

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

**ELEKTRİKLİ YOL SÜPÜRME ARAÇLARI İÇİN ELEKTRONİK
KONTROL ÜNİTESİ TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih ARABACI

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı

TEMMUZ 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ YOL SÜPÜRME ARAÇLARI İÇİN ELEKTRONİK
KONTROL ÜNİTESİ TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih ARABACI

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU

TEMMUZ 2024

Fatih ARABACI tarafından hazırlanan “Elektrikli Yol Süpürme Araçları İçin Elektronik Kontrol nitesi Tasarımı” adlı tez çalışması 05.07.2024 tarihinde aŗağıdaki jüri tarafından oy birliğı ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliğı Anabilim Dalı Elektrik Mühendisliğı Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiŗtir.

Tez Jürisi

Jüri Baŗkanı: **Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU** (Danıŗman)
Sakarya Üniversitesi

Jüri yesi: **Prof. Dr. İrfan YAZICI**
Sakarya Üniversitesi

Jüri yesi: **Prof. Dr. Faruk YALÇIN**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



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 “ELEKTRİKLİ YOL SÜPÜRME ARAÇLARI İÇİN ELEKTRONİK KONTROL ÜNİTESİ TASARIMI” 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.

(05/07/2024)

Fatih ARABACI





Eşime ve oğluma,



TEŞEKKÜR

Tüm akademik hayatım boyunca daima yanımda olan, desteğini esirgemeyen, bilgi birikimi ve tecrübesiyle yoluma ışık tutan, saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Uğur Arifoğlu'na, tez çalışmam boyunca destekleriyle çalışmaya katkıda bulunan sayın Dr. Öğr. Üyesi Halime Hızarcı'ya, üniversite-sanayi iş birliği çerçevesinde çalışmanın ortaya çıkması için maddi ve manevi destek veren ÇEKSAN Yol Süpürme Araçları Mak. San. Tic. A.Ş. sahibi sayın Veli Çaykara'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tüm yoğun iş temposu ve akademik çalışmalarım boyunca sürekli destek olan, beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili eşim Sena Arabacı'ya ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Fatih Arabacı



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR.....	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. EKÜ YAPISI VE TASARIM PARAMETRELERİ	7
2.1. Yol Süpürme Aracı Giriş Çıkış Gereksinimleri	7
2.2. Elektronik Kontrol Üniteleri Araştırmaları	11
2.3. Tasarım Parametreleri	11
3. DONANIM TASARIMI	13
3.1. İşlemci Seçimi	13
3.1.1. Otomotiv işlemcilerinde güvenlik ve standartlar	13
3.1.2. SPC5 32-bit otomotiv işlemcisi	14
3.1.3. MIPS32 ve MIPS64 mimarisi	14
3.1.4. Motor EKÜ'leri için 16-bit mikrodenetleyiciler	15
3.1.5. 8-Bit mikrodenetleyiciler	15
3.1.6. S32K otomotiv işlemcileri	16
3.1.7. 32-Bit AURIX üç çekirdekli mikrodenetleyici	16
3.1.8. İşlemci seçim kriterleri	16
3.2. Komponent Seçimi	20
3.2.1. MP6527 – 10 Kanal yarım köprü çıkış entegresi	20
3.2.2. 74HC595 – 8 bit kaydırmalı yazmaç	21
3.2.3. AP64100 – Anahtarlama güç regülatörü	22
3.2.4. SN65HVD232 – CANBUS alıcı-verici haberleşme entegresi	23
3.2.5. MAX485 – MODBUS haberleşme entegresi	24
3.2.6. CD4504BM – Dijital seviye çevirici	25
3.2.7. Pasif komponentler	25
3.3. Şematik Tasarım	25
3.3.1. Devre güç girişi	25
3.3.2. İşlemci	28
3.3.3. Dijital girişler	29
3.3.4. Haberleşme	30
3.3.4.1. CAN haberleşme katmanı	30
3.3.4.2. MODBUS haberleşme katmanı	31
3.3.5. Çıkış genişletme ve MOSFET sürme	32
3.3.6. Dijital çıkışlar	34
3.3.7. Giriş ve çıkışların genel dağılımı ve konnektör bağlantıları	35

3.4. Baskılı Devre Kartı (PCB) Tasarımı	36
4. YAZILIM.....	41
4.1. Zamanlayıcı (Timer) Ayarları Yazılımı	43
4.2. Giriş-Çıkış (GPIO) Ayar Yazılımı	43
4.3. CAN BUS Yazılımı.....	46
4.4. MODBUS Yazılımı.....	49
5. UYGULAMA VE TESTLER.....	53
5.1. Laboratuvar Ortamında Giriş-Çıkış ve Haberleşme Testleri.....	53
5.2. EMC Testleri	55
5.3. Saha Testleri	57
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	67



KISALTMALAR

ACK	: Acknowledgement
ADAS	: Advanced Driver Assistance Systems
ADC	: Analog Digital Converter
AEC	: Automotive Electronics Council
ASIL	: Automotive Safety Integrity Level
BCM	: Body Control Module
BCU	: Brake Control Unit
BMS	: Battery Management System
CAN	: Controller Area Network
CCU	: Climate Control Unit
CE	: Comité Européenne
CE	: Conducted Emission
CIP	: Core Independent Processor
CMOS	: Complementary Metal Oxide Semiconductor
CPU	: Central Processing Unit
CRC	: Cyclic Redundancy Check
DA	: Doğru akım
DAC	: Digital Analog Converter
DSC	: Digital Signal Controller
DSP	: Digital Signal Processor
ECM	: Engine Control Module
ECU	: Electronic Control Unit
EKÜ	: Elektronik kontrol ünitesi
EMC	: Elektromanyetik uyumluluk
EMI	: Electromagnetic Interference
EPS	: Electronic Power Steering
FSS	: Frequency Spread Spectrum
GND	: Ground
GPIO	: General Purpose Input Output
GPRS	: General Packet Radio Service

GPS	: Global Positioning System
HVAC	: Heating, Ventilation, and Air Conditioning
IDE	: Integrated Development Environment
LIN	: Local Interconnect Network
MCC	: MPLAB Code Configurator
MCU	: Mikrodenetleyici
MHz	: Megahertz
MIPS	: Mega Instruction Per Second
MOSFET	: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistör
NMOS	: N tipi mosfet
Ops	: Opsiyonel
OTP	: Over Temperature Protection
PCB	: Printed Circuit Board
PLC	: Programmable Logic Controller
PMOS	: P tipi mosfet
PSM	: Power Steering Module
PWM	: Pulse Width Modulation
RAM	: Random Access Memory
RE	: Radiated Emission
RISC	: Reduced Instruction Set Computer
RTU	: Remote Terminal Unit
SAE	: Society of Automative Engineers
SCM	: Suspension Control Module
SCP	: Short Circuit Protection
SCU	: Suspension Control Unit
SPI	: Serial Peripherhal Interface
SRAM	: Static Random Access Memory
TCM	: Transmission Control Module
TCU	: Transmission Control Unit
TTL	: Transistor-Transistor Logic
TVS	: Transient Voltage Suppression
USB	: Universal Serial Bus
UVLO	: Under Voltage Lockout
VCU	: Vehicle Control Unit
WiFi	: Wireless Fidelity

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Araç giriş-çıkış gereksinim tablosu.....	8
Tablo 2.2. EKÜ kıyaslama tablosu.....	11
Tablo 2.3. EKÜ tasarım parametreleri	12
Tablo 3.1. Araç giriş-çıkış gereksinim tablosu.....	19
Tablo 3.2. EKÜ konnektör bağlantıları	35
Tablo 6.1. EKÜ teknik özellikleri	61



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Yol süpürme aracı çalışma prensibi.....	2
Şekil 1.2. Örnek bir elektronik kontrol ünitesi	5
Şekil 2.1. Elektrikli yol süpürme aracı	8
Şekil 3.1. dsPIC33CH512MP508 işlemci iç yapısı ve çevrebirimleri.....	18
Şekil 3.2. MP6527 entegresi iç yapısı.....	21
Şekil 3.3. 74HC595 entegresi iç yapısı.....	22
Şekil 3.4. AP64100 entegresi iç yapısı	23
Şekil 3.5. SN65HVD232 entegresi iç yapısı.....	24
Şekil 3.6. MAX485 iç yapı ve bağlantısı.....	24
Şekil 3.7. Devre güç girişi şematik tasarımı	27
Şekil 3.8. İşlemci şematik tasarımı	28
Şekil 3.9. Dijital girişler şematik tasarımı	29
Şekil 3.10. CAN haberleşme fiziksel bağlantı şeması	31
Şekil 3.11. MODBUS haberleşme fiziksel bağlantı şeması	32
Şekil 3.12. Haberleşme devresi şematik tasarımı	32
Şekil 3.13. Çıkış genişletme şematik çizimi	33
Şekil 3.14. MOSFET sürme devresi	34
Şekil 3.15. Dijital çıkışlar	34
Şekil 3.16. PCB kart katman yapısı	37
Şekil 3.17. PCB kart tasarımı.....	38
Şekil 3.18. PCB kart 3 boyutlu görüntüsü	38
Şekil 3.19. PCB kart prototip görüntüsü.....	39
Şekil 3.20. EKÜ görüntüsü	39
Şekil 4.1. MPLABX IDE ve MCC görüntüsü	42
Şekil 4.2. Zamanlayıcı ayarları	43
Şekil 4.3. Struct tanımlamaları.....	44
Şekil 4.4. Çıkışların ana programdaki görüntüsü.....	45
Şekil 4.5. Girişlerin ana programdaki görüntüsü	45
Şekil 4.6. CAN veri yapısı	47
Şekil 4.7. CAN akış diyagramı	48
Şekil 4.8. CAN ayarları.....	48
Şekil 4.9. CAN haberleşme yazılımı	49
Şekil 4.10. MODBUS haberleşme veri paketi	50
Şekil 4.11. MODBUS haberleşme yazılımı.....	51
Şekil 5.1. CANBUS haberleşme lojik analizör çıkışı	54
Şekil 5.2. MODBUS haberleşme lojik analizör çıkışı	54
Şekil 5.3. EMC test düzeneği.....	56
Şekil 5.4. EMC RE alt bileşen testi sonuçları	57
Şekil 5.5. EMC CE testi sonuçları	57
Şekil 5.6. EKÜ araç montajı	58
Şekil 5.7. EKÜ ile araç ekranı haberleşmesi	58

Şekil 5.8. Fırça ve süpürme testleri.....	59
Şekil 5.9. Lamba ve çöp haznesi fonksiyon testleri	59



ELEKTRİKLİ YOL SÜPÜRME ARAÇLARI İÇİN ELEKTRONİK KONTROL ÜNİTESİ TASARIMI

ÖZET

Elektronik kontrol üniteleri (EKÜ), herhangi bir motorlu taşıttaki bir veya daha fazla elektrik sistemini veya alt sistemi kontrol eden otomotiv elektroniğindeki gömülü sistemlerdir. Elektronik kontrol üniteleri esasen bir aracın işlevselliğinin farklı yönlerini izleyen, kontrol eden ve yöneten mini bilgisayarlardır. Araçlarda yerleştirilmiş çeşitli sensörlerden alınan veriler gerçek zamanlı kararlar vermek için elektronik kontrol üniteleri tarafından kullanılırlar.

Yol süpürme makineleri, şehirlerde sokakları temizlemek için tasarlanmış, fırçalı ve vakumlu veya mekanik süpürme mekanizmaları ile donatılmış araçlardır. Mevcut yol süpürme araçlarında güç ünitesi olarak dizel motor kullanılmakta olup, elektrikli araç teknolojisinin yaygınlaşması ile birlikte yol süpürme araçlarında da elektrikli motorlar kullanılmaya başlamıştır. Dizel motorun çevreye karbon emisyonu ve gürültü olarak yaydığı olumsuz etkiler elektrik motorları kullanımı ile önlenabilmektedir. Bunun yanında elektrikli araçların kontrol parametreleri dizel motorlu araçlardan farklılık göstermektedir. Günümüzde elektrik motorlu araçlar için fosil yakıtlı araçların kontrol üniteleri ek modüller ile desteklenerek kullanılmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmada elektrikli yol süpürme araçlarının ihtiyaçları doğrultusunda özgün bir araç elektronik kontrol ünitesi tasarımı ve üretimi yapılmıştır.

Tez çalışması, ÇEKSAN Yol Süpürme Araçları A.Ş. firmasının sponsorluğunda yürütülmüş ve prototip bu firma tarafından üretilen kamyon üstüne monte edilmiş %100 elektrikli vakumlu yol süpürme aracına uygulanmıştır. Bu araçta güç ünitesi olarak geleneksel dizel motor yerine yeni nesil elektrik motoru kullanılmıştır. Batarya paketinde Lityum-iyon pil hücreleri tercih edilmiş ve hücreler üzerinde gelişmiş bir batarya yönetim sistemi (BMS) yerleştirilmiştir. Günümüzde elektrikli kamyonlar homologasyon süreçleri nedeni ile piyasada aktif olarak kullanılmadıkları için ÇEKSAN yol süpürme aracının monte edildiği kamyon dizel yakıtlı standart bir kamyondur.

Çalışmada önce araç gereksinimleri belirlenerek, uygun işlemci ve komponent seçimleri ve ardından donanım tasarımı yapılmış, son olarak hedeflenen prototip kart üretilmiştir. Kart üzerine gömülen yazılım C dilinde kodlanmış ve birçok kütüphane oluşturulmuştur. Yazılım testleri ve simülasyonlar başarıyla sonuçlandıktan sonra elektronik kart standart EMC testlerine sokulmuş ve testlerden geçmiştir. Son olarak EKÜ yol süpürme aracına monte edilmiş ve saha testleri başarıyla uygulanmıştır. Yapılan çalışma ile ÇEKSAN tarafından piyasaya sunulan ticari bir elektronik kontrol ünitesi elde edilmiştir.



ELECTRONIC CONTROL UNIT DESIGN FOR ELECTRIC ROAD SWEEPERS

SUMMARY

Road sweepers are vehicles equipped with brushes, suction or collection systems and water sprayers designed to clean streets, highways and other paved surfaces. They play a crucial role in maintaining cleanliness, aesthetics and safety in urban environments. Road sweepers are manufactured in different types such as truck-mounted vacuum road sweepers, compact road sweepers, mechanical road sweepers, regenerative road sweepers, etc., according to the road and environmental conditions to ensure efficient street and road cleaning. In today's truck mounted road sweepers, the power required for sweeping is provided by diesel engines. Diesel engines rotate the fan to create vacuum and power the brushes. However, the brushes are driven by hydraulic motors and these motors are powered by hydraulic pumps. The vacuum created by the rotation of the fan creates negative pressure in the boiler and the garbage on the roads is drawn into the boiler with the help of the vacuum and the air flow rate formed in the suction hose. Since these vehicles are diesel fueled, they cause high carbon emissions and noise pollution and operate with high fuel consumption. With the frequent use of lithium-ion batteries in today's electric vehicle technology, it has become possible to design and manufacture these vehicles as 100% electric. Diesel engines used in the fan and brush drive of electric road sweeping vehicles are replaced by highly efficient electric motors. As a result, battery packs that can be produced in different battery types are preferred as the energy source and ECU is preferred as the controller.

Electronic control units are used in the automotive industry to control the electrical systems in motor vehicles. These mini computers, which control the entire flow of the vehicle, perform very important tasks in the control of the vehicle. The ECU makes real-time decisions with the data received from vehicle sensors. By analyzing the data and applying appropriate commands, the ECU also ensures that all automotive electronic components and systems work in harmony, providing the driver with a smooth driving experience. Electronic control units are specially designed and used to control different units in vehicles. These control units, which are used for different purposes, are either independent circuits that work in harmony with each other in the vehicle or all ECUs are managed from a single center by a vehicle control unit (VCU). The design parameters of each electronic control unit vary according to its functions. In general, the design parameters of electronic control units can be listed as the number of inputs-outputs, input detection type and voltage value, output type (NPN/PNP) current and voltage value, communication protocols, special function requirements. The designed control unit acts as an VCU where all functions of a road sweeper can be controlled. In the study, firstly, the needs of the road sweeping vehicle were determined and accordingly, existing ECU products were investigated and a comparison was made. The foreign ECU products offered for sale in the market were examined and the input-output requirements of the targeted product were determined.

After the design parameters were determined, the most important point of the hardware design is the processor selection. The processor to be selected must meet ISO26262-ASIL-B and AEC-Q100 processor safety standards, have enough inputs and outputs, and be available in the market at any time. Considering these features, it was decided to use the dsPIC33CH512MP508 coded product produced by Microchip. In the study, when the ECU design parameters and the number of input-output legs of the selected processor were examined, it was seen that the number of legs of the selected product was not sufficient. As a result of the research carried out to solve this problem, it was decided to increase the number of inputs and outputs by using innovative and processor-friendly external components. In order to obtain the 12 outputs of 0.8 Amperes required in the project, the MP6527 IC, which can be programmed independently or as a group with the Serial Peripheral Interface (SPI) serial communication protocol, which does not require amplification circuitry, was preferred. At the same time, instead of using direct processor legs for high current constant outputs, 74HC595 8-bit shift register IC, whose outputs can be adjusted with serial communication, was preferred. 74HC595 outputs are connected to ULQ2003 IC. The ULQ2003 IC is a darlington transistor amplifier. It converts low current inputs at CMOS level to open collector NPN outputs at 500mA current level. The purpose of this circuit is to drive MOSFETs that can output up to 6 Amps. This amplifier is used as a MOSFET driver in the project. According to the requirements, P Channel MOSFET was preferred in the study since the ECU outputs are required in PNP structure. This MOSFET is coded SQ3419EV and is developed for automotive applications and can deliver 6.9A continuous current with 40V Drain-Source withstand voltage. After the selection of the processor and components, the schematic design for the board drawing was made by carefully examining the component datasheets.

PCB design is at least as important as schematic design and requires serious engineering knowledge and effort. In PCB design, there are some rules to be considered for low EMI emission, to prevent the circuit from being affected by magnetic noise and transient voltage transients. Since the connector and aluminum box are of fixed size, the board is designed according to the limits set by these rules. Considering the component density on the board and the need for CE compatibility, it was decided to design the board with 8 layers. Under all the conditions described above, the PCB board was carefully designed.

The software is the part that will animate the control unit whose hardware is designed. In such studies, first, an integrated development environment (IDE) is needed in which the program of the selected processor is written. The processor produced by Microchip has an IDE called MPLABX in which its program can be written. The software development process was done on MPLABX IDE. First, timer settings were made, and interrupts were set. Then SPI communication, CAN communication and MODBUS communication software were developed to control the inputs and outputs.

ECU application and control testing is critical to ensure the reliable and efficient operation of vehicle and industrial systems. These processes provide a complete evaluation of the ECU in terms of functionality, performance, reliability and compatibility. Real-time application and testing of the ECU in vehicle control has been carried out. In the laboratory environment, the valve blocks that the vehicle will operate in real time were taken from the valve blocks and connected directly to the 4.5 Amperes digital outputs of the ECU. It was verified that each valve block draws approximately 2.7A current. Approximately 21600 switching under current of 2.7

Amperes was performed and no problems were encountered. Then, for communication tests, a logic analyzer that can decode communication protocols was connected to CANBUS and MODBUS lines and the data in the communication was checked and verified as successful.

UN ECE R10 (Rev.6) regulation was followed in EMC tests for ECU. This regulation describes two test environments: vehicle and vehicle subcomponents. These are conducted emission (CE) and radiated emission (RE) respectively. For the measurements where the system to be tested in the RE test is the vehicle, the limit values determined according to two different measurement distances, 3 and 10 meters, are specified in the UN ECE R10 document. In measurements for the vehicle sub-component, this distance is determined as 1 meter. The frequency range measured for the RE test is 30-1000 MHz. According to UN ECE R10, the limits of IEC61000-3-2, 3-3, and CISPR22 standards are valid for noise measurement limit values for CE test. When the results are analyzed, it is seen that the ECU has successfully passed the EMC tests.

Since the number of inputs and outputs of the designed ECU is higher than most of the global products, the resulting product can be used in many applications in the automotive industry and industry. The produced ECU can be used not only in road sweeping vehicles, but also as a battery pack in all electric and fossil fuel vehicles, as an engine control module (ECM) in fossil fuel engines, and as an ECU in the defense industry. It is open to future development with its open-source software and optional external world communication connections. In addition, this device, which can have GPS, WiFi communication, GPRS connections, is open to further strengthening. With the developing artificial intelligence techniques, this ECU can also be transformed into an intelligent control device in the future.



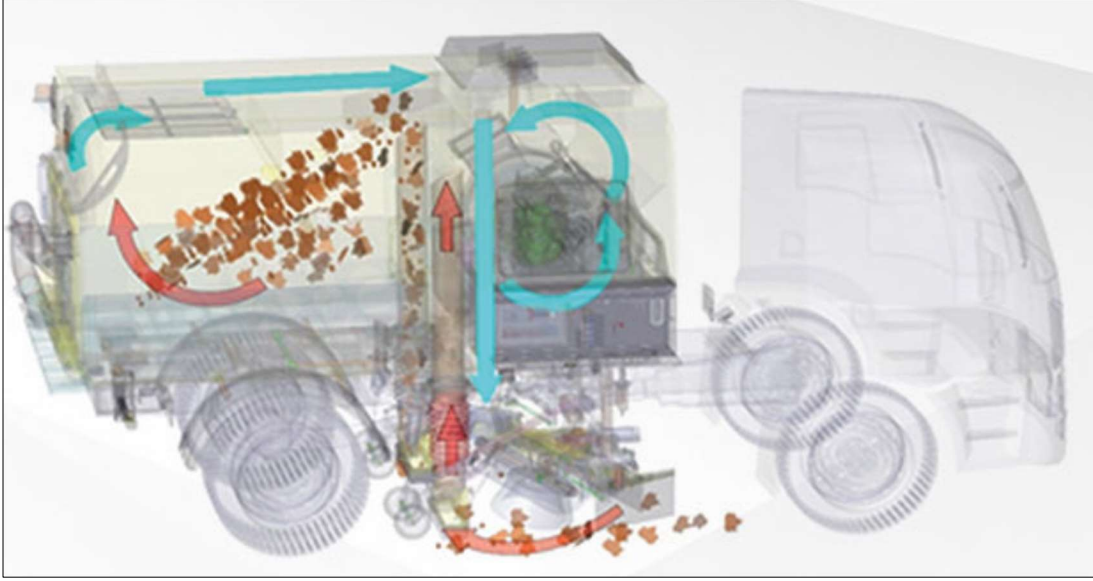
1. GİRİŞ

Yol süpürme makineleri, sokakları, otoyolları ve diğer asfalt yüzeyleri temizlemek için tasarlanmış fırçalar, emme veya toplama sistemleri ve su püskürtücülerle donatılmış araçlardır. Kentsel ortamlarda temizliğin, estetiğin ve güvenliğin korunmasında çok önemli bir rol oynarlar [1]. Yol süpürme makineleri, sokak ve yol temizliğinde ortam şartlarına göre verimli temizlik yapabilmeleri için yol ve ortam koşullarına göre değişik çeşitlerde üretilmektedirler [2]:

- Kamyon üstüne monte edilen vakumlu yol süpürme araçları
- Kompakt yol süpürme araçları
- Mekanik yol süpürge makineleri
- Rejeneratif havalı süpürme araçları
- Pist süpürme araçları

Yol süpürme makineleri, caddeler, otoparklar, havaalanları, endüstriyel tesisler ve şantiyeler olmak üzere çeşitli ortamlarda kullanılır. Özellikle yaya ve araç trafiğinin yoğun olduğu kentsel alanlarda kullanılmaları önemlidir [3], [4].

Günümüzde kullanılan kamyon üstü yol süpürme aracında süpürme işlemi için gerekli olan güç dizel motorlar tarafından sağlanmaktadır. Dizel motorlar fanı çevirerek vakum oluşmasında ve fırçalara güç verilmesinde görev yaparlar. Bununla birlikte fırçalar hidrolik motorlar ile tahrik edilmekte ve bu motorlara hidrolik pompalar güç sağlamaktadır. Fanın döndürülmesiyle birlikte oluşan vakum kazan içinde negatif basınç oluşturmaktadır. Vakum ile emiş hortumunda oluşan hava debisi yardımı ile yollardaki çöpler kazana çekilmektedir. [5]. Şekil 1.1’de kamyon üstü yol süpürme aracının çalışma prensibi görülmektedir.



