıca bu fonksiyonda kesme bayraklarının (interrupt) hangi fonksiyonlarda kullanılacağı belirleyen konfigürasyon bitleri ayarlanmaktadır.

PIC16F877 kodlu mikrodenetleyicinin portlarının birçoğu hem giriş hem de çıkış olarak kullanılabilir. Bu nedenle Init () fonksiyonu içinde, VTS kontrolcüsüne Şekil 3.18'deki görüldüğü şekliyle mikrodenetleyici pinlerine giriş çıkış portlarının ataması yapılır.

TRISA = 0x01;	PORTA = 0x00;
TRISB = 0x00;	PORTB = 0x00;
TRISC = 0x7F;	PORTC = 0x00;
TRISD = 0x0F;	PORTD = 0x00;
TRISE = 0x06;	PORTE = 0x00;

Şekil 3.18. PIC16F877 port ayarları.

Timer birimi PIC16F877 kodlu mikrodenetleyici de 3 adettir (Timer0-8bitlik, Timer1-16bitlik, Timer2-8bitlik). 8bitlik bir timer birimi maksimum 256 sayısına kadar sayabilirken, 16 bitlik timer birimi 65536'ya kadar sayabilmektedir. Timer birimleri için ayarlanan kesme süreleri (interrupt) Şekil 3.19'da verilen denklemlerle bulunur. Denklemlerde belirtilen Fosc ifadesi kontrolcü üzerinde kullanılan 16 Mhz'lik harici kristal osilatörün frekansıdır. Sırasıyla timer0, timer1, timer2 birimleri için ölçekleme değerleri (prescaler rate bits) olarak 256, 8 ve 256 olarak seçilmiştir. Uygun interrupt üretme sürelerini oluşturabilmek amacıyla timer birimlerinin başlangıç değerleri (TMR0, TMR1, TMR2 Değişkenleri) özel olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak Timer0 ve Timer2 birimi 16 ms'de bir kesme üretirken, Timer1 birimi 40 ms'de bir kesme

üretmektedir [48-50]. Ayarlanan kesme sürelerini, VTS kontrolcüsü fonksiyonlarını yerine getirirken kullanmaktadır [51].

$$\begin{aligned} \text{Kesme (sn)} &= (4 / F_{osc}) * (PS2:0) * (256 - TMR0) \\ &= (4 / 16 \text{ MHz}) * 256 * (256 - 6) \\ &= 0.016 \text{ sn} \\ \text{Kesme (sn)} &= (4 / F_{osc}) * (TICKPS1:0) * (65536 - TMR1) \\ &= (4 / 16 \text{ MHz}) * 8 * (65536 - 45536) \\ &= 0.04 \text{ sn} \\ \text{Kesme (sn)} &= (4 / F_{osc}) * (PS2:0) * (256 - TMR2) \\ &= (4 / 16 \text{ MHz}) * 256 * (256 - 6) \\ &= 0.016 \text{ sn} \end{aligned}$$

Şekil 3.19. Kesme değerlerinin hesaplanması.

Analog-dijital çevirici modülü çalıştırılırken mikrodenetleyicinin “ADCON0” ve “ADCON1” olarak isimlendirilen iki adet register birimi ayarlanmaktadır. “ADCON0” registerı mikrodenetleyicinin analog dijital çevirici modülünün kullanılıp kullanılmayacağını ve kullanılacaksa hangi kanalının aktif edileceğini belirler. Ayrıca analog-dijital dönüşüm işlemi için kullanılacak osilatör kaynağını da belirlemektedir. Şekil 3.20’de ayarları verilen “ADCON1” registerı ise analog-dijital dönüşüm yapılırken kullanılacak referans besleme geriliminin mikrodenetleyicinin hangi pininde olacağını belirler. Aynı zamanda oluşturulan digital verinin formatını da belirler [52].

```
//A/D çevirici ayarları
ADCON0 = 0xC1; // 1100 0001 //ADC modülü içindeki RC osilatörü-> Frc, AN0, ADON = 1
ADCON1 = 0x8E; // 1000 1110 //Right justified, Vref --> VDD, VSS
```

Şekil 3.20. Analog-dijital çeviricinin ayarları.

3.4.2. Yardımcı fonksiyonlar

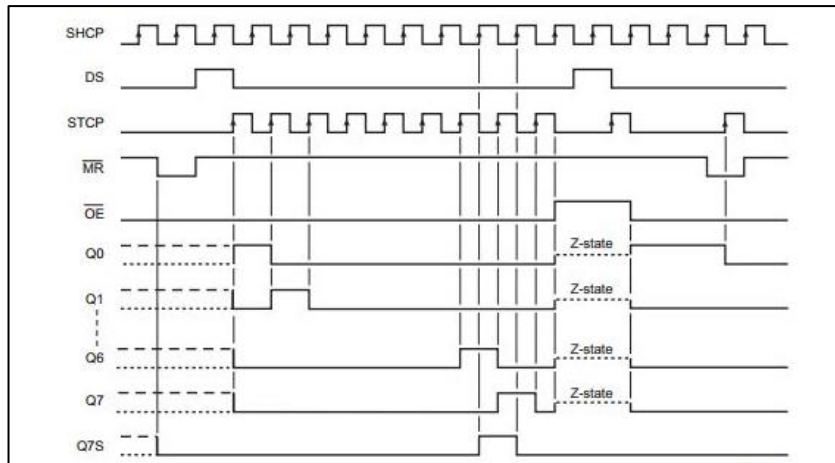
-PressureControl ():

Basınç transmitterinden okunan analog gerilim değeri bu fonksiyon ile takip edilmektedir. Daha önce değerleri verilen eşik basınç değerleri takip edilip VTS’de yüksek hatası mevcutken diyagnostik ledini kalıcı bir şekilde yakılır. Düşük basınç hatası alındığında ise diyagnostik ledi yanıp söner. Ledin toplam yanma ve sönme süreleri Timer0 birimiyle oluşturulan kesmenin 30 kez tekrarlanmasıyla oluşturulur (30*16=480 ms). VTS kontrolcüsü basınç hatasını algıladığı anda yıkama, taşıma önleme ve taharet fonksiyonlarını yürüten pnömatik valfleri durdurur. Basınç hatası

kalıcı bir hatadır (yapışkan hata olarak da isimlendirilir). VTS kontrolcüsü resetlenmeden hata silinmez ve sistem servis dışı duruma geçer.

