



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü



# ÜCRET TOPLAMA ARAÇLARINDA KAREKOD ALGILAMA PERFORMANSININ ARTTIRILMASI VE GÖMÜLÜ SİSTEM GERÇEKLENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

BURAK ŞAHAN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir  
2019



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü

**ÜCRET TOPLAMA ARAÇLARINDA KAREKOD  
ALGILAMA PERFORMANSININ ARTTIRILMASI  
VE GÖMÜLÜ SİSTEM GERÇEKLENMESİ**

Burak ŞAHAN

Danışman : Prof. Dr. Aydoğan SAVRAN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Elektronik Yüksek Lisans Programı

İzmir  
2019



Burak ŞAHAN tarafından YÜKSEK LİSANS tezi olarak sunulan “Ücret Toplama Araçlarında Karekod Algılama Performansının Arttırılması ve Gömülü Sistem Gerçeklenmesi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 29.08.2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

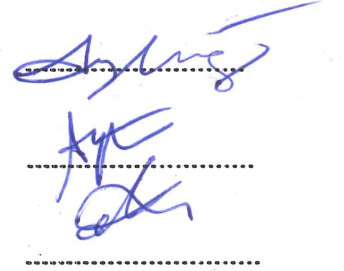
**Jüri Üyeleri:**

**İmza**

**Jüri Başkanı : Prof. Dr. Aydoğan SAVRAN**

**Raportör Üye : Doç. Dr. Aytuğ ONAN**

**Üye : Dr. Öğr. Üyesi Özkan AKIN**

Handwritten signatures in blue ink, corresponding to the names listed in the table. The first signature is for Prof. Dr. Aydoğan SAVRAN, the second for Doç. Dr. Aytuğ ONAN, and the third for Dr. Öğr. Üyesi Özkan AKIN.



## EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

### ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi / ~~Doktora~~ Tezi olarak sunduğum “Ücret Toplama Araçlarında Karekod Algılama Performansının Arttırılması ve Gömülü Sistem Gerçeklenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

29 /08 /2019

Burak ŞAHAN





**ÖZET****ÜCRET TOPLAMA ARAÇLARINDA KAREKOD ALGILAMA  
PERFORMANSININ ARTTIRILMASI VE GÖMÜLÜ SİSTEM  
GERÇEKLENMESİ**

ŞAHAN, Burak

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aydoğan SAVRAN

Ağustos 2019, 88 sayfa

Toplu taşıma sistemleri; işe ve alışverişe gitmek gibi hayatımızın bir çok noktasında seyahat ihtiyaçlarımızı karşımaktadır. Toplu taşıma sistemlerinde kullanılan ödeme yöntemleri güvenilir olmalıdır. Bu amaç doğrultusunda birden farklı yöntem ücret toplama sistemi içerisinde yer almaktadır. Bunlardan başlıcaları, tek ve çok kullanımlık temazsız kart ile ödeme, tek kullanımlık biletler ile ödeme, taşınabilir cihazlar ile ödeme ve daha geleneksel bir yöntem olan nakit para ile ödemedir. Güvenli bir yolculuk deneyimi yaşayabilmek için şöför ile para arasında en az seviyede iletişim kurulması gerekmektedir. Aksi takdirde şöförün kaza yapma ihtimali artmaktadır. Bu amaç doğrultusunda ücret düşüm terminalleri ile yolcu arasında etkileşim sağlanması en doğru yöntemler arasındadır. Turistik seyahatler gibi tek binişlik uygulamalarda birden çok okumaya elverişli kartlar kullanıcı açısından maliyetli olmaktadır. Bu yüzden tek kullanımlık bilet uygulamaları tercih edilmektedir. İki boyutlu karekod barındıran kâğıt biletler, bir kamera veya okuyucu sayesinde algılanır ve ardından geçiş onayı verilir. Ancak kare kod bulunduran biletlerin kolay kopyalanabilmesi bu sistemlerin en büyük açıklarındandır. Bu sorunun çözümü için oluşturulan karekodun güvenlik katmanı içermesi gerekmektedir. Morötesi ışık altında görünebilen ikinci bir QR kodun da kâğıt üzerine basılması ile oluşturulan biletler, Linux temelli bir gömülü sistem cihazında bulunan kamera ile algılanmaktadır. Algılanan görüntü Otsu algoritması kullanılarak analiz edilmiş ve üçlü veri şifreleme yöntemiyle çözümlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** karekod, toplu taşıma, tek kullanımlık bilet, ödeme sistemi, OTSU



**ABSTRACT****IMPROVING QUICK RESPONSE CODE DETECTION  
PERFORMANCE IN FARE COLLECTION TOOLS AND  
EMBEDDED SYSTEM IMPLEMENTATION**

ŞAHAN, Burak

M.Sc. in Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Aydoğan SAVRAN

August 2019, 88 pages

Public transportation systems; It meets our travel needs at many points of our lives, such as going to work and shopping. Payment methods used in public transport systems must be reliable. For this purpose, multiple different methods are included in the fare collection system. The most important of these are single and multi-use contactless cards, payment with single-use tickets, payment with mobile devices and payment with cash, which is a more traditional method. In order to have a safe journey experience, minimum communication between the driver and the money is required. Otherwise, the chances of the driver having an accident increase. For this purpose, it is among the most accurate methods to provide interaction between fare collection terminals and passengers. In single-use applications such as tourist travel, multiple readable cards are costly for the user. Therefore, single-use ticket are preferred for that. Paper tickets containing two-dimensional data matrix are detected by a camera or reader, and then pass is granted. However, the easy copying of tickets with QR codes is one of the biggest deficits of these systems. To solve this problem, the data matrix created must contain a security layer. Tickets generated by printing a second QR code, which can be seen under ultraviolet light, are detected by the camera in a Linux-based embedded system device. The perceived image was analyzed using Otsu algorithm and analyzed by triple data encryption method.

**Keywords:** QR kod, public transportation, single-use ticket, payment system, OTSU.



## ÖNSÖZ

Bu tez çalışması ücret toplama araçlarında kâğıt bilet okuma sistemlerine alternatif bir çözüm oluşturmak amacıyla oluşturulmuştur. Oluşturulan tez kapsamında literatür çalışmaları incelenmiştir. Edinilen bilgi kazanımlarından da faydalanılarak sistem ihtiyaçları belirlenmiştir.

Sistemde kullanılan kâğıt bilet üzerine görünür ve morötesi ışık altında algılanabilen iki farklı karekod basımına karar verilmiştir. Baskı üzerindeki karekodların algılanabilmesi için bir kamera sistemi, kâğıt biletin onalanması sürecinde görev alan ısı yazıcı mekanizması, gömülü sistem ve görüntü işleyen bir yazılıma ihtiyaç duyulmuştur.

Belirlenen özelliklerin sağlanabilmesi için gömülü sistem anakartı, kamera sürücü kartı, ısı yazıcı kontrol kartı ve mekanik tasarımlar yapılmıştır. Ayrıca bu donanımların kontrollerinin gerçekleştirilebilmesi ve tezin asıl odak noktası olan görüntü işleme yöntemlerinin kullanıldığı yazılımlar gerçekleştirilmiştir.

İZMİR

29/08/2019

Burak Şahan



**İÇİNDEKİLER**

	<u>Sayfa</u>
İÇ KAPAK.....	i
KABUL ONAY SAYFASI.....	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	v
ÖZET.....	vii
ABSTRACT .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 QR Kod Ödeme Sistemlerine Neden İhtiyaç Duyulur?.....	2
1.2 İlgili Çalışmaların İncelenmesi.....	3
1.3 Tezin Amacı.....	5
1.4 Tezin Katkısı Ve Motivasyonu.....	6
1.5 Tezin İçeriği.....	7
2. MOBİL ÖDEME SİSTEMLERİ .....	9
2.1 Mobil Ödeme Sistemlerinde RFID Kullanımı.....	9
2.2 Mobil Ödeme Sistemlerinde NFC Kullanımı.....	9

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
2.3 Mobil Ödeme Sistemlerinde Kâğıt Bilet Kullanımı .....	11
3. GENEL BİLGİLER .....	12
3.1 QR Kod .....	12
3.1.1 QR kod teknolojisinin incelenmesi .....	12
3.1.2 QR kodun tarihçesi.....	13
3.1.3 QR kodun yapısı.....	14
3.1.4 QR kod versiyonları ve veri kapasitesi .....	15
3.1.5 QR kod özellikleri.....	16
3.1.6 QR kod türleri .....	19
3.1.7 QR kod standartları .....	21
3.1.8 QR kod oluşturulması .....	22
3.1.9 QR kod çözümlenmesi.....	25
3.2 Morötesi Işık .....	27
3.2.1 Morötesi ışık uygulamaları .....	28
3.2.2 Görünmez mürekkeple baskı .....	29
3.2.3 Morötesi ledler .....	30
3.3 Isıl Yazıcı .....	31



**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
3.3.1 Isıl başlık.....	31
3.3.2 Kontrol kartı.....	33
3.4 QR Kod Okunması ve Otsu Algoritması .....	33
3.5 Akıllı Kartlar.....	37
3.5.1 Akıllı kartların incelenmesi .....	37
3.5.2 Akıllı kartların tarihçesi .....	38
3.5.3 Akıllı kartların fiziksel yapısı .....	39
4. MATERYALLER VE YÖNTEMLER.....	43
4.1 Donanım Tasarımı .....	43
4.1.1 Ana kart donanım tasarımı .....	43
4.1.2 Kamera modülü donanım tasarımı.....	50
4.1.3 Termal yazıcı kontrol kartı tasarımı .....	52
4.1.4 Mekanik Tasarım .....	53
4.2 Geliştirme Ortamının Kurulması .....	55
4.2.1 Doğru işletim sistemini seçme.....	55
4.2.2 Gömülü sistem sektöründeki aktörler.....	56
4.2.3 Gömülü sistemlerde 4 temel eleman.....	57

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
4.3 Yazılım Tasarımı.....	58
4.3.1 Isıl yazıcı kontrol kartı yazılımı .....	58
4.3.2 Linux sürücü yazılımlarının kullanımı.....	61
4.3.3 QR kod çözümüleme kütüphanesi yazılımı .....	69
4.3.4 QR Kod okuyucu yazılımı .....	72
5. SONUÇLAR .....	79
6. ÖNERİLER.....	80
KAYNAKLAR DİZİNİ .....	81
ÖZGEÇMİŞ .....	88

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 QR Kodun Yapısı .....	14
3.2 Farklı türdeki verilerin bir QR Kod içeriğinde gösterilmesi .....	17
3.3 Geleneksel barkod ile QR kod boyutlarının karşılaştırılması.....	17
3.4 QR kod Kanji ve Kana karakter desteği .....	18
3.5 QR kod konumlama desenleri .....	19
3.6 Yapısallaştırılmış QR kod örneği .....	19
3.7 SQRC mekanizması.....	21
3.8 QR kod oluşturma işlem zinciri.....	22
3.9 QR kod çözümüleme işlem zinciri .....	25
3.10 Elektromanyetik tayf .....	27
3.11 Hareketli termal başlık kullanan termal yazıcı mekanizması.....	32
3.12 Tek satır yazma işlevine sahip termal yazıcı mekanizması.....	32
3.13 Akıllı kart yapısı .....	37
3.14 Akıllı kart boyutları .....	38
3.15 Akıllı kart yapısı .....	40
3.16 Akıllı kart temas noktaları tanımlaması.....	41
4.1 Gömülü sistem anakart tasarımı blok diyagramı.....	44
4.2 Anakart flyback güç kaynağı tasarımı .....	45
4.3 Ethernet katmanı tasarımı .....	45
4.4 NAND flash tasarımı .....	46

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.5 SD kart arayüzü tasarımı.....	46
4.6 RTC tasarımı.....	46
4.7 RS232 ve RS485 seviye dönüştürücü tasarımı .....	47
4.8 CAN kontrolcü tasarımı.....	48
4.9 Optik izolatör GPIO katmanı tasarımı .....	48
4.10 Ses katmanı tasarımı .....	49
4.11 RF kart okuma devresi .....	49
4.12 Kamera modülü donanım tasarımı blok çizimi.....	50
4.13 Kamera modülü güç beslemesi tasarımı .....	51
4.14 Kamera algılayıcı ile USB dönüştürücü bağlantı diyagramı .....	51
4.15 Termal yazıcı kontrol kartı blok tasarımı.....	52
4.16 Termal yazıcı kontrol kartı +5V çıkış gerilimi düzenleyici.....	53
4.17 Termal yazıcı kontrol kartı +3.3V çıkış gerilimi düzenleyici.....	53
4.18 Kasa çıkıntısı tasarımı mekanik görünümü.....	54
4.19 Mekanik iç tasarım bileşenleri .....	55
4.20 Termal yazıcı kontrol kartı haberleşme yapısı.....	58
4.21 Çekirdek kodunun yapılandırma ayarlarının yapılabildiği menü ekranı .....	62
4.22 Çekirdek dosya formatları desteğinin tercih edilmesi.....	63
4.23 Çekirdeğe NAND desteğinin eklenmesi .....	63
4.24 Çekirdek ağ geçit ayarlarının yapılması.....	64

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.25 Çekirdek USB desteğinin açılması .....	64
4.26 Çekirdek USB seri çevirici özelliğinin eklenmesi.....	64
4.27 Çekirdek USB modem desteğinin eklenmesi .....	65
4.28 Çekirdek USB sürücü GSM modem desteğinin eklenmesi.....	65
4.29 Çekirdek sys dosya sistemi desteğinin eklenmesi .....	65
4.30 Çekirdek USB genel ve OTG özelliğinin eklenmesi.....	66
4.31 Çekirdek kamera desteklerinin eklenmesi .....	67
4.32 Çekirdek kamera sensör desteklerinin eklenmesi.....	68
4.33 Linux için video desteğinin eklenmesi .....	68
4.34 Çekirdek UART özelliğinin seçilmesi.....	69
4.35 ZBar kütüphanesinin çalışma mekanizması .....	70
4.36 QR Kod okuyucu uygulama ana fonksiyonun açıklanması.....	73
4.37 Ana uygulama istemcisinin talep fonksiyonları .....	74
4.38 Kameradan görüntü almanın başlatılması .....	75
4.39 Kameradan alınacak görüntünün özelliklerinin girilmesmesi .....	75
4.40 Kameraya erişim fonksiyonu.....	75
4.41 Barkod okuma algoritmasının akış diyagramı .....	76
4.42 Görüntünün belirlenen bölgeye göre kırılması.....	76
4.43 Görüntünün gri renk uzayına dönüştürülmesi .....	76
4.44 OTSU algoritmasıyla eşik değerin hesaplanması.....	77

**ŒEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Œekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.45 Görüntünün eşik değeriyle siyah beyaz forma dönüŒtürülmesi .....	77
4.46 ZBar kütüphanesiyle desenin çözümlenmesi .....	78



**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Ödeme yöntemlerinin özelliklerine göre kıyaslanması .....	10
3.1 Barkod ile QR Kod özelliklerinin kıyaslanması.....	13
3.2 QR kod sürüme göre veri barındırma çizelgesi .....	16
3.3 Hasar seviyesine göre hasar oranı grafiği .....	18
3.4 Karakter sayısı göstergesi .....	23
3.5 Mod göstergesi.....	24
3.6 Dalga boyuna göre morötesi ışın çizelgesi .....	28
3.7 Dalga boylarına göre morötesi ışık uygulamaları çizelgesi.....	29
3.8 KYM renk uzayından YUV formata dönüşüm.....	34
3.9 YUV renk uzayından KYM formatına dönüşüm.....	35

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ADAS	Sürücü Yardımcı Sistemler
AIDC	Otomatik Tanımlama ve Veri Toplama
AIM	Uluslararası Otomatik Tanımlama Üreticileri
ATM	Bankamatik
BIT	En küçük veri birimi
BLE	Düşük Tüketimli Bluetooth
CPU	Merkezi İşlem Birimi
CSI	Kamera Seri Arayüzü
DNA	DeoksiriboNükleik Asit
DUV	Derin-UV
EAN	Avrupa Makale Numarası
ECI	Genişletilmiş Kanal Yorumu
EEPROM	Elektriksel Olarak Silinebilir Programlanabilir Salt Okunur Bellek
EUV	Aşırı-UV
FUV	Uzak-UV
FNC1	Fonksiyon Kod 1
ICC	Entegre Devre Kartı



**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilâtı
ISI	Görüntü Sensörü Arabirimi
JEIDA	Japon Elektronik Sanayii Geliştirme Derneği
JIS	Japon Endüstriyel Standartları
LDO	Düşük Bırakma Düzenleyici
LED	Işık Yayan Diyot
MUV	Orta-UV
NUV	Yakın-UV
NFC	Yakın Alan İletişimi
PoE	Ethernet Üzerinden Güç
POS	Satış Noktası
PVC	Polivinil Klorür
QR	Hızlı Yanıt
RAM	Rasgele Erişimli Bellek
RFID	Radyo Frekansı ile Tanımlama
ROM	Sadece Okunabilir Bellek

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
SoC	Çip Üzerindeki Sistem
UPC	Evrensel Ürün Kodu
USART	Evrensel Senkron Asenkron Alıcı Verici
USB	Evrensel Seri Veriyolu
UV	Morötesi
UVA	Morötesi A
UVB	Morötesi B
UVC	Morötesi C
UV-LED	Morötesi Işık Yayan Diyot
UVR	Morötesi Radyasyon
XOR	Özel veya
VUV	Vakum-UV

## 1. GİRİŞ

Yarı iletken teknolojiyle paralel gelişen mikroişlemci teknolojileri; bilgisayar dünyasının gelişimine neden olmuştur. Bilgisayarlar genel amaçlı tasarlanan gelişmiş sistemler olmasıyla birlikte daha özel işlemler için daha ucuz sistemlere ihtiyaç duyulmuştur. Bu da gömülü sistem dünyasının gelişiminin önünü açmıştır.

Önceleri makine dili kullanılarak ihtiyaca özgü yazılımların geliştirildiği sistemler kullanılırken, zaman içerisinde mikroişlemci özelliklerinin artması ile karmaşıklaşan ve anlaşılabilirliğini kaybeden programlar, işletim sistemi ihtiyacını ortaya koymuştur. İşletim sistemleri, gerçek zamanlı işlemlerin yönetilmesini kolaylaştırmaktadır. Aynı zamanda gömülü sisteme birden fazla işlev yüklenmesini de sağlamaktadır. C dilinin ve beraberinde derleyici ortamının ortaya koyulmasıyla daha anlaşılır bir dil ile platformdan bağımsız olarak geliştirilen programlar ile daha çok noktaya temas edilmiştir.