Şekil 1.1. Yol süpürme aracı çalışma prensibi

Yol süpürme araçlarında vakum ve fırçalar bir kontrol ünitesi tarafından kontrol edilmektedir. İlk tasarımlarda bu kontroller röle ve buton kullanılarak manuel sistemler ile kontrol edilmekteydi. 2000’li yıllardan itibaren PLC kontrol sistemlerine geçildi. Günümüzde araç teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte elektronik kontrol ünitesi (EKÜ) kullanımına geçilmeye başlanmıştır.

Yol süpürme makineleri, geçmiş dönemlerden bu yana kamyon üstü ekipmanlar olarak tasarlanmış, son on yılda ise dar sokak aralarına da girebilen kompakt tasarımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu araçların fan ve yürüyüş motorları dizel yakıtlı olduklarından dolayı hem yüksek karbon emisyonu ve gürültü kirliliğine sebep olmakta hem de yüksek yakıt tüketimi ile çalışmaktadırlar. Günümüz elektrikli araçlar teknolojisinde Lityum-iyon pillerin sıkça kullanılmaya başlaması ile birlikte bu araçların %100 elektrikli olarak tasarlanıp, üretilmesi mümkün hale gelmiştir. Avrupa’da birçok devlet, ülkelerine dizel araçların girmesini engelleyen kanunları yürürlüğe koymuş ve böylece üreticileri sıfır emisyonlu araçlar üretmeye teşvik etmektedirler. Ülkemizde devlet teknolojiyi yakalamak, aynı zamanda ihracat gücümüzü arttırmak amacı ile elektrikli araç ve iş makineleri üretimlerini teşvik etmektedir.

Yol süpürme makinesi teknolojisi son yıllarda önemli gelişmeler göstermekte ve elektrikle çalışan süpürme makinelerine doğru kayda değer bir yöneliş göze çarpmaktadır. Bu yöneliş, kentsel temizlik operasyonları alanında sürdürülebilirlik ve çevre bilincinin gelişmesi sonucunda gerçekleşmiştir [6]. Elektrikli yol süpürme

araçlarında fan ve fırça tahrikinde kullanılan dizel motorlar yerini yüksek verimli elektrikli motorlara bırakmakta [7], bunun sonucunda enerji kaynağı olarak, değişik pil türlerinde üretilebilen batarya paketleri, kontrolör olarak ise EKÜ tercih edilmektedir.

Elektronik kontrol üniteleri, herhangi bir motorlu taşıttaki bir veya daha fazla elektrik sistemini veya alt sistemi kontrol eden otomotiv elektroniğinde kullanılan gömülü sistemlerdir [8]. Elektronik kontrol üniteleri esasen bir aracın işlevselliğinin farklı yönlerini izleyen, kontrol eden ve yöneten mini bilgisayarlardır. EKÜ araç boyunca yerleştirilmiş çeşitli sensörlerden alınan verileri gerçek zamanlı kararlar vermek için kullanır [9]. Aynı zamanda verileri analiz ederek, uygun komutları uygulayarak tüm otomotiv elektronik bileşenlerinin ve sistemlerinin uyum içinde çalışmasını sağlayarak sürücüye sorunsuz bir sürüş deneyimi sunarlar [10].

EKÜ teknolojisinin hızlı gelişimindeki temel faktörler; mikroişlemci teknolojisi, sensör teknolojisi ve yazılım alanlarındaki ilerlemelerdir. Bilgisayarlar ve sensörler daha küçük, daha güçlü hale geldikçe, EKÜ'ler verileri daha hızlı ve doğru bir şekilde işleyebilmiş ve hızlı yanıt verebilmiş, daha uygun fiyatlı hale geldikçe de ticarileşme süreci hızlanmıştır. Ayrıca, karmaşık algoritmaların ve yazılımların geliştirilmesi; EKÜ'lerin çoklu veri girdilerini analiz etmesine ve performansı gerçek zamanlı olarak optimize etmesine olanak sağlamıştır [11]. Günümüzde modern araçlar, motor kontrolü, şanzıman kontrolü ve klima kontrolü gibi belirli sistemleri yönetmekten sorumlu düzinelerce EKÜ ile donatılmıştır. Bu EKÜ'ler, aracın verimli, güvenli ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak için birlikte çalışırlar [12].

Bir araçta bulunan belli başlı elektronik kontrol üniteleri aşağıda sıralanmıştır:

- Motor Kontrol Modülü/Ünitesi (ECM/ECU): Yakıt enjeksiyonunu, ateşleme zamanlamasını ve diğer kritik parametreleri düzenleyerek motorun performansını yönetmekten sorumludur. Güç çıkışını, yakıt verimliliğini ve emisyonları optimize etmek için bu değişkenleri sürekli olarak ayarlar [13].
- Şanzıman Kontrol Modülü/Ünitesi (TCM/TCU): Şanzımanın çalışmasını kontrol ederek sorunsuz vites geçişleri ve verimli güç dağıtımını sağlar. Uygun vitesi ve vites değiştirme zamanlamasını belirlemek için çeşitli sensörlerden gelen girdileri alarak konforlu bir sürüş deneyimi sağlar.

- Fren Kontrol Ünitesi (BCU): Fren sistemini yöneterek optimum performans ve güvenlik sağlar. Fren sensörlerinden gelen girdileri alır ve frenleme sırasında tekerleklerin kilitlenmesini önlemek ve aracın dengesini korumak için fren basıncını modüle eder.
- Karoseri Kontrol Modülü (BCM): Araçtaki aydınlatma, kapı kilitleri, immobilizerler ve camlar gibi çeşitli elektrikli sistemler için merkezi kontrol ünitesi. Anahtarlardan ve sensörlerden gelen girdileri alır ve sürücünün komutlarını yerine getirmek için ilgili bileşenleri etkinleştirir.
- Süspansiyon Kontrol Modülü/Ünitesi (SCM/SCU): Hıza, direksiyon açısına vb. bağlı olarak yumuşak ve konforlu bir sürüş deneyimi sunmak için dört tekerlekteki süspansiyonu ve amortisörleri yönetir.
- İklim Kontrol Ünitesi (CCU) veya Çevre Kontrol Ünitesi: Araçtaki ısıtma, havalandırma ve klima (HVAC) sistemini yönetir. Sıcaklık sensörlerinden gelen girdileri alır ve konforlu bir kabin ortamı sağlamak için fan hızını, hava dağıtımını ve sıcaklığı ayarlar.
- Elektronik Servo Direksiyon Sistemi (EPS) veya Servo Direksiyon Modülleri (PSM'ler): Direksiyon kuvveti uygulamak için bir elektrik motoru kullanarak sürücünün aracı yönlendirmesine yardımcı olur (Pančík ve Beneš, 2018).

Elektrikli yol süpürme araçlarında aşağıda kısaca tanıtılan ek bir EKÜ devreye girer:

- Araç Kontrol Ünitesi (VCU): Elektrikli bir araçta merkezi kontrol birimi olarak görev yapar, çeşitli sistemlerin ve EKÜ'lerin çalışmasını koordine eder. Farklı sensörlerden gelen girdileri alır ve batarya, motor ve diğer bileşenler arasında sorunsuz iletişim ve entegrasyon sağlar.

Elektrikli araçlar daha yaygın hale geldikçe, EKÜ'ler gelişmeye devam ederek bu yenilikçi araçların verimliliğine, güvenliğine ve genel performansına katkıda bulunur. EKÜ güç dağıtımının yönetilmesinden enerji kullanımının optimize edilmesine kadar ulaşımın geleceğinin şekillenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Modern araçlarda her biri belirli işlevlerden sorumlu 100'den fazla EKÜ bulunabilmektedir ve bunlar günümüzün otomotiv dünyasının temel bileşenlerini oluşturmaktadır [15]. Şekil 1.2'de örnek bir EKÜ resmi gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Örnek bir elektronik kontrol ünitesi

EKÜ teknolojisi gelecekte daha da büyük ilerlemeler kaydedecektir. Elektrikli ve otonom araçların yükselişiyle birlikte EKÜ'ler elektrikli güç aktarma organları, otonom sürüş sistemleri ve araçtan araca iletişim gibi karmaşık sistemlerin yönetiminde gelecekte çok önemli bir rol oynayacaktır [16]. Ayrıca, yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmalarının entegrasyonu, EKÜ'lerin sürekli olarak öğrenmesini ve değişen yol koşullarına ve sürücü davranışlarına uyum sağlamasını mümkün kılacaktır. Otomotiv endüstrisi teknolojinin sınırlarını zorlamaya devam ettikçe, ulaşımın geleceğini şekillendirmede EKÜ'lerin rolü daha da önemli hale gelecektir [17].

Elektrikli yol süpürme araçları, temiz ve sürdürülebilir kentsel ortamların korunmasında çok önemli bir rol oynamaktadır ve elektrikle çalışan modellere geçiş, sürdürülebilir teknoloji alanında önemli bir ilerleme sunmaktadır. Elektrikli yol süpürme araçlarının etkinliği ve verimliliği büyük ölçüde EKÜ'lerin tasarımına ve performansına bağlıdır [18].

Bu çalışmada elektrikli yol süpürme araçları için elektronik kontrol ünitesi tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan kontrol ünitesi, VCU olarak görev yapmaktadır. Çalışma içinde prototip üretimi gerçekleştirilmiş ve üretilen EKÜ gerçek zamanlı araç üzerinde çalıştırılmıştır. Projede, önce elektrikli yol süpürme araç kontrol parametreleri, giriş çıkış sayıları, giriş çıkışların niteliği, haberleşme fonksiyonları gibi isterler ortaya çıkarılmış, daha sonra isterler doğrultusunda otomotiv elektroniği sınıfında işlemci

seçimi yapılmıştır. Sonrasında giriş ve çıkışlar için istenen güç değerleri için işlemci çıkışlarına güç katı devreleri tasarlanarak bu devrelerin önce simülasyon ortamında çalışması sağlanmış ve daha sonra kart tasarımı aşamasına geçilmiştir. Kart tasarlanıp prototipi üretildikten sonra yazılım işlemci geliştirme ortamında ve C dilinde gerçekleştirilmiş, doğrulama çalışmaları gerçek zamanlı araç üzerinde yapılmış ve proje tamamlanmıştır.



2. EKÜ YAPISI VE TASARIM PARAMETRELERİ

Elektronik kontrol üniteleri araçlarda farklı birimleri kontrol etmek üzere özel olarak tasarlanır ve kullanılırlar [19]. Değişik amaçlarla kullanılan bu kontrol üniteleri birbirleri ile uyum içinde çalışabilir veya hepsi bir araç kontrol ünitesi (VCU) üzerinden tek merkezden yönetilir. Tasarlanacak her elektronik kontrol ünitesi, tasarım parametreleri fonksiyonlarına göre değişkenlik gösterir. Genel olarak elektronik kontrol ünitelerinin tasarım parametreleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Giriş – Çıkış sayısı
- Giriş algılama tipi ve voltaj değeri
- Çıkış tipi (NPN-PNP), akım ve voltaj değerleri
- Haberleşme protokolleri
- Özel fonksiyon gereksinimleri

Çalışmada tasarlanan kontrol ünitesi, elektrikli bir yol süpürme aracının tüm fonksiyonlarının kontrol edilebileceği VCU olarak görev yapmaktadır. Çalışmada ilk olarak yol süpürme aracı ihtiyaçları çıkarılmış ve buna bağlı olarak mevcut VCU ürünler araştırılarak bir kıyaslama yapılmıştır.

2.1. Yol Süpürme Aracı Giriş Çıkış Gereksinimleri

Çalışmada sponsor olan ÇEKSAN Yol Süpürme Araçları A.Ş. firmasının ürettiği kamyon üstüne monte edilen %100 elektrikli vakumlu yol süpürme aracı kullanılmıştır. Bu aracın yardımcı motoru olarak geleneksel dizel motor yerine yeni nesil elektrik motoru tercih edilmiştir. Batarya paketinde Lityum-iyon pil hücreleri ve bunların üzerinde gelişmiş bir batarya yönetim sistemi (BMS) bulunmaktadır. Günümüzde elektrikli kamyonlar homologasyon süreçlerinde olduğundan ve ülkemizde aktif biçimde çalıştırılmadıklarından dolayı yol süpürme aracı olarak dizel yakıtlı standart bir kamyon kullanılmıştır. Şekil 2.1’de elektronik kontrol ünitesi tasarlanan araç resmi görünmektedir.



Şekil 2.1. Elektrikli yol süpürme aracı

Elektrikli yol süpürme aracının giriş çıkış gereksinimleri ve özellikleri Tablo 2.1 de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Araç giriş-çıkış gereksinim tablosu

Fonksiyon	Akım(A)	Gerilim(V)	Tip
Su Hız Kontrol Analog Referans	-	10	Analog Giriş
Fırça Hız Kontrol Analog Referans	-	10	Analog Giriş
Akü Voltajı Analog	-	10	Analog Giriş
Devir Saati Darbe (Ops)	-	12	Darbe Girişi
CANBUS- CAN-H	-	-	Haberleşme
CANBUS- CAN-L	-	-	Haberleşme
MODBUS- A	-	-	Haberleşme
MODBUS- B	-	-	Haberleşme
Ön Süpürme Hidrolik Valfi	2,7	12	PNP Çıkış
Hidrolik Ana Valf	2,7	12	PNP Çıkış
Su Pompası Hidrolik Valf	2,7	12	PNP Çıkış
Damper Kaldır Hidrolik Valf	2,7	12	PNP Çıkış
Damper İndir Hidrolik Valf	2,7	12	PNP Çıkış
Sol Süpürme Hidrolik Valf	2,7	12	PNP Çıkış
Sağ Süpürme Hidrolik Valf	2,7	12	PNP Çıkış
Arka Kapak Aç Hidrolik Valf	2,7	12	PNP Çıkış

Tablo 2.1.(Devamı) Araç giriş-çıkış gereksinim tablosu

Fonksiyon	Akım(A)	Gerilim(V)	Tip
Arka Kapak Kapat Hidrolik Valf	2,7	12	PNP Çıkış
Popet Hidrolik Valf (Damper Emniyet)	2,7	12	PNP Çıkış
Orta Fırça Sağ Sol Pnömatik Valf	0,04	12	PNP Çıkış
Orta Fırça Baskı Pnömatik Valf	0,04	12	PNP Çıkış
Sağ Fırça Yana Aç Pnömatik Valf	0,04	12	PNP Çıkış
Sol Fırça Yana Aç Pnömatik Valf	0,04	12	PNP Çıkış
Sağ Fırça Baskı Pnömatik Valf	0,04	12	PNP Çıkış
Sol Fırça Baskı Pnömatik Valf	0,04	12	PNP Çıkış
Sağ Vakum Ağzı Aç Pnömatik Valf	0,04	12	PNP Çıkış
Sol Vakum Ağzı Aç Pnömatik Valf	0,04	12	PNP Çıkış
Sağ Vakum Ağzı İndir Pnömatik Valf	0,04	12	PNP Çıkış
Sol Vakum Ağzı İndir Pnömatik Valf	0,04	12	PNP Çıkış
Pnömatik Yedek	0,04	12	PNP Çıkış
Pnömatik Yedek	0,04	12	PNP Çıkış
Pnömatik Yedek	0,04	12	PNP Çıkış
Pnömatik Yedek	0,04	12	PNP Çıkış
Sol Fırça Aydınlatma Aç	0,6	12	PNP Çıkış
Sağ Fırça Aydınlatma Aç	0,7	12	PNP Çıkış
Çift Yön Süpürme Hidrolik Valfi	2,7	12	PNP Çıkış
Basınçlı Yıkama Hidrolik Valfi	2,7	12	PNP Çıkış
Sol Yön Lambası	1,2	12	PNP Çıkış
Sağ Yön Lambası	1,3	12	PNP Çıkış
Sol Fırça Yer Değme Aç 1 (Ops)	2,7	12	PNP Çıkış
Sol Fırça Yer Değme Aç 2 (Ops)	2,7	12	PNP Çıkış
Sağ Fırça Yer Değme Aç 1 (Ops)	2,7	12	PNP Çıkış
Sağ Fırça Yer Değme Aç 2 (Ops)	2,7	12	PNP Çıkış
Orta Fırça Aşağıya	2,7	12	PNP Çıkış
Sol Fırça Yana Kapat (Ops)	2,7	12	PNP Çıkış
Sağ Fırça Yana Kapat (Ops)	2,7	12	PNP Çıkış
Tepe İkaz Lambası	0,8	12	PNP Çıkış

Tablo 2.1.(Devamı) Araç giriş-çıkış gereksinim tablosu

Fonksiyon	Akım(A)	Gerilim(V)	Tip
Siren	0,6	12	PNP Çıkış
Araç İçi Siren (Yedek)	0,6	12	PNP Çıkış
Motor Aydınlatma	0,6	12	PNP Çıkış
Su Seviyesi Düşük	-	12	PNP Giriş
Su Seviye Bitti Sistem Kapat	-	12	PNP Giriş
Arka Kapak Anahtar (Çöp Haznesi) A	-	12	PNP Giriş
Arka Kapak Anahtar (Çöp Haznesi) B	-	12	PNP Giriş
Yıkama Seçim Butonu 1. Konum	-	12	PNP Giriş
Arka Emiş Seçim Butonu 2. Konum	-	12	PNP Giriş
Yağ Seviyesi Düşük	-	12	PNP Giriş
Damper Anahtar	-	12	PNP Giriş
Yakıt Şamandırması	-	12	PNP Giriş
Geri Vites		12	PNP Giriş
Acil Stop Araç Dışı	-	12	PNP Giriş
Damper Kaldır Buton	-	12	PNP Giriş
Damper İndir Buton	-	12	PNP Giriş
Arka Kapak Aç Buton (Çöp Kapağı)	-	12	PNP Giriş
Arka Kapak Kapat Buton (Çöp Kapağı)	-	12	PNP Giriş
El Kumandası Yedek	-	12	PNP Giriş
Sol Veya Sağ Kapı Açık	-	12	PNP Giriş
Acil Stop Araç İçi	-	12	PNP Giriş
Sol Fırça Yön	-	12	PNP Giriş
Sağ Fırça Yön	-	12	PNP Giriş
Yağ Basıncı Düşük	-	12	PNP Giriş
Fırça Hız Kontrol Çıkış	3	12	PWM Çıkış
Su Hız Kontrol Çıkış	3	12	PWM Çıkış

Tablo 2.1 incelendiğinde 41 adet değişik akım değerlerinde 12V PNP dijital çıkış, 2 adet 12V PWM çıkış, 21 adet 12V PNP dijital giriş, 3 adet 10V analog giriş, 1 adet darbe girişi, CANBUS ve MODBUS olmak üzere 4 adet haberleşme bacaklarına ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır.

2.2. Elektronik Kontrol Üniteleri Araştırmaları

Projede giriş-çıkış gereksinimleri belirlendikten sonra bu gereksinimlere cevap veren EKÜ araştırması yapılmıştır. Piyasada sıkça kullanılan ürünlerin veri sayfaları incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. EKÜ kıyaslama tablosu

Marka	Inter Control digsy®	Danfoss MC088-015	Danfoss XL104-0000
Çalışma Voltajı	8-32V	9-36V	7-36V
Dijital Girişler	44	32	48
Analog Girişler	12	24	28
Darbe Okuma Girişi	4		
Dijital Çıkışlar	28 (2A/8,4A/12,2.5A/8)	32 (3A/26,6A/6)	40 (3A/34,4A/6)
PWM Çıkışları	16	10	8
Kullanılabilir Toplam Pin Sayısı	44	74	88
CAN BUS	3	2	3
Maksimum Çıkış Akımı		100A	40/20 A 70/85°C de
Maksimum İç Akım		24A	20/12 A 70/85°C de
Yaklaşık Fiyat	1100 USD	1800 USD	2000 USD

2.3. Tasarım Parametreleri

Çalışmadaki giriş-çıkış gereksinimleri ve piyasada çalışan yurtdışı menşeli EKÜ ürünleri incelendiğinde tasarlanacak EKÜ parametreleri Tablo 2.3’teki gibi olmasına karar verilmiştir.

Tablo 2.3. EKÜ tasarım parametreleri

Tasarım Parametreleri	Adet	Özellik
Dijital Girişler	24	NPN, PNP ayarlanabilmeli
Analog Girişler	4	
Sayıc1 Giriş1	1	
Dijital Çıkışlar	40	24 adet- 4A, 2 adet-6A, 12 adet-1A çıkış alınabilmeli
PWM Çıkışları	2	
Kullanılabilir Toplam Pin	78	
CANBUS	2	2 adet standart CAN 2.0B ve J1939 protokolü
MODBUS	1	
Çalışma Sıcaklığı		– 40°C ile 85°C
Standart		CE, ISO26262

3. DONANIM TASARIMI

Elektronik kart donanım tasarımı, elektronik devrelerin fiziksel yapısının oluşturulması ve optimize edilmesini içeren karmaşık bir süreçtir. Bu süreçte, işlemci ve komponent seçimleri, analog devre tasarımı, baskılı devre kartı (PCB) tasarımı birçok parametre göz önüne alınarak dikkatlice yapılmalıdır. Bu bölümde tasarım parametreleri belirlenen EKÜ 'nün donanım tasarımı adım adım gerçekleştirilmiştir.

3.1. İşlemci Seçimi

İşlemciler bir projenin beyni olduğu için işlemci seçimi oldukça önemlidir. Tasarlanan elektronik kontrol ünitesi otomotiv sektöründe kullanılacağından otomotiv üzerine özelleşmiş işlemciler hakkında aşağıda verilen araştırma yapılmıştır.

3.1.1. Otomotiv işlemcilerinde güvenlik ve standartlar

Otomotiv sektörü paydaşları bugüne kadar çeşitli standartlar geliştirmiştir. Bu standartlar üç üstün tasarım faktörü tarafından yönlendirilmektedir. Otomotiv sahipleri ürünlerinin en az on yıl dayanmasını beklemektedir. Elektronik bileşenler uzun ömür gereksinimini karşılamalıdır. Otomotiv elektroniği ayrıca parazitlere karşı da önlem almalıdır. Üçüncü faktör güvenilirlik ve sağlamlıktır. Bu nedenle bileşen veya sistemin titreşim, stres ve sıcaklık değişimleri gibi zorlayıcı tehlikelere dayanması beklenir [20].

AEC-Q100, otomotiv uygulamalarında kullanılan paketlenmiş entegre devreler için arıza mekanizmasına dayalı bir stres testi kalifikasyonudur. Bu spesifikasyon, Otomotiv Elektronik Konseyi (AEC) tarafından otomotiv endüstrisinde kullanılan paketlenmiş entegre devreler için yeterlilik gereksinimlerini ve prosedürlerini tanımlamak üzere oluşturulmuştur. AEC-Q100 özelliğine sahip olan bir cihazın, kalifikasyonunda belirtilen stres testlerini geçtiğini ve belirli bir kalite/güvenilirlik seviyesine ulaştığı anlaşılır [21].

ISO 26262, bir veya daha fazla elektrikli ve/veya elektronik (E/E) sistem içeren ve maksimum brüt araç kütlesi 3 500 kg'a kadar olan seri üretim binek araçlara monte edilen güvenlik amaçlı sistemlere uygulanmak üzere tasarlanmıştır.

Otomotiv Güvenliği Bütünlük Seviyesi (ASIL) işlevsel güvenliği “elektrikli veya elektronik sistemlerin hatalı çalışmasından kaynaklanan tehlikeler nedeniyle kabul edilemez risklerin olmaması” olarak tanımlar. ASIL'ler, otomotiv bileşenlerinin ISO 26262 ile uyumlu olması için zarar olasılığı ve kabul edilebilirliğine dayalı güvenlik gerekliliklerini belirler [22].

ISO 26262-A, B, C ve D tarafından tanımlanan dört ASIL vardır. ASIL A en düşük dereceyi, ASIL D ise en yüksek otomotiv risk derecesini temsil eder.

Hava yastıkları, kilitlenmeyi önleyici frenler ve hidrolik direksiyon gibi sistemler ASIL-D derecesine girer. Çünkü bunların arızalanmasıyla ilişkili riskler en yüksektir. Güvenlik spektrumunun diğer ucunda, arka lambalar gibi bileşenler yalnızca ASIL-A derecesi gerektirir. Farlar ve fren lambaları genellikle ASIL-B grubuna girerken, hız sabitleyici genellikle ASIL-C olur [23]. Detay bilgiler için [24] kaynak incelenebilir.