-FaultControl () ve LedDurum ():

Bu fonksiyonlar, VTS’de oluşabilecek bütün hataların, arızaların ve bunlardan bağımsız olarak kullanıcıya iletilmesi gereken bilgilerin yönetilmesi işlerini yürütür. Ayrıca belirli bir hata durumunda bu hata ile ilgili başka fonksiyonların durdurulması için gereken sinyaller “faultControl” fonksiyonunda üretilmektedir. Diyagnostik verileri 8 bitlik bir registera yazılmakta “74HC595D” isimli seri girişli paralel çıkışlı entegreye ledDurum fonksiyonuyla gönderilmektedir. Bilgi gönderilirken mikrodenetleyicinin “SHCP” pini clock sinyali üretmek için kullanılmakta ve her clock sinyalinin yükselen kenarında belirtilen entegrenin “DS” ucuna gelen bir bitlik veri kaydedilir. Entegrenin 1 bitlik veri için örnek zaman-çıkış diyagramı Şekil 3.21’de paylaşılmıştır [53].

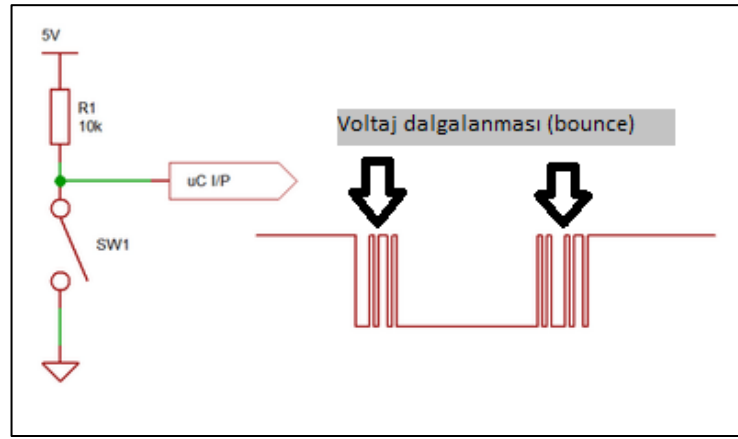


Şekil 3.21. 74HC595 entegresinin örnek sinyal-zaman diyagramı.

-ButtonControl ():

Kullanıcının butonlara basıp basmadığını kontrol eden fonksiyondur. Butonun aktif olma durumu, 16 ms’de bir yapılan ardışık üç örneklemede (toplam örnekleme süresi=48ms) butonun her seferinde lojik-1 seviyesinde olmasıyla anlaşılır. Lojik-1 seviyesinde tutulan sinyalin düşen kenarı (geçen süre 48 ms’den yüksekken lojik-0’a dönerse) mevcutsa ilgili kullanıcı isteğine ait fonksiyon başlatılır. Bu yapı “debounce” ya da buton gecikmesi de denir. Bu yapı butona basıldığı anda Şekil 3.22’deki gibi oluşabilecek voltaj dalgalanmalarını engellemek için eklenmiştir. Gömülü sistem uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [54].

Bu fonksiyon grubunun içinde yıkama, musluk, taharet butonlarının yanı sıra bakım personelinin ihtiyaç duyduğu servis sifonu ve geri sifon butonlarının da kontrolü (bu kontrol sonucunda fonksiyon “siphon” isimli fonksiyona dallanmaktadır) yapılmaktadır. Bu fonksiyon VTS kontrolcüsünde servis moduna girilmesiyle kontrol edilebilmektedir. Servis moduna girebilmek için iki butona (servis sifon ve geri sifon) aynı anda basılır, ardından sırasıyla servis sifon ve geri sifona birer kez basılmalıdır. Diyagnostik ledleri arasında bulunan servis modu ışığı yanıp söndüğü anda bu fonksiyonlar kullanıma hazır hale gelmektedir. İleri ya da geri sifon talebi bakım personeli tarafından oluşturulduğu anda mikrodenetleyici 5 saniye süreyle bu talebi bekletir ve sonrasında yürütür. Bu gecikme süresinin konulma amacı VTS’de bulunan tıkanıklık giderme işlemlerinin (özellikle geri sifon fonksiyonu) riskli olmasıdır.