Gömülü sistem tasarımlarında çevresellerin belirlenmesi ihtiyaca uygun olarak gerçekleşmektedir. Bellek seçimi, işlemci gücünün belirlenmesi, güç tüketim senaryoları, yazılımsal ihtiyaçlar gibi faktörler sistemin tasarımında etkili rol oynamaktadır. Akıllı saatler, cep telefonları, araç takip cihazları, asansör kontrol üniteleri, satış noktası (Point of Sale, POS) cihazları gibi bir çok özel işlev yürüten sistemler gömülü sistem olarak isimlendirilmektedir ve amacına uygun olarak tasarlanmaktadır.

Bu çalışmada bahsedilen gömülü sistem; toplu taşıma araçlarını kullanan yolcuların nakit para kullanmadan ücret ödemeleri için geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem kaçak binişlerin önüne geçmekle birlikte, kayıp para oluşumunun önüne geçme, yolcu bilgilerinden elde edilebilecek özel analizlerin yapılabilmesi gibi avantajlar da sağlamıştır.

Ödeme yöntemleri arasında sıklıkla kullanılan temassız akıllı kartlar, yakın alan haberleşme (NFC), radyo frekansı ile tanımlama (RFID), kare kod (QR) ile ödeme, kâğıt bilet ile ödeme ve telefon ile ödeme gibi yöntemler yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında QR kod barındıran kâğıt biletler ile geliştirilen bir yöntem üzerinde durulmuştur.

Kare kod baskılı kâğıt bilet uygulamaları, tiyatro ve sinema bileti, otobüs bileti, hayvanat bahçesi ve müze girişleri gibi farklı alanlarda kullanılmaktadırlar. Tüm bu alanlarda kullanılan biletlerin amacı nakit kullanmadan kayıp kaçak geçişlerin önüne geçebilmektedir. Her ne kadar bu yöntemler ile çok yüklü miktarlarda para akışı olmasa da aktarılan miktarların güvenli bir şekilde gerçekleşebilmesi gerekmektedir. Kâğıt üzerine basılan QR kod desenleri, kolay şekilde kopyalanabilmektedir. Kopyalamanın önüne geçebilmek için ek güvenlik önlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, kâğıt üzerine basılan QR kod desenine ek olarak, morötesi ışıkta görünebilen mürekkep ile basılan farklı bir QR kod daha basılmaktadır. Basılan ikinci QR kod, tezde bahsedilen yöntemler ile geliştirilen sistem ile okunmaktadır. Ayrıca QR kod çözümlemesi için de yöntemler önerilmiştir.

### **1.1 QR Kod Ödeme Sistemlerine Neden İhtiyaç Duyulur?**

Bankacılık uygulamalarının gelişmesiyle birlikte insanların yanlarında nakit para taşıma istekleri ortadan kalmaktadır. Başlarda bankacılık işlemleri için kullanılan para nakil işlemleri; market, internet, konfeksiyon ve lokanta alışverişi gibi hayatımızın büyük bir çoğunluğunu kapsar hale gelmiştir. Neredeyse nakit parayı görmeden gerçekleştirilen değiş-tokuş işlemleri işimizi oldukça kolaylaştırmanın yanı sıra cüzdanlarda daha az yer kaplayan elektronik veri yığını haline gelmiştir. Tüm bu değişim; para kullanılan her nokta için farklı çözümlerin üretilmesine sebep olmuştur. Sağlamış olduğu kolaylıkların yanında ciddi güvenlik çözümlerinin de paralel olarak ilerlemesi ihtiyacını ortaya koymuştur. Gün geçtikçe nakit para kullanımı azalmaktadır. Ekonomistlere göre kullanılan para miktarı artmasına rağmen cüzdanlarda taşınan para miktarı azalmaktadır. Bunun sebebi de kredi ve banka kartlarının sayısının ve yaygınlığının artmasıdır. Bu da tüketicilerin nakit para taşıma eğilimlerinin azaldığını ve elektronik ticaretin getirdiği kolaylıktan her geçen gün faydalanan insan sayısının arttığını göstermektedir.

Taşınabilir ödeme yöntemleri gelişen teknolojinin bize kazandırdığı önemli bir çözümdür. NFC yani Near Field Communication ve Türkçe ismiyle Yakın Alan İletişimi, gibi çözümler ücret toplama için daha kullanışlı çözümler olarak bilinse de, maliyetlerinin yüksek oluşu ve pahalı teknolojiler içermesinden dolayı zaman içerisinde farklı çözümlere ihtiyaç duyulmasına sebep olmuştur.

Cep telefonları ile yapılan ödeme sistemlerinin güvenlik açısından bazı riskleri bulunmaktadır. Cep telefonunun çalınması gibi durumlarda kişiye ait bilgilerin ele geçirilmesi ve bunların farklı kanallarda büyük zararlara yol açabilecek şekilde kullanılması söz konusudur. Bu gibi risklerin artmasıyla geliştirilen mobil cihazlara ek donanımlar geliştirilerek maliyetlerinin artması söz konusu olmuştur. Hayatımızın hemen hemen her noktasında yer almasına rağmen ödeme konusunda taşınabilir cihazlarının kullanımı bir çok insana hâlâ güvenilir gelmemektedir.

Daha ucuz ve tek kullanımlık olarak tasarlanan kâğıt biletler; kullanıcı tarafında maddi kaybının çok az oluşu ve ihtiyaç halinde satın alınabilmesi daha fazla tercih edilmesine neden olmaktadır. Kâğıt bilet uygulamalarının en yaygın olanı ise üzerinde QR kod bulunduranlarıdır.

Büyük bilgi içeriğine sahip olması sebebiyle tercih edilen QR kodlar, Gao et.al.'da bahsi geçen QR kodlu ödeme ortamının oluşturulması ve Seino et.al.'da bahsedilen balıkçılık ürünleri takip uygulaması gibi farklı alanlarda da kullanılmıştır.

Ödeme bilgileri (para miktarı) ve kullanıcı bilgisi gibi bilgiler ile oluşturulan QR kod, genellikle görüntü algılayıcı barındıran taşınabilir cihazlar kullanılarak algılanarak çözümlenmesi yapılmaktadır.

Toplu taşıma araçlarında kullanılan sistemler temel olarak; internet bağlantısı bulunan ve kamera barındıran bir akıllı gömülü sistem cihazı, QR kod çözümleyici uygulama, bilet ve kullanıcıdan oluşmaktadır. Akıllı sistem tarafından algılanan QR kod bilgisi doğrulanması kullanıcının seyahate başlasını sağlamaktadır. Fairpay'e ait TaxiChoice uygulaması kredi kartına alternatif olarak QR kod sistemlerinin de uygulanabileceğinden bahsetmektedir (No more cash in taxis, 2016).

## **1.2 İlgili Çalışmaların İncelenmesi**

Literatür çalışmaları incelendiğinde, kare kod ile ödeme sistemlerinin farklı uygulamalarının olduğu görülmektedir. Uygulamalar genellikle android işletim sistemine sahip hazır bir ürün tercih edilerek üzerinde bir yazılım geliştirilerek oluşturulan sistemleri kapsamaktadır. Fakat tüm sistem tasarımı, görünmez kare kod uygulaması, iki kademeli şifreleme katmanı ve ödeme sisteminin bir arada

olduğu bir çalışmaya rastlanılmadığı görülmektedir. Bu alışmalar dikkate alındığında ise, güvenlik, okuma süresi ve okuma yöntemleri üzerinde durulduğu görülmektedir.

Kare kod teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, birçok alanda kullanımına rastlanmaktadır. Kare kodun kullanım alanları ile ilgili çalışmalar aşağıda ele alınmıştır.

Japonya'da McDonlads hamburger paketleri üzerinde kullanılan ürün içeriği hakkında bilgilendirme kare kodları kullanıcıyı oldukça mutlu etmiştir (QRCodeTracking, 2019). Bazı rn kataloglarına yerleştirilen QR kodlar da müşterilerin QR kodu okuttuğunda doğrudan o ürünü sipariş edebilmesine olanak tanımıştır. Dünya Sağlık rgt (World Helth Organization, WHO) hasta bilgilerinden (hasta adı, kimlik numarası, cinsiyeti, oda numarası, yatak numarası) oluşan QR kod oluşturularak, hasta bilekliğine basılması gerektiğini savunmaktadır. Böylece daha kaliteli ve doğru bir hizmet verilmesi sağlanmış olacaktır (Milesdata, 2019).

Kare kodların kameralar tarafından zmlenebilmesi için birçok çalışma yürütülmüştür. Konuyla ilgili yürütülen bazı çalışmalar incelenerek aşağıda yer verilmiştir.

Kameralı cep telefonlarının gelişmesiyle birlikte kare kodların zmlenebilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Bunlarda birisi de (Muniz et. al.)'da bahsedilen İspanyada'ki tıp reçetelerinde kullanılan kare kodların otomatik işlenmesi ile ilgilidir. (Ohbuchi et. al.), 2004 yılındaki çalışmalarından kare kodun ve EAN türü barkodların köşe tespit ve barkodların düzeltilme yöntemlerinden bahsedilmiştir. (Wachenfeld et. al.)'da cep telefonlarının bir boyutlu barkod üzümlerinde rahatlıkla kullanılabileceğini belirtmiştir.

Görünmez kare kodların kullanımıyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde aşağıdaki çalışmalara ulaşılmıştır.

(Gao et. al)'da dijital bir görüntü üzerine yerleştirilen bir kare kodun göz ile algılanmadığından, ancak algılama işleminin kamera kullanan akıllı bir cihaz ile yapılabileceğinden bahsetmiştir. Uygulanacak yöntem ile gömülü görünmez kare kodun televizyon ve sinema gibi izinsiz kopyalama ihtimali olan alanlar için bir zm olabileceğinden bahsedilmiştir.

(Wang et al.)’da kare kod güvenliğini sağlanması için ikinci bir görünmez kare kod eklenmesi gerektiğinden bahsedilmiştir. Görünmez mürekkep ile basılan kare kod kızılötesi ışık altında görünür hale getirilerek doğrulama işlemi yapılabilmektedir. Kare kodu yasadışı olarak kopyalanması durumunda, kızılötesi algılama altında gizli ikinci kare kod gözükmeyecektir. Böylece sahteciliğe karşı önleme özelliği desteklenmiş olacaktır.

Kare kodun ödeme yöntemlerinde kullanılmasıyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde aşağıdaki çalışmalara ulaşılmıştır.

(Muradzikwa et al.)’da nakitsiz ödeme yöntemi olarak kare kod kullanımının, kullanıcı dostu ve kullanışlı bir çözüm olduğundan bahsedilmiştir. Mobil uygulama geliştiricileri ve kullanıcıları tarafından kare kod destekleyen sistemlerin desteklenmesi gerektiği fikri savunulmuştur. Bahsi geçen çalışmada uygulama olarak android işletim sistemini kullanan taşınabilir bir telefon kullanılmıştır.

(Speed et al.)’da bahsedildiği gibi, Çin’de tren biletlerinde kullanılan kare kodlarda; yolcu isimleri ve ilgili kişisel bilgiler yer almaktadır.

### **1.3 Tezin Amacı**

Günümüzde toplu taşıma araçları; kamera kayıt sistemi, araç içi kontrol merkezi, hat-güzergah gösterge ekranları, gelişmiş sürücü yardımcı sistemler (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) ve ücret toplama sistemleri başta olmak üzere bir çok teknolojik çözümlerle donatılmışlardır.

Ücret toplama sistemleri bankaların sunmuş olduğu kredi kartı çözümleri, düşük güçlü bluetooth jetonları (Bluetooth Low Energy, BLE) gibi çözümlerin yanında, NFC, radyo frekansı ile tanımlama, (Radio Frequency Identification, RFID), ve kâğıt bilet doğrulama yöntemleri gibi farklı teknoloji ve uygulamaları desteklemektedir.

RFID özellikli plastik kartlar maliyeti yüksek çözümler arasında yer almaktadır. Toplu taşıma araçlarını sürekli kullanmayan yolcular için satın alma maliyetinin yüksek oluşu ve sürekli yanında taşımak zorunda olmaları bu yöntemi tercih etmemelerine sebep olmaktadır. Bahsedilen dezavantajlar tek binişlik kullanıma uygun yeni çözümlerin geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Maliyetinin çok daha düşük olması sebebiyle çözüm olarak kâğıt bilet uygulamaları geliştirilmiştir.

Kalabalık yolculuklarda şoförün araç kullanırken aynı zamanda bileti kontrol edebilmesi mümkün olmamakla birlikte, fazladan bir bilet kontrol eden kişinin otobüs içerisinde bulunması da maliyet konusunda dezavantaj oluşturmaktadır. Bu amaç doğrultusunda; kâğıt bilet üzerine basılan QR kodlar görüntü algılayıcı barındıran bir gömülü sistem cihazı sayesinde çözümlenerek onaylanması süreçleriyle bu işlemler hızlı ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

QR kod içerisinde bir çok bilgiyi barındırabilmekle birlikte kopyalanabilmesi oldukça basit sembollerdir. Kopyalamanın önüne geçebilmek amacıyla ancak özel matbaalarda basımı gerçekleştirilebilen morötesi mürekkep ile basılmış ikinci bir QR kodun geliştirilen sistem tarafından çözümlenebilmesi sağlanmıştır. Benzer uygulamalara göre fazladan bir güvenlik katmanı sağlayan bu yöntem ile literatüre farklı bir uygulama çözümü sunulmuştur.

#### **1.4 Tezin Katkısı Ve Motivasyonu**

QR kod barındıran kâğıt bilet uygulamaları genellikle bir mobil cihaz tarafından üretilmiş QR kodları veya baskısı alınmış bir QR kodun çözümlendiği uygulamalardır. Kâğıt bilet üzerine basılmış QR kodların kopyalanarak aynı desenden oluşturulmuş birden fazla biletin elde edilmesi mümkündür. Bu kopyalama imkanının azaltılabilmesi için bilet üzerine morötesi ışık altında görülebilen ikinci bir QR kod baskısının yapılması endüstrideki uygulamaların aksine bir yöntem olarak kullanılmıştır.

Gömülü sistemler ile birlikte kullanılan QR kod okuyucular genellikle hazır olarak temin edilmektedirler. Hazır sistemler kamera, ışık, hareket algılayıcılar ve görüntü işleme merkezinden oluşmaktadır. Görüntü işleme merkezi tarafından QR kodlu görüntünün çözümlenmesiyle bir haberleşme arayüzü aracılığıyla başka bir sisteme aktarılmaktadır. Bahsedilen hazır sistemler pahalı olmakla birlikte kısıtlı parametrelerin değiştirilebilmesine imkan tanımaktadır. Görüntü işleme için kullanılan algoritmalara herhangi bir müdahale etme imkanı sunmamaktadır. Ayrıca sadece görünür ışıktaki görüntülerin çözümlenebilmesini sağlamaktadır. Bahsedilen bu eksiklikler ışığında hem morötesi mürekkep ile basılı desenin



çözümünebilmesi hem de görüntü çözümleme ve doğrulama işlemlerinin tek bir merkezden yürütüldüğü bir gömülü sistem tasarımı yapılmıştır.

Proje kapsamında devre tasarımından, plastik kalıp tasarımına ve yazılımına kadar tüm aşamaların ülkemizde gerçekleştirilmiş olması millileşme hareketine vermiş olduğu destek adımlarıyla hem gurur verici olmuştur, hem de bu motivasyon ile hızlı ilerlenmesine sebep olmuştur. Aynı zamanda endüstriye kazandırılmış benzer uygulamalarına nazaran yeni bir çözüm olması da motivasyon kaynağı olmuştur.

Çalışma kapsamında elde edilen ve tez kapsamında sunulan bilgiler hem destekleyici firmaya hem de literatüre katkı sağlayacaktır.

## 1.5 Tezin İçeriği

Projeye başlamadan önce ihtiyaçlar belirlenmiş, yol haritası çizilmiştir. İhtiyaçlar doğrultusunda tasarlanacak olan anakartın ve yardımcı kartların bileşenleri literatür taraması yapılarak ve geçmiş tecrübelerle dayanarak belirlenmiştir. Proje kapsamında ısı yazıcı kontrol kartı, kamera sürücü kartı ve anakart olmak üzere toplam 3 farklı kart tasarımı yapılması kararlaştırılmıştır. Yol haritasının belirginleşmesi için blok şema çizilmiştir.

Blok şeması çizilen donanımların, veri föylerine bağlı olarak şematik çizimleri yapılmıştır. Ardından baskı devre kart tasarımları Altium<sup>1</sup> programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Baskı devre üretimlerinde ve tasarımlarında Kentkart Ege Elektronik Sanayi ve Ticaret A.Ş. laboratuvarı imkanı sağlamış, maddi kaynak oluşturmuş ve Ar-Ge çalışanlarıyla desteğini esirgememiştir.

Anakart üzerinde koşacak işletim sistemi, elektronik kartın özelliklerini destekleyecek şekilde özelleştirilmiştir. Gerekli çekirdek düzenlemeleri ile tasarlanan diğer kartların desteği sağlanmıştır. Kamera devresi USB arayüzünü kullanarak bağlantı noktası oluşturulmuş için, Bu hat üzerinden kameranın algılanabilmesi için uygun sürücünün çekirdeğe dahil edilmesi sağlanmıştır.

---

<sup>1</sup> Altium, devre tasarımlarında kullanılan ve CAD program paketi olan bir teknik çizim programıdır.

Tezin tüm aşamalarında gerekli literatür araştırmaları yapılarak gerekli bilgiler toplanmış, donanımsal ve yazılımsal tasarımlar yapılırken elde edilen bilgilerden faydalanılmıştır.

Tezin geri kalan bölümleri řu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2’de genel olarak mobil ödeme sistemlerinden bahsedilmiştir. Bölüm 3’de proje çıktısı olan ücret toplama sistemleri için geliştirilen gömülü sistem cihazının geliştirilmesinde ihtiyaç duyulan gerekli literatür bilgilerinden bahsedilmiştir. Bölüm 4’da proje çıktısının donanımsal ve yazılımsal oluşturulma aşamalarından detaylı bir şekilde bahsedilmiştir. Bölüm 5’da elde edilen sonuçlardan bahsedilmiş, Bölüm 6’de ise gelecekte yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.



## 2. MOBİL ÖDEME SİSTEMLERİ

Gelişen teknoloji her alanda olduğu gibi mobil ödeme sistemlerinde de önemli gelişmelere neden olmaktadır. Özellikle cep telefonlarının yaygınlaşması ve sahip oldukları teknolojik özelliklerin artması ile ödeme alışkanlıklarımız da değişmiştir. Yapılan analizler, gelecek yıllarda Uzak Doğu-Çin, Batı Avrupa ve Amerika mobil ödemelerin yüzde yetmişine sahip olacağını göstermektedir (Husni and Purwanto, 2012).