3.1.2. SPC5 32-bit otomotiv işlemcisi

STMicroelectronics, otomotiv EKÜ uygulamaları için bir dizi 32 bit mikrodeneleyici (MCU) üretmektedir. Bu yongalar, 128 KB'tan 10 MB'a kadar değışen gömülü flash bellekle birlikte teslim edilir. SPC5 MCU paketinde üç adede kadar işlem çekirdeği yer alır. Bunlar çoğunlukla motoru ve şasiyi, ayrıca gelişmiş sürücü destek sistemlerini (ADAS), sürücü güvenliğini ve pencere ve kapıları kontrol eden EKÜ' lerde bulunur. Çip ve bellek modülü 165 °C sıcaklığa kadar dayanabilir ve -40 °C'de bile sorunsuz çalışır. Bunlar otomotiv sınıfı CPU'lar olduğundan, ağır darbelere de dayanabilirler. Bu mikrodeneleyicilerden yapılan EKÜ'ler, Ethernet, Yerel Ara Bağlantı Ağı (LIN), FlexRay, DSPI ve CAN-FD gibi çok çeşitli veri bağlantı seçeneklerini de destekler [25].

3.1.3. MIPS32 ve MIPS64 mimarisi

MIPS mikrodeneleyicileri, RISC komut seti mimarisiyle birlikte gelir. Bunlar çoğunlukla gelişmiş ađ modülleri, küçük mikrodeneleyiciler, oyun konsolları, ofis otomasyon ürünleri ve set üstü kutular gibi elektronik cihazlarda bulunur. MIPS Technologies, otomotiv ECU'ları için MIPS 32-bit ve MIPS 64-bit MCU'lar üretmektedir. Bu CPU'lar kod açısından verimlidir, daha az güç gerektirir ve düşük maliyetlidir. Bazı MIPS 64 bit MCU'lar, ileri teknoloji otomotiv uygulamaları için idealdir, çünkü 64 bit olan daha yüksek işleme yeteneklerine ve grafik işlemeye ihtiyaç duyar. Araba üreticileri, araba içindeki elektronik kontrolleri otomatikleştirmek için

çoğunlukla MIPS 32 bit mikrodnetleyicileri kullanır. Örneğin, elektronik kapılar, kaputlar, ön cam silecekleri, otomatik camlar vb. MIPS32 mimarisi tabanlı CPU'larda çalışır. Bazı şasi ve aktarma organı elektronik sistemleri ayrıca MIPS 32 bit MCU içerir. Bilgi-eğlence sistemi, ADAS ve otonom sürüş gibi gelişmiş sistemler ise donanım hızlandırma ve nesne tanıma gerektirir. Bu nedenle, EKÜ'nün yüksek hızlı bir ortamda doğru karar verebilmesi için daha fazla işlem gücüne ihtiyacı vardır. MIPS 64-bit MCU'lar bu tür uygulamalar için idealdir.

3.1.4. Motor EKÜ'leri için 16-bit mikrodnetleyiciler

Microchip Technology Inc. ayrıca araba ECU uygulamaları için çeşitli mikro denetleyiciler ve mikro işlemciler üretmektedir ve 16-bit MCU'lar öncelikle aktarma organı elektronik kontrol ünitelerinde mevcuttur. CAN-FD, CAN, USB, LIN ve SENT veri iletişim protokolleri ile uyumludurlar. 16-bit MCU, temel olarak motor kontrolü, dijital güç dönüştürme, hassas hız ve tork kontrolü için çeşitli çevre birimlerine sahip olan bir mikro bilgisayardır. ECU; MCU'ya ek motor kontrolü konusunda yardımcı olan Dijital Sinyal Denetleyicileri (DSC) içerir. Elektrikli arabalar, içten yanmalı motorlu otomobiller veya hibrit elektrikli araçlar gibi çeşitli araba türleri, 16-bit MCU'lara ve DSC'lere dayalı birkaç ECU kullanır. Bu ECU'ların mikrodnetleyicisi, CPU ve bellek modülünün -40 °C ila 150 °C sıcaklık aralığında oldukça kararlı olduğunu gösteren AEC Q100 Grade 0 sertifikasına sahiptir. Mikrobilgisayar sistemi ani şoklar, yüksek hızlı hareketlilik, yağ ve gres birikimi gibi zorlu koşullara dayanabilir. 16 bit MCU, motorları, aktüatörleri, turbo şarj tahliye kapaklarını, EGR valflerini ve yağ/su pompalarını kontrol etmek için algoritmalar çalıştırabilir.

3.1.5. 8-Bit mikrodnetleyiciler

8-Bit MCU'lar, küçük program kodlarını çalıştırması gereken EKÜ'ler için idealdir. PIC ve AVR MCU'lar Microchip Technology Inc.'in markalarıdır ve analog sensörleri, dijital sensörleri ve kapasitif dokunmatik işlevleri kontrol eden çeşitli araba EKÜ'lerinde mevcuttur. Günümüzde modern otomobiller, enerji verimliliği için LED aydınlatma sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu LED dizilerini kontrol eden bir veya iki EKÜ bulunur ve bu EKÜ'lerin çoğu 8-Bit mikrodnetleyici birimlerini temel alır. 8-Bit MCU'lar, çekirdekten bağımsız çevre birimlerinden (CIP) oluştukları için düşük güç tüketirler. Bazı EKÜ işlevleri her zaman sürekli olarak işlemci kullanımını gerektirmeyebilir. Burada CIP'ler hayati bir rol oynamaktadır. Bu mikrobilgisayarlar ayrıca akıllı analog çevre birimleriyle birlikte tüketiciye teslim edilir ve böylece EKÜ

analogdan dijital sinyal çevirisi yardımı ile analog sensörleri kontrol edebilir. Dokunmaya duyarlı araç içi işlevler için bu çipler ayrıca kapasitif dokunuşu tanıyan ve ölçmesine yardımcı olan çevresel bir dokunmatik denetleyici içerir.

3.1.6. S32K otomotiv işlemcileri

S32K mikrodnetleyiciler, NXP Semiconductors üretimidir ve bunlar Arm Cortex-M serisi RISC mimarisi üzerinde tasarlanmıştır. Bu tür MCU'ları temel alan EKÜ'ler, akıllı arabalar için gelişmiş yazılım, güvenlik ve güvenlik özellikleri sunar. Bu MCU'lar ASIL B/D sertifikalarını geçer ve bu nedenle gövdeyi, elektrik ünitesini ve bölge kontrollerini kontrol edecek çeşitli araba EKÜ'leri için uygundur. S32K MCU'ların çoğu AEC-Q100 Grade 0, Grade 1 ve Grade 2 sertifikalarını da geçer, böylece otomobil üreticileri işlemcileri yüksek sıcaklığa maruz kalan zorlu bir ortamda kullanabilir. S32K MCU'lar, çift çekirdekli, tek çekirdekli ve ardışık çekirdekli gibi değişken işlemci çekirdekleriyle birlikte tüketiciye teslim edilir. Flash bellek kapasitesi ve pin sayısı işlemci ise çekirdeğine göre değişir.

3.1.7. 32-Bit AURIX üç çekirdekli mikrodnetleyici

Infineon Technologies AG, bir mikro denetleyici biriminde bir mikro denetleyici, bir RISC işlemci çekirdeği ve bir DSP'den oluşan araç EKÜ'leri için gömülü bir sistem üretmektedir. Bu MCU'lar, 32-Bit AURIX TriCore Mikrodnetleyiciler olarak tanınırlar. Bunlar içten yanmalı motoru, şanzıman kontrol ünitelerini ve elektrikli direksiyon sistemlerini kontrol eden EKÜ'lerde sıklıkla mevcuttur. Motor ve şanzımanın yanı sıra 32-Bit AURIX TriCore MCU tabanlı EKÜ'ler, ADAS, otonom sürüş kontrolü, sürüş güvenliği yönetimi ve araç içi bağlantılı hizmet otomasyonu için idealdir. Bu CPU'lar, 133 MHz ila 300 MHz işlem hızı aralığında üretilir. MCU'lar, 0,5 MB'tan 16 MB'a kadar minimum flash bellek imkanına sahiptir. Yukarıda belirtilen diğer MCU'larla karşılaştırıldığında bunlar, özel bir SRAM'a sahip olmaları nedeniyle daha güçlüdür. Veri bağlantısı açısından, mikro bilgisayarlar CAN, LIN, FlexRay ve SPI protokolleriyle uyumludur.

3.1.8. İşlemci seçim kriterleri

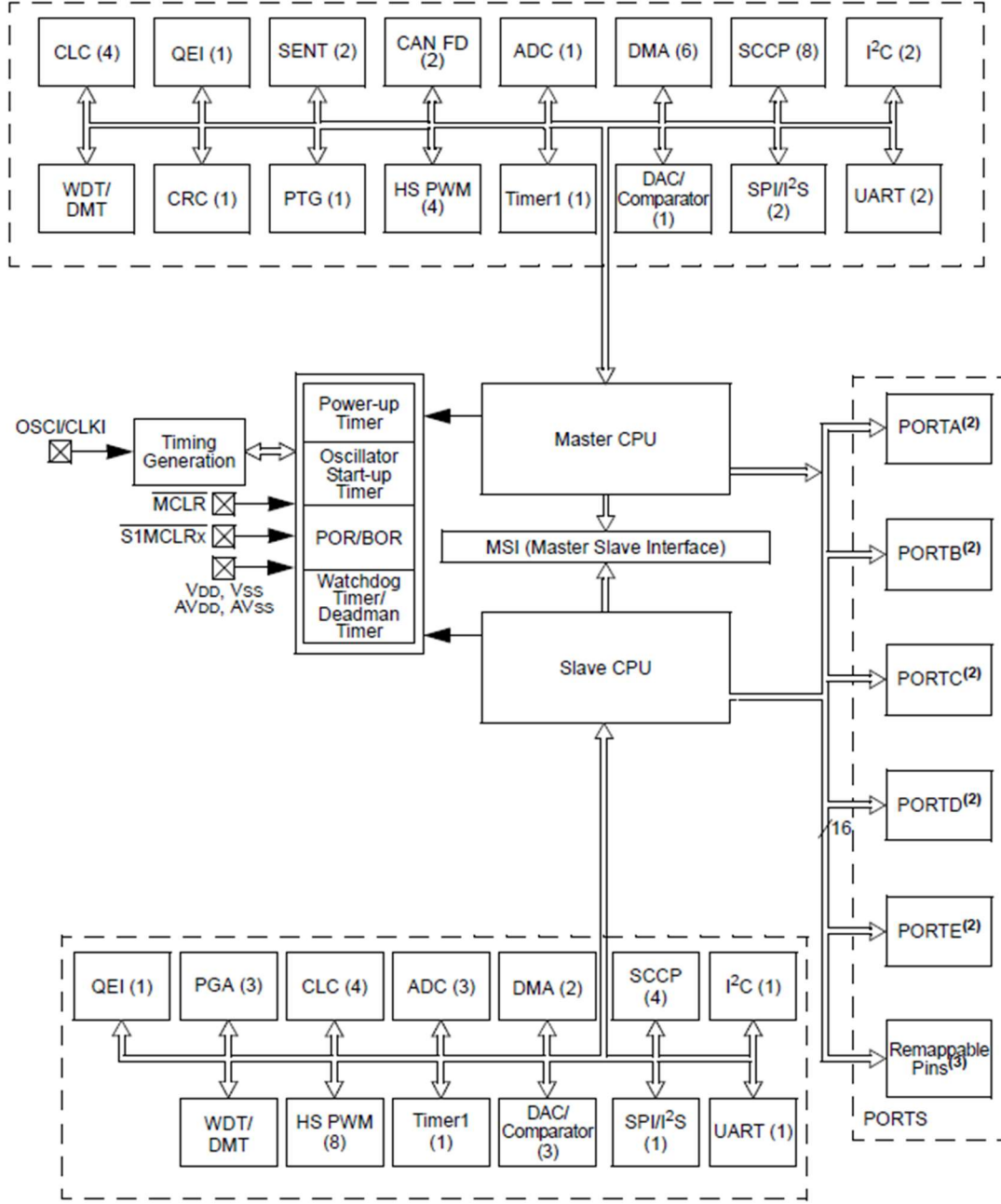
Tasarım parametrelerinin belirlenmesi sonrası, donanım tasarımının en önemli noktası işlemci seçimine geçilmiştir. Seçilecek işlemci de aşağıda verilen parametreler göz önüne alınacaktır.

- ISO26262-ASIL-B, ve AEC-Q100 işlemci güvenlik standartlarında olmalı.

- Çift CANBUS desteklemeli.
- Giriş – Çıkış sayısı yeterli olmalı
- Piyasada bulunabilir olmalı, eski seri işlemciler olmamalı
- Uygun fiyatlı olmalı.
- Tedarik problemi olmamalı, stoklu ürünler tercih edilmeli
- Programlama arayüzü kolay olmalı, işlemci yaygın kütüphanelerine erişim bulunmalı.

Bu aşamada otomotivde kullanılabilecek işlemciler araştırılarak Tablo 3.1 oluşturulmuştur.

Tablo 3.1'e bakıldığında fiyat/performans ve stokta bulunabilirliği sebebi ile prototip için Microchip firmasının ürettiği dsPIC33CH512MP508 kodlu entegre seçilmiştir. Şekil 3.1'de seçilen işlemcinin iç yapısının blok diyagramı görülmektedir. Donanım tasarımı bu işlemci üzerine yapılmıştır. Seçilen entegrenin genel özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Detaylı veri sayfalarına [26] üzerinden ulaşılabilir.



Şekil 3.1. dsPIC33CH512MP508 işlemci iç yapısı ve çevrebirimleri

Tablo 3.1. Araç giriş-çıkış gereksinim tablosu

Kod	TMS320F2837xD	F28384DPTPQR	dsPIC33CH512 MP508	ATSAMV71Q21	SPC58NH92E7	SPC5644BF0ML U8	R5F113TJLFB# H5	R7F701278EAF P
Marka	Texas Instruments	Texas Instruments	Microchip	Microchip	ST	NXP	RENESAS	RENESAS
Çekirdek	2	2	2	1	3	1	1	1
Giriş-Çıkış Sayısı	97	97	69	114	154	147	147	81
Hız	200 MHz	200 MHz	180 MHz	300 MHz	200 MHz	120 MHz	120 MHz	240 MHz
CANBUS	2	3	2	2	16	6	6	4
ADC Sayısı	24	24	34	24	96	32	32	30
DAC çıkışı	3	3	1	2	0	0	1	0
PWM Çıkışı	24	32	24	16	16	16	24	24
Flash Hafıza	512kb	1536kb	512kb	2048kb	10240kb	1564kb	256kb	2048kb
RAM Hafıza	172kb	338kb	32kb	384kb	1280kb	128kb	128kb	64kb
Kılıf	176-HLQFP	176-HLQFP	80-TQFP	144TFBGA	176-LQFP	176-LQFP	176-LQFP	144-LQFP
Güvenlik	ISO26262 ASIL D, AEC Q100	ISO26262-2, AEC Q101	ISO26262 ASIL B AEC Q100	AEC-Q100 grade 2	ASIL-D of ISO 26262	ISO 26262	Automotive Grade	ASIL-C of ISO 26262
Stok	24 hafta	28 hafta	Stok	Stok	48 hafta	Stok	36 hafta	18 hafta
Fiyat	29 USD	30 USD	7.96 USD	22.7 USD	42 USD	27 USD	32 USD	24.3 USD
Geliştirme Kartı	LAUNCHXL- F28379D - 60 USD		DM330028-2 - 55 USD	ATSAMV71- XULT -300 USD				

3.2. Komponent Seçimi

Komponent seçimi, elektronik devre tasarımının en kritik noktalarından biridir ve devrenin genel performansını, güvenilirliğini, maliyetini doğrudan etkiler. Farklı seçimler, devrenin davranışını büyük ölçüde etkileyebilecek tolerans, sıcaklık katsayısı ve frekans tepkisi gibi farklı özelliklere doğrudan etki eder. Bu nedenle, doğru bileşenlerin seçilmesi, devrenin amaçlandığı gibi çalışmasını ve istenen özellikleri karşılamasını sağlamak için oldukça önemlidir.

Performansla ilgili konulara ek olarak komponent seçimi, devrenin genel güvenilirliğinin belirlenmesinde de önemli bir rol oynar. Uygun değerlere ve özelliklere sahip bileşenlerin seçilmesi, erken arızaların önlenmesine yardımcı olabilir ve devrenin uzun ömürlü olmasını sağlayabilir [27]. Devrenin gereksinimlerine uygun olmayan bileşenler aşırı ısınmaya, gerilim yükselmelerine, arızalara, hatta devrenin hasar görmesine yol açabilir. Bu nedenle, devrenin güvenilirliğini sağlamak için bileşenlerin seçiminde dikkatli olunmalıdır.

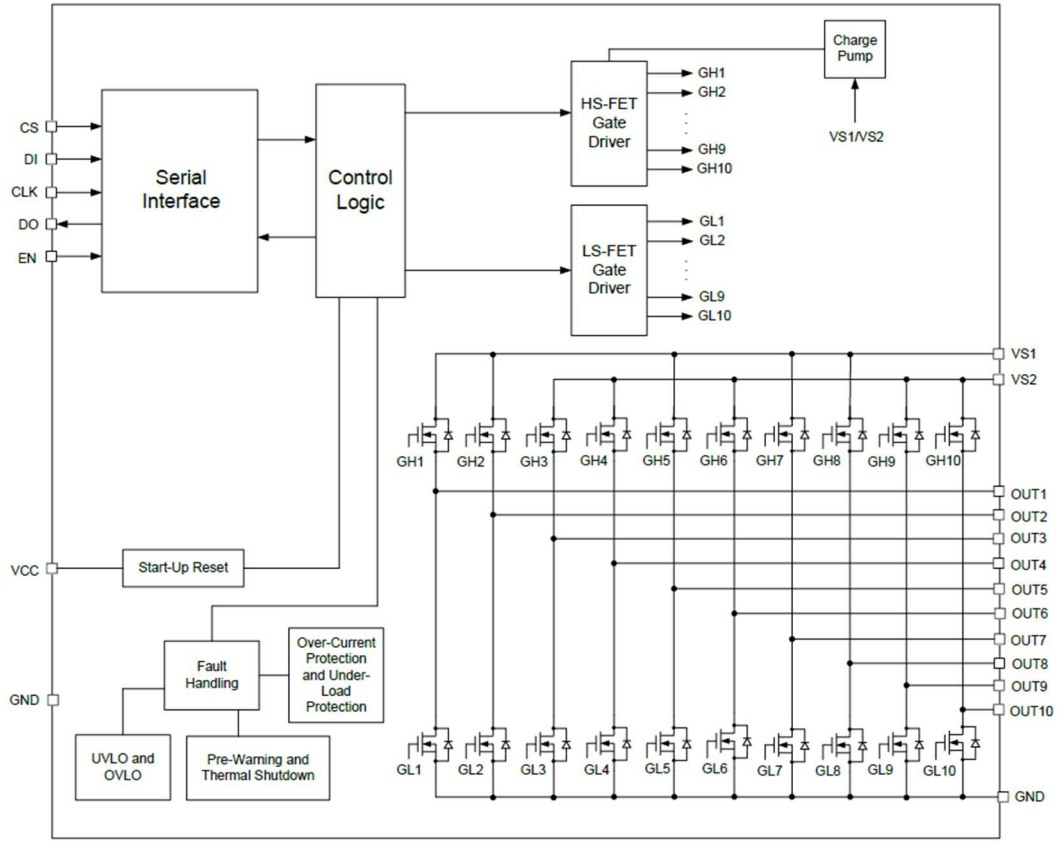
Bileşenlerin maliyeti de elektronik devre tasarımında dikkate alınması gereken önemli faktördür. Devrenin toplam maliyetini düşürmek için daha ucuz bileşenleri tercih etmek cazip gelse de bu durum genellikle düşük kalite ve performansla sonuçlanabilir. Güvenilirlikten ödün vermeden devrenin istenen özellikleri karşıladığından emin olmak için bileşenleri seçerken maliyet ve kalite arasında bir denge kurmak önemlidir. Sonuç olarak bileşenlerin seçimi; performans, güvenilirlik ve maliyet faktörlerinin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini gerektiren tasarım sürecinin kritik bir adımdır [28].

Yapılan çalışmada EKÜ tasarım parametreleri ve seçilen işlemcinin giriş-çıkış bacak sayısı incelendiğinde bacak sayısının yeterli olmadığı görülmüştür. Bu sorunu çözmek için yapılan araştırmalar neticesinde yenilikçi ve işlemciyi yormayan harici komponentler kullanarak giriş çıkış sayısı arttırılma yoluna gidilmiştir.

3.2.1. MP6527 – 10 Kanal yarım köprü çıkış entegresi

Projede ihtiyaç duyulan 12 adet 0,8 Amper değerinde bir çıkış elde etmek için kuvvetlendirme devresine ihtiyaç duymayan SPI seri haberleşme protokolü ile çıkışları bağımsız veya grup olarak programlanabilen MP6527 entegresi kullanımı tercih edilmiştir.

MP6527, entegre güç MOSFET'lerine sahip on kanallı, yarım köprü DMOS çıkış sürücüsüdür. Geniş bir 5,5V ila 40V giriş voltajı (VIN) aralığında 0,8A'ya kadar çıkış akımı (IOUT) elde edebilir. Cihazın on yarım köprüsü, standart bir seri veri arayüzü aracılığıyla ayrı ayrı kontrol edilebilir ve her kanalın kısa devre koruma, yük algılama gibi çeşitli teşhis işlevleri vardır. MP6527, bekleme modunda çok düşük akıma (IQ) sahiptir. Tam koruma özellikleri arasında kısa devre koruması (SCP), aşırı sıcaklık koruması (OTP), düşük gerilim kilitleme (UVLO) koruması, aşırı gerilim kilitleme (OVLO) koruması ve ön uyarı ile termal kapatma özelliği bulunur. MP6527, minimum sayıda hazır, standart harici bileşen gerektirir ve TSSOP-28EP paketinde bu özellikler mevcuttur [29]. MP6527 entegresinin iç yapısı Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

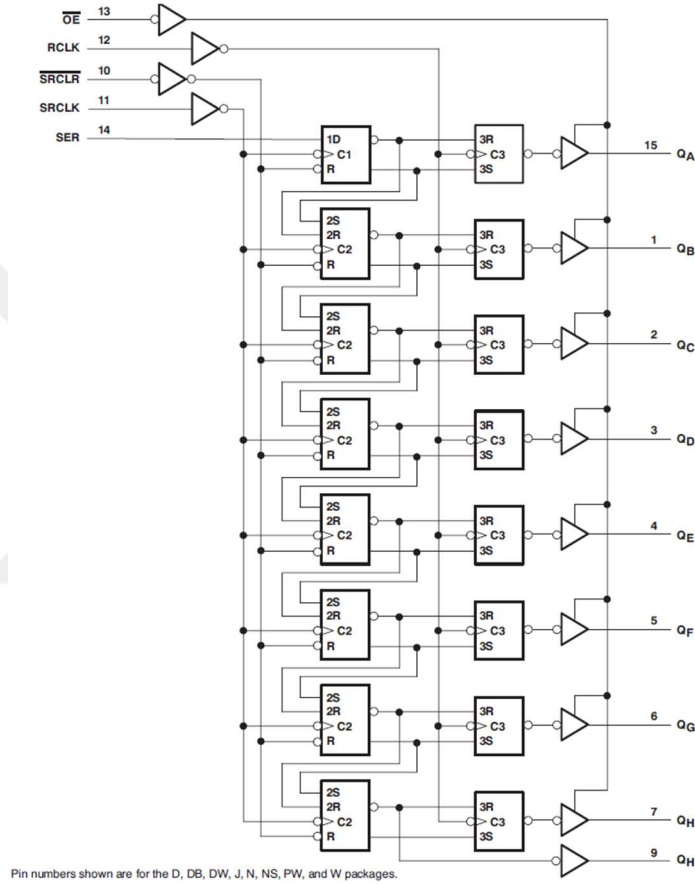


Şekil 3.2. MP6527 entegresi iç yapısı

3.2.2. 74HC595 – 8 bit kaydırmalı yazmaç

Projede ihtiyaç duyulan yüksek akımlı sabit çıkışlar için direkt işlemci bacaklarını kullanmak yerine minimum işlemci bacağı kullanarak çok çıkış elde edilebilen, yine seri haberleşme ile çıkışları ayarlanabilen 74HC595 8 bit kaydırmalı yazmaç entegresi tercih edilmiştir. Bu entegreler birbirlerine seri bağlanarak çıkışta 16,32,64 bit elde edilebilmektedir. Yapılan çalışmada 2 adet entegre seri bağlanarak 16 bit, 16 adet çıkış

sadece 4 bacak ile kontrol edilmiştir. 74HC595 entegreleri 8 bit D tipi depolama kaydını besleyen 8 bit, seri girişli, paralel çıkışlı bir kaydırma kaydı içerir. Depolama kaydının paralel 3 durumlu çıkışları vardır. Hem kaydırma hem de depolama kaydı için ayrı darbeler sağlanır. Kaydırma yazmacının doğrudan geçersiz kılma açık (SRCLR) girişi, seri (SER) girişi ve basamaklandırma için seri çıkışları vardır. Çıkış etkinleştirme (OE) girişi yüksek olduğunda, çıkışlar yüksek empedans gösterme özelliğine sahiptir [30]. Bu entegrenin iç yapısı Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



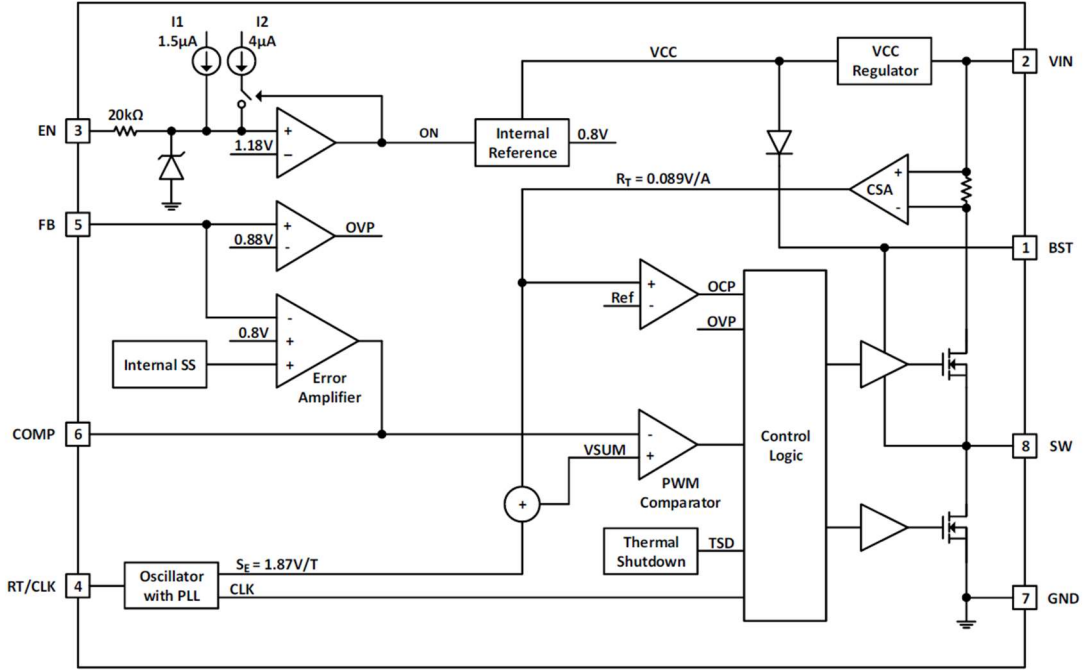
Şekil 3.3. 74HC595 entegresi iç yapısı

3.2.3. AP64100 – Anahtarlama güç regülatörü

Yapılan çalışmada giriş gerilimini, işlemci ve diğer entegrelerin çalışma düzeyine indirmek için AP64100 anahtarlama güç dönüştürücü tercih edilmiştir.