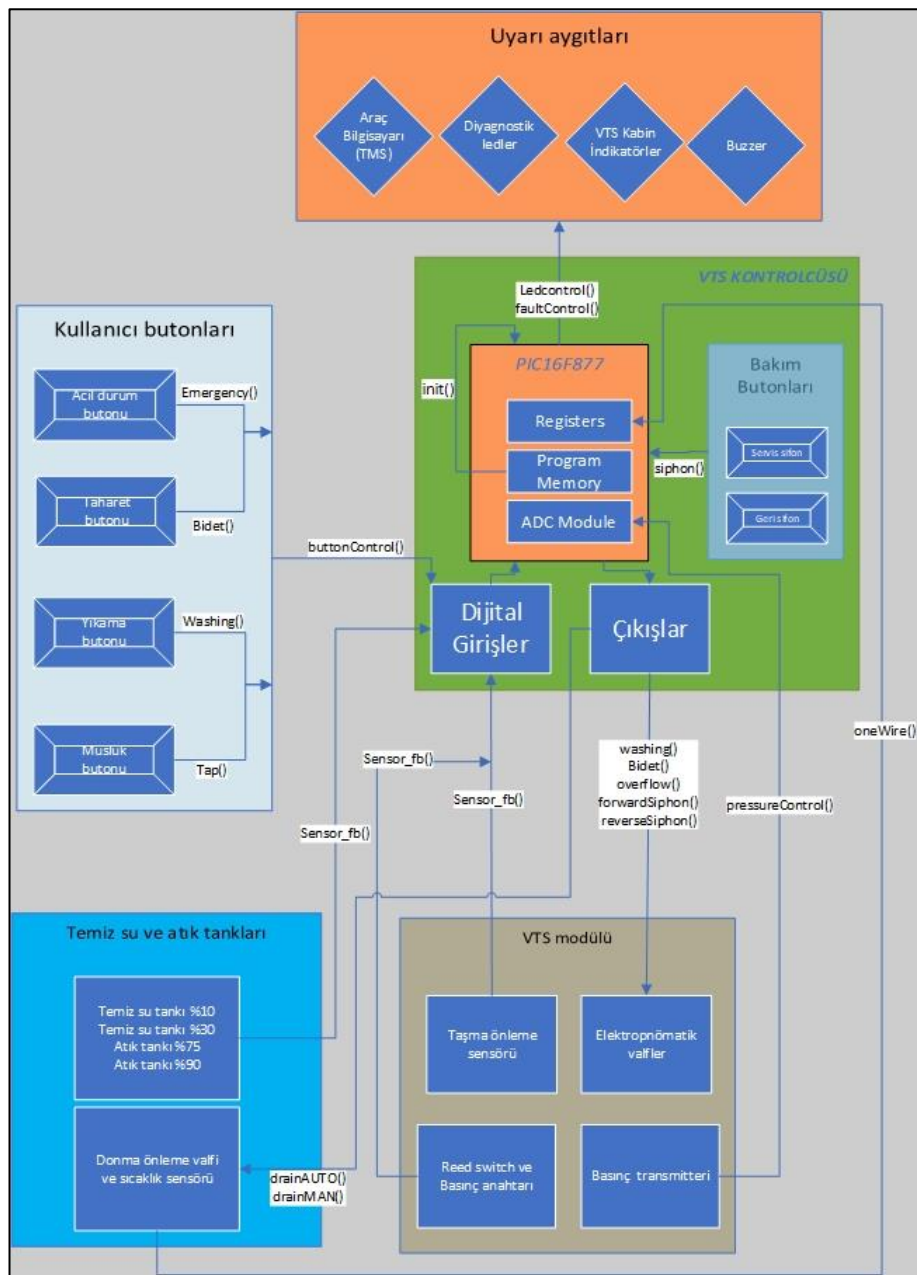
Şekil 3.22. Buton bounce örneği.

-DrainMAN () ve DrainAUTO ():

Belirtilen iki fonksiyon kötü hava koşullarında aracın sıvı tesisatının donarak zarar görmesini engeller. Donma önleme işlemi hem manuel olarak (bir buton yardımıyla) hem de otomatik (sıcaklık sensöründen bilgiye göre) olarak yürütülebilir. Donma önleme fonksiyonu çalıştırıldığı esnada sistemdeki temiz su tankı tamamen tahliye edileceği için mikrodenetleyici daha önce Init () fonksiyonunda tanımlanan bütün kesmeleri (timer birimlerini) ve analog/dijital çevrim işlemlerini durdurarak uyku durumuna geçer. Bu fonksiyondan çıkılması için donma önleme fonksiyonunu çalıştırmaya neden olan ön şartlar ortadan kalkmalı ve VTS kontrolcüsüne reset atılması gerekmektedir. DrainAuto () fonksiyonu daha önceki kısımlarda detayları verilen “DS18B20” sensöründen alınan bilginin değerlendirilmesiyle çalışır. Sensör 16 bitlik sıcaklık verisini MSB’den başlayarak 2 byte olarak mikrodenetleyiciye gönderir.

-Washing () ve Overflow ();

VTS'nin iki ana işlemi olan bu fonksiyonlar birbiriyle doğrudan ilişkilidir. Yıkama fonksiyonu kullanıcı talebiyle gerçekleştirilirken ve taşma önleme fonksiyonu bir sensör vasıtasıyla takip edilerek yürütülür. Bu fonksiyonlar için mikrodenetleyicinin 40ms'lik taşma üreten timer1 birimi kullanılır. Elektropnömatik valflerin belli bir düzende kumanda edilmesiyle bu fonksiyonlar yerine getirilir. Lojik analizör yardımıyla kaydedilen zaman diyagramları bu bölümün önceki kısımlarında paylaşılmıştır. Şekil 3.23'te VTS kontrolcüsünün çevresel birimlerle beraber yürüttüğü fonksiyonların akış diyagramı verilmiştir.



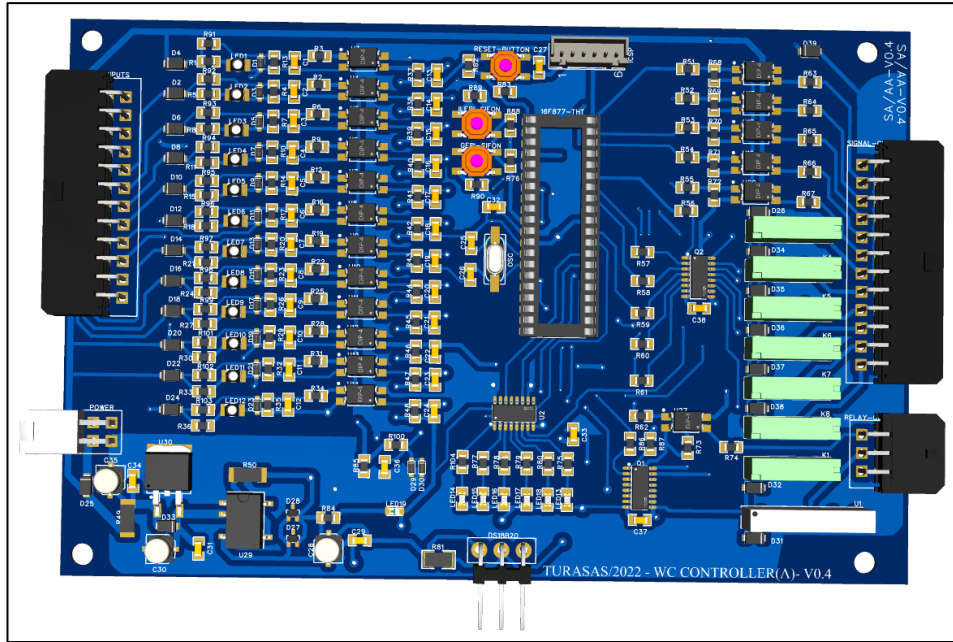
Şekil 3.23. VTS fonksiyon akış diyagramı.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. VTS Kontrolcüsünün Masaüstü Testleri