Artık nakit para kullanım alışkanlığı yerini elektronik cüzdanlara, cep telefonu ile ödeme yöntemlerine, kredi ve banka kartlarına bırakmıştır.

### 2.1 Mobil Ödeme Sistemlerinde RFID Kullanımı

RFID etiket ve okuyucu olmak üzere 2 temel bileşenden oluşan RFID sistemi; Radyo Frekansı kapsama alanına giren objenin belirli bir mesafeden tanınmasını sağlar.

RFID etiketi içinde oldukça küçük ve az enerji ile çalışan bir çip ve anten bulunmaktadır. RFID etiketine sahip nesne RFID okuyucunun kapsama alanına girdiğinde okuyucu tarafından algılanır. Etikete ait özel veriler RF sinyali ile taşınır.

RFID okuyucu üzerindeki antenden RF sinyaller yayar ve bu sinyaller etiket tarafından güç kaynağı ve haberleşme için kullanılır. Bir RFID okuyucu anteni sayesinde çevreye RF enerjisi gönderir. Etiketler de bu enerjiyi kendi çalışması için kullanarak üzerindeki çipi besler ve okuyucu ile haberleşir (Yüksel ve Zaim, 2009).

Yolcular taşıdıkları RFID kartlar yani etiketler sayesinde ödeme işlemlerini gerçekleştirirler. RFID okuyucular ise genellikle bir gömülü sistem olup okuma işlemini gerçekleştirip merkez ile bağlantı kurarak gerekli ücret toplama, raporlama işlemini yapar.

### 2.2 Mobil Ödeme Sistemlerinde NFC Kullanımı

Yakın Alan İletişimi (Near Field Communication, NFC), adından da anlaşılacağı gibi kısa mesafelerde NFC standartlarını destekleyen elektronik

cihazlar arasında çalışan bir kablosuz iletişim yöntemidir. Sony ve Philips ortaklığında geliştirilmiş olan NFC standardı, 8 Aralık 2003'te ISO/IEC tarafından standart olarak yayınlanmıştır. NXP, Nokia ve Sony firmalarının bir araya gelmeleriyle birlikte 18 Mart 2004 tarihinde NFC Forum kurularak NFC teknolojinin geliştirilmesi için önemli bir adım atılmıştır (Wikipedia, 2019a).

Kablosuz haberleşme denince akla ilk olarak Wi-Fi, Bluetooth ve ZigBee gibi teknolojiler gelse de NFC haberleşme de bu haberleşmeler arasında yer almaktadır. Fakat NFC diğerleri kadar uzun mesafeler ile haberleşmemek (Çizelge 2.1) ile birlikte dar bant haberleşme yapmaktadır.

Kısa mesafeden haberleşme her ne kadar bir dezavantaj gibi gözükse de, kullanıcı güvenliği açısından önemli bir rol izlemektedir. Kullanıcı NFC özellikli aracını kullanmak istediği taktirde haberleşeceği cihaz ile yakın tutarak iletişimi başlatabilir. Bu da fiziksel olarak istemsizce yapılan dijital saldırıların önüne geçebilmek için etkili ve basit bir yöntemdir. Bu aynı zamanda NFC teknolojisi için bir darboğaz olsa da NFC'yi eşsiz kılacak bir özellik onun düşük güç ile çalışabilmesidir. Düşük güçle çalışma haberleşme menzilinın kısa olmasına neden olur. Benzer kablosuz teknolojilerinin ise çok daha uzun mesafe ve yüksek veri iletim kapasiteleri bulunmaktadır. Çizelge 2.1'de NFC ve diğer kablosuz teknolojiler için bir tablo (Jain and Dahiya, 2015) verilmiştir.

Çizelge 2.1 Ödeme yöntemlerinin özelliklerine göre kıyaslanması

<b>Teknik Özellik</b>	<b>NFC</b>	<b>Bluetooth</b>	<b>RFID</b>	<b>Infrared</b>
<b>Bağlanma Süresi</b>	0.1 milisaniyeden az	Yaklaşık 6 saniye	0.1 milisaniyeden az	Yaklaşık 0.5 saniye
<b>Mesafe</b>	En fazla 10 cm	En fazla 30 cm	En fazla 3 m	En fazla 5 m
<b>Hız</b>	424 kbps	721 kbps	424 kbps	115 kbps
<b>Ağ Tipi</b>	Noktadan noktaya	Bir noktadan çok noktaya	Noktadan noktaya	Noktadan noktaya
<b>Maliyet</b>	Düşük	Orta	Satın alınabilir	Düşük

### 2.3 Mobil Ödeme Sistemlerinde Kâğıt Bilet Kullanımı

Sinema, tiyatro, otobüs ve sıra sistemleri bileti gibi bir çok uygulamada kâğıt bilet tercih edilmektedir. Bazen üzerindeki işaretçiler (şekil, yazı, numara vb.) sayesinde birbirinden farklı özellikler barındıran kâğıt biletler genellikle insan gözüyle ayırt edilebilmeyi amaç edinmektedir. Bunun yanı sıra genellikle tek kullanımlık uygulamalar için geliştirilen bazı kâğıt biletler, üzerlerinde barındırdıkları barkod, sembol ve renk baskısı gibi ayırt edici özelliklerin bir okuyucu mekanizma tarafından ayırt edilmesi söz konusudur.

Kâğıt bilet uygulamaları genellikle az gelişmiş ülkelerde ve/veya günlük seyahat ihtiyacı duyan turistik bölgelerde mobil ödeme yöntemi olarak tercih edilmektedir. QR kod teknolojinin gelişmesiye uygulama alanları arasına kâğıt bilet uygulamaları da dahil edilmektedir. Bölüm 3.1.5’de bahsedilen QR kod özellikleriyle bir sembol içerisinde barındırılacak veri boyutları bilet çeşitliliğini ortaya koyabilmektedir. Bu böyle olsa da yine de biletlerin kopyalanabilme ihtimali farklı noktalarda aynı biletin kullanılabilme ihtimalini ortadan kaldırmamaktadır. Bu sistem açığının giderilebilmesi için tez kapsamında bahsedilen morötesi ışık altında okunabilen farklı bir QR kod oluşturulma işleminden bahsedilmiştir.

### 3. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde tez kapsamında araştırılan konular hakkında literatür bilgisi verilecektir.

#### 3.1 QR Kod

##### 3.1.1 QR kod teknolojisinin incelenmesi

İlaçlar, ürün etiketleri, dergiler, reklamlar ve kartvizitler gibi günlük hayatımızın birçok noktasında karşımıza çıkan siyah/beyaz semboller barkod olarak isimlendirilmektedir. Otomatik tanımlama ve veri yakalama (Automatic Identification and Data Collection, AIDC) (MHI, 2019) sistemleri uygulamalarından en yaygını olan barkod teknolojisini, içerisinde barındırdığı verinin kodlama tipine göre ikiye ayırabiliriz: tek boyutlu barkod (1-D) ve iki boyutlu (2-D) barkod. 1-D barkodlar siyah dikey çizgilerden oluşmaktadır. Çizgiler arasındaki boşluklar ve çizgi genişliği ile veri türüne göre barkod oluşturulabilmektedir. Adından da anlaşılacağı gibi tek boyutlu veri sağladığı için az veri ihtiyacında tercih edilmektedir ve sadece rakamları barındırmaktadır (Barcodes Inc.,2018). Daha kolay kodlanabilmesi ve okunabilmesi 2-D barkodların geliştirilmesinin ana amacı olarak gösterilse de (Tarjan et.al., 2011) diğer bir amacı da daha fazla verinin daha küçük alanda saklanabilmesidir. QR kod olarak adlandırılan bu semboller, ilk olarak Japonya’da Denso Wave tarafından otomobil sektöründe parça takibi amacıyla kullanılmaya başlanmıştır (Wikipedia, 2018a). 1-D barkodlar ile kıyaslandığında, bilginin iki yönlü kodlanabilmesinden kaynaklı olarak QR kodlar daha küçük alanda daha fazla bilgiyi barındırabilmektedir. Ayrıca QR kodlar hata düzeltme yöntemlerini de barındırarak diğer kodlardan daha güvenilir ve hızlı okunmasını sağlar. Çizelge 3.1, barkodu ve QR kodu kıyaslamalı olarak göstermektedir.

Çizelge 3.1 Barkod ile QR Kod özelliklerinin kıyaslanması

Özellik	QR Kod	Barkod
Karakter Desteği	7089 karakter	20-25 karakter
Dil Desteği	Sayısal, alfanümerik, kanji, kana vb.	Sayısal, alfanümerik
Hata Düzeltme	%30'a kadar hasarda okunabilir	Hasar durumunda okunamaz
Okuma Açısı	Barındırdığı yön ilgılama katmanları sayesinde 360°de okunabilir	Yatay okumaya imkan sağlar

Çizelge 3.1'den anlaşılacağı gibi geleneksel barkodlar normal kullanımlarında çok az veriyi barındırmaktadırlar. Veri sayısı arttıkça boyutlarının artması okuma işleminin karmaşıklığını ve baskı alai maliyetini arttırmaktadır. QR kodun tercih edilme nedenleri aşağıda sıralanmaya çalışılmıştır (Kato et.al., 2007);

- QR kodu çok daha yüksek veri yoğunluğunu tutabilir ve Çince / Kanji karakterleri gibi farklı yabancı sembolleri destekleyebilir.
- Denso Wave tarafından lisansı kamuya açık hale getirilen QR kod, herhangi bir ücret ödemededen herkes tarafından kullanılabilir
- QR kod oluşturulurken herhangi bir veri yapısı standartı yoktur. Esnek bir yapıda oluşturulabilir
- Kameralı akıllı telefonların barındırdığı yazılımlar sayesinde QR kod rahatça çözümlenebilir

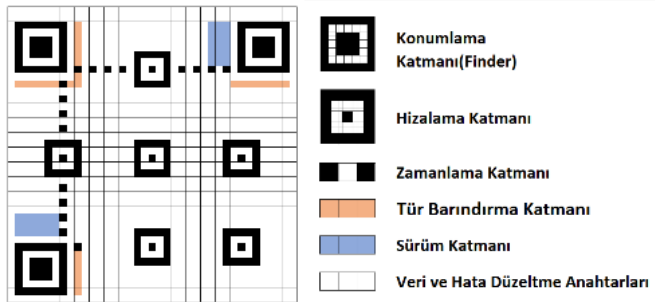
### 3.1.2 QR kodun tarihçesi

Günümüzde hâlâ yaygın olarak marketlerde kullanılan Evrensel Ürün Kodu (Universal Product Code, UPC), 1970'de Uluslararası İş Makineleri Şirketi (International Business Machines Corporation, IBM) tarafından geliştirilmiştir.

Amaçları bilgisayar ortamına otomatik giriş sağlamak olan IBM, bunu 12 basamaklı sayılardan oluşturmuştur (IBM, 2018). Bu gelişimi 1972 yılında Pitney Bowes şirketi tarafından bulunan 16 farklı karakteri destekleyen Codabar (Wikipedia, 2018b) ve 1974 yılında Dr. David Allais ve Ray Stevens tarafından bulunan 43 farklı karakteri destekleyen Code 39 takip etmektedir (Wikipedia, 2018c). Daha sonra, daha yüksek veri depolama kapasitesine sahip Code 49 ve Code 128 gibi farklı türdeki barkod mekanizmaları geliştirildi. Barkod teknolojisinin hayatımızın bir çok noktasında yer alması ve kullanım kolaylığının yanında, veri kapasitesinin arttıkça barkod alanının büyümesi, sınırlı karakter desteği gibi etkenler yeni bir çözüm ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla 7089 karakterden oluşabilen QR kod ortaya çıkmıştır.

### 3.1.3 QR kodun yapısı

QR Kod, kare içine yerleştirilmiş hücre yapısına sahip matris tipi bir semboldür. Siyah alanlar ile belirtilen kısımlar ikili sayı sistemindeki “1” sayısını, beyaz alanlar ise “0” sayısını temsil etmektedir. Böylece ikili sayı sistemini temel alan makinaların işi kolaylaştırılmış olur. Okuma işlemini kolaylaştıran ve veri alanını daha verimli kullanan kodlama bölgesi ve fonksiyon modellerinden oluşur (Denso ADC, 2011). QR Kodu bulucu desenleri (finder pattern), hizalama desenleri (alignment patterns), zamanlama desenleri (timing patterns) ve sessiz bölgeye (quiet zone) sahiptir. Şekil 3.1’de genel olarak QR kodun yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.1 QR Kodun Yapısı

#### 3.1.3.1 Bulucu desenleri

Üç köşede bulunan desenler, bulucu desenleri ifade etmektedir. QR kodun; konumunun, boyutunun ve açısının kolayca bulunmasına yardımcı olmak amacıyla kullanılır. Bulucu desenler ile QR kodun 360 derecede tespit edilebilme imkânı oluşur.



### **3.1.3.2 Hizalama desenleri**

Bir hizalama deseni 5x5 siyah parça, 3x3 beyaz parça ve merkezde tek bir siyah modülden oluşur (bkz. Şekil 3.1). Bu desen QR Kodunun doğrusal olmayan yüzeylerdeki bozulmaların giderilebilmesi için kullanılmaktadır. Bozulmaların giderilebilmesi için hizalama deseninin merkezindeki parçadan faydalanılmaktadır. Sürüm 2 ve üzeri sürümlerde olan QR kodlar hizalama modellerine sahip olmalıdır. Hizalama kalıplarının sayısı sembol sürümüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sürüm 7'den sonra Uluslararası Standartlar Teşkilâtı'nın ( International Organization for Standardization, ISO) belirlemiş olduğu ISO/IEC 18004 (ISO/IEC 18004:2000, 2000) standartı ile hizalama kalıplarının konumları belirtilmiştir.

### **3.1.3.3 Zamanlama desenleri**

Zamanlama desenleri, bulucu desenlerin arasına yerleştirilir. Bu desenler çözümleyici (okuyucu) yazılımının QR kod ile ilgili; simge yoğunluğu, parça konumları ve sürüm bilgisi gibi bilgileri çözümlemesini sağlar. Dikey ve yatay zamanlama deseni olmak üzere iki tür zamanlama deseni vardır.

### **3.1.3.4 Sessiz bölge**

QR kod verilerinin etrafındaki metin veya şekiller ile karıştırılmamasını sağlamak için, veri içermeyen dört parça genişliğindeki alanlara sessiz bölge denilmektedir.

## **3.1.4 QR kod versiyonları ve veri kapasitesi**

QR kodlar kırk farklı sembol sürümünde oluşturulmaktadır (QR Code Tutorial, 2018). Sürüm 1 21x21 parçadan oluşurken; sürüm 40 177x177 parçadan oluşmaktadır. Her bir sürümün farklı parça sayısı veya biçimi vardır. Sürüm arttıkça, her tarafına fazladan 4 ek parça içerir.

Her bir QR kodun barındırabileceği veri miktarı; veri türü, hata düzeltme kapasitesine göre değişiklik göstermektedir.

Çizelge 3.2'de bazı QR kod örneklerinin sürüme göre barındırdığı bilgi sayısına örnek verilmiştir.

Çizelge 3.2 QR kod sürüme göre veri barındırma çizelgesi

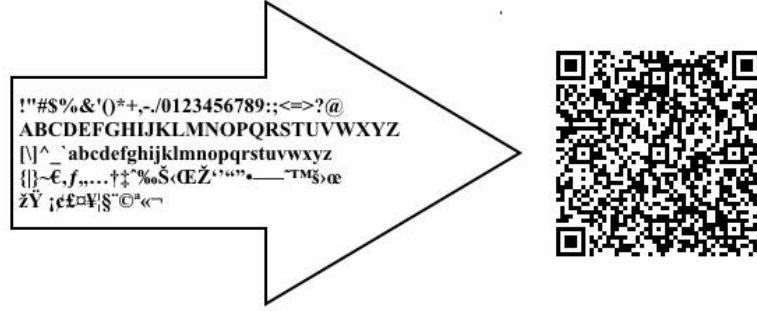
Sürüm	Hücre Sayısı	Hata Düzeltme Seviyesi	Veri	Alfa-Sayısal Simge	Sayısal Simge	Kanji Simgesi
1	21x21	L	152	25	41	10
		M	128	20	34	8
		Q	104	16	27	7
		H	72	10	17	4
10	57x57	L	2.192	395	652	167
		M	1.728	311	513	131
		Q	1.232	221	364	93
		H	976	174	288	74
20	97x97	L	6.888	1.249	2.061	528
		M	5.352	970	1.600	410
		Q	3.880	702	1.159	297
		H	3.080	557	919	235
30	137x137	L	13.880	2.520	4.158	1.066
		M	10.984	1.994	3.289	843
		Q	7.880	1.429	2.358	604
		H	5.960	1.080	1.782	457
40	177x177	L	23.648	4.296	7.089	1.817
		M	18.672	3.391	5.596	1.435
		Q	13.328	2.420	3.993	1.024
		H	10.208	1.852	3.057	784

### 3.1.5 QR kod özellikleri

#### 3.1.5.1 Yüksek kapasiteli verilerin kodlanması

Geleneksel barkod teknolojisi tek boyutludur. Barkod yüksekliği ne olursa olsun, veriler yatay yönlü okunduğu için barındırabileceği veri sayısı sınırlıdır ve 20 karakterden daha azını depolayabilir (Winter, 2010). Bir Qr kod ise yüksek kapasiteli bilgi depolama yapısına sahiptir (Zhou et al., 2013). Geleneksel bir barkodun yüz katı fazla veriyi depolama yeteneğine sahip QR kod, sayısal ve

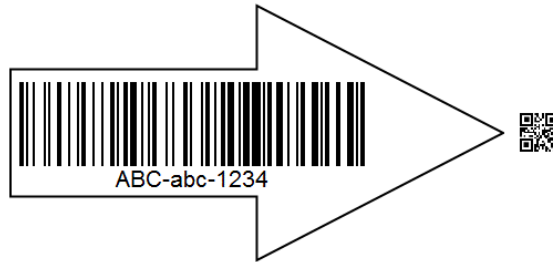
alfabetik karakterler, kanji, kana, hiragana, semboller, ikili ve kontrol kodları gibi çeşitli veri türlerini desteklemektedir. (Denso Wave, 2018a) Bir sembol ile 7089 farklı karakter deteklenebilmektedir.