AP64100, 3,8V ila 40V arasında geniş bir giriş gerilim aralığına sahip 1A değerinde, senkronize bir buck dönüştürücüdür. Cihaz, yüksek verimli aşağı DA-DA dönüşümü sağlamak için 150mΩ yüksek taraf güç MOSFET'i ve 80mΩ düşük taraf güç MOSFET'i içerir. AP64100 cihazı, tepe akım modu kontrol yöntemini kullandığı için minimum sayıda harici bileşen kullanır. AP64100 tasarımı EMI sorununa karşı

optimize edilmiştir. Cihaz, MOSFET açma ve kapama sürelerinden ödün vermeden anahtarlama düğümü çınlamasına direnmek için tescilli bir kapı sürücüsü şemasına sahiptir. Bu tasarım sayesinde MOSFET anahtarlamalarının neden olduğu yüksek frekanslı EMI gürültüsü azaltılmıştır. AP64100 ayrıca, yayılan enerjinin önemli bir süre boyunca herhangi bir frekansta kalmasına izin vermeyerek EMI'yi azaltan $\pm 6\%$ 'lık bir anahtarlama frekansı titreşimli Frekans Yayılım Spektrumuna (FSS) da sahiptir [31]. Entegre iç yapısı Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



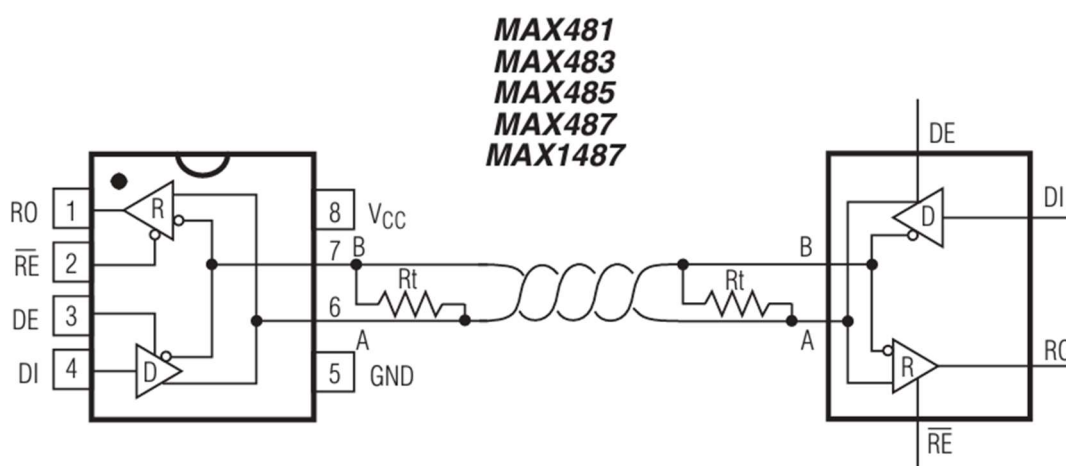
Şekil 3.4. AP64100 entegresi iç yapısı

3.2.4. SN65HVD232 – CANBUS alıcı-verici haberleşme entegresi

SN65HVD232, Texas Instruments firmasının ürettiği CAN hattı alıcı verici entegresidir ve saniyede 1 megabite (Mbps) kadar veri hızları için tasarlanmıştır. Bu entegre CAN ağının sağlamlığını sağlayan birçok koruma özelliği içerir. SN65HVD23x alıcı-vericileri, hem Texas Instruments 3,3 V μ P'ler, MCU'lar ve CAN denetleyicili DSP'ler veya eşdeğer protokol denetleyici cihazlarla birlikte kullanılmak üzere [32] hemde ISO 11898 standardına uygun olarak CAN seri iletişim fiziksel katmanını kullanan uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır [33], [34]. Eş değeri devresi Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



MAX485 entegresi Maxim Integrated firması tarafından üretilmiş RS485 sürücüsüdür. 2.5 Mbps hıza kadar çıkabilir [35]. Aynı hat üzerinde 128 adet entegre birbirine bağlı olarak çalışabilir. Bağlantı ve iç yapısı Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. MAX485 iç yapısı ve bağlantısı

3.2.6. CD4504BM – Dijital seviye çevirici

CD4504BM entegresi Texas Instruments firması tarafından üretilmiş dijital seviye üretici entegredir. Bu entegre, CMOS ve TTL olmak üzere iki farklı enerji girişine sahiptir. Bu iki farklı seviye için lojik gerilim seviye dönüşümü yaparlar. CMOS girişi TTL çıkışa veya TTL çıkışı CMOS çıkışına dönüştürülebilir. Bu entegre projede giriş gerilim seviyelerini işlemci seviyesine dönüştürmek amaçlı kullanılmıştır.

3.2.7. Pasif komponentler

Projede aktif komponentler hariç diğer tüm direnç, kapasitör, indüktör gibi pasif elemanlar otomotiv sınıfı AEC-Q100 standardında seçilmiştir. Aynı zamanda EKÜ’lerde konnektör seçimi oldukça önemlidir. EKÜ’ler için özelleşmiş otomotiv konnektörleri bulunmaktadır. EKÜ’ler dış ortamda, yüksek sıcaklık ve titreşim altında çalıştıkları için su geçirmez bir alüminyum kutu içinde muhafaza edilirler. Su geçirmezlik özelliği için konnektörler de bu kutuya uygun olarak seçilmeli veya özel tasarım yapılmalıdır. Piyasada özellikle otomotiv için üretilmiş hazır konnektör ve kutular bulunmaktadır. Bu nedenle projede giriş çıkış pin yoğunluğu dikkate alınarak en yüksek sayıda pin kullanımı sağlayan 121 pin Volkswagen marka araçların kullandığı konnektör ve alüminyum kutu tercih edilmiştir.

3.3. Şematik Tasarım

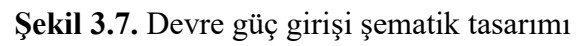
İşlemci ve komponentlerin seçimlerinden sonra komponent veri sayfaları dikkatlice incelenerek kart çizimi için şematik tasarıma geçilmiştir.

3.3.1. Devre güç girişi

Projede genel araçlarda kullanımı olabilecek EKÜ, standart 12V DA veya kamyon/otobüsler için 24 V DA gerilim ile çalışabilmelidir. Araçların yolda akü şarj gerilimleri de dikkate alındığında maksimum 28.5 V DA giriş gerilimi olacaktır. Bu giriş gerilimini komponentlerin besleme değerleri olan 5 V seviyesine düşürmek için AP64100 kodlu entegre seçilmiştir. Buna ek olarak işlemciyi besleme amacıyla 5V seviyesini işlemciyi besleme amacıyla 3.3V seviyesine düşürmek içinde lineer gerilim düşürücü olan LD1117S33 ürünü tercih edilmiştir. Girişte montaj hatası kaynaklı ters gerilim girişi yapıldığında devrenin arızalanmasını önlemek amacı ile devreye seri bir diyot bağlanmıştır. Aynı zamanda aşırı gerilim beslemelerinde de arızalanmayı önleme amacı ile girişe seri diyota paralel bir varistör eklenmiştir. EMC uyumluluğu için aynı zamanda devreye paralel bağlı bir TVS diyot eklenmiştir. Yine EMC

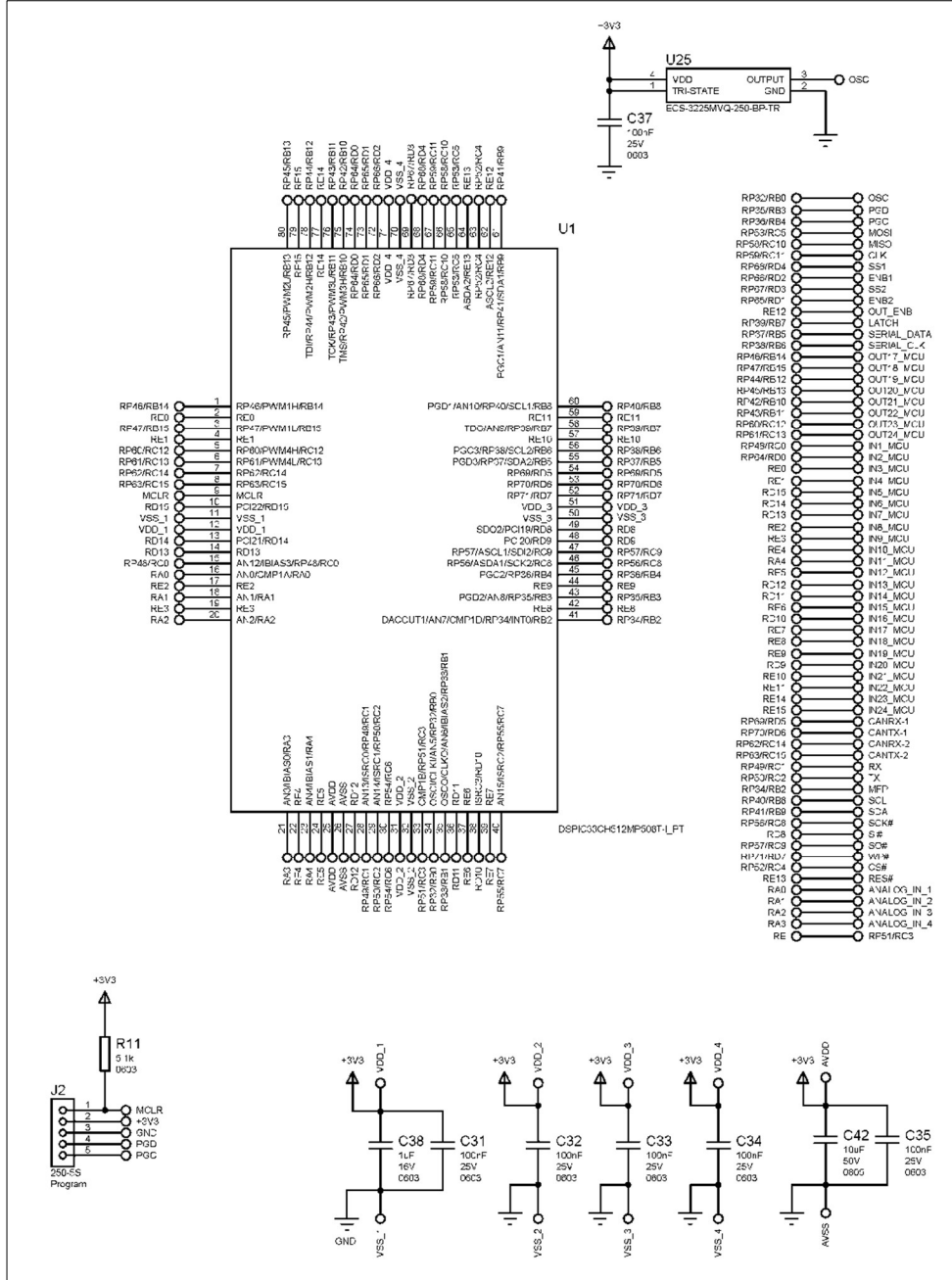
uyumluluğu açısından entegre devrelerin veri sayfalarında tavsiye edilen tasarıma ek olarak girişe ferrit ip indüktör ve değişken değerlerde paralel kapasiteler bağlanmıştır. Tasarlanan güç giriş devresi şekil 3.7’de gösterilmiştir.





3.3.2. İşlemci

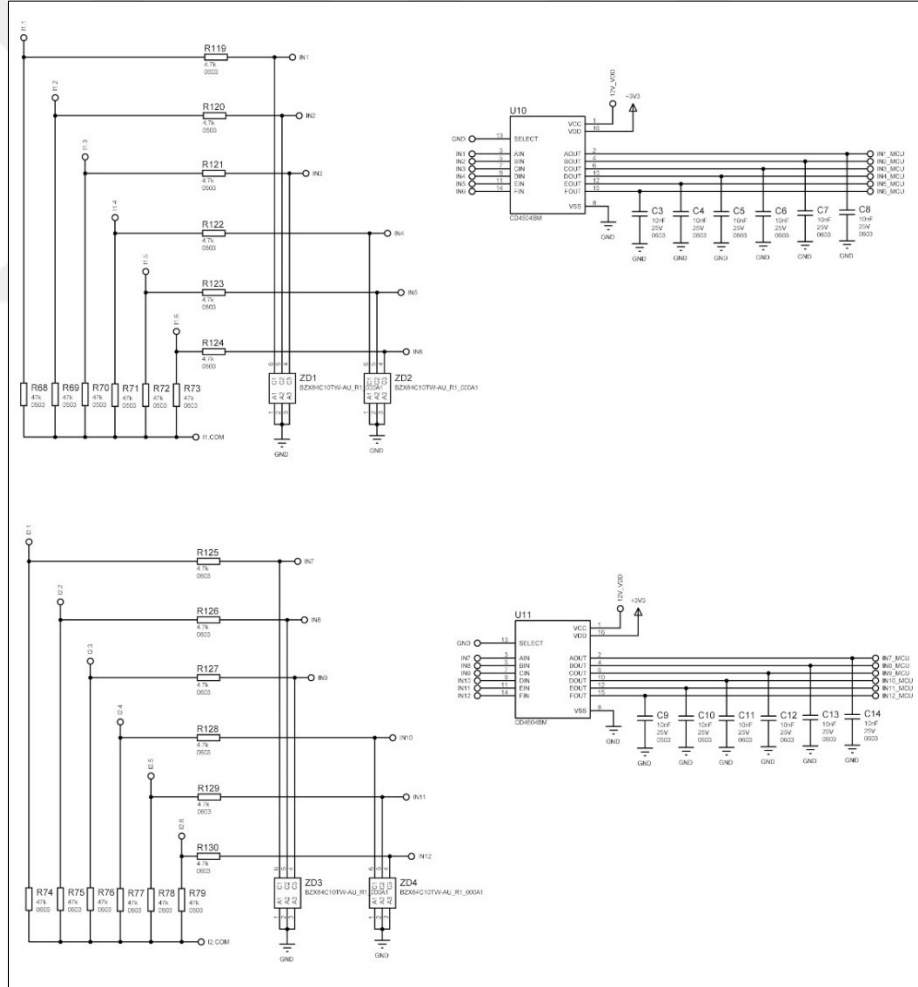
Devre tasarımında işlemci için 25 MHz osilatör kullanılmış, işlemci veri sayfalarında önerildiği şekilde uygun yerlere gürültü engelleyici kapasitörler yerleştirilmiştir. İşlemcinin pinlerine EKÜ fonksiyonlarının girişleri de yapılmıştır. İşlemci şematik çizimi Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. İşlemci şematik tasarımı

3.3.3. Dijital girişler

Projede giriş gerilim seviyelerini işlemci seviyesine dönüştürmek amaçlı CD4504BM kodlu entegre kullanılmıştır. Dijital sinyaller bu entegreye girmeden önce direnç ve zener diyot ile koruma altına alınmıştır. CD4504 entegresinin sinyal seviye dönüştürmesi için 6 adet kanalı bulunmaktadır. Projede 24 giriş ihtiyaç olduğundan 4 adet dönüştürücü entegre kullanılmıştır. Girişlerin NPN veya PNP olarak ayarlanabilmesi için tüm girişler 47k ohm direnç ile bir ortak (Common) bacağına bağlanmıştır. Bu ortak bacağı dışarıdan GND bağlandığında girişler PNP olarak, VDD bağlandığında ise girişler NPN olacak şekilde konfigüre edilebilir. Her bir giriş yine 4.7k ohm seri direnç ile zener diyota bağlanmış, 60V a kadar yüksek bir gerilim girişi devreye zarar vermeden koruma amaçlanmıştır. Dijital girişlerin şematik tasarımı Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Dijital girişler şematik tasarımı

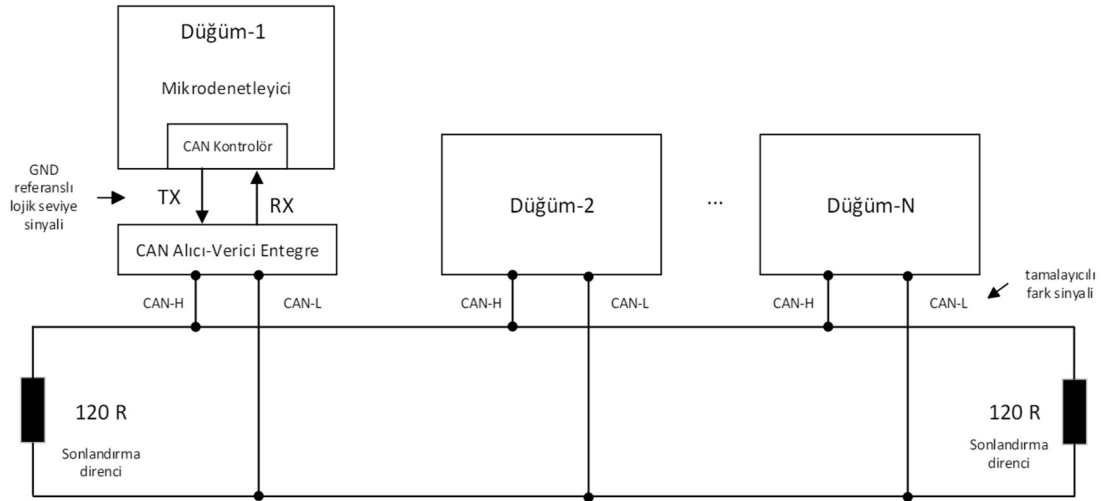
3.3.4. Haberleşme

Tasarlanacak olan EKÜ'nün ekranı ve diğer araç EKÜ'leri gözetildiğinde parametre ayarı yapılacak ve diagnostik için kullanılacak CAN hattı için 2 adet bağımsız CAN kullanımına karar verilmiştir. Bununla birlikte endüstriyel cihazlarla da haberleşme kabiliyeti kazandırmak için projede 1 adet RS485 MODBUS RTU kullanılmıştır.

3.3.4.1. CAN haberleşme katmanı

CAN haberleşme protokolü 1983 yılında otomotiv sektöründe kullanılmak üzere araçlarda bulunan kablo ağının azaltılması amacıyla Robert Bosch tarafından geliştirilmeye başlanmıştır ve resmi olarak 1986 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Bu protokol sayesinde motor, frenler, klima, çeşitli sensörler gibi birimler arasında çok sayıda kablo yerine sadece iki adet kablo kullanılmaktadır. CAN protokolü başta otomotiv alanında kullanılsa da veri iletim hızı, hata oranının düşüklüğü ve uygulama kolaylığından dolayı mikroişlemcili sistemlerde de çoğu kişi tarafından bireysel uygulamalarda kullanılmaktadır. İletişim hızı 40 metrede 1 Mbit/sn iken 1km uzaklıklarda 40 kbit/sn seviyesine düşmektedir.

CAN haberleşme fiziksel katmanı CAN-H ve CAN-L adlı iki kablo ile düğümlerin ortak hatta bağlanması ile oluşur. Bu yapıda ISO11898 standardı olarak CAN-H ve CAN-L ara bağlantısı 120 Ω karakteristik empedansa (Z_0) sahip tek bir bükümlü çift kablo (blendajlı veya blendajsız) olması gereklidir. Sinyal yansımalarını önlemek için kablonun her iki ucunu sonlandırmak için hattın karakteristik empedansına eşit dirençler kullanılmalıdır. Düğümleri veri yoluna bağlayan sonlandırılmamış düşme hatları (saplamalar) sinyal yansımalarını en aza indirmek için mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır. Sonlandırma kablo üzerinde veya bir düğümde olabilir, ancak düğümler veri yolundan çıkarılabiliyorsa, sonlandırma veri yolundan çıkarılmayacak şekilde dikkatlice yerleştirilmelidir.