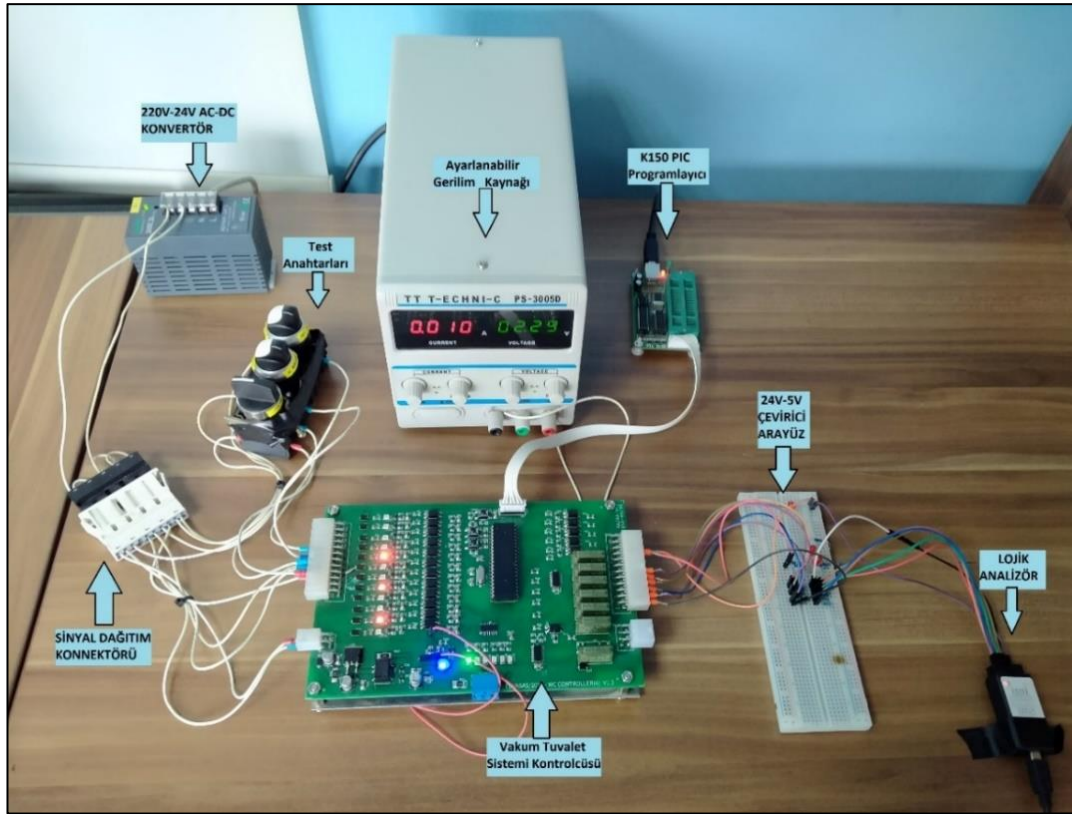
Üretilen VTS kontrolcüsü, hem kart üzerinde bulunan donanımların sağlamlığını hem de VTS'yi yönetmek için hazırlanan kodların doğruluğunu teyit etmek amacıyla bir dizi test işlemi yapılır. Bunlar örnek giriş sinyallerinin mikrodenetleyici tarafından doğru algılanması, çıkış sinyallerinin doğru sürülmesi, sıcaklık sensöründen alınan verinin doğruluğunun teyit edilmesi, basınç transmitterinden alınan değerlerin doğru ölçüldüğünün teyit edilmesi gibi işlemlerdir.

Şekil 4.1'de devre çizim ortamında oluşturulan VTS kontrolcüsünün dijital görüntü (3 boyutlu) Şekil 4.2'de prototip kontrolcüyü test etmek için hazırlanan yapı görülmektedir. Bu test altyapısı prototipi üretilen kontrolcünün donanımsal ve yazılımsal fonksiyonlarını doğru bir şekilde çalıştırabildiğini teyit etmek ve yazılımsal geliştirmeleri raylı taşıtın üzerinde denemek yerine daha güvenli test koşullarında denemek amacıyla oluşturulmuştur. Şekil 4.3'te ise seri üretim kapsamında üretilen kontrolcülerin testinde kullanılan test kutusu gösterilmiştir. Şekil 4.3'te görülen test kutusunda kontrolcüyü test edebilmek amacıyla; giriş sinyallerini simule edebilecek



Şekil 4.1. Kontrolcünün devre çizim programında oluşturulan görüntüsü.

anahtar ekipmanları (13 adet anahtar), çıkış sinyallerinin bir kısmını gösterecek ledli indikatörler (8 adet indikatör led), basınç transmitterinden alınan basınç bilgisini simule etmek için kullanılan analog gerilim değerini görmek için bir display, analog gerilimi ayarlamak için kullanılan bir potansiyometre, test sisteminin enerjisini açıp kapatmaya yarayan bir bir anahtar elemanı görülmektedir. Test kutusunun içerisinde ise (220 Volt AA'dan 24 Volt DA'a) bir konvertör, besleme dağıtım klemensleri, lojik analizör cihazı ve ölçülen sinyallerin gerilim seviyelerini regüle etmek için bir arayüz klemensi grubu bulunmaktadır. Test kutusunda VTS'de oluşabilecek bütün durum ve hata senaryoları ve kontrolcü üzerinde bulunan diyagnostik ledlerinin fonksiyonelliği test edilmiştir.