Şekil 3.2 Farklı türdeki verilerin bir QR Kod içeriğinde gösterilmesi

### 3.1.5.2 Küçük baskı boyutu

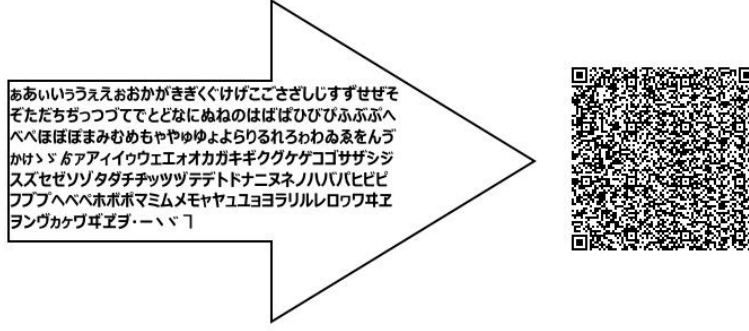
İki boyutlu (yatay ve dikey) bilgi depolayabilme yeteneğine sahip QR kodlar, geleneksel tek boyutlu barkoda göre on kat fazla bilgiyi aynı alanda saklayabilmektedir (Denso Wave, 2018a).



Şekil 3.3 Geleneksel barkod ile QR kod boyutlarının karşılaştırılması

### 3.1.5.3 Kanji ve Kana karakterleri desteği

Japon firma Denso Wave tarafından geliştirilen QR Kod, geliştiricisinin dilindeki Kanji ve Kana karakterlerinin 13 bitte kodlanmasını desteklemektedir.



Şekil 3.4 QR kod Kanji ve Kana karakter desteği

### 3.1.5.4 Hata düzeltme özelliği

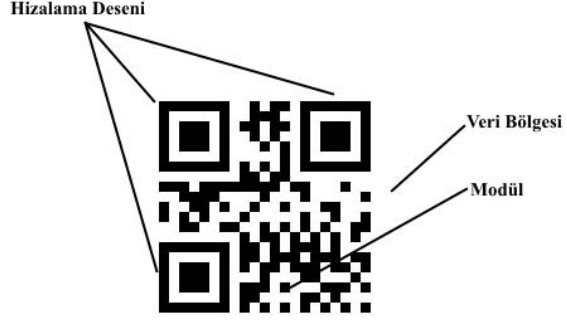
QR koda, kirlenme veya hasar görme durumunda bile okunabilir bir özellik kazandırılabilir. Matematiksel bir hata düzeltme metodu olan Reed-Solomon (Pontarelli et al., 2015) kodlarının asıl verilere eklenmesiyle QR koda hata düzeltme özelliği kazandırılabilir. Dört farklı seviyede hata düzeltme oranı mevcuttur. Hata düzeltme seviyesi arttıkça QR kodun sürümü dolayısıyla barındırdığı bilgi ve boyut artar. Çizelge 3.3'de gösterilen hata düzeltme seviyesine göre hasar oranları verilmiştir.

Çizelge 3.3 Hasar seviyesine göre hasar oranı grafiği

Hata Düzeltilme Seviyesi	Hasar Oranı
L	%7
M	%15
Q	%25
H	%30

### 3.1.5.5 Her açıdan okunabilme

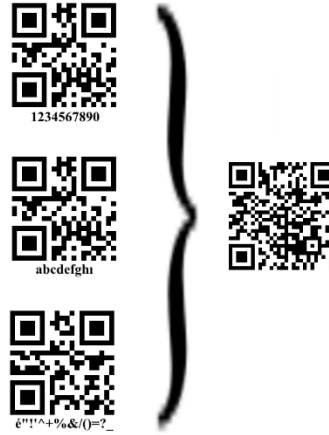
QR kod üç köşesinde barındırdığı konumlandırma desenleri sayesinde 360 derece yönünde okunabilme özelliğine sahiptir. QR kodunun bu özelliği, kod çözmede karmaşıklıkla azaltır. Ayrıca bulucu desenleri (finder pattern) QR kodun bulunduğu yüzeyin olumsuz etkilerinin de aşılabilir, hızlı ve doğru şekilde okunmasını sağlar. Bulucu desenleri, 360 derece herhangi bir açıda bakıldığında daima 1: 1: 3: 1: 1'dir. Bu özel oran tespit edilerek, bulucu desen tespit edilir ve QR kodunun pozisyonu kısa bir sürede belirlenir.



Şekil 3.5 QR kod konumlama desenleri

### 3.1.5.6 Yapılandırılmış ekleme özelliği

QR kod çoklu veri birimlerine bölünebileceği gibi, birden fazla veri birimine sahip QR kod birleşerek tek bir QR kodu oluşturabilir. Şekil 3.6'da örneklendirilmiş yapılandırılmış QR kod, 16 birimsel QR koda bölünebilir (Denso Wave, 2018b).



Şekil 3.6 Yapısallaştırılmış QR kod örneği

### 3.1.6 QR kod türleri

QR kodlar, Model 1, Model 2, Ufak (micro) QR Kod, iQR (Denso Wave şirketinin ticari markası), Çerçeve (frame) QR kod ve Güvenlikli QR Kod (Secure QR Code, SQRC) olmak üzere altı farklı yapıda karşımıza çıkmaktadır (Denso Wave, 2018c).

### **3.1.6.1 Model 1 tür QR kod**

Günlük hayatta sıklıkla karşımıza çıkan QR kod türü olan Model 1, Sürüm (version) 14'e (73x73 hücreli) kadar desteği vardır. Sürüm 14'ün en fazla barındırabildiği 1,167 adet veriyi desteklemektedir (Denso Wave, 2018d).

### **3.1.6.2 Model 2 tür QR kod**

Model 1 tür QR kodun geliştirilmiş hali olan Model 2 QR kod, sürüm 40'a (177x177 hücreli) kadar desteklemektedir ve en fazla 7,089 adet veri ile oluşturulabilmektedir (Denso Wave, 2018d).

### **3.1.6.3 Ufak QR kod**

Daha az veri barındırma özelliğine sahip olan Ufak QR kodlar sayesinde daha küçük alanlara sığdırılabilir QR kodlar üretilebilmektedir. Üç adet konumlama desenine sahip standart QR kodların aksine, tek konumlama katmanı vardır. Bu ise tek yön çözümüyle yapılabilmesini sağlamaktadır. Standart bir QR kodun etrafındaki sessiz bölgede dört hücre boşluk bulunmasına karşın Ufak QR kodda iki hücre boşluk bırakılması yeterlidir (Denso Wave, 2018e). Ufak QR kod, 2004 yılında Japon Endüstri Standartları (Japan Industrial Standards, JIS) tarafından Denso Wave adına patentlenerek standartlaştırılmıştır (JIS X 0510:2004 standardı) (Denso Wave, 2018e).

### **3.1.6.4 iQR kod**

Denso Wave ticari markası olan iQR kod, konumu ve boyutu kolayca okunabilen iki boyutlu barkoddur. Geleneksel QR koda göre daha fazla bilgi barındırabilmektedir. Aynı boyuttaki bir iQR kod QR koda göre %80 daha fazla bilgi tutabilir (Denso Wave, 2018f). Aynı miktar bilgi depolama kıyaslamasında ise iQR kod %30 daha az yer kaplamaktadır. Dikdörtgen formda baskı alınabilmesinden dolayı silindirik yüzeylerde rahatça kullanılabilir. Siyah/beyaz yer değiştirme veya doğrudan parça kabartması gibi yöntemler destekleyerek daha geniş uygulama alanlarında kullanılmaktadır.

### 3.1.6.5 Cerçeve QR kod

QR kodun yapısının bozulmadan merkezine resim, fotoğraf vb. yapıların kullanılabilmesi için alanlar vardır.

### 3.1.6.6 Güvenlikli QR kod

SQRC olarak bilinen güvenlikli QR kod özel bilgilerin saklanması amacıyla oluşturulur. Okuma kısıtlama fonksiyonlarıyla donatılmıştır. Önceden belirlenmiş şifreleme anahtarıyla birlikte şifreleme teknikleri uygulanarak şifrelenen bilgi QR kod oluşturucudan geçirilerek elde edilir. İki aşamalı şifreleme desteklenebilmektedir. Bilgiler önceden belirlenmiş genel anahtar (public key) ve özel anahtar (private key) ile şifrelenerek iki katmanlı güvenlik sağlanmış olur. Genel olarak SQRC, şifrelenmiş bilgi içeren QR koddur. Şifrelenmiş QR kod, ilk olarak QR kod okuyucu tarafından taranır ve kod çözülür. Elde edilen veri şifre çözme teknikleri kullanılarak ham bilgiye ulaşılır. Şekil 3.7’de SQRC oluşturma ve çözümü aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.7 SQRC mekanizması

### 3.1.7 QR kod standartları

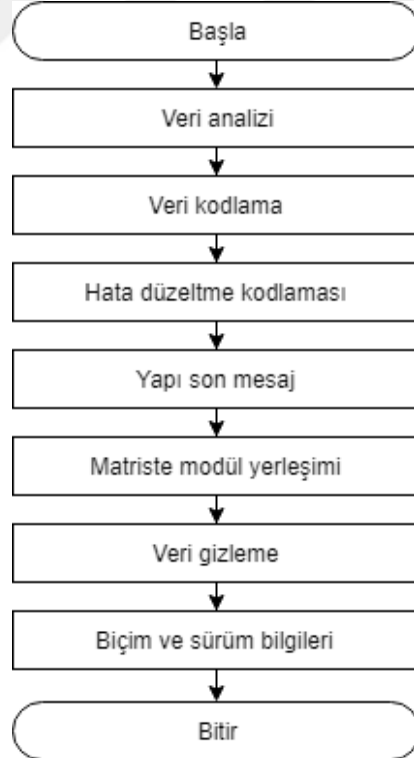
Haziran 2000’de uluslararası bir standart olarak onaylanan QR kod (QR Code Standarts, 2018), farklı kuruluşlar tarafından tanımlanmış kuralları vardır. Bir teknolojinin benimsenebilmesi için gerekli olan bu kurallar QR kodun gelişmesine olanak sunmuştur. Asya ülkelerinde tanınan çeşitli dilleri ve sembolleri desteklemesiyle evrensel olarak kullanılabilirliği artmıştır ve geniş bir alana hitap etmiştir.

- 1997 Uluslararası Otomatik (Automatic Identification Manufacturers International, AIM International) Tanımlama Üreticileri standardı ISS-QR Code
- 1998 Japon Elektronik Sanayi Geliştirme Derneği (Japanese Electronic Industry Development Association, JEIDA) tarafından onaylanmış JEIDA-55 standardı

- 1999 Japon Endüstri Standartları (Japanese Industrial Standards, JIS) tarafından onaylanmış JIS X 0510 standardı
- 2000 Approved Uluslararası Standartlar Oluşumu (International Standardization Organization, ISO) tarafından onaylanmış ISO/IEC18004 standardı
- 2004 JIS tarafından onaylanmış Ufak QR kod standardı JIS X 0510
- 2011 Uluslararası standartlaşma kuruluşu olan Evrensel Standartlar 1 (Global Standardization 1,GS1) tarafından cep telefonları standartları

### 3.1.8 QR kod oluşturulması

QR kod çalışmalarında en önemli rol, QR kod verilerinin hızlı ve güvenilir şekilde çözümlenebilmesi için oluşturulma aşamalarıdır (QR Code Tutorial, 2018)(ISO/IEC 18004:2000, 2000). Şekil 3.8 ile QR Kod oluşturma işlem zinciri gösterilmiştir.



Şekil 3.8 QR kod oluşturma işlem zinciri



### 3.1.8.1 Veri analizi

QR kod standardında, sayısal mod, alfasayısal mod, bayt (8 bitlik hafıza yapısı) mod ve Kanji mod , genişletilmiş kanal yorumlama modu (Extended Channel Interpretation, ECI), yapılandırılmış ekleme (Structured Append) modu ve fonksiyon kodu 1 (Function Code 1, FNC1) modunu içerir. Farklı karakter türlerini etkin şekilde QR koda dönüştürülmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Karakterlerin ikili sayısal tabanındaki en küçük veri türü olan bitlere verimli olarak dönüştürülmesi için ihtiyaç duyulan en uygun karakter dizisi belirlenmelidir.

Çizelge 3.3'de gösterildiği gibi QR kodun veri depolama kapasitesini belirleyen diğer etkenler de hata düzeltme seviyesidir. İhtiyaç duyulan sistemde hangi hata düzeltme seviyesinin desteklenmesi gerektiği belirlenmelidir.

QR kod sürüm bilgisi, içerisinde barındırabileceği en fazla veri sayısını da içermektedir. Verinin sığabileceği en düşük sürüm numarasının tercih edilmesi, QR kodun verimli şekilde okunabileceği baskı alanının boyutunun küçülülebilmesini sağlar.

### 3.1.8.2 Veri kodlama

Herbir karakter ikili sayı sisteminde QR kod içersine kodlanmaktadır. Farklı karakter setleri için 4 bitlik farklı kodlama durumları vardır. Bu kodlama durumları Mod Göstergesi (Mod Indicator) ile tanımlanmaktadır. Kodlanmış veriler, kodlama için kullanılan uygun mod göstergesi ile başlamalıdır. Kodlanmakta olan karakter sayısı, Karakter Sayısı Göstergesi (Character Count Indicator) olarak bilinen bit dizisi ile temsil edilir. Karakter Sayısı Göstergesi, mod göstergesinden sonra yerleştirilir ve uzunluğu QR kod sürümüne bağlıdır.

Çizelge 3.4 Karakter sayısı göstergesi

Sürüm	Sayısal Mod	Alfasayısal Mod	Byte Mode	Kanji Mode
1 – 9	10	9	8	8
10 – 26	12	11	16	10
27 – 40	14	13	16	12

Çizelge 3.5 Mod göstergesi

Mod	Gösterge
Sayısal	0001
Alfasayısal	0010
Byte	0100
Kanji	1000
ECI	0111
Yapılandırılmış Ekleme	0011
FNC1	0101 (ilk konum)
	1001 (ikinci konum)
Sonlandırıcı	0000

### **3.1.8.3 Hata düzeltme kodlaması**

QR kodlar hata düzeltme verileri içerebilmektedir. Bu, QR kod içerisinde barındırmak istenilen verilerden hata düzeltme kodlarının üretilmesi demektir. Üretilen hata düzeltme kodları asıl verinin arkasına eklenir. QR kod okuyucu hem ham veriyi hem de hata düzeltme kodlarını okur. Böylece elde edilen bilgilerden QR kod çözümleyici, asıl verinin eksik kısımlarındaki hataları düzeltir.

### **3.1.8.4 Yapı son mesajı**

QR kod içerisinde barındırılacak asıl veri ve hata düzeltme kodları uygun formatlarda düzenlenmelidir. Büyük QR kodlarda veri ve hata düzeltme kodları bloklar halinde üretilir. Bu bloklar QR kod oluşturma kurallarına göre yerleştirilir.

### **3.1.8.5 Matriste Modül Yerleşimi**

Veri kodları ve hata düzeltme kodları oluşturulduktan ve bunları doğru sırada düzenledikten sonra, QR kod matrisine belirlenmiş şekilde yerleştirilmelidir. Oluşturulan QR kod parçacıkları, bulucu desenleri, hizalama desenleri, zamanlama desenleri ile birlikte QR kodu oluşturmaktadır.

### 3.1.8.6 Veri gizleme

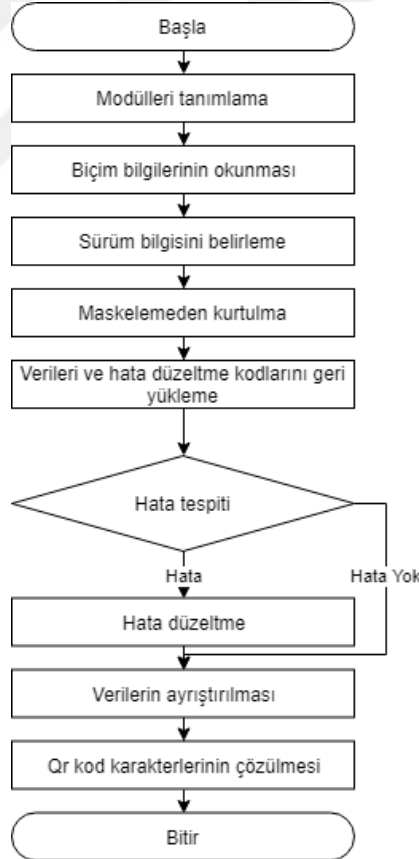
Bazı QR kod modelleri, QR kod okuyucularının kodu doğru şekilde okumasını zorlaştırabilir. Bunu önlemek için, karanlık / ışık modülü dengesini optimize eden ve istenmeyen desenlerin oluşumunu en aza indiren model seçilir.

### 3.1.8.7 Biçim ve sürüm bilgileri

Önceki adımlarda oluşturulan desenlerin dışında QR kod standartlarına göre boş kalan kısımlara QR kodun sürüm ve biçim bilgisi eklenmelidir. Biçim bilgisi içerisinde veri gizleme modeli ve hata düzeltme seviyesi vardır.

### 3.1.9 QR kod çözümlenmesi

QR kod çözümlenme adımları, oluşturma adımlarının tersi yönde ilerlemektedir(ISO/IEC 18004:2000, 2000). Şekil 3.9 ile QR Kod çözümlenme işlem zinciri gösterilmiştir.



Şekil 3.9 QR kod çözümlenme işlem zinciri

### **3.1.9.1 Modülleri tanımlama**

Görüntüsü alınan QR kodun, siyah/beyaz desenleri algılanara ikilik sayı sisitemindek “0” ve “1” bitlerine dönüştürülmesi sağlanır.

### **3.1.9.2 Biçim bilgilerinin okunması**

Maskeleme deseninden kurtulmuş şekilde biçim bilgileri hata düzeltme adımları uygulanarak okunur. Okunan QR koddan; hata düzeltme seviyesi bilgisi, maske modeli referansı bilgileri elde edilir.

### **3.1.9.3 Sürüm bilgisini belirleme**

Okunan QR koda sürüm bilgisi varsa sürüm bilgisi elde edilir.

### **3.1.9.4 Maskelemeden kurtulma**

Maskelenmiş veri, biçim bilgisinden elde edilen maske modeli ve özel veya (Exclusive OR, XOR) işlemi kullanılarak ham haline dönüştürülür.

### **3.1.9.5 Verileri ve hata düzeltme kodlarını geri yükleme**

QR kod modelinin yerleşim kurallarına göre sembol karakterleri okunur. Kod içerisindeki veri ve hata düzeltme kodu elde edilir.

### **3.1.9.6 Hata düzeltme**

Hata düzeltme seviyelerine karşılık gelen hata düzeltme kodları kullanılarak QR kod hataları tespit edilir. Hata durumunda hata düzeltilir.

### **3.1.9.7 Verilerin ayrıştırılması**

Veriler mod göstergeleri ve karakter sayım göstergelerine göre bölümlere ayrılır.