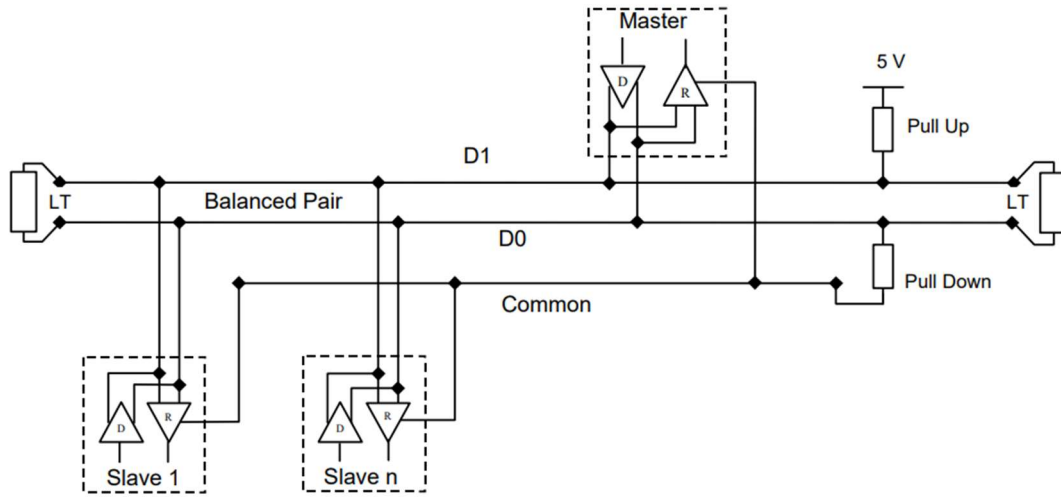
Şekil 3.10. CAN haberleşme fiziksel bağlantı şeması

Çalışmada CAN hattının manyetik gürültülerden etkilenmemesi için PESD2CAN CAN hat koruma TVS diyotları kullanılmıştır. CAN hatları 120 ohm direnç ile sonlandırılmıştır. Haberleşme devre şemasının şematik çizimi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

3.3.4.2. MODBUS haberleşme katmanı

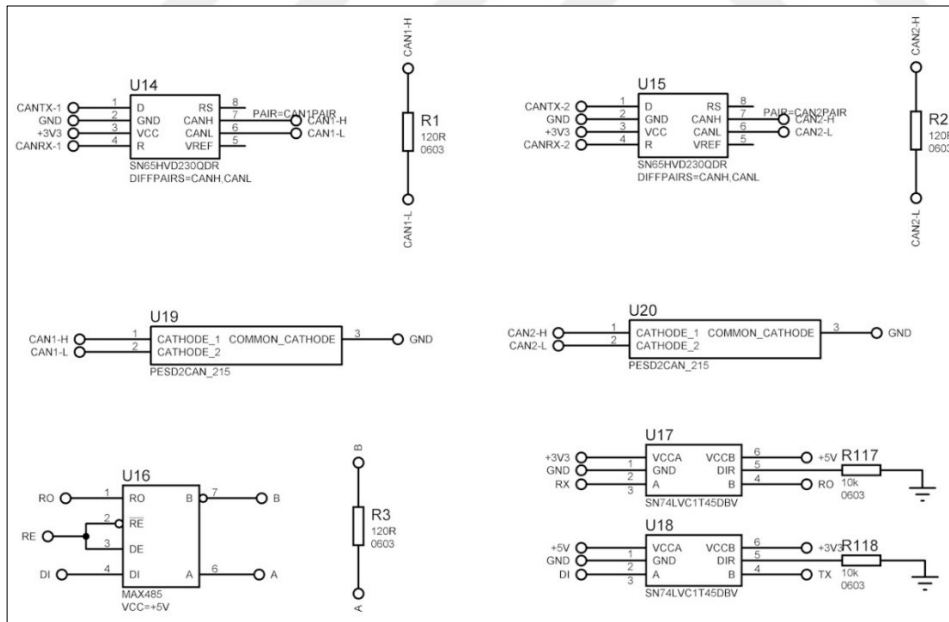
MODBUS, PLC sektörünün öncülerinden olan Modicon tarafından 1979 yılında geliştirilmiş bir haberleşme protokolüdür. PLC sistemler ile veri transferi arasındaki iletişim köprüsüdür. Basit ve esnek olması ile hızlı, kolay ve üreticilere açık olması günümüzde endüstriyel anlamda kullanım alanlarını genişletmiştir.

MODBUS, haberleşme ve fiziksel katman olarak ikiye ayrılmaktadır. Haberleşme katmanı olarak günümüzde en çok kullanılanlar MODBUS ASCII, RTU ve TCP/IP'dir. Fiziksel katmanlar ise UART temelli RS232/RS485, USB/CAN gibi değişik birimler ve TCP/IP için ethernet'tir. MODBUS haberleşmede bir Master ve en az bir veya daha çok Slave birimi bulunur. Çalışmamızda endüstriyel birçok cihazda standart olarak bulunan MODBUS RTU haberleşme, RS485 fiziksel katman yapısı tercih edilmiştir. RS485 UART temelli bir haberleşme yapısıdır. Ana haberleşme hattına bağlanan bir RS485 sürücü entegresi, ana hattaki seri verileri işlemcinin anlayabileceği UART sinyallerine dönüştürür. Ana hat empedansı hattın başına ve sonuna birer adet 120 ohm direnç bağlanarak sağlanır. Genel MODBUS bağlantı şeması Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. MODBUS haberleşme fiziksel bağlantı şeması

RS485 hattı için MAX485 sürücü entegresi kullanılmıştır. Bu entegrenin gerilim seviyesi 5V olduğundan işlemcinin RX-TX pinlerine giriş yapabilmek için 3.3V lojik seviyesine çekilmesi gerekmektedir. Bunun için devrede SN74LVC1T45 lojik seviye dönüştürücü kuvvetlendirici entegresi kullanılmıştır. Haberleşme devre şemasının şematik çizimi Şekil 3.12’de gösterilmiştir.

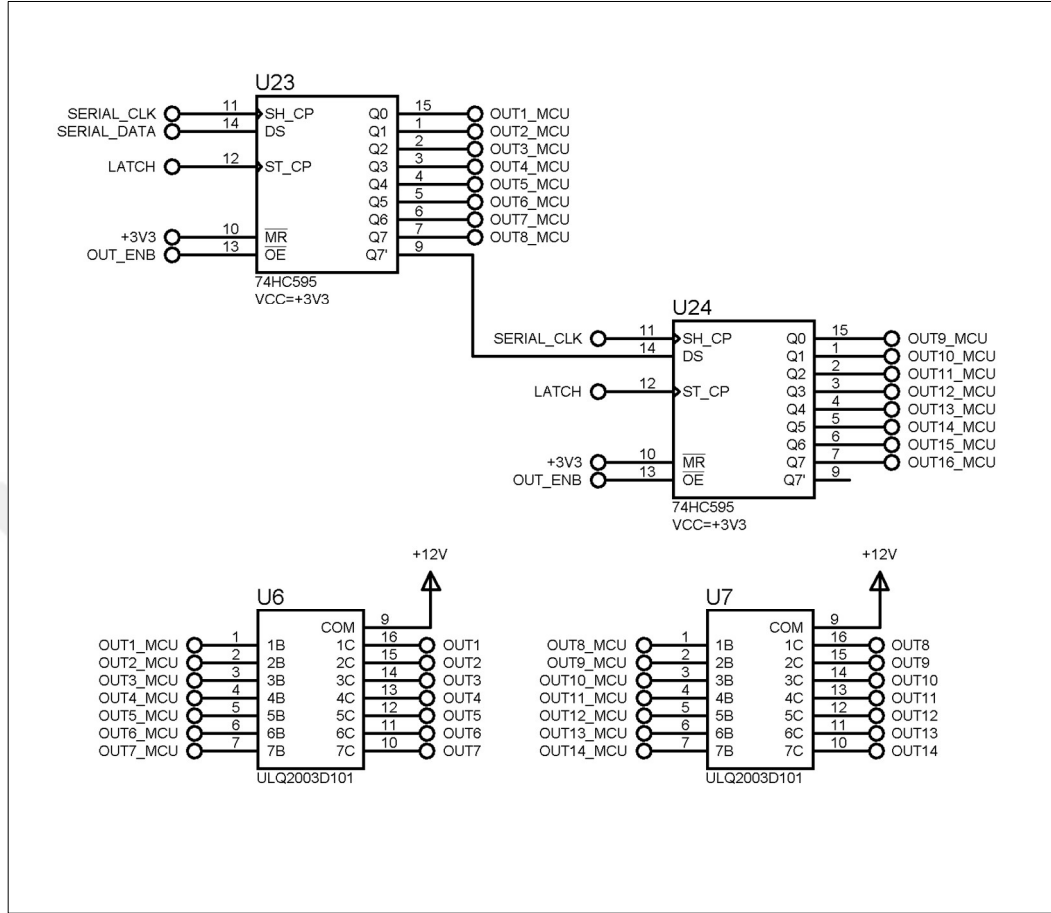


Şekil 3.12. Haberleşme devresi şematik tasarımı

3.3.5. Çıkış genişletme ve MOSFET sürme

Komponent seçiminde işlemci çıkışlarını genişletme amacı ile 74HC595 8-bit kaydırmalı yazmaç (shift register) kullandığından yukarıda bahsedilmiştir. Veri bacağı

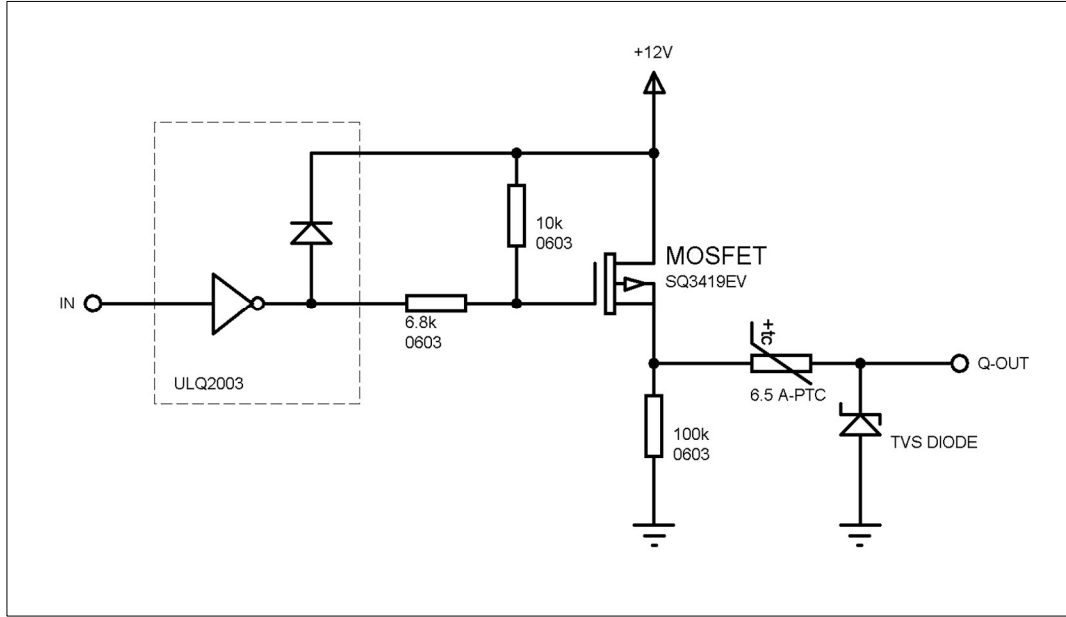
seri bağlı iki adet entegre kullanılarak 16 adet çıkış elde edilen devre şeması Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.13. Çıkış genişletme şematik çizimi

Şekil 3.13 incelendiğinde, 74HC595 çıkışları ULQ2003 entegresine bağlandığı görülmektedir. ULQ2003 entegresi darlington transistör kuvvetlendiricidir. Bu entegre CMOS seviyesindeki düşük akımlı girişleri, 500mA akım seviyesinde açık kollektör NPN çıkışa dönüştürür. Bu devrenin kullanılma amacı 6 Ampere kadar çıkış verebilen MOSFET'leri sürmektir. Bu kuvvetlendirici projede MOSFET sürücü olarak kullanılmıştır. MOSFET sürme devresi ise Şekil 3.14'te verilmiştir. Devre incelendiğinde, EKÜ çıkışları PNP yapıda istendiğinden P Kanal MOSFET edildiği görülecektir. Bu MOSFET SQ3419EV kodlu otomotiv uygulamaları için geliştirilmiş, 40V Drain-Source dayanma gerilimi olan 6.9A sürekli akım verebilme özelliğine sahiptir. PMOS sürme devresinde ULQ2003 çıkışı açıldığında diğer bir ifade ile sıfır potansiyele geldiğinde MOSFET iletime girer, ULQ2003 çıkışı kapatıldığında Vgs potansiyel farkı sıfır olduğu için, PMOS kapanır. PMOS çıkışı MOSFET kapalı iken açık devre kalmaması için 100k ohm direnç ile GND'ye çekilmiştir. Aynı zamanda

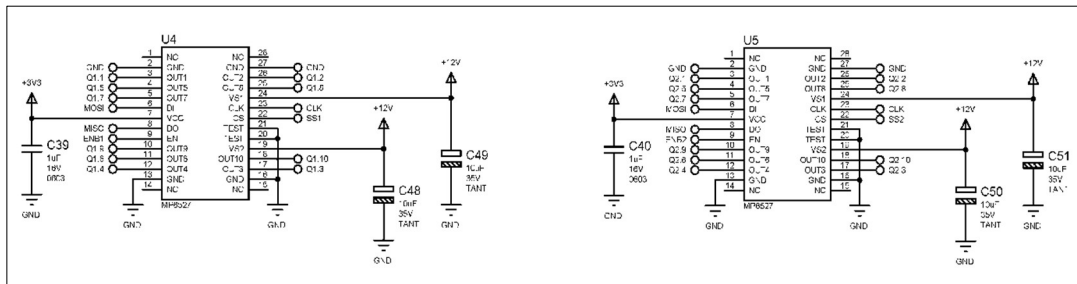
aşırı akımdan MOSFET'i korumak amacı ile çıkışa resetlenebilir PTC sigorta konulmuştur. Bu sigorta üzerinden 6.5A ve üstü akım geçtiğinde aniden direncini yükselterek akan akımın 6.5A seviyesinde kalmasını sağlar. Son olarak PTC çıkışına endüktif yük anahtarlamalarında MOSFET üstünde gerilim pikleri oluşmaması için bir TVS diyot eklenmiştir. Bu diyot, endüktif yüklerde yük boşaltmada, parazitik gürültülerde de gürültüyü sönümleme amaçlı kullanılmıştır. EKÜ tam şematik tasarımında bu devreden 24 adet kullanılmıştır.



Şekil 3.14. MOSFET sürme devresi

3.3.6. Dijital çıkışlar

Tasarımda 0,8 Amper çıkış akımı verebilen NMOS veya PMOS çıkış olarak konfigüre edilebilen dijital çıkışlar için MP6527 yarım köprü entegresi tercih edildiği yukarıda bildirilmişti. 20 adet çıkış alabilmek için 2 adet entegre kullanılmış ve şematik tasarımı Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Dijital çıkışlar

3.3.7. Giriş ve çıkışların genel dağılımı ve konnektör bağlantıları

Projede dış dünya ile olan tüm bağlantılar 121 pinli ana konnektör vasıtası ile sağlanacaktır. Haberleşme, besleme gibi tüm giriş çıkışlar ve bunların isimlendirilmeleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. EKÜ konnektör bağlantıları

Pin	Fonksiyon	Açıklama	Pin	Fonksiyon	Açıklama	Pin	Fonksiyon	Açıklama
1	+VDD	9-30V DC Besleme	18	Q3.8	Dijital Çıkış (4.5A)	39	I4.5	Dijital Giriş
115	+ VDD	9-30V DC Besleme	16	Q3.9	Dijital Çıkış (4.5A)	11	I4.6	Dijital Giriş
116	+ VDD	9-30V DC Besleme	14	Q3.10	Dijital Çıkış (4.5A)	41	I4.COM	Giriş COM
64	+3V3	+3V3 Çıkış	12	Q3.11	Dijital Çıkış (4.5A)	54	AI.1	Analog Giriş
71	+3V3	+3V3 Çıkış	10	Q3.12	Dijital Çıkış (4.5A)	56	AI.2	Analog Giriş
78	+3V3	+3V3 Çıkış	6	Q4.1	Dijital Çıkış (4.5A)	58	AI.3	Analog Giriş
43	+5V	+5V Çıkış	106	Q4.2	Dijital Çıkış (4.5A)	61	AI.4	Analog Giriş
69	+5V	+5V Çıkış	108	Q4.3	Dijital Çıkış (4.5A)	67	PGC	Program Pin
70	+5V	+5V Çıkış	111	Q4.4	Dijital Çıkış (4.5A)	66	PGD	Program Pin
52	A	MODBUS	42	Q4.5	Dijital Çıkış (6.5A) / PWM	63	MCLR	Program Pin
51	B	MODBUS	40	Q4.6	Dijital Çıkış (6.5A) / PWM	2	GND	Toprak
45	CAN1-H	CANBUS	110	Q4.7	Dijital Çıkış (6.5A) / PWM	3	GND	Toprak
46	CAN1-L	CANBUS	7	Q4.8	Dijital Çıkış (6.5A) / PWM	44	GND	Toprak
48	CAN2-H	CANBUS	9	Q4.9	Dijital Çıkış (6.5A) / PWM	47	GND	Toprak
49	CAN2-L	CANBUS	105	Q4.10	Dijital Çıkış (6.5A) / PWM	50	GND	Toprak
8	Q1.1	Dijital Çıkış (1A)	107	Q4.11	Dijital Çıkış (6.5A) / PWM	53	GND	Toprak
17	Q1.2	Dijital Çıkış (1A)	112	Q4.12	Dijital Çıkış (6.5A) / PWM	55	GND	Toprak
113	Q1.3	Dijital Çıkış (1A)	92	I1.1	Dijital Giriş	57	GND	Toprak
98	Q1.4	Dijital Çıkış (1A)	91	I1.2	Dijital Giriş	59	GND	Toprak
99	Q1.5	Dijital Çıkış (1A)	90	I1.3	Dijital Giriş	60	GND	Toprak
100	Q1.6	Dijital Çıkış (1A)	93	I1.4	Dijital Giriş	62	GND	Toprak
101	Q1.7	Dijital Çıkış (1A)	94	I1.5	Dijital Giriş	65	GND	Toprak
102	Q1.8	Dijital Çıkış (1A)	95	I1.6	Dijital Giriş	68	GND	Toprak
15	Q1.9	Dijital Çıkış (1A)	96	I1.COM	Giriş COM	72	GND	Toprak
103	Q1.10	Dijital Çıkış (1A)	82	I2.1	Dijital Giriş	77	GND	Toprak
118	Q2.1	Dijital Çıkış (1A)	83	I2.2	Dijital Giriş	81	GND	Toprak
19	Q2.2	Dijital Çıkış (1A)	84	I2.3	Dijital Giriş	89	GND	Toprak
13	Q2.3	Dijital Çıkış (1A)	85	I2.4	Dijital Giriş	97	GND	Toprak
21	Q2.4	Dijital Çıkış (1A)	86	I2.5	Dijital Giriş	104	GND	Toprak
117	Q2.5	Dijital Çıkış (1A)	87	I2.6	Dijital Giriş	109	GND	Toprak
23	Q2.6	Dijital Çıkış (1A)	88	I2.COM	Giriş COM	121	GND	Toprak
114	Q2.7	Dijital Çıkış (1A)	28	I3.1	Dijital Giriş	73	Ayrılmış	Ayrılmış Pin
25	Q2.8	Dijital Çıkış (1A)	29	I3.2	Dijital Giriş	74	Ayrılmış	Ayrılmış Pin
26	Q2.9	Dijital Çıkış (1A)	30	I3.3	Dijital Giriş	75	Ayrılmış	Ayrılmış Pin
27	Q2.10	Dijital Çıkış (1A)	31	I3.4	Dijital Giriş	76	Ayrılmış	Ayrılmış Pin
120	Q3.1	Dijital Çıkış (4.5A)	32	I3.5	Dijital Giriş	79	NC	NC
4	Q3.2	Dijital Çıkış (4.5A)	33	I3.6	Dijital Giriş	80	NC	NC
5	Q3.3	Dijital Çıkış (4.5A)	34	I3.COM	Giriş COM			
119	Q3.4	Dijital Çıkış (4.5A)	35	I4.1	Dijital Giriş			
24	Q3.5	Dijital Çıkış (4.5A)	36	I4.2	Dijital Giriş			
22	Q3.6	Dijital Çıkış (4.5A)	37	I4.3	Dijital Giriş			
20	Q3.7	Dijital Çıkış (4.5A)	38	I4.4	Dijital Giriş			

3.4. Baskılı Devre Kartı (PCB) Tasarımı

Şematik tasarımı yapılan devrenin PCB tasarımı kısmı şematik tasarım kadar önemli olan, mühendislik bilgisi ve emek gerektirir. PCB tasarımında düşük EMI yayılımı, devrenin manyetik gürültülerden ve geçici gerilim geçişlerinden etkilenmemesi için dikkat edilmesi gereken bazı kurallar vardır [36].

Tasarımda öncelikle “Bölümleme” işlemi yapılmalıdır. Bölümleme, analog ve dijital sinyallerin yüksek frekansta ve/veya yüksek hassasiyette çalışan herhangi bir alt sistem veya devre düzeni ile karışmasını önlemek için bu sinyallerin mümkün olduğunca fiziksel olarak ayrılmasıdır. Sistem düzenine dikkat ederek ve farklı sinyallerin birbiriyle karışmasını önleyerek çapraz karışma (Crosstalk) en aza indirilebilir. Yüksek seviyeli analog sinyaller düşük seviyeli analog sinyallerden ayrılmalı ve her ikisi de dijital sinyallerden uzak tutulmalıdır.

Kart üzerinde bölümleme, kart katman yığını (Layer Stackup) tasarımı ile birlikte düşünülür. Kart çizimine başlamadan önce sınırları belirli olan kartın kaç katmanlı tasarlanacağı bölümleme ile belirlenir. Kart yığınları bakır plaka çiftlerinin belirli kalınlıklarda aralarına FR4 Prepreg malzeme ile izolasyonu sağlanarak, üst üste yüksek basınç altında sıkıştırılması ile oluşturulur. Burada minimum sinyal karışması ve düşük EMI için belirli katmanlardan gelen sinyaller, belirli katmanlardan güç dağıtımı (Power) ve belirli katmanlar toprak (GND) olarak ayrılır.

Kart katmanları belirlendikten sonra, komponentlerin yerleşim yerlerine odaklanılmalıdır. Dış dünya ile iletişim halinde olan komponentler PCB kenarlarına yakın tutulmalıdır. Çevresel etkiyi azaltmak için diğer komponentler PCB kenarlarından uzaklaştırılmalıdır. Kart içinde yüksek frekansla çalışması gereken mikroişlemci gibi hassas komponentler dış dünyadan etkilenmemeleri için kart ortalarına doğru konumlandırılmalı, beslemeleri kapasiteler ile filtrelenmeli çevreleri kart üzerinde yüksek frekans yaymamaları için toprak hattı ile çevrelenip faraday kafesi oluşturulmalıdır. Kart üzerindeki depolama kondansatörleri kendilerini besleyen noktalara yakın olarak konumlandırılmalıdır. Seçilen komponentlerin veri sayfalarında komponent işlevine uygun PCB düzen (Layout) önerileri bulunmaktadır. Komponentler PCB’ye önerildiği şekilde yerleştirilmelidir.

Komponentler dizimi sonrası yollar (Trace) dikkatlice çizilmelidir. Güç yolları çizilirken akım taşıma kapasitesi dikkate alınmalıdır. Özellikle frekanslı yüksek

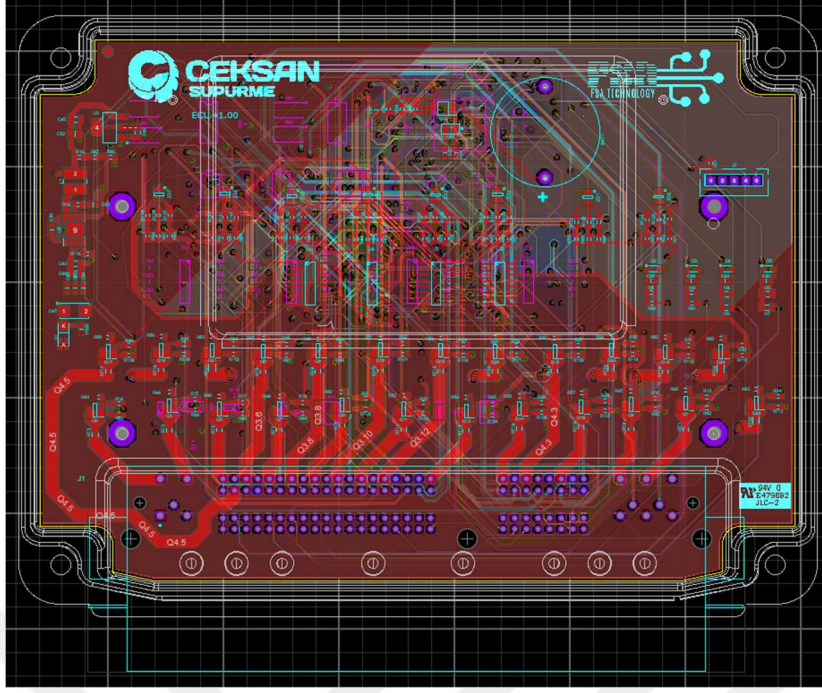
akımların aktığı yollar, kart üzerindeki diğer yollar üzerinde manyetik gürültü oluşturacağından, mümkünse toprak ile çevrenmelidir. Yüksek hızlı haberleşme yollarında haberleşme çift yollarının tasarımı özellikle önem taşır. Haberleşme çift yolları aynı empedans değerine sahip olmalıdır. Bunun için yollar yan yana ve eş uzunlukta işlemciye ulaşması gerekir. Aynı zamanda mümkünse bu yolların çevresi de toprak ile çevrenmelidir. Yukarıda anlatılan kart tasarım kurallarında topraklama (Grounding) konusu dikkat edileceği üzere öne çıkmaktadır. Kartı çok katmanlı tasarlayıp, bir çok katmanlı toprak düzlemi (Ground Plane) olarak seçmek bir çok EMI problemini çözmektedir. Topraklamanın sinyallere göre ayrı bölgelerde döndürülmesi ve en son birkaç noktadan 'via' aracılığı ile birleştirilmesi gerekmektedir [37].