Şekil 4.2. Masaüstü testlerinde kullanılan test düzeneği.

VTS kontrolcüsünün sistemde bulunan elektropnömatik valfleri doğru şekilde kumanda edip etmediğinin testleri, masaüstü test işlemleri sırasında 8 kanallı bir lojik analizör yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Lojik analizör kontrolcü çıkışındaki sinyallerin zaman diyagramını çıkartmak ve elektropnömatik valflerin çalışma sürelerini optimize etmek amacıyla kullanılmıştır. Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da lojik analizör cihazı vasıtasıyla kaydedilen zaman diyagramları, yıkama ve taşıma önleme fonksiyonlarında aktif edilen valflerin açma kapanma sürelerini göstermektedir.

Valflerin çalışma süreleri ve devreye girme sıralamalarının taslak zaman diyagramları ilk olarak demiryolu aracının üzerinde bulunan mevcut sistem incelenerek oluşturulmuştur. Sonrasında ise bu değerler VTS'nin optimum şartlarda çalışması amacıyla ve müşterilerin bazı istekleri değerlendirilerek optimize edilmiştir. Müşteri istekleri genel olarak kontrolcü üzerindeki görsel iyileştirmeleri, arayüz kullanım kolaylığının artırılmasını, elektropnömatik valflerin süre ayarlarının bakım personeli tarafından yapılabilmesi gibidir.



Şekil 4.3. VTS kontrolcüsünü test etmek için kullanılan test kutusu.

4.2. VTS Kontrolcüsünün Son Ürün Haline Getirilmesi

Test ekipmanları ile masaüstü testleri tamamlanan kontrolcü demiryolu aracındaki VTS'nin elektrik paneline takılarak saha testlerine geçilmiştir. Saha testlerinin sorunsuz bir şekilde tamamlanmasının ardından tasarlanan kontrolcü seri üretim kapsamına alınmış ve üretilmiştir. Bu kapsamda 100 adet VTS kontrolcüsü yerli imkanlarla üretilmiş ve 2022 yılı eylül ayı itibariyle yaklaşık 50 adet kontrolcü farklı

tiplerdeki demiryolu araçlarında (dizel tren seti: 10 adet, tvs tipi yolcu vagonu: 40 adet) aktif bir şekilde kullanımdadır [15, 16].

Demiryolu araçlarında kullanılan, farklı firmalar tarafından üretilen vakumlu tuvalet sistemlerinin de genel olarak aynı prensipte çalıştığı gözönüne alınarak gerekli adaptasyon işlemleri yapılarak tasarlanan kontrolcü farklı vakumlu tuvalet sistemine sahip araçlarda da kullanılabilirliği tespit edilmiştir. Bu işlem kullanılan ekipmanların incelenerek, uygun yıkama döngüsü sürelerinin hesaplanması (elektropnömatik valfleri çalışma süreleri) ile başlanır. Sonrasında sistemde kullanılan malzemenin özelliğine göre (örnek olarak vakum ve basınçlandırma işlemi esnasında kullanılan ara tankın dayanımına göre) yıkama döngüsünde kullanılacak basınç eşik değerleri oluşturulur. Eğer VTS sisteminde kullanılan elektriksiz arayüz farklı tipte konnektörler ile sağlanıyorsa yeni kontrolcü buna göre tasarlanır. Kart tasarımı yapılırken eski sistemde de kullanılan elektriksiz sinyaller incelenerek isteğe göre giriş-çıkış portlarının sayısı azaltılıp artırılabilir.

Şekil 4.4'te sol tarafta kontrolcünün kullanıldığı Vakumlu tuvalet sisteminin kontrol panosu görülmektedir. Şekil 4.4'te sağ tarafta ise tren setinde kullanılan alafranga tipi vakumlu tuvalet sisteminin tuvalet modülünün üstten görünüşü verilmiştir.



Şekil 4.4. VTS elektrik paneli (solda) ve tuvalet kabininin görünüşü (sağda).

Kontrolcünün elektrik paneline montajı için önce 15mm zeminden yükseklikli, 200 mm uzunluğunda DIN (Deutsches Institut für Normung) ray montaj malzemesi kullanılmıştır. DIN ray parçasının montajı dışında herhangi bir ek montaj çalışması gerekmemektedir [55].

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yolcu taşıma işlerinde kullanılan raylı taşıtlarda VTS (kontrolcüyü de ihtiva eden sistem) genel olarak ithal edilmekte ve parça maliyetleri çok yüksektir. Bundan kaynaklı olarak ülkemizde raylı taşıtların bakım/onarım işlemlerini yapan ve işleten kuruluşlara büyük mali yükler doğurmaktadır [56, 57]. Öncelikli olarak bu çalışma kapsamında tasarlanıp üretilen kontrolcü ile bu olumsuz durumun önüne geçmek amaçlanmıştır. Bahsi geçen duruma ek olarak kullanımda bulunan VTS kontrolcülerini belli bir projeye uygun olarak tedarik edildiğinden, farklı tiplerdeki VTS'lere adapte edilememektedir. Tasarlanan VTS kontrolcüsü, raylı taşıtlarda kullanılan alafanga, alaturka ve PRM tip VTS'lerde kullanılabilir [12- 14].

Tasarlanan VTS kontrolcüsünde herhangi bir donanımsal değişiklik yapılmadan, sadece bazı yazılımsal fonksiyonlar düzenlenerek raylı taşıtlardaki farklı tip VTS'lere adaptasyonu yapılabilir. Örneğin; ülkemizde yolcu taşımacılığında yaygın olarak kullanılan TVS tipi yolcu vagonlarının VTS'lerinde taşma önleme sensörü, reed sensörü, donma önleme fonksiyonu için kullanılan tahliye valfi gibi ekipmanlar bulunmamaktadır. Bahsi geçen donanımlar için hazırlanmış fonksiyonlar araçta bulunan VTS tipine göre uygun bir şekilde derlenerek kontrolcü arzu edilen araç tipine göre çalışmaya hazır hale gelmektedir [58]. Ayrıca VTS kontrolcüsünün tasarım ve üretim işlerinin raylı taşıtları üreten, montajını yapan ve bakım işlemlerini gerçekleştiren kurum bünyesinde gerçekleştirilmesi sayesinde, uygun bulunan müşteri istekleri, tasarım değişiklikleri, modifikasyonlar vb. kolayca sisteme uygulanabilecektir.