### 3.1.9.8 QR kod karakterlerinin çözülmesi

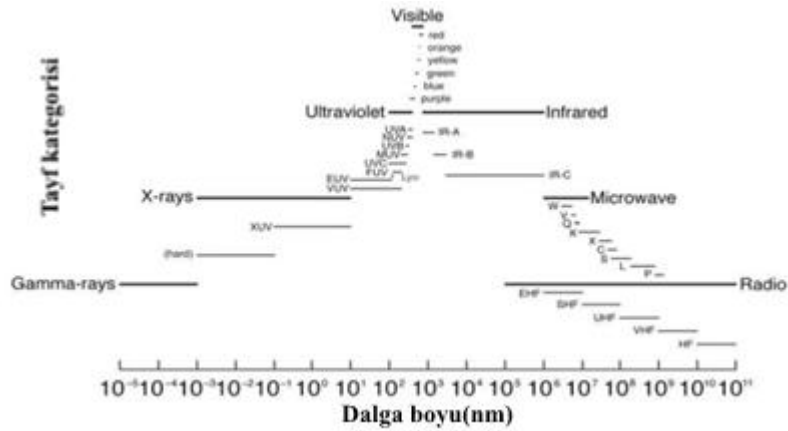
QR kod içerisinde barındırılan karakterleri, kullanılmış modlara göre çözümlenerek ham veri elde edilir.

## 3.2 Morötesi Işık

Işık, günlük hayatımızı kolaylaştıran ve yaşam kalitemizi arttıran en önemli unsurlardandır. Işık, barındırdığı enerji, dalga boyu ve frekansa bağlı olarak grüplendirilmektedir. Farklı gruplardaki radyasyonlar elektromanyetik tayf (electromagnetic spectrum, EMS) gösterimiyle ayrıştırılmaktadır.

Elektromanyetik tayf, elektromanyetik dalga frekanslarının dalga boyları ve foton enerjilerinin tayftaki yerlerini ifade eden göstergedir. Bir nesnenin elektromanyetik tayfı, o cismin çevresine yaydığı karakteristik elektromanyetik radyasyonu ifade etmektedir. Tayf, 1025 hertz (Hz) frekans değeri ile 1 Hz frekans değeri aralığında değişen frekanslara sahip elektromanyetik dalgaları ifade etmektedir (ISO 21348:2007, 2007).

Her frekans bandındaki elektromanyetik dalgalar farklı isimlerle çağılır; spektrumun düşük frekans (uzun dalga boyu) ucundan başlayarak bunlar: radyo dalgaları, mikrodalgalar, terahertz dalgaları, kızılötesi, görünür ışık, ultraviyole, X-ışınları ve yüksek frekanslı (kısa dalga boyu) uçtaki gama ışınlarıdır. Bu bantların her birinde bulunan elektromanyetik dalgalar, nasıl üretildikleri, madde ile nasıl etkileştikleri ve pratik uygulamaları gibi farklı özelliklere sahiptir (Wikipedia, 2018d).



Şekil 3.10 Elektromanyetik tayf

Morötesi (Ultraviolet, UV) ışınlar, görünür ışın ile X-ışınları arasında kalan 10 nm'den 400 nm'ye kadar değişen bir elektromanyetik radyasyonlardır. Alman fizikçi Johann Wilhelm Ritter tarafından 1801 yılında basit bir deney ile UV ışının varlığını keşfetti(Wikipedia, 2018e). Bu deneyde, spektrumun mor ucunun ötesindeki görünmeyen ışınların, gümüş klorürün görünür ışıktan daha verimli bir şekilde karartıldığını gösterdi. Bu nedenle “ultraviyole” yani morötesi olarak adlandırılmıştır. Çünkü insanların menekşe rengi olarak tanımladıkları mor ışın frekanslarından daha yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalardan oluşmuştur (Shi L. et al., 2012).

Uluslararası Standartlar Oluşumunun (ISO) belirlemiş olduğu ISO-21348 (ISO 21348:2007, 2007) standardına göre morötesi radyasyonun (Ultraviolet Radiation, UVR) 10nm ile 400nm arasındaki dağılımı üç ana grupta incelenir: UV-A (315-400 nm), UV-B (280-320 nm) ve UV-C (100-280 nm) (Monroy E. et al., 2003). Diğer alt morötesi tayfları ile birlikte Çizelge 3.6'de verilmiştir (Razeghi M. et al., 1996) (ISO 21348:2007, 2007).

Çizelge 3.6 Dalga boyuna göre morötesi ışın çizelgesi

Alt Sınıflandırma	Dalga Boyu Aralığı (nm)	Açıklama
EUV	$10 \leq \lambda < 121$	Aşırı Morötesi (Extreme-UV)
VUV	$10 \leq \lambda < 200$	Vakumlu Morötesi (Vacuum-UV)
DUV	$190 < \lambda < 350$	Derin Morötesi (Deep-UV)
FUV	$122 \leq \lambda < 200$	Uzak Morötesi (Far-UV)
MUV	$200 \leq \lambda < 300$	Orta Morötesi (Middle-UV)
NUV	$300 \leq \lambda < 400$	Yakın Morötesi (Near-UV)
UVA	$315 \leq \lambda < 400$	Morötesi A(Ultraviolet A)
UVB	$280 \leq \lambda < 315$	Morötesi B(Ultraviolet B)
UVC	$100 \leq \lambda < 280$	Morötesi C(Ultraviolet C)

### 3.2.1 Morötesi ışık uygulamaları

Morötesi ışık, araştırma ve analitik laboratuvarlardaki yaygın kullanımları gibi bir çok alanda uygulaması bulunan yöntemleri barındırmaktadır. Tıbbi görüntüleme (Grundfest W., 1999), protein analizi ve deoksiribo nükleik asit (Deoxyribonucleic Acid, DNA) dizileme (Karczemska A. et al., 2001), adli tıp analizleri (Smith W.A. et al., 2010), dezenfeksiyon ve dekontaminasyon işlemlerinde (Knight G., 2004), uzay gözlemleri (Malinowski P. E. et al., 2010)

gibi alanlarda kullanılmaktadır. Dalga boylarına göre morötesi ışık uygulamalarının çizelgesi, Çizelge 3.7 (Wikipedia, 2018e) ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 Dalga boylarına göre morötesi ışık uygulamaları çizelgesi

Dalga Boyu Aralığı (nm)	Uygulama
13.5	Aşırı UV litografi
30-200	Fotoiyonizasyon, UV fotoelektron spektroskopisi, fotolitografi ile entegre devre üretimi
230-365	UV kimlik, etiket takibi, barkodlar
230-400	Optik sensorler, çeşitli enstrümantasyon
240-280	Dezenfeksiyon, yüzeylerin ve suyun dekontaminasyonu
200-400	Adli tıp analizi, ilaç tespiti
270-360	Protein analizi, DNA dizilimi, ilaç keşfi
280-400	Hücrelerin tıbbi görüntülemesi
300-320	Tıpta ışık tedavisi
300-365	Polimer ve yazıcı mürekkeplerinin kürlenmesi
300-400	Katı hal aydınlatma
350-370	Böcek öldürme cihazları

### 3.2.2 Görünmez mürekkeple baskı

Görünmez mürekkep olarak adlandırılan morötesi ışıkta görünen mürekkep, güvenlik mürekkebi olarak da isimlendirilmektedir. Çıplak göz ile bakıldığında görülemeyen şekiller ve karakterler, farklı yöntemler ile görülebilir hale getirilebilmektedir. Mürekkep yapısına bağlı olarak karakterler, uygun kimyasallarla, ısıyla veya morötesi ışık altında açığa çıkartılarak görülebilir hale getirilebilir. Görünmez mürekkep uygulamaları gizlenmiş yazı anlamına gelen steganografi uygulamalarıdır (Wikipedia, 2018f).

Görünmez mürekkep, özel amaçlı kalem, damga, dolma kalem, kürdan gibi farklı araçlar ile yazı yüzeyine uygulanabilmektedir. Yazılı yüzey kuruduktan sonra, boş bir yüzeye uygulanmış gibi görünür.

Kimyasal yöntemler ile geliştirilen görünmez mürekkep, asit baz tepkimeleri gibi yöntemlerle görünür hale gelir. Mürekkebin açığa çıkarılması için kullanılan geliştirici akışkanlar, sprey yardımıyla uygulanabilirler. Ancak fenolftalein (bir organik bileşik) mürekkebi açığa çıkarmak için kullanılan amonyak dumanları gaz formundadır (Huang C.H. et al., 2008).

Yazmak için kullanılan görünmez mürekkep ve o mürekkebi açığa çıkarmak için kullanılan mürekkep olmak üzere iki çeşit oyuncak görünmez mürekkep kalemi vardır. Çocukların oyun oynamaları için kullanılan görünmez mürekkep, resimler ya da kitaptaki yazıların bir kısmının yazılmasında kullanılır. Çözümleyici kalem ise, resim ve yazıların görünmez kısımlarının açığa çıkarılması için kullanılır.

Bazı yazıcı üreticileri, bilgisayar destekli morötesi ışık altında görünebilen görünmez mürekkep püskürtmeli yazıcılar üretmektedirler. Genel olarak, iş belgeleri içerisinde barındırılan bilgiler ile karışması istenmeyen bilgilerin basımında kullanılmaktadır.

Nadiren de olsa görünmez mürekkep sanat alanında da kullanılmaktadır. Boyalar ve diğer tepken mürekkepler ile birlikte çeşitli görsel etkiler yaratmak için kullanılmaktadır.

### 3.2.3 Morötesi ledler

Çeşitli dalga boylarında UV ışık yayan diyotlar, morötesi ışık emisyonlu diyotlardır (UV Light Emitting Diode, UV-LED). Dalga boyu ve türlerine göre Bölüm 3.2.1’de bahsedilmiş olan farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. NUV LED’ler, 375-395 nm dalga boyu aralığında sıkça rastlanan ve ucuz çözümlerdir. Bu ledler, bazı belgeler ve kâğıt para üretiminde sahteciliğin önüne geçmek amacıyla uygulanan özel baskıların tespiti için kullanılmaktadır.

UVA türü LED’ler, matbaa uygulamaları, medikal uygulamalar, tarihi eser incelemeleri ve para basımında kullanılır. UVB türü LED’ler, güneş odaları, UV baskı ve mürekkebin kurutulması adımlarında kullanılmaktadır. UVC türü LED’ler ise, genellikle sterilizasyon işlemlerinde tercih edilmektedir.

280-400 nm dalga boyu aralığında ışığa yayan UV LED’ler tıbbi görüntüleme amacıyla kullanılır (Grundfest W., 1999). Dezenfeksiyon ve sterilizasyon cihazlarında 240-270 nm dalga boyu aralığında UV LED’ler kullanılsa da (Knight G., 2004), UVA LED’ler de etkili olarak sterilizasyonda kullanılabilir (Mori M. et al., 2007). Adli tıp analizlerinde 250-300 nm dalga boyu aralığındaki LED’ler tercih edilirken (Smith W.A. et al., 2010), DNA ayrıştırılması gibi yöntemlerde 240-300 nm dalga boyu aralığındaki LED’ler tercih edilmektedir (Karczemska A. et al., 2001).

Dalga boyuna göre LED’lerin verimliliği de değişmektedir. 365 nm dalga boyundaki LED verimliliği yaklaşık %5-8 iken, 395 nm dalga boyundaki



verimlilik % 20 civarındadır (Wikipedia, 2018g). Buradan da anlaşılacağı gibi, dalga boyu ile verimlilik doğru orantılıdır.

### 3.3 Isıl Yazıcı

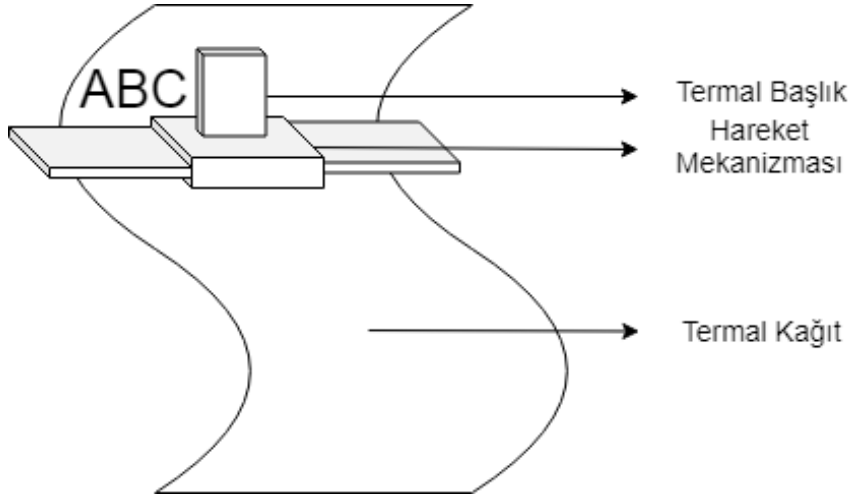
Ev, iş ve okul gibi günlük hayatımızı geçirdiğimiz bir çok alanda baskı alabilmemiz için tasarlanan yazıcılar, farklı baskı teknolojilerine sahiptirler. Mürekkep püskürtmeli baskı (Inkjet), ısı (termal) baskı (thermal print) ve toner tabanlı baskı gibi farklı türlerde baskı yöntemine sahip yazıcılar bulunmaktadır. Toner bazlı ve mürekkep püskürtmeli yazıcılar genel olarak bakım maliyetleri yüksek olmakla birlikte mürekkep doldurma veya toner doldurma gibi zahmetli ve masraflı yöntemler de içermektedirler. Kredi kartı okuyan satış noktası cihazları (Point-of-Sale, POS), yazar kasalar ve faks makinası gibi cihazlar genel olarak termal yazıcılar ile çalışmaktadır. Isıya duyarlı kâğıt üzerine baskı yapma kabiliyetine sahip olan termal yazıcılar, mürekkep bitme gibi bir probleme sebep olmamakla birlikte bakım maliyetleri az, yazma hızları oldukça yüksek ve sessiz çalışma gibi avantajlara sahiptir.

Farklı özelliklere sahip termal yazıcılar mevcuttur. Bu yazıcılar gri tonlamalı veya renkli baskı alabilen yazıcılar da olabilir.

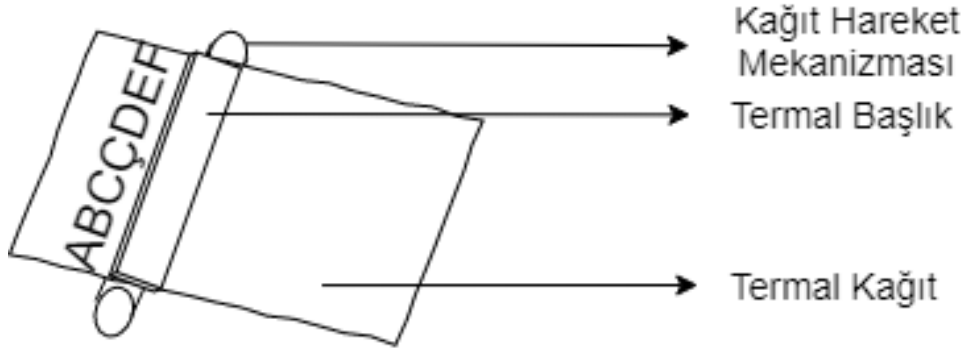
Termal yazıcılar, termal başlık (printer head) ve kontrol kartı olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır. Bazı termal yazıcı modellerinde termal başlık ile bütünleşik şekilde otomatik kesici (auto cutter) ve kâğıt algılayıcılar yer almaktadır.

#### 3.3.1 Isıl başlık

Hareket özelliğine bağlı olarak farklı türlerde baskı alabilen termal yazıcı başlıkları bulunmaktadır. Bir karakter yazabilen termal yüzeye sahip yazıcı başlığının, satır boyunca hareket ettirilerek ısıya duyarlı kâğıt boyunca tüm karakter yazımının gerçekleştirildiği mekanizma Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Hareketli termal başlık kullanan termal yazıcı mekanizması



Şekil 3.12 Tek satır yazma işlevine sahip termal yazıcı mekanizması

Yazıcı başlığının kâğıt genişliğini kapladığı ve satır boyunca yazma işlevini sağlayan yazıcı başlıkları mevcuttur (Şekil 3.12). Bu tür yazıcılar genellikle 58mm, 80mm, vb. genişliğine sahip dar kâğıt kullanan sistemlerde tercih edilmektedir.

Termal başlık mekanizması; kâğıt üzerine baskının çizgisel olarak yakılabilmesi için kullanılan ve yazıcı çözünürlüğüne bağlı olarak bir çizgi içerisinde barındırdığı nokta sayısı kadar termal noktacık bulunmaktadır. Bu sayede kâğıt üzerine yazılacak olan baskı noktalardan oluşan çizgi şekilde yakılmaktadır. Bir satır yakma işlemi bittikten sonra termal kâğıdın mekanizmadan itilerek sonraki satırın yakılması işlemine geçilmesi sürecinde adım motoru kullanılmaktadır. İleriye itilen kâğıt tüm desen yakıldıktan sonra kullanıcıya düzgün bir çıktı sunabilmek için baskının bittiği bölgeden kesilmesi işlemini gerçekleştiren otomatik kesici mekanizması bulunmaktadır. Kesici mekanizma yine bir doğru akım motoru yardımıyla kontrol edilen bıçak ve yay mekanizmasından oluşmaktadır. Kâğıt pozisyonunu algılamak ve printer çıkışında kâğıt durumunun algılanabilmesi için mekanizma kâğıt çıkış kısmında bulunan

sensörler sayesinde yazma ve kesme fonksiyonları rahat ve verimli bir şekilde kontrol edilebilmektedir.

### 3.3.2 Kontrol kartı

Yazıcı başlığı mekanizması matris yapıda birden çok ısı noktası içerir. Her bir noktanın ısıtılarak ısıya duyarlı kâğıt üzerine desen çıkarması için gerekli kontrol komutlarının gönderilmesi işlevini yerine getirmek için üzerinde mikrodenetleyici barındıran bir kontrol kartına ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda kâğıt sensörü ve otomatik kesici gibi termal başlık üzerinde bulunan diğer bileşenlerinde kontrol edilmesinde kontrol kartı rol oynamaktadır.

Kontrol kartının termal başlık üzerinde bulunan kontrol devresine gönderdiği komutların işlenmesi aşağıdaki şekilde gerçekleşmektedir:

- Gönderilen bilgiler tampon bellekte tutulur. Yazdırma aşamasında veri almaya devam etmektedir.
- Gelen bilginin sınıflandırılması yapılır. Gelen bilgi kontrol içeren bir komut ise işlev yerine getirilir, yazdırma verisi ise yazdırmak için görüntüye dönüştürülür. Bu işlevde termal başlık üzerinde hangi noktaların hangi sırayla ısıtılacağı bilgisinin oluşturulması işlemidir.
- Oluşturulan veri bir satırı geçiyorsa yazma işlevi başlar. Buradan da anlaşılacağı gibi bir satırın yazdırılma işlemi, termal yazıcı başlığın genişliği kadar alanı kapsamıyla başlamaktadır.
- Satırdaki yazma işlevi gerçekleştirilince kâğıt besleme işlevi yerine getirilerek kağıdın ileriye doğru itilerek ısı işlem görmemiş kısmına yazılabilmesi için hazır hale getirilir.
- Yazma işlemi bittiyse ve kâğıt kesme komutu geldiyse otomatik kesici çalıştırılarak kesme işlemi gerçekleştirilir.