Konnektör ve alüminyum kutusu sabit ölçüde olduğundan kart bu limitlere göre tasarlanmıştır. Kart üzerindeki komponent yoğunluğu ve CE uyumluluk ihtiyacı göz önüne alındığında kartın 8 katlı olarak tasarlanmasına karar verilmiştir. Buna göre hazırlanan kart katmanları yapısı Şekil 3.16'da gösterilmiştir.

ID	Name	Type	Material	Thickness	Dielectric	Power Plane
TR	Top Resist	Surface	Resist	0.4th	3.50	
TOP	Top Copper	Signal	Copper	1.4th		+12V=POWER
		Prepreg	FR4	13.8th	4.80	
I1	Inner 1	Signal	Copper	1.4th		GND=POWER
		Core	FR4	28th	4.80	
I2	Inner 2	Signal	Copper	1.4th		GND=POWER
		Prepreg	FR4	13.8th	4.80	
I3	Inner 3	Signal	Copper	1.4th		+3V3=POWER
		Core	FR4	28th	4.80	
I4	Inner 4	Signal	Copper	1.4th		GND=POWER
		Prepreg	FR4	13.8th	4.80	
I5	Inner 5	Signal	Copper	1.4th		+5V=POWER
		Core	FR4	28th	4.80	
I6	Inner 6	Signal	Copper	1.4th		GND=POWER
		Prepreg	FR4	13.8th	4.80	
BOT	Bottom Copper	Signal	Copper	1.4th		GND=POWER
BR	Bottom Resist	Surface	Resist	0.4th	3.50	

Şekil 3.16. PCB kart katman yapısı

Yukarıda açıklanan tüm koşullar altında PCB kartı özenle tasarlanmıştır. Tasarlanan kart Şekil 3.17'de kartın tasarım programındaki 3 boyutlu görüntüsü ise Şekil 3.18'de verilmiştir.

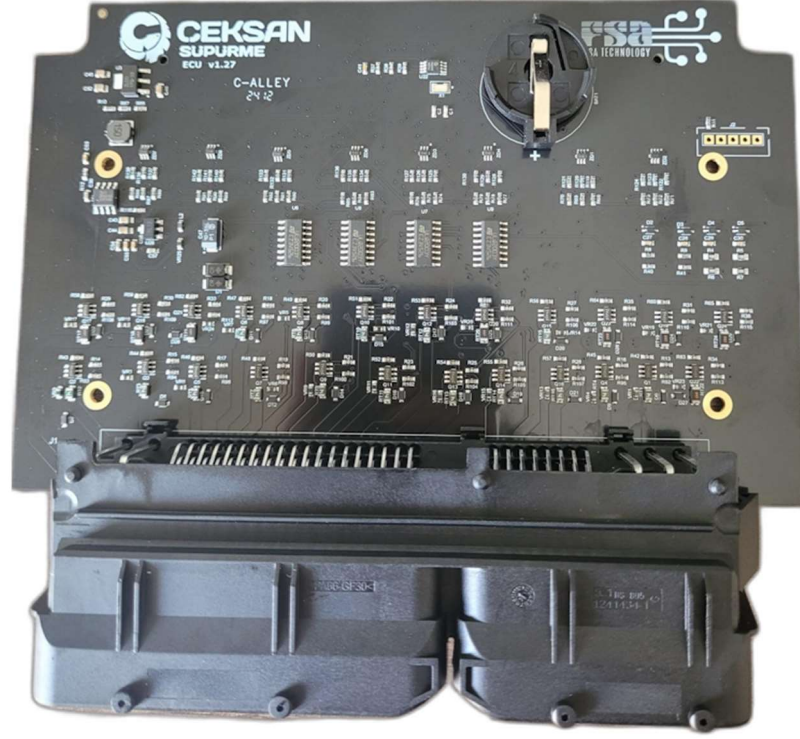


Şekil 3.17. PCB kart tasarımı

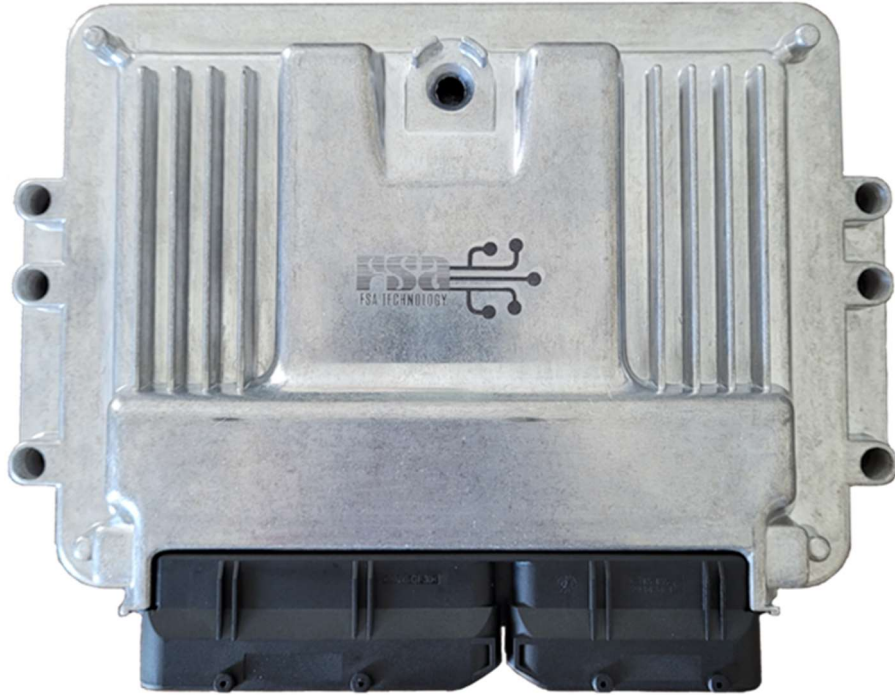


Şekil 3.18. PCB kart 3 boyutlu görüntüsü

Kartların prototip imalatları yurtdışında ürettirilmiştir. Ürettirilen kartların görüntüsü Şekil 3.19’da alüminyum kapağı takılmış, araç üzerinde test edilebilir hakinin görüntüsü ise Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.19. PCB kart prototip görüntüsü



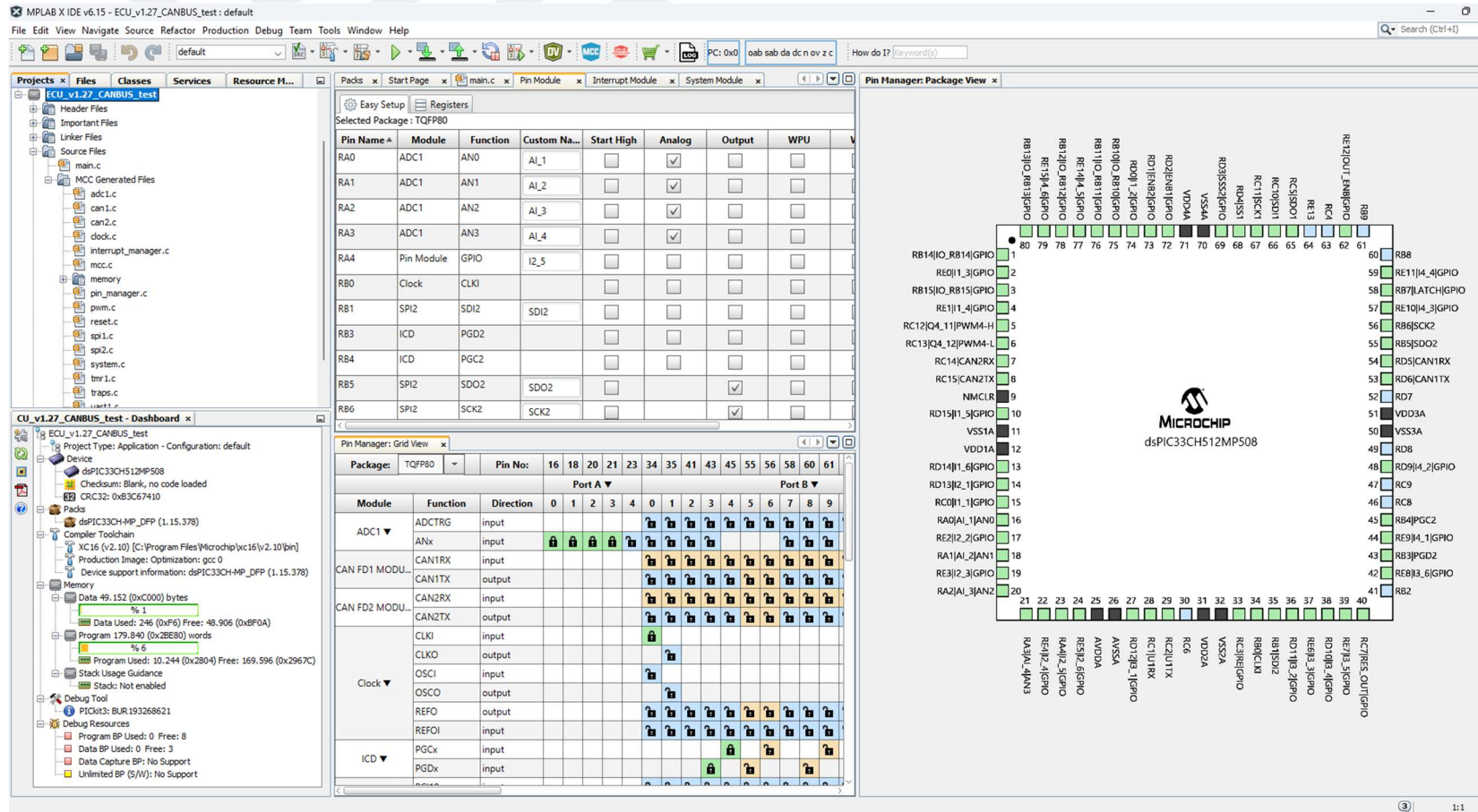
Şekil 3.20. EKÜ'nün dıştan görüntüsü



4. YAZILIM

Yazılım, donanımı tasarlanan kontrol ünitesini canlandıracak olan kısımdır. Bu bölümde yazılım adımları incelenecektir. İlk önce seçilen dsPIC33CH512MP508 işlemcinin programının yazıldığı bir entegre geliştirme ortamına (IDE) ihtiyaç vardır. Microchip firması kendi ürettiği işlemcilerin programının yazılabileceği MPLABX adlı IDE'ye sahiptir. Yazılım geliştirme MPLABX IDE üzerinde yapılmıştır.

MPLABX Entegre Geliştirme Ortamı (IDE); Microchip mikrodeneleyicilerinin ve dijital sinyal denetleyicilerinin çoğu için gömülü tasarımları keşfetmeye, yapılandırmaya, geliştirmeye, hata ayıklamaya ve nitelendirmeye yardımcı olacak güçlü araçlar içeren, genişletilebilir, son derece yapılandırılabilir bir yazılım programıdır. MPLAB X IDE, birçoğu tamamen ücretsiz olan MPLAB yazılım ve araç geliştirme ekosistemi ile sorunsuz bir şekilde çalışır. MPLAB Kod Konfigüratör (MCC), sorunsuz, çalışan, anlaşılması kolay C kodu üreten ücretsiz bir grafik programlama ortamıdır ve MPLABX IDE içinde eklenti olarak bulunur. Sezgisel bir arayüz kullanarak, uygulamaya özel zengin bir çevre birimi ve işlev setini etkinleştirerek yapılandırır. MPLAB XC16 C Derleyicisi, standart ISO C uygulama kodunu dsPIC30F, dsPIC33F, dsPIC33E ve dsPIC33C Dijital Sinyal Denetleyicilerini (DSC) ailesi için cihaz montaj koduna derleyen eksiksiz, optimize edici bir derleyicidir. Bu derleyici, denetleyicilerin donanım özelliklerine tam erişim sağlayan birçok komut satırı seçeneğini ve dil uzantısını destekler ve derleyici kod üreticisinin tam kontrolünü kullanıcıya verir. Şekil 4.1'de yazılım MPLABX IDE görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.1. MPLABX IDE ve MCC görüntüsü

4.1. Zamanlayıcı (Timer) Ayarları Yazılımı

Projede yazılıma önce Timer ayarlaması ile başlanmıştır. Tüm fonksiyon zamanlamaları sistem senkronizasyonları Timer üzerinden sağlanmıştır. Timer üzerinde 100 mikro saniye kesme fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu kesme fonksiyonu içinde sanal zamanlayıcılar oluşturularak bu zamanlayıcılar ana döngüde farklı zamanlarda yapılacak işlemler için kullanılmıştır. Zamanlayıcı ayar kodları Şekil 4.2’de verilmiştir.

Hardware Settings

☒ Enable TMR ☐ Enable Gate

Timer Clock

Clock Source: FOSC/2

Input Frequency: 90 MHz

Prescaler: 1:1

☐ Synchronize Clock

Timer Period

Period Count: 0x0 ≤ 0x2327 ≤ 0xFFFF

Timer Period: 22.2 ns ≤ 22.2 ns ≤ 728.1778 us

Calculated Period: 100 us

☒ Enable Timer Interrupt

Software Settings

Callback Function Rate: 0x1 xTimer Period = 100 us

```
void TMR1_Initialize (void)
{
    //TMR 0;
    TMR1 = 0x00;
    //Period = 0.0001 s; Frequency = 90000000 Hz; PR 8999;
    PR1 = 0x2327;
    //TCKPS 1:1; PRWIP Write complete; TMWIP Write complete;
    T1CON = 0x8000;

    if(TMR1_InterruptHandler == NULL)
    {
        TMR1_SetInterruptHandler(&TMR1_CallBack);
    }

    IFS0bits.T1IF = false;
    IEC0bits.T1IE = true;

    tmr1_obj.timerElapsed = false;
}
```

Şekil 4.2. Zamanlayıcı ayarları

4.2. Giriş-Çıkış (GPIO) Ayar Yazılımı

Bu bölümde giriş ve çıkışları yazılım ile nasıl yapılandırıldığı gösterilmiştir. Projede çıkışları genişletmek için, haberleşme temelli MP6527 ve 74HC595 entegreleri kullanılmıştır. Bu entegrelerin ikisi içinde SPI haberleşme kullanılmıştır. MP6527 entegresi içinde 10 adet yarım köprü çıkış bulunmakta ve bu çıkışlar arzu edildiği gibi

SPI üzerinden programlanabilmektedir. Bu entegrenin programlandığı hafıza birimleri (Register), yazılımda header dosyalar içinde struct (yapı) olarak tanımlanmış, sonrasında ‘main.c’ ana programında 100 mikro saniyede bir çıkış değerleri sürekli olarak SPI ile veriler gönderilerek güncellenmiştir. Aynı işlemler 74HC595 ile gerçekleştirilmiştir.

EKÜ giriş ve çıkış isimleri Tablo 3.2’de verilmişti. Bu isimlendirmeye yazılımda da bağlı kalınarak oluşturulan yazılım kodlarının; Şekil 4.3’te struct tanımlamaları, Şekil 4.4’te ana programdaki çıkışların kodları, Şekil 4.5’te ise giriş kodları gösterilmiştir.

```

union {
    unsigned int Q1Regs1;
    struct {
        unsigned OVLO:1;
        unsigned Q1_1:1;
        unsigned Q1_2:1;
        unsigned Q1_3:1;
        unsigned Q1_4:1;
        unsigned Q1_5:1;
        unsigned Q1_6:1;
        unsigned Q1_7_EN:1;
        unsigned Q1_8_EN:1;
        unsigned Q1_9_EN:1;
        unsigned Q1_10_EN:1;
        unsigned Q1_5_EN:1;
        unsigned Q1_6_EN:1;
        unsigned OLSD_EN:1;
        unsigned CH_SEL:1;
        unsigned SRR:1;
    };
} Q1Register1;

union {
    unsigned int Q1Regs2;
    struct {
        unsigned OVLO:1;
        unsigned Q1_7:1;
        unsigned Q1_8:1;
        unsigned Q1_9:1;
        unsigned Q1_10:1;
        unsigned RES4:1;
        unsigned RES3:1;
        unsigned Q1_7_EN:1;
        unsigned Q1_8_EN:1;
        unsigned Q1_9_EN:1;
        unsigned Q1_10_EN:1;
        unsigned RES2:1;
        unsigned RES1:1;
        unsigned OLSD_EN:1;
        unsigned CH_SEL:1;
        unsigned SRR:1;
    };
} Q1Register2;

union {
    unsigned int Q2Regs1;
    struct {
        unsigned OVLO:1;
        unsigned Q2_1:1;
        unsigned Q2_2:1;
        unsigned Q2_3:1;
        unsigned Q2_4:1;
        unsigned Q2_5:1;
        unsigned Q2_6:1;
        unsigned Q2_1_EN:1;
        unsigned Q2_2_EN:1;
        unsigned Q2_3_EN:1;
        unsigned Q2_4_EN:1;
        unsigned Q2_5_EN:1;
        unsigned Q2_6_EN:1;
        unsigned OLSD_EN:1;
        unsigned CH_SEL:1;
        unsigned SRR:1;
    };
} Q2Register1;

union {
    unsigned int Q2Regs2;
    struct {
        unsigned OVLO:1;
        unsigned Q2_7:1;
        unsigned Q2_8:1;
        unsigned Q2_9:1;
        unsigned Q2_10:1;
        unsigned RES4:1;
        unsigned RES3:1;
        unsigned Q2_7_EN:1;
        unsigned Q2_8_EN:1;
        unsigned Q2_9_EN:1;
        unsigned Q2_10_EN:1;
        unsigned RES2:1;
        unsigned RES1:1;
        unsigned OLSD_EN:1;
        unsigned CH_SEL:1;
        unsigned SRR:1;
    };
} Q2Register2;

union {
    unsigned int Q3Regs;
    struct {
        unsigned Q3_1:1;
        unsigned Q3_2:1;
        unsigned Q3_3:1;
        unsigned Q3_4:1;
        unsigned Q3_5:1;
        unsigned Q3_6:1;
        unsigned Q3_7:1;
        unsigned Q3_8:1;
        unsigned Q3_9:1;
        unsigned Q3_10:1;
        unsigned Q3_11:1;
        unsigned Q3_12:1;
        unsigned Q4_1:1;
        unsigned Q4_2:1;
        unsigned Q4_3:1;
        unsigned Q4_4:1;
    };
} Q3Register;

```

Şekil 4.3. Struct tanımlamaları


```

//100us TIMER INTERRUPT
if( (tmrIfFlag==TMR1_GetElapsedThenClear()) == true)
{
    TMR1_Stop();
    timer_1_sec++;
    timer_10_sec++;
    timer_1ms++;
    timer_100ms++;
    timer_200ms++;
    pwmTimer++;
    TMR1_Start();

    //SPI 1 - MP6527 DRIVE
    SS1_SetLow();
    SPI1_Initialize();
    readData = SPI1_Exchange16bit(Q1Register1.Q1Regs1);
    SS1_SetHigh();

    SS1_SetLow();
    SPI1_Initialize();
    readData = SPI1_Exchange16bit(Q1Register2.Q1Regs2);
    SS1_SetHigh();
    //

    //SPI 1 - MP6527 DRIVE
    SSS2_SetLow();
    SPI1_Initialize();
    readData = SPI1_Exchange16bit(Q2Register1.Q2Regs1);
    SSS2_SetHigh();

    SSS2_SetLow();
    SPI1_Initialize();
    readData = SPI1_Exchange16bit(Q2Register2.Q2Regs2);
    SSS2_SetHigh();
    //

    //SPI 2 - 74HC595
    LATCH_SetLow();
    SPI2_Initialize();
    readData = SPI2_Exchange16bit(Q3Register.Q3Regs);
    LATCH_SetHigh();

    Q1Register1.Q1_1 = Orta_Firca_Sag_Sol_Pno_Valf;
    Q1Register1.Q1_2 = Orta_Firca_Baski_Pno_Valf;
    Q1Register1.Q1_3 = Sag_Firca_Yan_Ac_Pno_Valf;///
    Q1Register1.Q1_4 = Sol_Firca_Yan_Ac_Pno_Valf;
    Q1Register1.Q1_5 = Sag_Firca_Baski_Pno_Valf;
    Q1Register1.Q1_6 = Sol_Firca_Baski_Pno_Valf;
    Q1Register2.Q1_7 = Sag_Vakum_Agzi_Ac_Pno_Valf;
    Q1Register2.Q1_8 = Yag_Sogutma_Fani;
    Q1Register2.Q1_9 = Sag_Vakum_Agzi_Indir_Pno_Valf;///
    Q1Register2.Q1_10 = 0;

    Q2Register1.Q2_1 = Gaz_Verme_Pno_Valf;
    Q2Register1.Q2_2 = Pno_Yedek;
    Q2Register1.Q2_3 = Kontak;
    Q2Register1.Q2_4 = Sol_Vakum_Agzi_Indir_Pno_Valf;
    Q2Register1.Q2_5 = Sol_Vakum_Agzi_Ac_Pno_Valf;///
    Q2Register1.Q2_6 = Sol_Firca_Aydinlatma_Ac;
    Q2Register2.Q2_7 = Sag_Firca_Aydinlatma_Ac;
    Q2Register2.Q2_8 = Tepe_Ikaz_Lambasi_Ac;
    Q2Register2.Q2_9 = Siren;
    Q2Register2.Q2_10 = Motor_Aydinlatma;

    Q3Register.Q3_1 = Hidrolik_Ana_Valf;
    Q3Register.Q3_2 = Su_Pompasi_Hidrolik_Valf;
    Q3Register.Q3_3 = Sol_Supurme_Hidrolik_Valf;
    Q3Register.Q3_4 = Sag_Supurme_Hidrolik_Valf;
    Q3Register.Q3_5 = Damper_Kaldir_Hidrolik_Valf;
    Q3Register.Q3_6 = Damper_Indir_Hidrolik_Valf;
    Q3Register.Q3_7 = Arka_Kapak_Ac_Hidrolik_Valf;
    Q3Register.Q3_8 = Arka_Kapak_Kapat_Hidrolik_Valf;
    Q3Register.Q3_9 = Popet_Hidrolik_Valf;
    Q3Register.Q3_10 = Cift_Yon_Supurme_Hidrolik_Valf;
    Q3Register.Q3_11 = Basincili_Yikama_Hidrolik_Valf;
    Q3Register.Q3_12 = Supurme_Hidrolik_Valf;

    Q3Register.Q4_1 = Sol_Yon_Lamba_Ac;
    Q3Register.Q4_2 = Turbo_Calis;
    Q3Register.Q4_3 = Sol_Firca_Yer_Degme_Ac_Ip_No_Ac;
    Q3Register.Q4_4 = Sol_Firca_Yer_Degme_Ac_Ip_No_Kapat;
    LATB14 = Sag_Firca_Yer_Degme_Ac_Ip_No_Ac;///Q4_5
    LATB15 = Sag_Firca_Yer_Degme_Ac_Ip_No_Kapat;///Q4_6
    LATB12 = Orta_Firca_Asagiya;///Q4_7
    LATB13 = Sol_Firca_Yana_Kapat_P_No;///Q4_8
    LATB10 = Sag_Firca_Yana_Kapat_P_No;///Q4_9