Çalışma kapsamında tasarlanan VTS kontrolcüsünün mevcut dezavantajları ise; muadilleriyle kıyaslanınca görsel olarak daha basit olması, hata diyagnostik arayüzünün diğer kontrolcülere nazaran daha karmaşık olması, TMS'e gönderdiği diyagnostik verilerini haberleşme protokolü tabanlı olarak göndermek yerine kablolarla göndermesi (her bir TMS diyagnostik sinyali için birer adet kablo) ve yeni bir ürün olduğundan kaynaklı olarak mevcut sistemlerde bakım/onarım işlemlerini yürüten personellere karmaşık ve yabancı gelmesidir.

Bu belirtilen dezavantajlardan ilki için projenin bir sonraki revizyon olarak, VTS kontrolcüsüne dokunmatik özellikli bir grafik ekran (minimum çözünürlük değeri 320x240 olacak şekilde) eklenmesi planlanmaktadır [59, 60]. Bu revizyon ile birlikte led arayüzü ile kullanıcıya iletilen diyagnostik bilgileri grafik ekran üzerinden açıklamalarıyla beraber görüntülenebilecektir. Ayrıca VTS'nin fonksiyonlarıyla ilgili ayarlanabilir konfigürasyon değerleri herhangi bir kod geliştirme ortamına ihtiyaç duymadan bu ekran üzerinden değiştirilebilecektir. Bu konfigürasyon değerleri arasında VTS'de bulunan elektro pnömatik valflerin açılıp kapanma süreleri, eşik basınç değerleri vb. parametreler düzenlenebilecektir.

İkinci durumu gidermek için ise, raylı taşıtlarda yaygın olarak kullanılan CanBUS (Controller area network bus) ve RS485 haberleşme protokolleri üzerinden VTS diyagnostiğinin araç bilgisayarına gönderilmesi planlanmaktadır. Bunun için gerekli donanımsal altyapı kontrolcüye eklenecek ve yazılım çalışmaları gerçekleştirilecektir [61, 62]. Gerekli donanımlar eklendiğinde kullanılan mikrodenetleyicinin; port sayısı, saniye başına işlenebilecek komut sayısı (MIPS), kullanımda bulunan kod/fonksiyon kütüphaneleri gibi teknik özelliklerden dolayı yetersiz kalacağı anlaşılmıştır. Bundan dolayı yeni tasarlanacak kontrolcüde yine Microchip firmasının ürettiği DSPIC33 serisi bir mikrodenetleyici kullanılacaktır [63].

Son olarak VTS sistemine bakım/onarım gerçekleştiren personellere tasarlanan kontrolcüyle ilgili gerekli eğitim dökümanı hazırlanarak tedarik edilecek ve gerekli olduğu durumlarda VTS'lerin kullanıldığı raylı taşıtların servis yaptığı yerlerde sistem üzerinde uygulamalı eğitimler düzenlenecektir.

Farklı tiplerdeki (Dizel tren seti, TVS tipi vagon) raylı taşıtlarda sistem testlerinin tamamlanmasının ardından kontrolcü tasarımı dondurulmuştur ve seri üretim aşamasındadır. İlerleyen süreçte dondurulan tasarım baz alınarak ülkemizde üretimine başlanan Elektrikli tren setlerinin VTS'lerinde kullanılabilir bir kontrolcünün tasarlanıp ürettirilmesi planlama aşamasındadır [64].

Tez çalışması sonucunda, raylı sistem araçlarının VTS'leri için mikrodenetleyici tabanlı bir elektronik kontrolcü tasarlanmıştır. Microchip firmasının üretmiş olduğu PIC serisi işlemcilere yönelik kod geliştirme (C dilinde) konusunda yetkinlik kazanılmıştır. Yapılan bu çalışmanın sayesinde, kullanımda bulunan VTS'lerin pnömatik kontrolü ve mekanik tasarımına yönelik önemli teknik bilgiler elde

edilmiştir. Tasarlanan elektronik kontrolcü ile birlikte VTS'nin elektronik (basınç, optik, seviye sensörleri), elektrik (şalt malzemelerini içeren elektrik paneli, konnektör ve kablo tertibatları), mekanik (wc modülü), pnömatik (sistemde kullanılan tekli valfler ve valf adası) ekipmanları, proje isterlerine göre tarafımızca belirlenerek veya tasarlanarak demiryolu aracını üreten kurum bünyesinde istenildiğinde yeni bir VTS üretilenilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Toilet-guru (2022, 21 Eylül). Train toilets. <https://toilet-guru.com/train.php> adresinden 21 Eylül 2022 tarihinde alınmıştır.
- [2] Hassan S. ve Iqbal, K. M. (2017). Evaluation of the impacts and alternatives of passenger train toilets in Bangladesh. *Academia*.
- [3] Karthikeyan, S., Ashiq, K. M. ve Karthikeyan, S. (2013). Fabrication of semi automated pressurized flushing system in indian railway toilet. *IJEAT*.
- [4] Raghuram, G. (2008). Toilets and trains. *Indian Institute of Management*.
- [5] Love, A. (2022, 15 Eylül). Train toilet systems: how is rail industry clean up after itself?. <https://www.railway-technology.com/analysis/train-toilet-systems/> adresinden 15 Eylül 2022 tarihinde alınmıştır.
- [6] Topham, G., The Guardian (2022, 20 Kasım). Train firms backtrack over pledge to ban raw sewage on railway lines. <https://www.theguardian.com/uk-news/2019/nov/03/uk-railway-firms-fail-to-clean-up-waste-dumping-act> adresinden 20 Kasım 2022 tarihinde alınmıştır.
- [7] Karaca, K. I. ve Karaarslan, M. (2020). Improvement of aircraft toilets vacuum systems with resistive force sensor application. *Journal of Aviation Research*, 2(1), 26-44.
- [8] Islam, M. S. (2016). Comparative evaluation of vacuum sewer and gravity sewer systems. *International Journal of Systems Assurance Engineering Management*, 8(1), 37–53. <https://doi.org/10.1007/s13198-016-0518-z>
- [9] Santhapriyan, K., Rajadesing, R., Sasikumar, S. ve Thirumoorthy, M. (2015). Design of vacuum controlled discharge lavatory system (VCDLS) of railway car. *IJREAT International Journal of Research in Engineering & Advanced Technology*, 3(1), 146-151.
- [10] Lv, X. Y., Wang, K. B., Yang, L. L. ve Wang B. X. (2011). Design and study of the environmental protection and energy saving toilet for the long-distance train. *2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC)*, 771-774. <https://doi.org/10.1109/MEC.2011.6025578>
- [11] Todt, D., Bisschops, I., Chatzopoulos, P. ve Van Eekert, M. H. A. (2021). Practical performance and user experience of novel dual-flush vacuum toilets. *Water 2021*, 13(16), 2228-2241. <https://doi.org/10.3390/w13162228>
- [12] Alnal (2022, 10 Aralık). Vacuum toilet system. <https://www.alnal.net/en/product/vacuum-toilet-system/30> adresinden 10 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.
- [13] Glova (2022, 10 Aralık). Vacuum toilets. <https://www.glovarail.com/toilet-units/> adresinden 10 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.