### 3.4 QR Kod Okunması ve Otsu Algoritması

Görüntüleme sistemleri farklı renk uzayları kullanarak çalışabilmektedirler. Ana renk olarak tanımlanan KYM (Red Green Blue, RGB) renk uzayı ile farklı renklere sahip görüntü bileşenleri elde edilmektedir. Her bir resim parçacığı

(piksel) (Picture Elements, Pixel) üç renk bileşeni ile, her bir renk bileşeni 1 bayt ile temsil edilmektedir. Sayısal görüntü aktarımında ve yayınlanmasında kullanılan farklı yöntemler mevcuttur. Proje kapsamında ışıltama veya lüminesans ve renk bilgilerini barındıran YUV (Luminance - Chrominance) formatlı görüntü sistemleri kullanılmıştır. Bu renk uzayı siyah beyaz televizyon döneminden itibaren devam eden süreçte kullanımına devam edilmiştir. Başlangıçta sadece parlaklık (Y) bilgisinin bulunduğu sayısal görüntüleme sistemlerinde, daha sonra renkli televizyon ve görüntüleme sistemlerinin gelişimiyle renk bilgisi (UV) de dâhil edilen veriler ile mevcut yapı geliştirilerek her bir piksel renkli olarak ifade edilmeye başlamıştır. Genelde video sistemlerinde kullanılan YUV formatı, KYM renk uzayı kullanılarak elde edilmiş görüntünün dönüştürülmüş halidir.

Çizelge 3.8’de verilen denklemlerde bu dönüşümün nasıl yapıldığı hakkında bilgi içermektedir.

Çizelge 3.8 KYM renk uzayından YUV formata dönüşüm

Oluşturulan Renk Bileşeni	Denklem
Y (Parlanklık)	$(0.299*K)+(0.587*Y)+(0.114*M)$
U (Renk Bilgisi 1)	$-(0.147*K)-(0.289*Y)+(0.436*M)$
V (Renk Bilgisi 2)	$(0.615*K)-(0.515*Y)-(0.1 *M)$

YUV formatıyla elde edilen görüntü KYM renk bileşenlerine dönüştürülerek görüntüden elde edilen matris formatındaki veri kullanımı ve dönüşümü basit olan formata dönüştürülmüş olur. Dönüşüm için kullanılan denklemler Çizelge 3.9’de gösterilmiştir. KYM renk uzayına dönüştürülmüş veri gri tonlamaya ve ardından da görüntü histogramından elde edilen veri ile görüntünün eşik değeri hesaplaması yapılmaktadır. Elde edilen eşik değeri bilgisi OTSU algoritmasıyla hesaplanmıştır. Böylece görüntü kaybı yaşamadan elde edilebilen edilen siyah beyaz renk bilgisine sahip matris QR kod çözümü fonsiyonuna girdi yapılarak hızlı bir sonuç alınması sağlanmıştır. Eşik değeri görüntü üzerindeki eşik değerinin ışığa bağlı olarak değişmesinden kaynaklı olarak adaptif olarak sürekli güncellenebilir şekilde hesaplanmaktadır.

Çizelge 3.9 YUV renk uzayından KYM formatına dönüşüm

Oluşturulan Renk Bileşeni	Denklem
K (Kırmızı)	$Y+(1.14*V)$
Y (Yeşil)	$Y-(0.395*U)-(0.581*V)$
M (Mavi)	$Y-(2.032 *U)$

Japon bilim insanı Nobuyuki Otsu tarafından geliştirilmiş Otsu yöntemi; gri düzlemdeki eşik değer hesabı yöntemini kullanarak görüntünün arkaplanı ile nesnelerin ayrılması amacıyla geliştirilmiştir (Otsu, 1979). Görüntüyü belli bölgelere ayırarak o bölgelere ait histogramının hesaplanması yöntemini içermektedir. Hesaplanan eşik değerini üzerinde değere sahip olan piksel beyaz renge, altında kalan piksel değerleri ise siyah renge indirgenir. Böylece ikili renk uzayına dönüştürülmüş olan görüntüdeki nesnelere ayırt edilmiş olur. Nesnelere ayırt etmek amacıyla kullanılan bu yöntem için harcanan işlem zamanı, normal bir görüntüden ayırt edilmeye çalışırken harcanan işlem zamanından çok daha az olduğu için verimli bir yöntemdir.

Otsu yöntemi varyans hesabına dayanan bir yöntemdir. Bir dizi içerisindeki değerlerin aritmetik ortalamaya göre dağılımını veya başka bir deyişle değerlerin birbirine uzaklığını (sapmasını) hesaplama yöntemidir. Varyans değerinin küçük olması dizi içerisindeki değerlerin aritmetik ortalama değeri etrafında dağıldığını gösterir. Büyük olduğu noktada ise aritmetik ortalama değerinden oldukça uzak değerler olduğunu göstermektedir. Bu yöntemde istenilen varyansın büyük olmasıdır. Böylece değerlerin birbirinden en uzak olduğu nokta tespit edilerek ikili renk düzenine (siyah ve beyaz) göre ayırımın daha doğru olarak yapılabilmesi sağlanmış olur. Varyansın küçük olması demek aynı renk düzeyine sahip değerlerin bir arada bulunduğunu belirtmektedir. Denklem (3.1)'de varyansın nasıl hesaplandığı gösterilmektedir. Denklemde N değeri renk dağılımındaki değerlerden en yüksek değerine sahiptir. 8 bit renk uzayına sahip sistemler için bu 255 değerine denk gelmektedir.  $X_i$ 'i renk değerine sahip piksellerin sayısını  $\mu_i$  değeri ise i renk değerindeki ağırlıklı ortalamayı temsil etmektedir.  $P_r(X_i)$ 'değeri de  $X_i$  değerinin olasılığını belirtmektedir. Yani tüm renk i renk değerine sahip piksel sayısının tüm piksel sayısına oranını belirtir.

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N (X_i - \mu_i)^2 P_r(X_i) \quad (3.1)$$

Otsu yönteminde arkaplan (background) ve önplan (foreground) olmak üzere ikili renk ayrışması söz konusu olduğu için iki düzlem için ayrı ayrı tüm noktalara göre hesaplamalar yapılmaktadır. Ağırlık değerleri (Denklem (3.2) ve Denklem (3.3)), ağırlıklı ortalamaları (Denklem (3.4) ve Denklem (3.5)), ve varyanslar hesaplanarak bunlar sonucunda tüm piksellerin ortak varyansı (Denklem (3.6)) hesaplanır. Her bir renk değerinin varyansı bulunduğundan sonra varyansı en büyük olan değer piksel ayrışmasının en fazla olduğu nokta olarak tespit edilmiş olur. Varyansın en büyük olduğu noktadaki renk değeri eşik değer (threshold) olarak tanımlanır. Bu değer altındaki tüm değerler siyah rengi, üzerindeki tüm değerler ise beyaz rengi temsil eder.

$$w_{beyaz}(t) = \sum_{i=0}^{t-1} P_r(X_i) \quad (3.2)$$

$$w_{siyah}(t) = \sum_{i=t}^N P_r(X_i) \quad (3.3)$$

$$\mu_{beyaz}(t) = \frac{\sum_{i=0}^{t-1} i \cdot P_r(X_i)}{w_{beyaz}(t)} \quad (3.4)$$

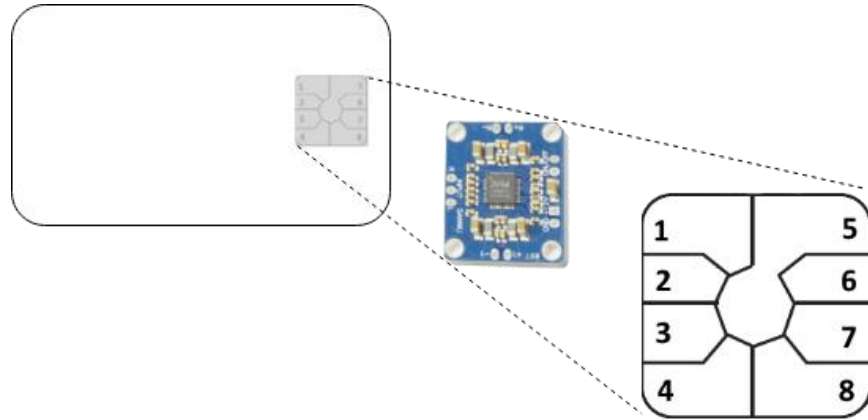
$$\mu_{siyah}(t) = \frac{\sum_{i=t}^N i \cdot P_r(X_i)}{w_{siyah}(t)} \quad (3.5)$$

$$\sigma^2_{ortak}(t) = w_{beyaz}(t)w_{siyah}(t) [\mu_{beyaz}(t) - \mu_{siyah}(t)]^2 \quad (3.6)$$

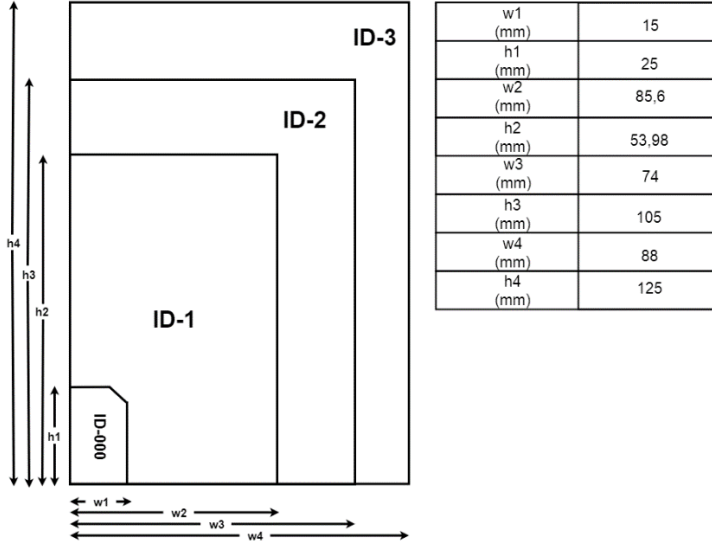
### 3.5 Akıllı Kartlar

#### 3.5.1 Akıllı kartların incelenmesi

Akıllı kartlar, güvenlik uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirilmiş yerleşik tümleşik işlemci içeren fiziksel kartlardır. Kişisel bilgisayarlar gibi cihazlarda doğrulama, güvenli depolama ve erişim kontrolü amacıyla kullanılmaktadır (Tübitak, 2019). Kredi kartı boyuna ve şekline benzeyen akıllı kartlar plastik olarak adlandırılan Polivinil klorür (PVC) yapıdadırlar (Şekil 3.13). Yongalı kartlar ve yongasız kartlar olmak üzere iki çeşit akıllı kart türü bulunmaktadır. Mikroişlemci türündeki kartlar, bellek bileşenleri ve mikroişlemci bileşenleri içermektedir (Introduction To The Smart Card Information Technology Essay, 2019). Uluslararası Standartlar Organizasyonu ve Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission, IEC) tarafından Bütünleşik Devre Kartı (Integrated Circuit Card, ICC) kartı olarak tanımlanmaktadır (ISO/IEC 7816-3:2006, 2006). Mikroişlemci barındıran akıllı kartlar manyetik şerit (magnetic strip) içeren kartlara göre daha fazla bilgi depolayabilmektedir. Genel olarak Akıllı Kartlar, kredi kartı veya Bankamatik (Automatic Teller Machine, ATM) kartları gibi mevcut kart teknolojileriyle aynı ISO/IEC 7810:2003 form faktörüne (Wolfgang and Wolfgang, 1997) sahiptir (Şekil 3.13). Akıllı kart üreticilerine ulaşmak için, akıllı kart teknolojileri alanında uzmanlaşmış forumları takip etmek gerekmektedir. Bunlarda başlıcaları; Pasifik Akıllı Kart Forumu (Smart Card Forum, 2019) ve Asya Pasifik Akıllı Kart Birliği'dir (Apsca, 2019). Akıllı kart kullanan firmaların detayına uluslararası düzeyde ulaşabilmek için ise Çevrimiçi Akıllı Kart (Smart Card Online) (Smartex, 2019) organizasyonundan faydalanılabilmektedir.



Şekil 3.13 Akıllı kart yapısı



Şekil 3.14 Akıllı kart boyutları

### 3.5.2 Akıllı kartların tarihçesi

1950'li yılların başında ABD'de plastik kartların kullanımı artmıştır. PVC malzemenin üretimin kolay ve ekonomik oluşuyla birlikte; gerek dayanıklılık gerekse baskı zorluğu olan kâğıt ve karton baskı yöntemleri tercih edilmemeye başlamıştır (Rankl and Effing, 2002).

1950'de Diners Club tarafından çıkartılan ilk plastik ödeme kartı sayesinde, para hırsızlığı gibi güvenlik problemlerinin ortadan kaldırılması sağlanmış oldu. Visa ve Mastercard gibi firmalar da bu gelişmeyi takip ederek birkaç yıl içerisinde Amerika'dan başlayarak tüm dünyada faaliyet göstermeye başladı. Günümüzde her yıl milyonlarca kartın üretildiği bu sektör ile, tüm dünyada insanların nakit para kullanmadan güvenilir bir şekilde alış-veriş yapabilmesinin önü açılmış oldu (Rankl and Effing, 2002).

Oldukça basit işlevleri sahip olan kartlar ilk başta sadece kişi isminin ve imzasına yer veriliyordu. Zaman içerisinde; iş insanlarının ve bankaların para taşıma maliyetlerinin artması, sahteciliğin artması ve sistem güvenliğindeki tehditler kart özelliklerinin genişletilmesi ve geliştirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (Rankl and Effing, 2002).

Manyetik şeritlerin kartın arkasına yerleştirilmesiyle başlayan gelişme, kartı okuyabilen makinelerin kart üzerinde yer alan verilerin okunabilmesini sağlamıştır. Manyetik şeritlerin kullanıldığı kartlarda bazı güvenlik problemleri mevcuttur. Manyetik şerit üzerinde saklanan veriler, manyetik şerit okuyabilen



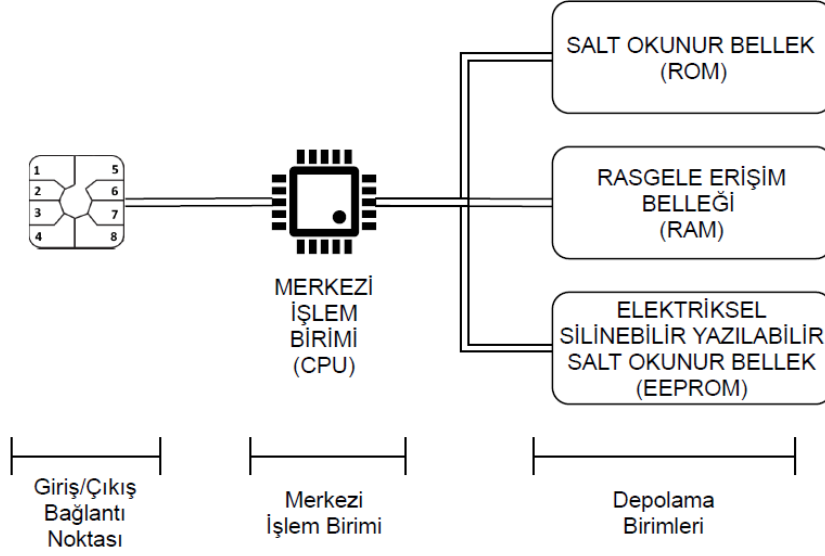
herhangi bir makine üzerinden okunabilmektedir. Bu açıdan gizli bilgilerin kart üzerinde tutulmaması gerekmektedir. Ana bilgisayarda bulundurulmuş bilgilere erişim yapılabilmesi için kart okuyucu cihazın sürekli bağlı olması gerekmektedir. Bu da iletişim maliyetlerini ortaya çıkarmaktadır (Shelfer and Procaccino, 2002).

Jürgen Dethloff ve Helmut Grötrup adındaki iki Alman mucidin 1968 yılında ortaya attıkları; plastik kartlarda mikro denetleyici geçme fikrinin patentleşmesi akıllı kart teknolojilerinin gelişimini önemli oranda etkilemiştir (Huseman, 1999). 1970’de Japon mucit Kunitaka Arimura’nın da benzer bir çalışma ile patent almasını, 1974 yılında Fransız Roland Moreno’nun patentinde ilk akıllı kart nitelendirmesi yer almıştır. Gelişmeleri 1975 ve 1978 yıllarında Amerika Birleşik Devletleri’nin patentleri takip etmiştir (Huseman, 1999). 1977’de ise, Motorola Semiconducor (Motorola Yarıiletken) ile Fransız Bull firması ilk akıllı kart mikro denetleyicisini üretmiştir (Huseman, 1999). Yapılan çalışmaların ardından 1984’te Fransa PTT’si (Postal and Telecommunications Services) telefon kartlarında kullanarak saha testlerinin başarılı bir şekilde gerçekleştirmiştir (Rankl and Effing, 2002).

Sonuç olarak, günümüzde de gelişmelerinin devam ettiren akıllı kartlar yarı iletken teknolojisindeki ilerlemeden de faydalanarak, gizli güvenlik anahtarlarının saklanabilmesi, şifreleme algoritmalarının çalıştırılabilmesi için uygun bir ortam haline gelmiştir. Tüm bu gelişmelerin ardından akıllı kartlar günlük hayatımızda; sağlık hizmetleri, kimlik kartları, banka kartları ve telefon kartları, toplu taşıma araçları için elektronik bilet uygulamaları gibi birçok noktada yer almaya başlamıştır.

### **3.5.3 Akıllı kartların fiziksel yapısı**

Yonga barındıran akıllı kartlar ile iletişimin sağlanabilmesi için fiziksel Giriş/Çıkış (Input/Output, I/O) işlemlerinin sağlandığı bağlantı noktalarının bağlı olduğu bir Merkezi İşlem Birimi (Central Process Unit, CPU) bulunmaktadır. Merkezi işlem birimi, sistem içerisinde 3 farklı depolama birimlerine bağlanmaktadır (Şekil 3.15).