```

Şekil 4.4. Çıkışların ana programdaki görüntüsü

```

// DIGITAL INPUTS
bool Su_Seviyesi_Dusuk !=(I1_1_GetValue());
bool Su_Seviye_Bitti_Sistem_Kapat !=(I1_2_GetValue());///
bool Su_Seviye_Bitti_Sistem_Kapat =1;
bool Yag_Seviyesi_Dusuk_Hidrolik !=(I1_3_GetValue());///
bool Yag_Seviyesi_Dusuk_Hidrolik =0;
bool Yag_Basinci_Dusuk = I1_4_GetValue();
bool Mazotta_Su_Var = I1_5_GetValue();
bool Hararet_Emniyet = I1_6_GetValue();
bool Yikama_Secim_Buton_1 = I2_1_GetValue();
bool Damper_Switch_A = I2_2_GetValue();
bool El_Freni= !(I2_4_GetValue());///24
bool Geri_Vites = I2_5_GetValue();///24
bool Acil_Stop_Arac_Disi = I2_6_GetValue();
bool Damper_Kaldir_Buton = I3_1_GetValue();
bool Damper_Indir_Buton = I3_2_GetValue();
bool Arka_Kapak_Ac_Buton_Cop = I3_3_GetValue();
bool Arka_Kapak_Kapat_Buton_Cop = I3_4_GetValue();
bool El_Kumandasi_Yedek = I3_5_GetValue();
bool Indikator_A = I4_1_GetValue();
bool Acil_Stop_Arac_Ici = I4_2_GetValue();
bool Kizdirma_Buji_Aktif = I4_3_GetValue();
bool Yikama_Secim_Buton_2 = I4_4_GetValue();
bool Yardimci_Motor_Calisiyor = I4_5_GetValue();
int Devir_Saati_Fulse = I4_6_GetValue();

//ANALOG INPUTS
ADCl_Enable();
ADCl_ChannelSelect(AI_1);
ADCl_SoftwareTriggerEnable();
ADCl_SoftwareTriggerDisable();
Su_Hiz_Kontrol_Potu_B = ADCl_ConversionResultGet(AI_1);

ADCl_Enable();
ADCl_ChannelSelect(AI_2);
ADCl_SoftwareTriggerEnable();
ADCl_SoftwareTriggerDisable();
Firca_Hiz_Kontrol_Potu_B = ADCl_ConversionResultGet(AI_2);
//ADCl_Disable();

ADCl_Enable();
ADCl_ChannelSelect(AI_3);
ADCl_SoftwareTriggerEnable();
ADCl_SoftwareTriggerDisable();
Batarya_Sicaklik = ADCl_ConversionResultGet(AI_3);

ADCl_Enable();
ADCl_ChannelSelect(AI_4);
ADCl_SoftwareTriggerEnable();
ADCl_SoftwareTriggerDisable();
Hararet_Gostergesi = ADCl_ConversionResultGet(AI_4);

```

Şekil 4.5. Girişlerin ana programdaki görüntüsü

4.3. CAN BUS Yazılımı

Çalışmada belirlenen gereksinimlerde CAN protokolü J1939 ve CAN2.0B formatlarını destekleyeceği ön görülmüştü. Aşağıda bu protokollere kısaca bir göz atılmıştır:

CAN J1939, ticari araçlar ve ağır hizmet uygulamaları için kullanılan bir ağ iletişim protokolüdür. SAE (Society of Automotive Engineers) tarafından geliştirilmiş olan bu protokol, özellikle kamyonlar, otobüsler, traktörler, inşaat makineleri gibi büyük ve karmaşık araçlarda elektronik kontrol üniteleri arasında veri alışverişini standartlaştırmak amacıyla kullanılır. CAN J1939 hakkında özet bilgi aşağıda verilmiştir:

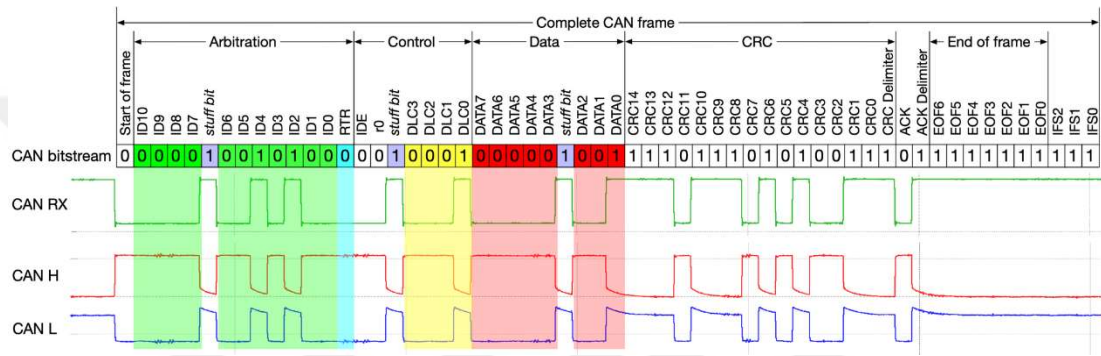
- Veri Hızı: J1939, 250 kbps veya 500 kbps hızında çalışabilir.
- Kapsam: Araç içindeki motor, şanzıman, fren sistemi, telematik ve diğer kontrol sistemleri gibi farklı modüller arasındaki iletişimi sağlar.
- Mesaj Yapısı: Mesajlar, 29-bit genişletilmiş CAN ID kullanarak iletilir, bu da her bir mesajın belirli bir öncelik ve kaynak/destination adresine sahip olmasını sağlar.

CAN J1939 protokolü, ticari araçlarda ve ağır hizmet makinelerinde kullanılan elektronik sistemlerin verimli ve uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlayarak, araç performansını artırır ve bakım süreçlerini kolaylaştırır.

CAN 2.0B, Controller Area Network (CAN) protokolünün bir versiyonudur ve özellikle otomotiv endüstrisinde elektronik kontrol üniteleri arasında veri iletişimini sağlamak için kullanılır. Bosch tarafından 1980'lerin sonunda geliştirilen CAN protokolünün bu versiyonu, 29-bit genişletilmiş bir tanımlayıcı alanı kullanır. CAN 2.0B protokolü hakkında özet bilgi aşağıda verilmiştir:

- Genişletilmiş İletişim: CAN 2.0B, 29-bit genişletilmiş tanımlayıcı alanı (Extended Frame Format) kullanarak daha fazla sayıda mesaj tanımlayıcısına izin verir. Bu durum, 11-bit standart tanımlayıcı (CAN 2.0A) ile karşılaştırıldığında çok daha geniş bir adresleme alanı sağlar.
- Veri Hızı: CAN 2.0B, 1 Mbps'ye kadar veri iletim hızını destekler.
- Mesaj Tabanlı İletişim: Mesajlar, tanımlayıcıları ile önceliklendirilir. Düşük tanımlayıcı değerine sahip mesajlar, yüksek öncelikli kabul edilir.

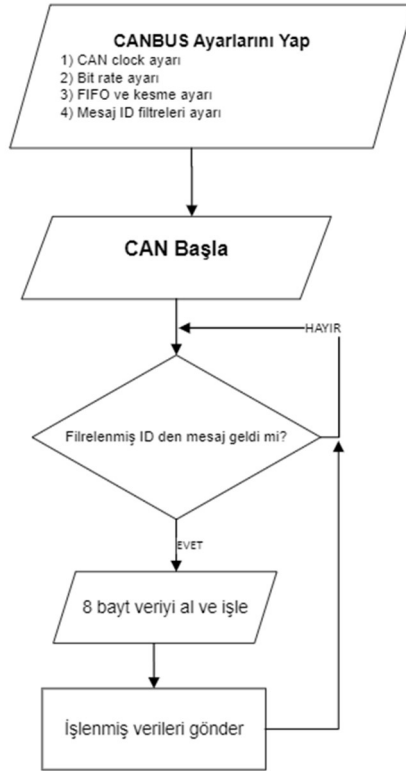
- Tanımlayıcı Alanı: 29-bit genişletilmiş tanımlayıcı, mesajların kimliklerini belirtir ve iletişimde önceliklendirme sağlar.
- Veri Alanı: 0 ila 8 bayt arasında değişen veri yükü taşıyabilir.
- Kontrol Alanı: Veri uzunluğunu (DLC - Data Length Code) ve diğer kontrol bilgilerini içerir.
- CRC (Cyclic Redundancy Check): Veri bütünlüğünü sağlamak için kullanılır.
- ACK (Acknowledgement): Alıcıların mesajı doğru aldığını doğrulamak için kullanılır. CAN veri yapısı Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. CAN veri yapısı

CAN 2.0B protokolü, karmaşık ve çeşitli elektronik sistemler arasında güvenilir ve esnek bir iletişim sağlamak amacıyla genişletilmiş adresleme kapasitesine sahiptir. Bu vasfı, özellikle otomotiv endüstrisinde ve diğer endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır.

Çalışmada önce CAN ayarları yapılmıştır. CAN ayarları sırasıyla; CAN Clock ayarı, bit rate hız ayarı, FIFO ayarı, kesme ayarı ve mesaj ID filtre ayarlarıdır. Ardından ana programda CAN okuma başlatılmış ve donanımsal olarak gelen CAN mesajları kontrol edilmiştir. Donanım olarak sadece filtrelenmiş mesaj ID'lerden gelen veriler alınır. Alınan veriler işlenmiş ve genel algoritma içinde kullanılmıştır. Son olarak istenen veriler istenen mesaj ID'lere gönderilerek, yeni verinin gelmesi beklenmiştir. CAN yazılımına ait akış diyagramı Sekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. CAN akış diyagramı

Bu bilgiler ışığında; kontrol ünitesinde CAN haberleşme hızı 250 kbps olarak seçilmiştir. Yazılımda CAN ayarları MCC kullanılarak Şekil 4.8’deki gibi seçilmiştir.

The screenshot shows the MCC (Microcontroller Configuration) interface for CAN settings, divided into four steps:

- Step 1: Clock Settings**: Clock Frequency (FCAN) is set to 10 MHz.
- Step 2: Nominal Bit Rate Settings**: Nominal Bit Rate is 250Kbps, Time Quanta is 8, Sample Point is 75.000%, Time Segment 1 is 5 TQ, and Time Segment 2 is 2 TQ.
- Step 3: General Settings**: 'Enable ISO CRC' is checked, and 'Enable Error Interrupt' is unchecked.
- Step 4: FIFO Settings**: A table for configuring FIFOs for optimized RAM usage.

FIFO	Depth	Payload(Bytes)	Operation	Custom Name	Tx Priority
FIFO1	1	8	TX	CAN1_TX_FIFO1	1
FIFO2	1	8	RX	NA	NA

 Below the table, 'Total RAM Space Required' is 32 Bytes, 'Transmit RAM Space' is 16 Bytes, and 'Receive RAM Space' is 16 Bytes.

Şekil 4.8. CAN ayarları

Ana programda CAN haberleşmesinin kullanıldığı satırlar Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

```

if(CAN1_Receive(&msg_RX2))
{
    if(msg_RX2.msgId==0x0001CCCC)
    {
        data[0]=0x88;
        data[1]=0x66;
        msg_RX2.msgId=0;
    }

    if(msg_RX2.msgId==0x0CEFF01)
    {
        data[0]=0x59;
        data[1]=0x62;
        msg_RX2.msgId=0;
    }

    if(msg_RX2.msgId==0x0CFFD06)
    {
        data[0]=0x44;
        data[1]=0x55;
        msg_RX2.msgId=0;
        uint8_t i=0;
        for(i=0;i<=7;i++)
        {
            CANBUS1_RECV_DATA[i]=msg_RX2.data[i];
        }
        CAN_READ_BYTE1.BYTE1= CANBUS1_RECV_DATA[0];
        CAN_READ_BYTE2.BYTE2= CANBUS1_RECV_DATA[1];
        CAN_READ_BYTE3.BYTE3= CANBUS1_RECV_DATA[2];
        uint8_t Serbest_Mod_Process = CANBUS1_RECV_DATA[3];
        uint8_t Oto_Mod_Process = CANBUS1_RECV_DATA[4];
        CAN_READ_BYTE6.BYTE6= CANBUS1_RECV_DATA[5];

        //Algoritma
        Firca_Dondur=CAN_READ_BYTE2.Firca_Dondur;
        Su_Ac_Kapat=CAN_READ_BYTE3.Su_Ac_Kapat;
        Emis=CAN_READ_BYTE2.Emis;
        Serbest_Mod_Calistir=CAN_READ_BYTE1.Serbest_Mod_Calistir;
        Cift_Supurme=CAN_READ_BYTE1.Cift_Supurme;
    }
}

```

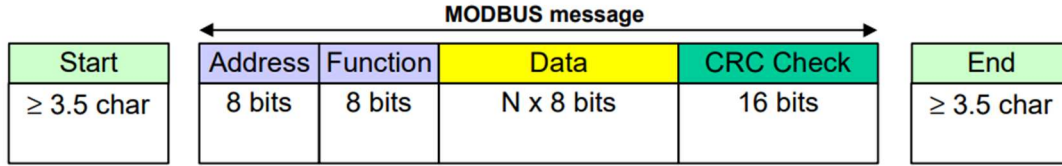
Şekil 4.9. CAN haberleşme yazılımı

4.4. MODBUS Yazılımı

Modbus RTU (Remote Terminal Unit), endüstriyel otomasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir iletişim protokolüdür. 1979 yılında Modicon (şu anda Schneider Electric) tarafından geliştirilmiş olan basit, güvenilir veri iletimi sağlar. Modbus RTU hakkında temel özellikler aşağıda verilmiştir:

- Seri İletişim: RS-232, RS-422 veya RS-485 gibi seri iletişim hatları üzerinden veri iletimi sağlar.
- Veri İletim Hızı: 1200 bps'den 115200 bps'ye kadar hızlarda çalışabilir.

- Çerçeve Formatı: Veri paketleri (çerçeveler) belirli bir formatta iletilir, böylece hata kontrolü ve veri bütünlüğü sağlanır. Şekil 4.10'da MODBUS veri paket yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.10. MODBUS haberleşme veri paketi

- Adres Alanı: 1 bayt; 0-247 arasında değişen cihaz adreslerini içerir. 0 adresi genel çağrı (broadcast) için kullanılır.
- Fonksiyon Kodu: 1 bayt; gerçekleştirilecek işlemi belirtir (örneğin, okuma veya yazma).
- Veri Alanı: 0-252 bayt; gönderilen veya alınan veri burada bulunur.
- CRC (Cyclic Redundancy Check): 2 bayt; hata tespit ve veri bütünlüğünü sağlamak için kullanılır.

Fonksiyon Kodları:

- 01 (0x01): Tek bir veya birden fazla coil (bit) durumu oku.
- 02 (0x02): Tek bir veya birden fazla giriş (discrete input) durumu oku.
- 03 (0x03): Tek bir veya birden fazla holding register (16-bit) oku.
- 04 (0x04): Tek bir veya birden fazla giriş register oku.
- 05 (0x05): Tek bir coil yaz.
- 06 (0x06): Tek bir holding register yaz.
- 15 (0x0F): Birden fazla coil yaz.
- 16 (0x10): Birden fazla holding register yaz.

Modbus RTU'nun çalışma şekli aşağıda verilmiştir:

- Master-Slave Mimari: Bir master cihaz (genellikle bir PLC veya bilgisayar) ve bir veya daha fazla slave cihaz (sensörler, aktüatörler) arasında iletişim kurar.

- Sorgu-Cevap Modeli: Master cihaz, slave cihazlara komutlar gönderir (sorgular) ve slave cihazlar bu komutlara yanıt verir (cevaplar).

Modbus RTU, endüstriyel otomasyon sistemlerinde güvenilir ve verimli veri iletimi sağlayan, basit ve yaygın olarak kabul görmüş bir protokoldür. Bu özellikleri onu çeşitli endüstriyel uygulamalarda tercih edilen bir çözüm haline getirir.

Çalışmada seçilen işlemcinin kütüphanelerinde hazır MODBUS protokolü kütüphanesi bulunmadığından, tüm MODBUS RTU protokol yazılımı baştan yazılmıştır. İlgili yazılım kodlarından bir kesit Şekil 4.11’de gösterilmiştir.

```

//////////MODBUS-----
if (!UART1_ReceiveBufferIsEmpty())
{
    UART1_ReadBuffer( readBuffer, 8);          // UART READ
    if(readBuffer[0]==slaveAddress)             // SLAVE ADDRESS E??T M??
    {
        crc=MODBUS_CRC16_v3( readBuffer, 6 );   /// CRC HESAPLA
        crcH=(crc)&0xFF;
        crcL=(crc)>>8;&0xFF;
        if((crcH==readBuffer[6]) && (crcL==readBuffer[7])) /// CRC DO?RU ?SE ??LEM YAP
        {
            modbusFunction=readBuffer[1];        /// MODBUS FONKS?YON KODU NE?

            //////////MODBUS READ HOLDING REGISTERS/-----
            if (modbusFunction==0x03)
            {
                modbusReadStartAdd=(readBuffer[2]<<8)+readBuffer[3];
                modbusReadNumberReg=(readBuffer[4]<<8)+readBuffer[5];
                modbusReadNumberByte=modbusReadNumberReg*2;
                sendBuffer[0]=slaveAddress;
                sendBuffer[1]=modbusFunction;
                sendBuffer[2]=modbusReadNumberByte;
                uint8_t i=0;
                uint8_t k=0;

                for(i=0;i<modbusReadNumberByte;i++)
                {
                    for(k=0;k<2;k++)
                    {
                        if(k==0)
                        {
                            sendBuffer[2*i+3]=(modbusRegisters[modbusReadStartAdd+i]>>8)&0xFF;
                        }
                        else
                        {
                            sendBuffer[2*i+4]=(modbusRegisters[modbusReadStartAdd+i]&0xFF);
                        }
                    }
                }

                crc=MODBUS_CRC16_v3( sendBuffer, modbusReadNumberByte+3 );
                crcH=(crc)&0xFF;
                crcL=(crc)>>8;&0xFF;

                sendBuffer[modbusReadNumberByte+3]=crcH;
                sendBuffer[modbusReadNumberByte+4]=crcL;

                RE_SetHigh();

                UART1_WriteBuffer (sendBuffer, modbusReadNumberByte+5);

            }

            //////////MODBUS WRITE SINGLE REGISTER-----
            if (modbusFunction==0x06)
            {
                modbusWriteRegister=(readBuffer[2]<<8)+readBuffer[3];
                modbusRegisters[modbusWriteRegister]=(readBuffer[4]<<8)+readBuffer[5];
            }
        }
    }
}

```

Şekil 4.11. MODBUS haberleşme yazılımı



5. UYGULAMA VE TESTLER

EKÜ uygulama ve testleri, araç ve endüstriyel sistemlerin güvenilir ve verimli çalışmasını sağlamak için kritik bir öneme sahiptir. Bu süreçler, EKÜ'lerin fonksiyonel, performans, güvenilirlik ve uyumluluk açısından eksiksiz bir şekilde değerlendirilmesini sağlar [38].

Bu bölümde çalışmada donanımı ve yazılımı tamamlanan EKÜ'nün araç kontrolünde gerçek zamanlı uygulama ve testleri açıklanmıştır.

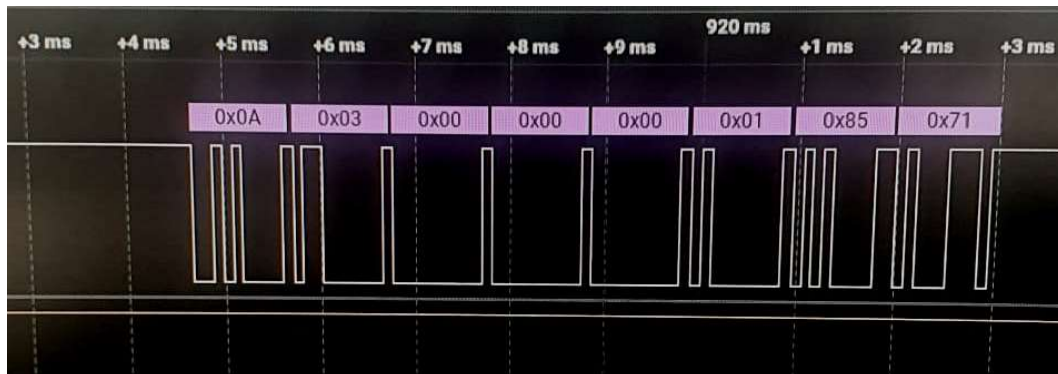
5.1. Laboratuvar Ortamında Giriş-Çıkış ve Haberleşme Testleri

Aracın gerçek zamanda çalıştıracağı valf blokları laboratuvar ortamında direkt EKÜ 4.5 Amper dijital çıkışlarına bağlanmıştır. Her valf bloğunun yaklaşık 2,7A akım çektiği doğrulanmıştır. 1 sn aç kapat periyotları sağlanarak yaklaşık 6 saat boyunca 21600 defa 2,7 Amper akım altında anahtarlama yapılmış ve herhangi bir probleme rastlanmamıştır. Sonuç olarak test başarıyla tamamlanmıştır.

Haberleşme testleri için CANBUS ve MODBUS hatlarına haberleşme protokollerini çözebilen lojik analizör bağlanmış ve haberleşmedeki veriler kontrol edilmiştir. Verilerin sorunsuz haberleşmelerini gösteren analizör görüntüleri CANBUS için Şekil 5.1'de, MODBUS haberleşme çıkışları ise Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

Type	Start	Duration	data	Identifier
identifier_	173.281437 ms	140 µs		0x000000000001CCCC
control_fi_	173.429438 ms	12 µs		
data_field	173.445438 ms	32 µs	0x27	
data_field	173.481438 ms	28 µs	0x34	
data_field	173.513438 ms	32 µs	0x13	
data_field	173.549437 ms	28 µs	0x14	
data_field	173.581438 ms	32 µs	0x15	
data_field	173.617438 ms	28 µs	0x16	
data_field	173.649438 ms	28 µs	0x17	
data_field	173.681438 ms	28 µs	0x18	
crc_field	173.713437 ms	60 µs		
ack_field	173.781437 ms	4 µs		
identifier_	233.529438 ms	152 µs		0x000000000001FFFF
control_fi_	233.685438 ms	12 µs		
data_field	233.701438 ms	28 µs	0x88	
data_field	233.733438 ms	28 µs	0x66	
data_field	233.765438 ms	28 µs	0x43	
data_field	233.797438 ms	28 µs	0x44	
data_field	233.829437 ms	28 µs	0x45	
data_field	233.861438 ms	28 µs	0x46	
data_field	233.893438 ms	28 µs	0x47	
data_field	233.925438 ms	28 µs	0x48	
crc_field	233.957438 ms	68 µs		
ack_field	234.033438 ms	4 µs		

Şekil 5.1. CANBUS haberleşme lojik analizör çıkışı



Şekil 5.2. MODBUS haberleşme lojik analizör çıkışı

5.2. EMC Testleri

EMC (Elektromanyetik Uyumluluk) testleri, elektronik cihazların elektromanyetik ortamlara uyumlu olduğunu ve diğer cihazlarla uyumlu bir şekilde çalışabildiğini doğrulamak için yapılan testlerdir. EMC testleri, elektromanyetik uyumluluğun sağlanması için çeşitli parametreleri değerlendirir ve belirli standartlara dayanır [39]. Temel EMC testlerinden bazıları aşağıda verilmiştir:

Radyo frekansı (RF) emisyon testi: Bir cihazın radyo frekansı emisyonlarını değerlendirir. Cihazın yaydığı elektromanyetik enerji düzeyi ve frekans spektrumu ölçülerek belirli limitlere uygun olup olmadığı kontrol edilir.

Radyo frekansı (RF) bağışıklık testi: Bir cihazın radyo frekansı elektromanyetik alanlara karşı ne kadar dirençli olduğunu belirler. Cihaz, dış kaynaklı radyo frekansı girişimlerine karşı etkilenmeden çalışabilmelidir.

Elektrostatik deşarj (ESD) testi: Cihazın elektrostatik deşarja karşı dayanıklılığını ölçer. Cihaz, statik elektrik deşarjlarına maruz kaldığında çalışmasını etkilememeli veya hasar görmemelidir.

Elektriksel hızlı transient (EFT) testi: Cihazın hızlı geçişli elektriksel bozukluklara karşı ne kadar dirençli olduğunu değerlendirir. Cihaz, ani gerilim değişikliklerine veya darbelere karşı dayanıklı olmalıdır.

Şebeke bağlantılı yıldırım darbelerine karşı bağışıklık testi; cihazın şebeke kaynaklı yıldırım darbelerine karşı dayanıklılığını ölçer. Cihaz, şebeke üzerindeki yıldırım darbelerine maruz kaldığında zarar görmemeli veya işlevini kaybetmemelidir.

Harmonik testi; Cihazın harmonik bozukluklara karşı ne kadar dirençli olduğunu belirler. Cihaz, harmoniklerin neden olduğu voltaj ve akım bozukluklarına karşı uygun bir performans sergilemelidir.