- [14] Evac (2022, 10 Aralık). Vacuum toilet systems. <https://www.evac-train.com/products/vacuum-toilet-systems/evac-compact/> adresinden 10 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.
- [15] Türkiye Raylı Sistem Araçları Sanayi Anonim Şirketi (2022, 15 Aralık). DMU Diesel Train Set. <https://www.turasas.gov.tr/dmu-diesel-train-set> adresinden 15 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.
- [16] Türkiye Raylı Sistem Araçları Sanayi Anonim Şirketi (2022, 15 Aralık). TVS 2000 Series. <https://www.turasas.gov.tr/tvs-2000-series> adresinden 15 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.
- [17] Kavanagh, L. (2005). *Modern approach for water renewal in single toilet systems used on trains, boats, coaches and motor homes*. CRC Sustainable Tourism Pty Ltd.
- [18] Deshmukh, P., Mohite, A., Harshal, B., Patil, R. ve Bhonde, A. (2020). Intelligent Public Toilet Monitoring System Using IoT. *2020 IEEE Bangalore Humanitarian Technology Conference (B-HTC)*. <https://doi.org/10.1109/B-HTC50970.2020.9297839>
- [19] Jing, Y. ve Hongyan, W. (2019). Design and Implementation of Urban Intelligent Public Toilets in the Big Data Era. *2019 Chinese Automation Congress*, 1244–1249. <https://doi.org/10.1109/CAC48633.2019.8996250>
- [20] Ghosh, P., Bhattacharjee, D. ve Nasipuri, M. (2019). Intelligent Toilet System for Non-invasive Estimation of Blood-Sugar Level from Urine. *IRBM*, 41(2), 94–105. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2019.10.005>
- [21] Schlebusch, T., Fichtner, W., Mertig, M. ve Leonhardt, S. (2015). Unobtrusive and comprehensive health screening using an intelligent toilet system. *Biomedizinische Technik*, 60(1), 17–29. <https://doi.org/10.1515/bmt-2013-0140>
- [22] Balaceanu, C., Marcu, I., Suciu, G., Dantas, C. ve Mayer, P. (2019). Developing a smart toilet system for ageing people and persons with disabilities. *2019 ECBS: Proceedings of the 6th Conference on the Engineering of Computer Based Systems*. <https://doi.org/10.1145/3352700.3352716>
- [23] Abdrakhmanov, V. K., Salikhov, R. B. ve Popov, S. A. (2021). Experience of using EasyEDA to develop training boards on the PIC16f887 microcontroller. *Journal of Physics Conference Series*, 2096(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2096/1/012098>
- [24] Microchip Technology (2022, 11 Aralık). PIC16F877. <https://www.microchip.com/en-us/product/PIC16F877> adresinden 11 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.
- [25] Microchip Technology (2022, 10 Aralık). MPLAB® X IDE. <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/develop/mplab-x-ide> adresinden 10 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.
- [26] Subero, A. (2018). *Programming PIC Microcontrollers with XC8*. Apress Berkeley. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3273-6>
- [27] Glova (2023, 07 Ocak Aralık). Toilet Units – Toggle Valve (TV). <https://www.glovarail.com/toilet-units/#16> adresinden 07 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.