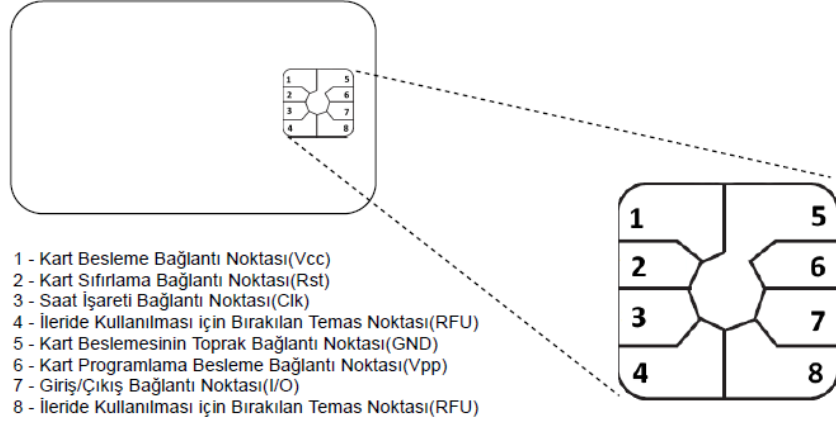


Şekil 3.15 Akıllı kart yapısı

### 3.5.3.1 Giriş/Çıkış bağlantı noktası

Akıllı Kartların Giriş/Çıkış işlevlerini yerine getirebilmesi için belirli bileşenlere sahip olması gerekir. Akıllı kart içerisinde bulunan ve verilerin işlenmesini yöneten Merkezi İşlem Birimi ve depolama birimleri arasındaki iletişim sonucunda elde edilen bilgilerin dış dünyaya aktarılması gerekmektedir. Dış dünya olarak bahsedilen aslında kart okuyucu sistemlerdir. Kart okuyucu sistemler ile akıllı kartlar arasındaki iletişim, altın görümlü I/O bağlantı noktaları sayesinde gerçekleşmektedir.

Akıllı kartların türüne göre fiziksel arayüzleri farklılık göstermektedir. ICC olarak da adlandırılan(ISO/IEC 7816-2:2007, 2007) temaslı akıllı kartlar altında CPU bulunan temas pinleri içermektedir. Temas pinleri sayesinde kart okuyucu tarafından akıllı kart enerjilenerek merkezi işlem birimi ve depolama birimleri çalışmaya başlar. ISO/IEC 7816-2:2007 standartında bahsedildiği gibi akıllı kart üzerinde bulunan temas noktalarında sekiz farklı bölüm bulunmaktadır. Bunların bazıları merkezi denetleyici ile elektriksel olarak bağlanmaktadır, bazıları ise ileride kullanılmak üzere yer almaktadır. Temassız tür kartlar ise; radyo dalgaların kullanarak iletişimi ve akıllı kart bünyesindeki birimlerin enerjilenmesini sağlamaktadır.



Şekil 3.16 Akıllı kart temas noktaları tanımlaması

### 3.5.3.2 Merkezi işlem birimi

Merkezi işlem birimi, aritmetik mantık birimi (Aritmetic Logical Unit, ALU), kontrol birimi ve veri yolundan oluşmaktadır. Kart ile kart okuyucu arasındaki iletişimin gerçekleşebilmesi için, gerekli mantıksal kararların verildiği birim olarak görev üstlenmektedir. Veri depolamak için tasarlanmış diğer kartlara göre de bu özelliğiyle ayrılmaktadır.

### 3.5.3.3 Merkezi işlem birimi

Yarı iletken malzemelerden yapılan depolama birimleri, verileri depolamak için anahtarlama elemanlarını (transistor) içermektedirler. Yarı iletkenlerden oluşan bu depolama birimleri üç farklı kategoride sınıflandırılmaktadır: Salt Okunur Bellek (Read only Memory ROM), Rasgele Erişim Belleği (Random Access Memory, RAM) ve Elektrikli Silinebilir Programlanabilir Salt Okunur Bellek (Electrically Erasable Programmable ROM, EEPROM).

- Salt Okunur Bellek(Read Only Memory, ROM): Kart okuma işlemlerinin yürütüldüğü işletim sisteminin ve değişmesi beklenmeyen uygulamaların bulunduğu depolama birimidir. Sürekli besleme yapılmadığı durumlarda da bilginin kaybolmadığı birimdir.
- Rasgele Erişimli Bellek(Random Access Module, RAM): Kart okuma işlemleri sırasında kullanılan geçici değişkenlerin tutulduğu depolama birimidir. Depolanan herhangi bir bilgiye belirli bir süre içerisinde erişilebilir ve kartın besleme enerjisi kesilirse bu bilgiler hemen kaybolur. Veri depolaması ve erişimi çok hızlı gerçekleşmektedir.

- Elektrikli Silinebilir Programlanabilir Salt Okunur Bellek(Electrically Erasable Programmable ROM, EEPROM): Elektriksel olarak silinebilen, tekrar programlanabilen ve geçici olmayan depolama birimidir. Düzenli aralıklarla değişiklik yapılması gereken verilerin ve uygulamaların saklanması için tercih edilir.



## 4. MATERYALLER VE YÖNTEMLER

### 4.1 Donanım Tasarımı

Bu bölümde Ücret Toplama Araçlarında Karekod Algılama Performansının Arttırılması Ve Gömülü Sistem Gerçeklenmesi'nin donanım tasarımlarından bahsedilecektir. Sistem tasarımı kapsamında birden fazla donanım bileşeni gerçekleştirildiği için donanım tasarımı, termal yazıcı kontrol kartı tasarımı, kamera kontrol kartı tasarımı, ana kart tasarımı ve mekanik tasarım olmak üzere dört başlıkta incelenecektir.

#### 4.1.1 Ana kart donanım tasarımı

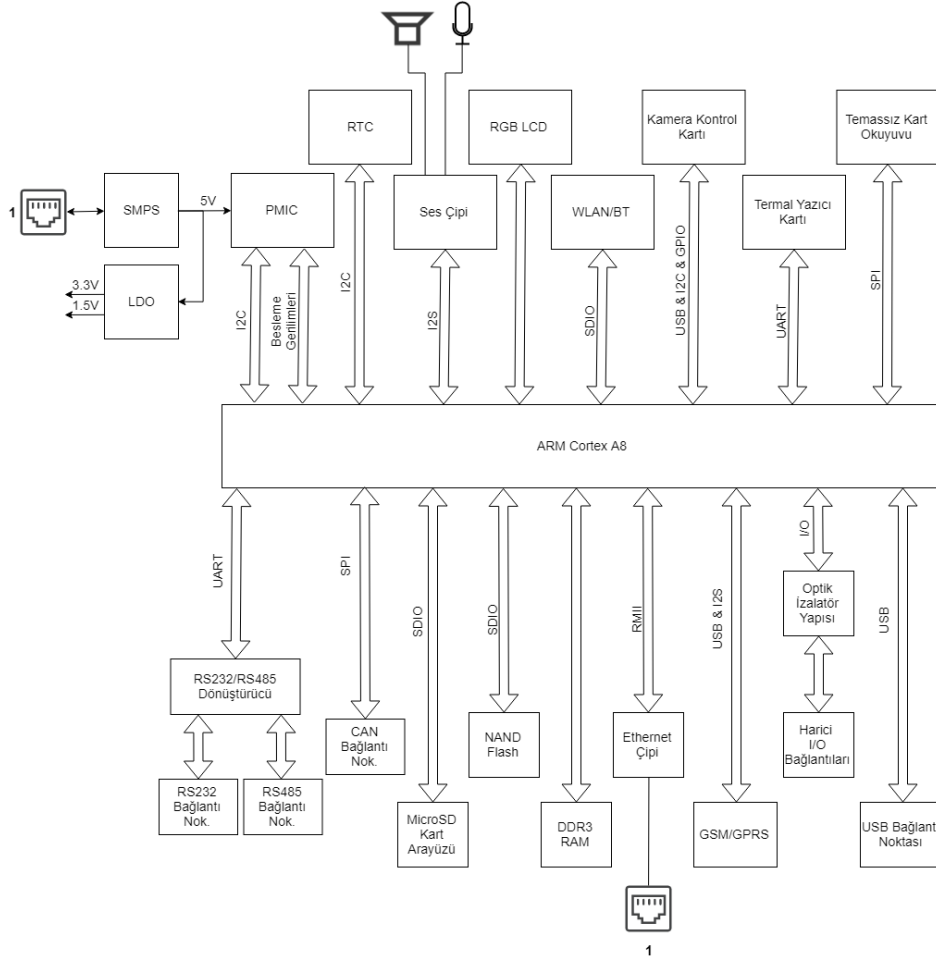
Standart bir gömülü sistem temel olarak CPU, RAM, güç yönetim tümleşik devresi ve hafıza biriminden oluşmaktadır. Kullanım alanlarına göre; ses ve görüntü içeren medya (LCD, ses ) sistemleri, internet bağlantısı için mobil, kablosuz ya da kablolu ağ bağlantı noktası, haberleşme arayüzü giriş-çıkışları ve CD/DVD sürücüler gibi ek donanımlar da eklenebilmektedir.

Tez kapsamında tasarlanan gömülü sistem, ücret toplama cihazlarında kullanılacağı için, sunucu ile sürekli bağlantının sağlandığı GSM/GPRS modem, araç içi ağ bağlantısının sağlandığı ethernet arayüzü, harici donanımların bağlantısının yapılabilmesi için endüstriyel haberleşme arayüzleri (RS232, RS485, CAN), veri depolama birimi, zaman bilgisinin alınabildiği RTC çipi, kart içi çipler ile haberleşebilmek için UART, I2C, SPI, USB arayüzleri, genel kullanım için oluşturulmuş GPIO desteği, kart okuma işlevinin yerine getirilebilmesi için NFC ve RF kart okuyucu içermektedir.

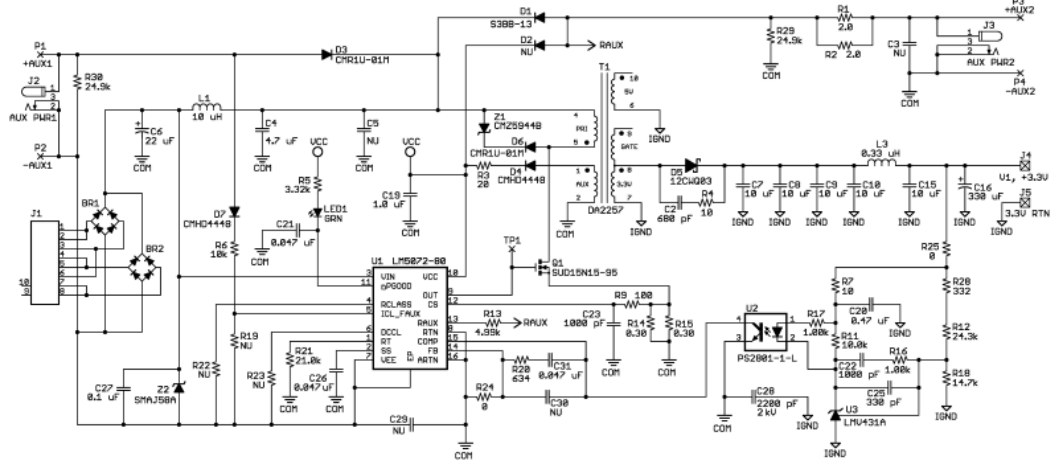
Anakart tasarımı yapılmadan önce ihtiyaç duyulan çevreseller belirlenerek blok çizimi gerçekleştirilmiştir. Blok çizim genel olarak proje kapsamını belirttiği gibi çevreseller ile CPU arasındaki bağlantıların türünü de göstermektedir (Şekil 4.1). Anakartın en önemli parçası olan CPU, daha önce üzerinde deneyim kazanılmış ve güçlü, endüstriyel ihtiyaçları ve proje gereksinimlerini karşılayan, NXP firmasına ait ARM Cortex A8 mimari tabanlı i.MX53 tercih edilmiştir.

Oluşturmuş olduğum gömülü sistem tasarımı toplu taşıma araçlarında kullanılacağı için besleme gerilimi 9-36V aralığında olmalıdır. Ayrıca güç kaynağı tasarımı yine araç içerisinde kullanılan güç iletim standardı olan PoE

standartını da desteklemelidir. İstenilen bu özellikler ışığında uygun bir SMPS tasarımı yapmak için Texas Instrument firmasından LM5072 çipi belirlenmiştir. LM5072 çipi ile güç kaynağı topolojilerinden flyback topolojisi benimsenerek giriş gerilimi 5V çıkış gerilimine dönüştürülebilmektedir. Şekil 4.2’de LM5072 kullanılarak oluşturulmuş örnek bir devre tasarımı görülmektedir. Örnek devrede tek çıkış olarak +3.3V belirtilmiştir. Fakat tasarlanan sistemde +5V çıkışa ihtiyaç duyulduğu için geri besleme bacağına giden dirençler değiştirilerek gerekli düzenleme yapılmıştır. Oluşturulan çıkış gerilimi devre içerisinde farklı güç kaynakları ile diğer çevresellerin güç beslemesi yapılmıştır. İşlemci ve RAM gibi ana bileşenlerin güç beslemesi için kullanılan PMIC beslemesi için de flyback dönüştürücü çıkışından faydalanılmıştır.

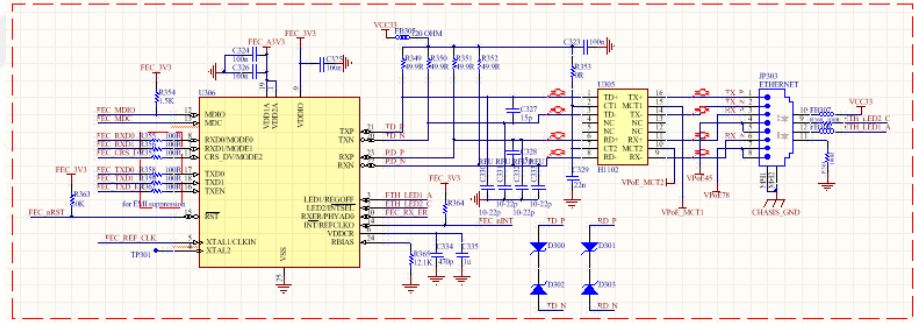


Şekil 4.1 Gömülü sistem anakart tasarımı blok diyagramı



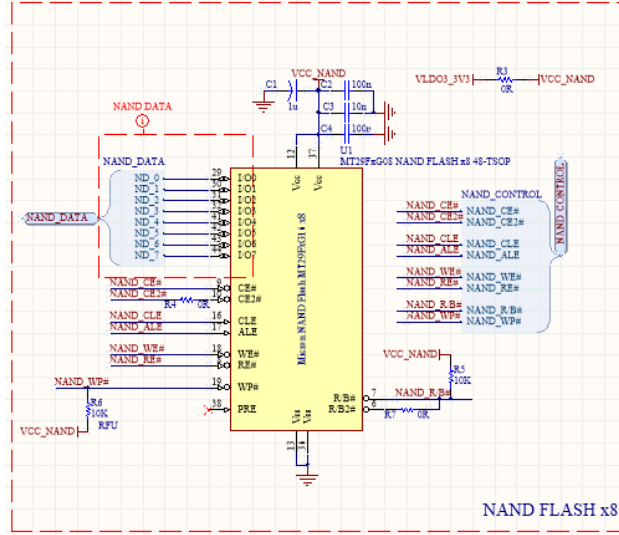
Şekil 4.2 Anakarta flyback güç kaynağı tasarımı

Tasarlanan gömülü sistem cihazı ethernet arayüzü barındırmaktadır. Ethernet arayüzü sayesinde tasarlanan cihaz araç içerisinde aynı ağ üzerinde bulunan diğer cihazlar ile haberleşebilmektedir. Şekil 4.3'de kullanılan ethernet katmanı devresi görülmektedir.

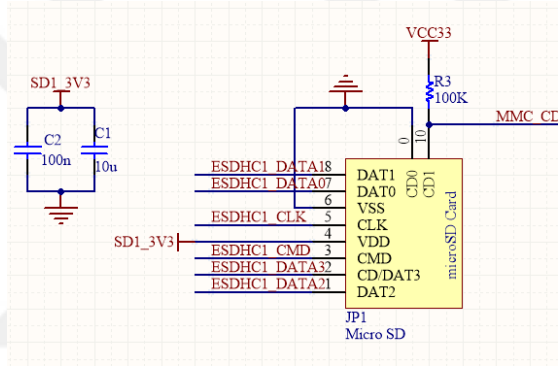


Şekil 4.3 Ethernet katmanı tasarımı

Gömülü sistem üzerinde koşacak işletim sisteminin ve sistem değişkenlerinin saklandığı depolama birim olarak kullanılan NAND flash tasarımı Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Ayrıca sistemde ikincil depolama birimi olarak kullanılabilen SD kart arayüzü tasarımı Şekil 4.5'de görülmektedir.

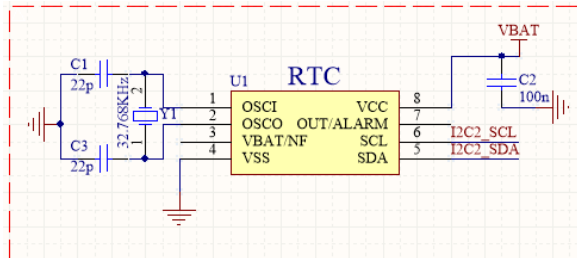


Şekil 4.4 NAND flash tasarımı



Şekil 4.5 SD kart arayüzü tasarımı

Gerçek zamanlı işlem yapan gömülü sistemlerde işlem saatlerinin tutulduğu, kullanıcıya sistem saati hakkında bilgi verme işlemlerini yerine getirmek amacıyla gerçek zaman saati çipleri kullanılmaktadır. Bu çipler saatteki saniye işlemi tam olarak sayabilmesi için 32.768kHz saat frekansına sahip kristaller ile çalışmaktadır.