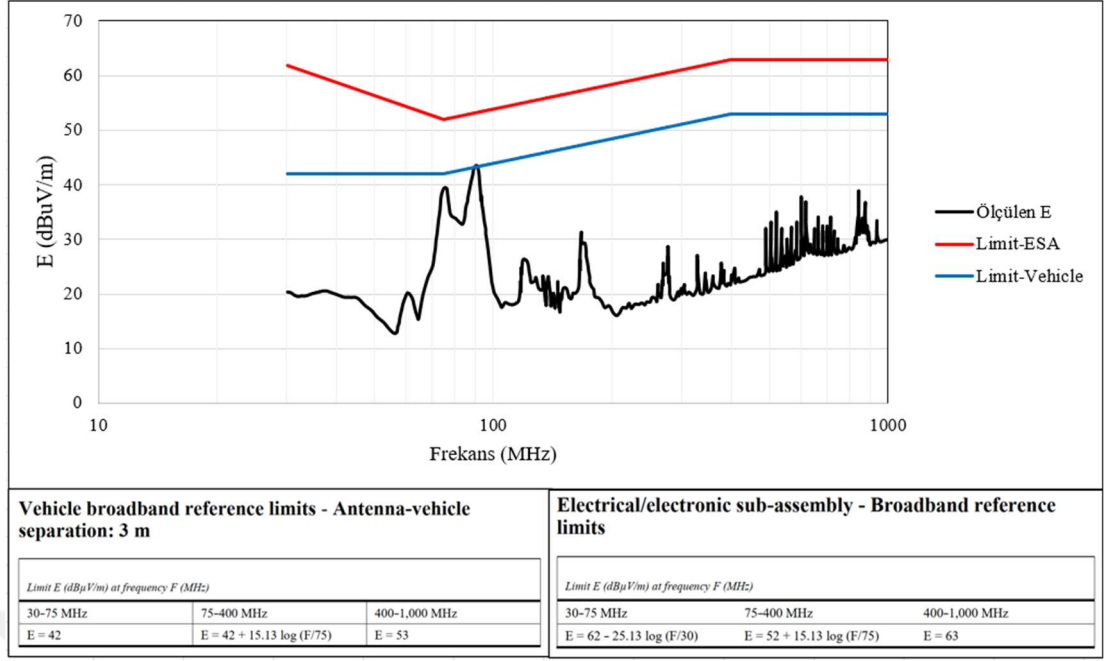
EMC testleri, belirli standartlara ve yönergelerle uyumlu bir şekilde gerçekleştirilir. Bu testler, cihazların elektromanyetik ortamlara karşı duyarlılığını azaltarak, güvenlik, performans ve yasal uyumluluk sağlamaya yardımcı olur.

Tüm gerçek zamanlı testleri başarıyla sonuçlanan kontrol kartına sahaya sürmeden önce CE sertifikasyonu öncesi EMC testleri yapılmıştır. Testler Sakarya Üniversitesi EMC laboratuvarında yapılmıştır ve sonuçları aşağıda verilmiştir. Şekil 5.3'te EMC laboratuvarından test aşamasından bir görsel verilmiştir.

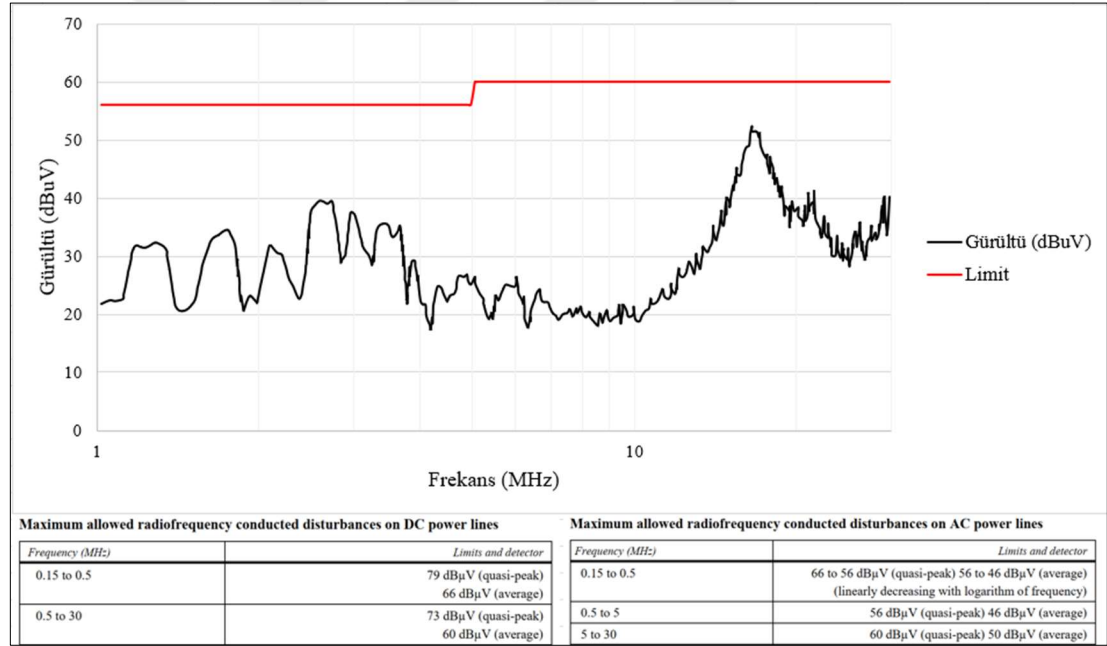


Şekil 5.3. EMC test düzeneği

EKÜ için yapılan EMC testlerinde UN ECE R10 (Rev.6) düzenlemesi takip edilmiştir. Bu düzenlemede araç ve araç alt bileşenleri olmak üzere iki test ortamı tarif edilmiştir. Bunlar sırasıyla iletilen emisyon (conducted emission-CE) ve ışıyan emisyon testi (radiated emission-RE) olarak iki türdedir. RE testinde test edilecek sistemin araç (vehicle) olduğu ölçümlerde 3 ve 10 metre olmak üzere iki farklı ölçüm mesafesine göre belirlenen sınır değerleri UN ECE R10 dokümanında belirtilmiştir. Araç alt bileşeni (assembly) için ölçümlerde ise bu mesafe 1 metre olarak belirlenmiştir. RE testi için ölçüm yapılan frekans aralığı 30-1000 MHz'dir. UN ECE R10'a göre CE testi için gürültü ölçüm sınır değerlerinde IEC61000-3-2,3-3, ve CISPR22 standartlarının limitleri geçerlidir. Şekil 5.4'te EMC RE alt bileşen testi sonuçları, Şekil 5.5'te ise EMC CE testinin sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, EKÜ'nün CE EMC testlerinden başarıyla geçtiği görülmektedir.



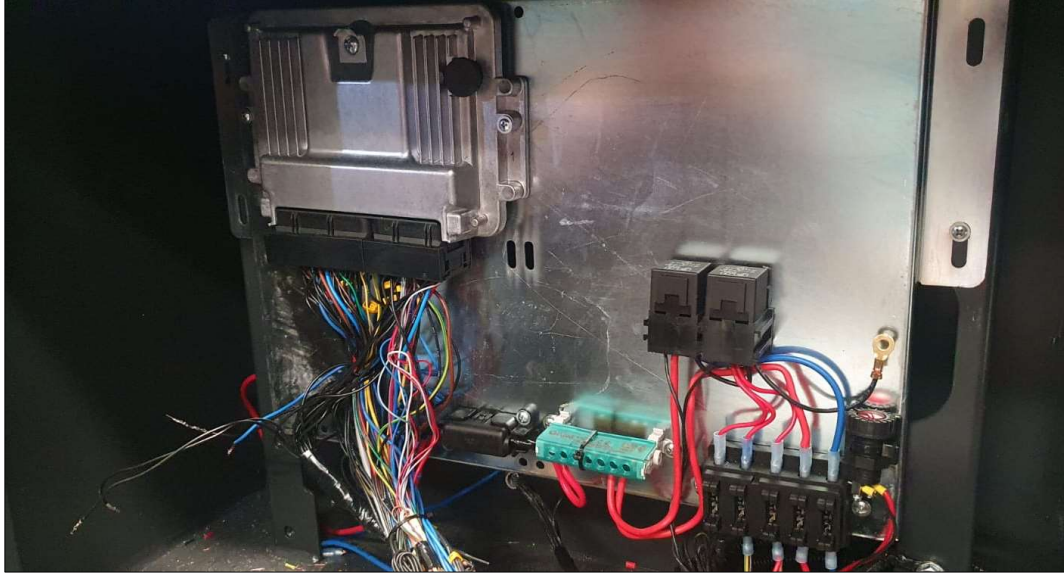
Şekil 5.4. EMC RE alt bileşen testi sonuçları



Şekil 5.5. EMC CE testi sonuçları

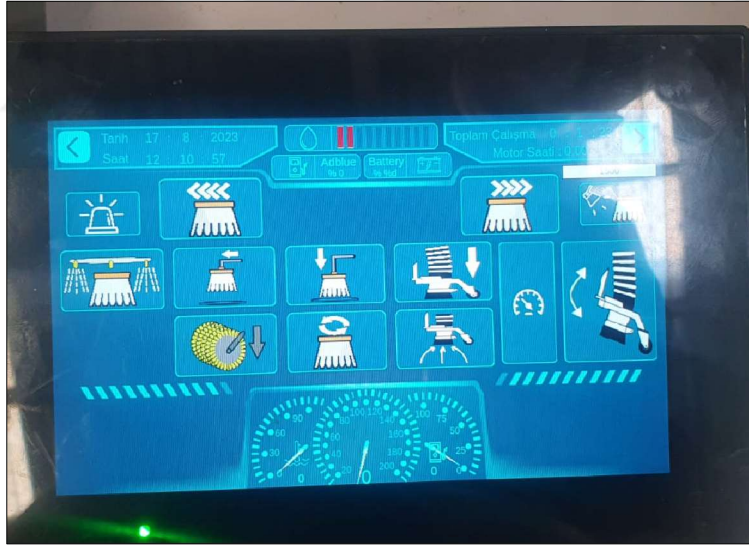
5.3. Saha Testleri

Tasarlanan elektronik kontrol ünitesi EMC testlerinden de başarıyla geçtikten sonra EKÜ, birinci bölümde bahsedilen elektrikli yol süpürge aracına monte edilmiştir. Montaj esnasından çekilen bir resim Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. EKÜ araç montajı

Araca montaj tamamlandıktan sonra araç üzerinde fonksiyon testlerine geçilmiştir. Araç ekranı ile sorunsuz CANBUS haberleşmesi sağlanmıştır. Şekil 5.7’de araç ekranı görülmektedir.



Şekil 5.7. EKÜ ile araç ekranı haberleşmesi

Ardından araç fonksiyon testlerine geçilmiştir. Fırça indirme kaldırma, fan devir ayarı, vakum ölçümleri, ok ve ikaz lambaları, hidrolik ve pnömatik valfler, süpürme devir ayarı gibi tüm fonksiyonlar başarıyla test edilmiştir. Araç, yaklaşık 4 ay/250 iş saati sorunsuz olarak çalışmış ve tüm ÇEKSAN araçlarında kullanılmak üzere ticarileşmiştir. Şekil 5.8 ve 5.9 da fonksiyon testlerinden görüntüler verilmiştir.



Şekil 5.8. Fırça ve süpürme testleri



Şekil 5.9. Lamba ve çöp haznesi fonksiyon testleri



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kamyon üstü vakumlu elektrikli yol süpürme araçları için özelleşmiş bir elektronik kontrol ünitesi tasarlanmış ve üretilmiştir. Çalışmada önce araç gereksinimleri belirlenerek, uygun işlemci ve komponent seçimleri yapılarak donanım tasarımı tamamlanmış ardından prototip kart üretilmiştir. Yazılım C dilinde kodlanmış, birçok kütüphane oluşturulmuştur. Yazılım testleri ve simülasyonlar başarıyla sonuçlandığında elektronik kart EMC testlerine sokulmuş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Son olarak EKÜ yol süpürme aracına monte edilmiş ve saha testleri başarıyla uygulanmıştır. Çalışma ile ticari bir elektronik kontrol ünitesi elde edilmiştir. Tasarlanan EKÜ'nün teknik özellikleri Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. EKÜ teknik özellikleri

Çalışma Gerilimi	9-30V DC
Toplam Giriş-Çıkış Sayısı	72
Toplam Girişler	28
Giriş Özellikleri	NPN, PNP ayarlanabilir dijital girişler, 24 adet. Analog girişler 0-10V, 4 adet Yüksek hızlı darbe okuma, 12 adet
Toplam Çıkışlar	44
Çıkış Özellikleri	6.5 Amper korumalı, 8 adet 4 Amper korumalı, 16 adet 1 Amper korumalı, 20 adet Programlanabilir PWM, 8 adet Programlanabilir H-Bridge, 4 adet
CANBUS	2 (CANFD, CAN2.0B, SAE/J1939 uyumlu)
MODBUS	1 (RS485 MODBUS RTU)
Hafıza	128 MB, ayrılmış bellek
Standartlar	CE, ECE R10, AEC Q100

Tasarlanan EKÜ'nün giriş ve çıkış sayısı global ürünlerin birçoğundan fazla olduğundan, ortaya çıkarılan ürün otomotiv endüstrisi ve sanayide birçok uygulamada kullanılabilir. Sadece yol süpürme araçlarında değil, tüm elektrikli ve fosil yakıtlı araçlarda VCU, fosil yakıtlı motorlarda ECM, savunma sanayiinde EKÜ olarak görev

alabilir. Tüm tasarım ve yazılımı yerli olarak yapılan bu ürünün milli teknoloji ve ekonomimize de gelecek yıllarda kayda değer bir katkısı olacaktır. Açık kaynak kodlu yazılımı ve opsiyonel olarak dış dünya haberleşme bağlantıları ile gelecekte de geliştirilmeye açıktır. Ayrıca GPS, WiFi haberleşme, GPRS bağlantılarla cihaz daha da güçlendirilmeye açıktır. Gelişen yapay zeka teknikleri ile EKÜ gelecekte akıllı bir kontrol cihazına dönüştürülebilir.



KAYNAKLAR

- [1] Y. Bao ve Z. Zhang, “Development and performance analysis of a small road sweeper and dust collector”, içinde *2021 3rd International Symposium on Robotics and Intelligent Manufacturing Technology, ISRIMT 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021, ss. 415-418. doi: 10.1109/ISRIMT53730.2021.9596944.
- [2] Zola Diki Setiawan, Wikan Sakarinto, ve Ponang Adi Nugraha, “Ergonomic Design of Electric Road Sweeper Cabin”, içinde *2019 5th International Conference on Science and Technology (ICST)*, 2019.
- [3] L. Donati, T. Fontanini, F. Tagliaferri, ve A. Prati, “An energy saving road sweeper using deep vision for garbage detection”, *Applied Sciences (Switzerland)*, c. 10, sy 22, ss. 1-19, Kas. 2020, doi: 10.3390/app10228146.
- [4] H. Min, X. Zhu, B. Yan, ve Y. Yu, “Research on Visual Algorithm of Road Garbage Based on Intelligent Control of Road Sweeper”, içinde *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Eyl. 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1302/3/032024.
- [5] Çeksan Yol Süpürme Araçları, “www.ceksanmakina.com”, www.ceksanmakina.com.
- [6] S. Lu, Z. Zhou, E. Han, ve Y. Guofeng, “New Energy Road Sweeper Scenario Design and Simulation”, içinde *ITEC Asia-Pacific*, 2014.
- [7] S. Jamil, T. Mukhtar, R. H. Ali, I. Qaiser, ve B. Ahmed, “Design and Development of an Electric Remote-Controlled Road-Sweeper Vehicle”, *Engineering Proceedings*, c. 12, sy 1, 2022, doi: 10.3390/engproc2021012089.
- [8] M. Kaiser, U. Schaefer, ve G. Haaf, “Electronic control unit”, içinde *Automotive Mechatronics*, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015, ss. 18-43. doi: 10.1007/978-3-658-03975-2_3.
- [9] Ö. Erdoğan, O. Ok, ve C. Büyüktürkel, “Bir Ticari Araç İçin Elektronik Kontrol Ünitesi Geliştirmesi”, 2014.
- [10] Erol Bağcı, “LPG Sistemi Elektronik Kontrol Ünitesi(ECU) Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi”, Yozgat Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat, 2019.
- [11] K. Senthilkumar ve R. Ramadoss, “Designing multicore ECU architecture in vehicle networks using AUTOSAR”, içinde *3rd International Conference on Advanced Computing, ICoAC 2011*, 2011, ss. 270-275. doi: 10.1109/ICoAC.2011.6165187.
- [12] N. Sugunaraj ve P. Ranganathan, “Electronic Control Unit (ECU) Identification for Controller Area Networks (CAN) using Machine Learning”, içinde *IEEE International Conference on Electro Information Technology*, IEEE Computer Society, 2022, ss. 382-388. doi: 10.1109/eIT53891.2022.9813928.

- [13] L. Glielmo, F. Vasca, ve C. Rossi, “Architecture for Electronic Control Unit Tasks in Automotive Engine Control”, içinde *Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Computer-Aided Control System Design*, 2000, ss. 42-47.
- [14] J. Pančík ve V. Beneš, “Open Source Based Peripherals for Automotive Electronic Control Unit”, *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*, c. 5, sy 18, ss. 1-7, 2018, doi: 10.4108/eai.19-6-2018.154825.
- [15] F. Kong, L. Zhang, J. Zeng, ve Y. Zhang, “Automatic Measurement and Control System for Vehicle ECU Based on CAN Bus”, 2007.
- [16] J. Cui, Y. Shen, H. Zhong, J. Zhang, ve L. Liu, “A Multilevel Electronic Control Unit Re-Encryption Scheme for Autonomous Vehicles”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, c. 25, sy 1, ss. 104-119, Oca. 2024, doi: 10.1109/TITS.2023.3309817.
- [17] Y. Sun, X. Zhao, ve G. Yang, “An Optimal Scheduling Algorithm for Electronic Control Unit in Vehicles”, içinde *2nd IEEE InterConference on Computer Science and Information Technology*, IEEE, 2009.
- [18] I. Mat vd., “Electronic Control Unit For Vehicles: Issues And The Way Forward”, 2006. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: www.howstaffworks.com/,
- [19] M. H. Sarwar, M. A. Shah, M. Umair, ve S. H. Faraz, “Network of ECUs software update in future vehicles”, içinde *ICAC 2019 - 2019 25th IEEE International Conference on Automation and Computing*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Eyl. 2019. doi: 10.23919/IConAC.2019.8895162.
- [20] F. A. Da Silva, A. C. Bagbaba, S. Hamdioui, ve C. Sauer, “Combining Fault Analysis Technologies for ISO26262 Functional Safety Verification”, içinde *Proceedings of the Asian Test Symposium*, IEEE Computer Society, Ara. 2019, ss. 129-134. doi: 10.1109/ATS47505.2019.00024.
- [21] Component Technical Committee Automotive Electronics Council, “AEC-Q100-REV-J FAILURE MECHANISM BASED STRESS TEST QUALIFICATION FOR INTEGRATED CIRCUITS IN AUTOMOTIVE APPLICATIONS”, 2023.
- [22] H. P. Li ve Y. W. Li, “The research of electric vehicle’s MCU system based on ISO26262”, içinde *2017 2nd Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems, ACIRS 2017*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Tem. 2017, ss. 336-340. doi: 10.1109/ACIRS.2017.7986119.
- [23] Pramit Nag, Prof. Umesh Ghanekar, ve Jyoti Harmalkar, “A Novel Multi-Core Approach for Functional Safety Compliance of Automotive Electronic Control Unit According to ISO 26262”, içinde *5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, IEEE, 2019, ss. 1-5.
- [24] iso.org, “ISO 26262 Standart”. Erişim: 28 Mayıs 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.iso.org/standard/68383.html>
- [25] ST, “SPC5 32-bit Automotive MCUs”, <https://www.st.com/en/automotive-microcontrollers/spc5-32-bit-automotive-mcus.html>.
- [26] Microchip, “dspic33ch512mp508”, <https://www.microchip.com/en-us/product/dspic33ch512mp508>.

- [27] A. Francisco, N. V. Lopes, L. C. Bento, ve C. Ferreira, “Arduino based Open Source Electronic Control Unit for Electric Utility Vehicles”, içinde *2020 29th International Scientific Conference Electronics, ET 2020 - Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Eyl. 2020. doi: 10.1109/ET50336.2020.9238205.
- [28] A. Swaminathan, A. Nirmal, L. S. Kishore Krishna, R. Kruthik Soundappan, R. R. Lekshmi, ve K. R. M. Vijaya Chandrakala, “Development of Low-Cost Electronic Control Unit for Hybrid Electric Vehicle”, içinde *2023 2nd International Conference on Paradigm Shifts in Communications Embedded Systems, Machine Learning and Signal Processing, PCEMS 2023*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023. doi: 10.1109/PCEMS58491.2023.10136093.
- [29] Monolithic Power Systems, “MP6527 Datasheet”, <https://www.monolithicpower.com/en/mp6527.html>.
- [30] Diodes Inc., “74HC595 Datasheet”, <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/74HC595.pdf>.
- [31] Diodes Inc., “AP64100 Datasheet”, <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/AP64100.pdf>.
- [32] Texas Instruments, “SN65HVD232 Datasheet”, <https://www.ti.com/product/SN65HVD232>.
- [33] M. Rohith ve K. Sreelakshmi, “Design and Integration of Gateway Electronic Control Unit (ECU) for Automotive Electronics Applications”, içinde *2021 Asian Conference on Innovation in Technology, ASIANCON 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Ağu. 2021. doi: 10.1109/ASIANCON51346.2021.9545049.
- [34] Xing Fan, Xingjian Zheng, ve Yongqi Ge, “CAN Communication Detection System Design for Engineering Vehicle Electronic Control Unit”, içinde *The 15th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE 2020)*, 2020, ss. 289-292.
- [35] Analog Devices, “MAX485 Datasheet”, <https://www.analog.com/en/products/max485.html>.
- [36] Mahdi Sadeghinia, Chalukya Chincholi, Alexander Udyansky, ve Andreas Fischer, “Effect of material properties on PCB frequencies in electronic control unit”, içinde *2019 20th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE)*, 2019.
- [37] I. Çadirci, B. Saka, ve Y. Eristiren, “Practical EMI-filter-design procedure for high-power high-frequency SMPS according to MIL-STD 461”, *IEE Proceedings: Electric Power Applications*, c. 152, sy 4, ss. 775-782, Tem. 2005, doi: 10.1049/ip-epa:20045079.
- [38] S. Kumbhar, P. Bartakke, ve S. Kuchekar, “Software Test Automation of Electronic Control Unit”, içinde *Proceedings - 2022 International Conference on Recent Trends in Microelectronics, Automation, Computing and Communications Systems, ICMACC 2022*, Institute of Electrical and

Electronics Engineers Inc., 2022, ss. 477-481. doi: 10.1109/ICMACC54824.2022.10093382.

- [39] H. Hizarci, U. Pekperlak, ve U. Arifoglu, “Conducted Emission Suppression Using an EMI Filter for Grid-Tied Three-Phase/Level T-Type Solar Inverter”, *IEEE Access*, c. 9, ss. 67417-67431, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3077380.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Fatih ARABACI

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2009-2021 yılı boyunca AĞTEKS firmasında, ARGE Mühendisi, ARGE Müdürü pozisyonlarında çalıştı.
- 2021 yılında FSA Teknoloji firmasını kurdu. 2021 yılından itibaren kendi şirketinde yöneticilik aynı anda ÇEKSAN firmasında danışmanlık yapmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Arabacı F., Arifoğlu U., Hızarcı H. ve Çaykara A. S., (2024, 8-9, Haziran). Yol Süpürme Araçları için Özgün Bir Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU) Tasarımı. 3. *Bilsel International Ahlat Scientific Researches Congress*, Bitlis, Türkiye.
- Arabacı F., Arifoğlu U., Hızarcı H. ve Çaykara A. S., (2023, 13-14, Aralık). Yeni Nesil Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU) Tasarımı. *V. Ulusal Üniversite Sanayi İşbirliği, Arge Ve Inovasyon Kongresi*, Manisa, Türkiye.

DİĞER ESERLER:

- Arabacı F., Sedef H. ve Ağrikli M. (2018, 30 Kasım- 1 Aralık). Mıknatıs Hareketli Lineer Motorlar İçin Temassız Lineer Mutlak Kodlayıcı. *ELECO 2018, Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı*, Bursa, Türkiye.