- [28] SMD (2022, 10 Aralık). Miniature plastic optical liquid level sensor. <https://www.fluidswitch.com/product/os3-industrial-optical-level-sensor/> adresinden 10 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.
- [29] Cai, M., Kawashima, K. ve Kagawa, T. (2006). Technical briefs power assessment of flowing compressed air. *Journal of Fluids Engineering*, 128, 402-405. <https://doi.org/10.1115/1.2170129>
- [30] Cojocaru, R., Bocănete, P., Deleanu, D., Frătilă, C., Axinte, T. ve Diaconu, M. (2021). Analysis of pneumatic circuits with FluidSim. *Hidraulica*, 2021(2), 70-75.
- [31] Liu J. ve Lv, Y. J. (2011). Control of testing device based on FluidSIM-P. *Applied Mechanics and Materials*, 44-47, 3702–3705. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.44-47.3702>
- [32] Sahoo, S. R., Singh, H., Dennis, M. ve Karthik, P. (2016). A case study on pressure switch. *2016 Int. Conf. Control Instrum. Commun. Comput. Technol. ICCICCT*, 182–185. <https://doi.org/10.1109/ICCICCT.2016.7987941>
- [33] Susheel S. ve Selvendran, A. (2019). Investigation on water level regulation using floating sensor and Arduino Uno. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 561(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/561/1/012009>
- [34] Kulkarni, A., Karekar, R. N. ve Aiyer, R. C. (2005). Liquid level sensor. *Review of Scientific Instruments*, 76(10), 1–5. <https://doi.org/10.1063/1.2054412>
- [35] Neil, G. (2014). On board train control and monitoring systems. *IET Conference Publications* vol. 2014, no. CP690, <https://doi.org/10.1049/CP.2014.1443>
- [36] Hinohara, K. (2017). *Reed Switches*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b15640-11>
- [37] Boonyakan, K., Heamra, N. ve Changkamanon, A. (2018). Water efficient toilet: Setting a suitable automatic flushing duration. *3rd International Conference on Digital Arts, Media Technology (ICDAMT)*. <https://doi.org/10.1109/ICDAMT.2018.8376512>
- [38] Saleae (2022, 17 Aralık). Logic Analyzers. <https://www.saleae.com/> adresinden 17 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.
- [39] Sharp (2022, 25 Aralık). PC817 optocouplers,” https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/PC817XxNSZ1B_e.pdf adresinden 25 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.
- [40] Awtrey, D. (1997). Transmitting Data and Power over a One-Wire Bus. *Sensors: The Journal of Applied Sensing Technology*.
- [41] Analog Devices (2023, 10 Ocak). DS18B20 - Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. <https://www.analog.com/en/products/ds18b20.html> adresinden 10 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [42] Parab, J. S., Shinde, S. A., Shelake, V. G., Kamat, R. K. ve Naik, G. M. (2008). Accessing On-Chip and Off-Chip Peripherals. Practical Aspects of Embedded System Design using Microcontrollers (1. Baskı, ss.43–68). Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8393-8>

- [43] Microchip Technology (2023, 5 Şubat). 10-bit A/D Converter. <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/31023a.pdf>. adresinden 5 Şubat 2023 tarihinde alınmıştır.
- [44] Tameson (2023, 10 Ocak). 3/2-Way pneumatic valve. <https://tameson.com/32-way-pneumatic-valve.html> adresinden 10 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [45] Texas Instruments (2023, 10 Ocak). ULN2003B. <https://www.ti.com/product/ULN2003B#tech-docs> adresinden 10 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [46] Nexperia (2023, 10 Ocak). 74HC595D. <https://www.nexperia.com/product/74HC595D> adresinden 10 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [47] Microchip Technology (2023, 11 Ocak). Power-Up Timer (PWRT) - Developer Help. <https://microchipdeveloper.com/8bit:pwrt> adresinden 11 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [48] Microchip Technology (2023, 11 Ocak). Timer0 - Developer Help. <https://microchipdeveloper.com/8bit:timer0> adresinden 11 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [49] Microchip Technology (2023, 11 Ocak). Timer1 - Developer Help. <https://microchipdeveloper.com/8bit:timer1> adresinden 11 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [50] Microchip Technology (2023, 11 Ocak). Timer2/4/6 - Developer Help. <https://microchipdeveloper.com/8bit:timer2> adresinden 11 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [51] Microchip Technology (2023, 11 Ocak). 8-Bit Interrupts - Developer Help. <https://microchipdeveloper.com/8bit:interrupts> adresinden 11 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [52] Microchip Technology (2023, 11 Ocak). Analog-to-Digital Converter - Developer Help. <https://microchipdeveloper.com/8bit:adc> adresinden 11 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [53] RSGC Advanced Computer Engineering School (2023, 11 Şubat). 74HC595 Architecture. <http://darcy.rsgc.on.ca/ACES/TEI4M/ShiftOut.html> adresinden 11 Şubat 2023 tarihinde alınmıştır.
- [54] Analog Devices(2023, 11 Şubat). Switch Bounce and Other Dirty Little Secrets Analog Devices. <https://www.analog.com/en/technical-articles/switch-bounce-and-other-dirty-little-secrets.html> adresinden 11 Şubat 2023 tarihinde alınmıştır.
- [55] Wikipedia (2023, 11 Ocak). DIN rail. https://en.wikipedia.org/wiki/DIN_rail adresinden 11 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [56] Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Taşımacılık A.Ş. (2023, 11 Ocak). TCDDT. <https://www.tcddtasimacilik.gov.tr/> adresinden 11 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.

- [57] Türkiye Raylı Sistem Araçları Sanayi A.Ş. (2023, 11 Ocak). Turkish Railway Vehicles Industry Inc.. <https://www.turasas.gov.tr/>. adresinden 11 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [58] Microchip Technology (2023, 11 Ocak). Which files in an MPLAB® X project should be under version control?. <https://microchipdeveloper.com/faq:72> adresinden 11 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [59] Chakraborty P. ve Shah A. (2018). Interactive touch screen using augmented reality. *4th Internation Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (iCATccT)*, 294–298. <https://doi.org/10.1109/iCATccT44854.2018.9001956>
- [60] Winstar (2023, 17 Mart). LCD Touch Panel - Touch Screen. <https://www.winstar.com.tw/products/tft-lcd/touch-panel.html> adresinden 17 Mart 2023 tarihinde alınmıştır.
- [61] Corrigan, S. (2023, 17 Mart). Introduction to the controller area network (CAN) application report. <https://www.ti.com/lit/an/sloa101b/sloa101b.pdf> adresinden 17 Mart 2023 tarihinde alınmıştır.
- [62] Kugelstadt, T. (2023, 17 Mart). The RS-485 design guide. <https://www.ti.com/lit/an/slla272d/slla272d.pdf> adresinden 17 Mart 2023 tarihinde alınmıştır.
- [63] Microchip Technology (2023, 11 Ocak). PIC24F MCU and dsPIC33 DSC Applications. <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors/16-bit-mcus/applications> adresinden 11 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [64] Türkiye Raylı Sistem Araçları Sanayi A.Ş. (2023, 7 Mart). National Electric Train Set. <https://www.turasas.gov.tr/national-electric-train-set> adresinden 7 Mart 2023 tarihinde alınmıştır.