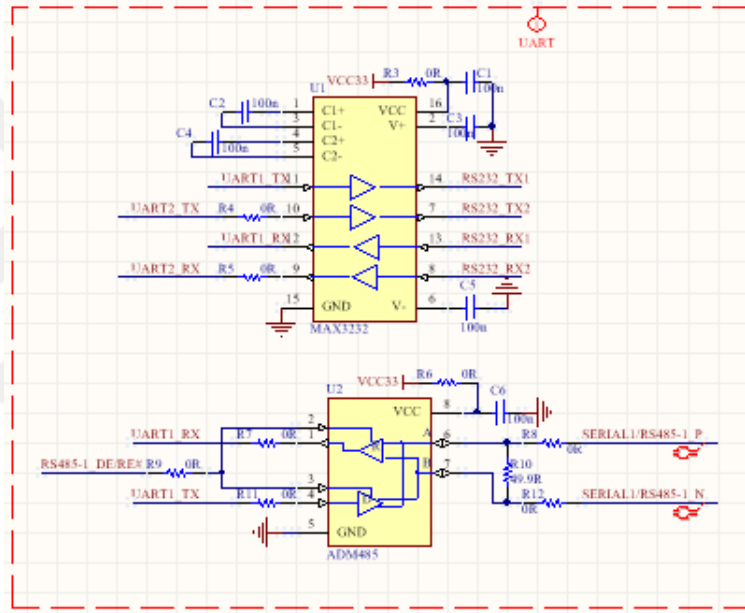
Şekil 4.6 RTC tasarımı

Mikroişlemciler ve mikrodenetleyiciler genellikle transistör seviyesinde (Transistor to transistor logic, TTL) 0-5V gerilim seviyesinde iletişim



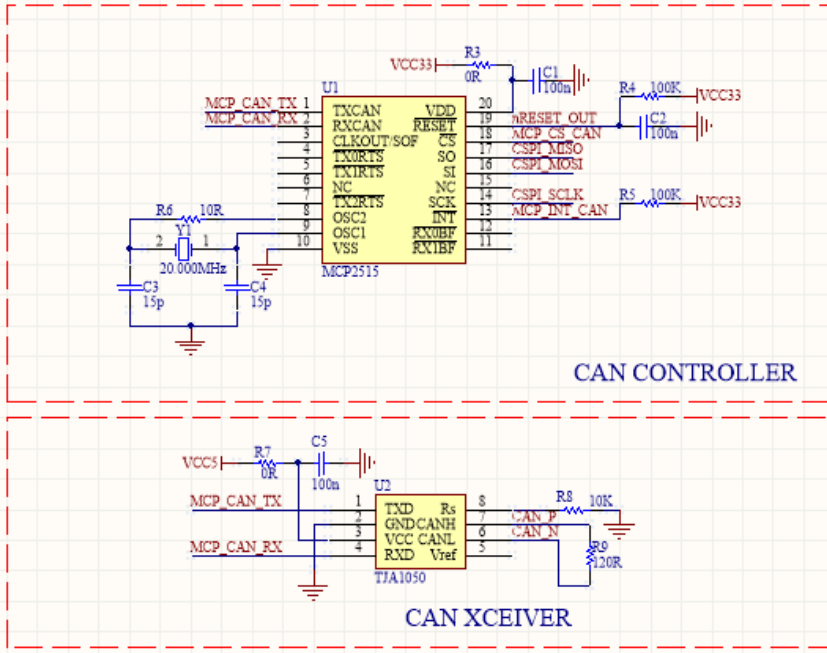
yapmaktadırlar. Bir çok endüstriyel cihaz ise haberleşme arayüzü olarak  $\pm 13V$  haberleşme gerilimi seviyesinde çalışan RS232 arayüzlerini benimsemiştir. Bu sebeple tasarlanan sistemlerde gerilim seviye düzenleyici kullanılması gerekmektedir. Şekil 4.7’de RS232 için tasarlanmış seviye düzenleyici tasarımı görülmektedir.

Diferansiyel (fark) gerilimi mantığında çalışan RS485 haberleşme arayüzü, RS232 haberleşme arayüzüne göre daha uzun mesafelerde ve aynı hat üzerinde birden çok cihazın haberleşebilmesine imkan sağlamaktadır. TTL haberleşme çıkışına sahip olan CPU, Şekil 4.7’de gösterildiği gibi, RS485 kullanabilmek için seviye düzenleyiciye ihtiyaç duymaktadır.



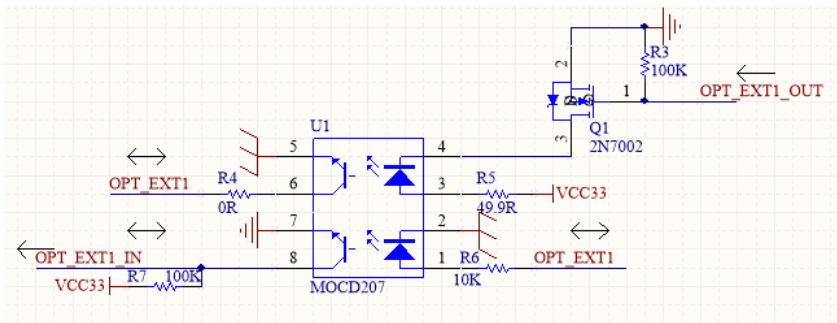
Şekil 4.7 RS232 ve RS485 seviye dönüştürücü tasarımı

Araç içi haberleşme protokolü olan CAN arayüzü ile, araç hakkındaki bilgilerin takip edilebilmesi mümkündür. Araç yakıt bilgisi, hızı, motor çalışma durumu, devri gibi bilgilerin elektronik kontrol ünitesinde alınmasıyla sürücü uyarılabilir, elde edilen bilgiler ile sürücü karakteristii de çıkarılabilmektedir. Tasarlanan sistemde CAN hattı üzerinden okunacak bilgiler bir CAN kontrolcüsü kullanılarak yapılmıştır. CAN hattından alınan bilgiler dönüştürücü sayesinde SPI hattına dönüştürülerek (bkz. Şekil 4.8) işlemci tarafında yorumlandırılabilir.



Şekil 4.8 CAN kontrolcü tasarımı

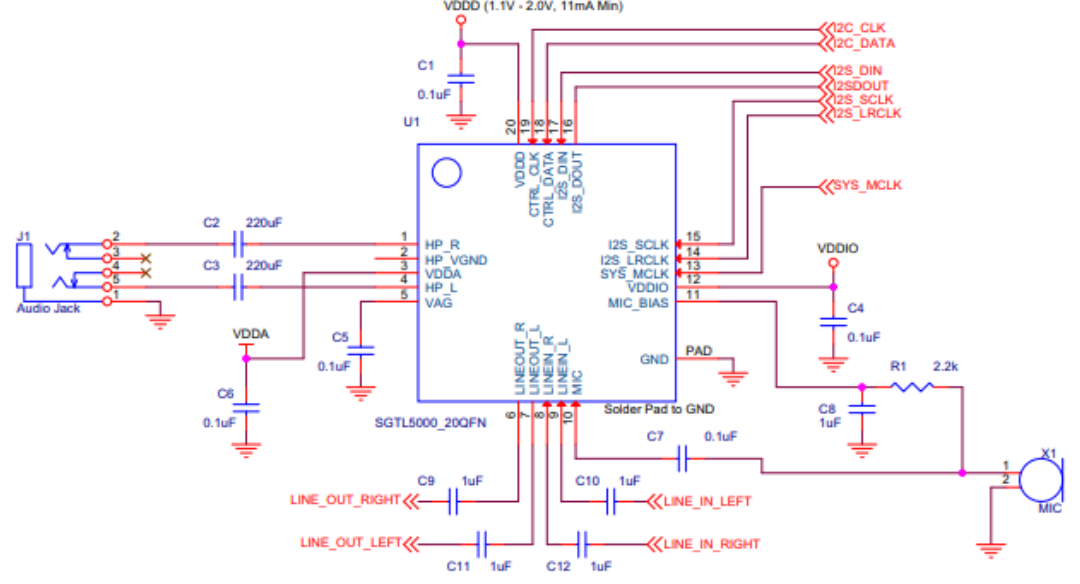
İşlemciler 1.8V, 3.3V ve 5V gibi farklı gerilim seviyelerine sahip GPIO pinleri barındırmaktadırlar. Harici herhangi bir giriş çıkışın control edilebilmesi ve okunabilmesi amacıyla işlemci GPIO'larının yalıtılması gerekmektedir. Aksi takdirde, dışarda hangi gerilim seviyesinde çıkış sağladığını bilmediğimiz donanımı cihazımıza bağladığımızda işlemci girişlerinin yanması kaçınılmazdır. Aynı şekilde işlemci tarafından çıkış verilmeye çalışıldığında işlemci gerilim seviyesinin harici olarak bağlanan donanımın girişini control edemeyebilir. Yaygın olarak kullanılan optickizolatörler ile yalıtma işlemi gerçekleştirilebilir. Şekil 4.9'de tipik bir optickizolatör kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Optik izolatör GPIO katmanı tasarımı

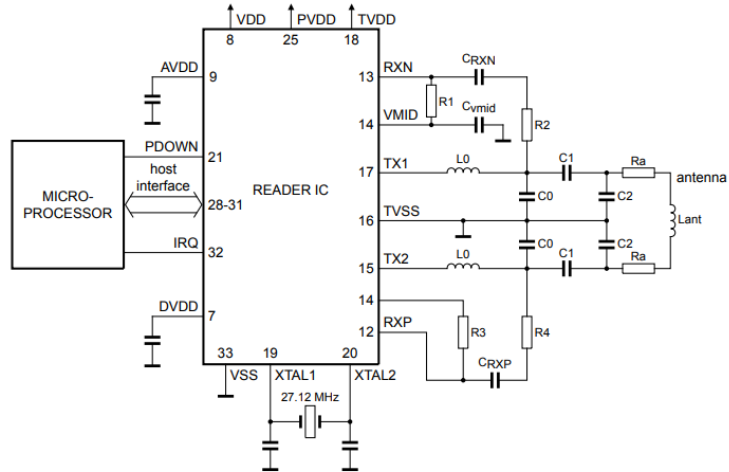
Kullanıcının bilgilendirilebilmesi amacıyla kullanılan medya çıkışları arasında en yaygın olanı sesli uyarı sistemleridir. Ses çalınabilmesi için işlemci I2S hattına bağlı SGTL5000 çipi ile istenilen ses dosyası çalınarak dijital ses

sinyalinin analog sinyale dönüştürülerek kullanıcı tarafından algılanabilmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.10 Ses katmanı tasarımı

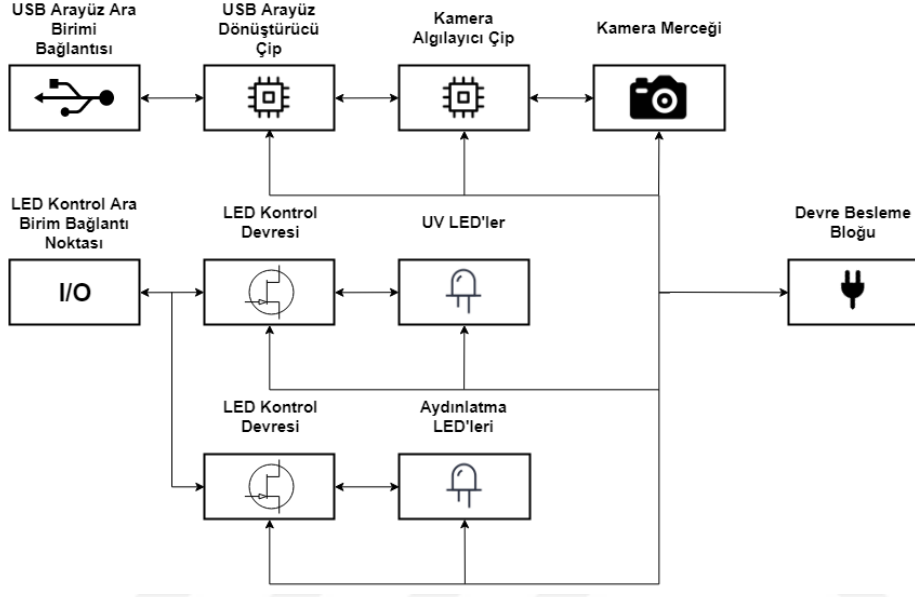
Ücret toplama cihazlarının en temel bileşeni olan RF kart okuma devresi pasif haldeki temassız özellikteki kartın oluşturduğu manyetik alan sayesinde enerjilendirilerek kart üzerinde bulunan çip ile haberleşmenin başlamasını sağlamaktadır. SPI arayüzü kullanan okuyucunun temel tasarımı Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 RF kart okuma devresi

#### 4.1.2 Kamera modülü donanım tasarımı

Tez kapsamında görüntü işleme yöntemleri uygulamak amacıyla geliştirilen kamera modülü ile QR kodların basılı olduğu kâğıt bilet üzerindeki görüntünün algılanarak anakart üzerine USB arayüzü kullanılarak aktarılması işlemi yapılmıştır. Bu kapsam doğrultusunda oluşturulan donanım tasarımı ihtiyaçlarının belirlenmesi ve ihtiyaçlar doğrultusunda blok çiziminin yapılması ile başlanmıştır.



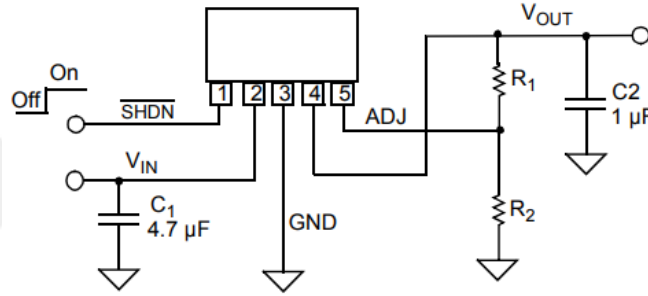
Şekil 4.12 Kamera modülü donanım tasarımı blok çizimi

Devre blok çizimi yapıldıktan sonra gerçekleştirilecek ilk adım sistemde kullanılacak tüm bileşenlerin belirlenmesidir. Bu noktada sistem ihtiyaçlarının doğru belirlenmesi en önemli etkidir. Sistem ihtiyaçları kapsamında sabit odaklamalı mercek olarak Global Digital Sensor firmasına ait bir ürün tercih edilmiştir. Kamera algılayıcı olarak Omnivision firmasının en çok tercih edilen ürünlerinden OV5642 model 5MP çözünürlüğe sahip bir algılayıcı tercih edilmiştir. Kamera algılayıcının geliştirilen anakart ile iletişiminin sağlanabilmesi için ise kamera algılayıcı bağlantılarını standart USB arayüzüne dönüştüren Silicon Motion firmasına ait SM3732 ürünü tercih edilmiştir.

Çevresel belirmeleri gerçekleştirildikten sonra devre tüm beslemelerinin belirlenerek uygun güç kaynağı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Devre ana beslemesi; anakart üzerinden gerçekleştirileceği için ve standart USB arayüz bağlantısı kullanılacağı için +5V olarak belirlenmiştir. Devre üzerinde kullanılacak diğer tüm beslemeler +5V üzerinden düşürülerek kullanılmıştır. Her bir birimin güç

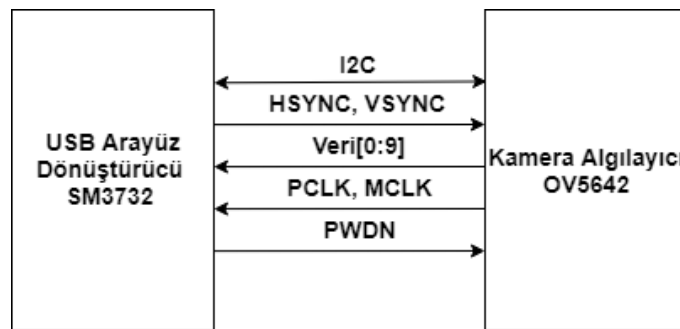
besleme ihtiyaçları veri kâğıtlarından çıkartıldığında sistemde +1.5V, +1.8V, +2.8V ve +3.3V besleme gerilimleri kullanılacağı tespit edilmiştir. Tüm bu ihtiyaçlar doğrultusunda Microchip firmasına ait MCP1824 tür ürünün ayarlanabilir tip modeli tercih edilmiştir. Ayarlanabilir olan bu az kayıplı güç kaynağı (Low Dropout Regulator, LDO) çıkış gerilimi Şekil 4.13’de gösterildiği gibi R1 ve R2 dirençleri ile değiştirilmektedir (Microchip, 2007). Aşağıdaki denklem çıkış gerilimini ayarlamak için kullanılan direnç değerlerinin çıkış gerilimi değerine etkisini göstermektedir. Denklemde yer alan V<sub>ADJ</sub> ifadesi sabit olarak +0.41V olarak belirtilmiştir.

$$V_{\text{çıkış}} = V_{\text{ADJ}} * ((R_1/R_2)+1)$$



Şekil 4.13 Kamera modülü güç beslemesi tasarımı

Şekil 4.14’de basit olarak kamera algılayıcı ile kamera arayüzü destekleyen US dönüştürücü arasındaki bağlantı şeması gösterilmiştir.

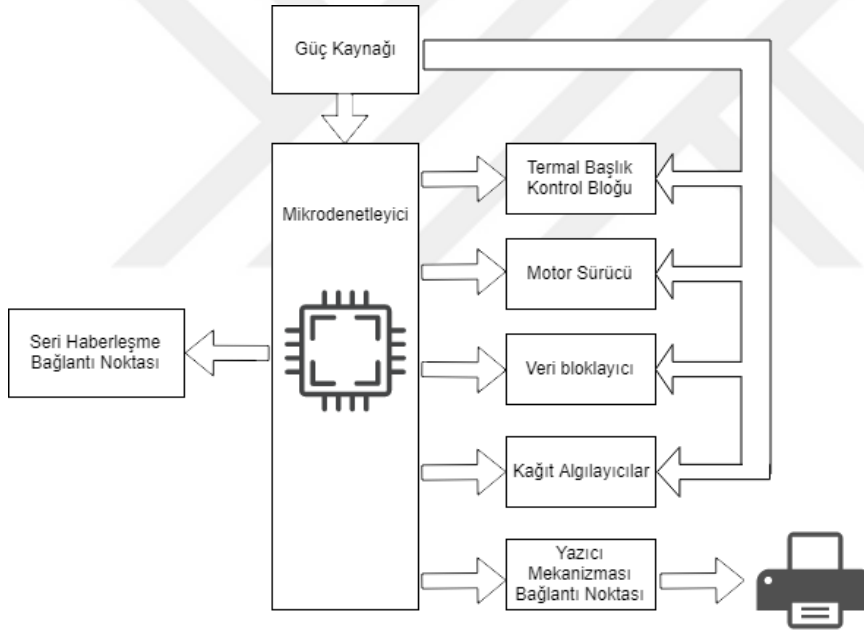


Şekil 4.14 Kamera algılayıcı ile USB dönüştürücü bağlantı diyagramı

### 4.1.3 Termal yazıcı kontrol kartı tasarımı

Termal yazıcılar Bölüm 3.3’de bahsedildiği gibi bilgi fişi sağlayan birçok sistemde kullanılmaktadır. Tez kapsamında kullanımı bu alanların dışında belirlenmiştir. Termal yazıcı mekanizması, kullanıcı tarafından cihaz bilet girişine yaklaştırılan QR kodların bulunduğu kâğıt biletin cihaz içerisinde bulunan görüntü işleme fonksiyonunu gerçekleştiren kamera bileşenin olduğu bölüme çekme işlemini gerçekleştirmektedir. Ayrıca termal kâğıt üzerine basılmış olan biletin doğrulama işlemi yapıldıktan sonra kullanıldığını belirtmek amacıyla ısı ile işaretleme yapmak amacıyla da kullanılmıştır.

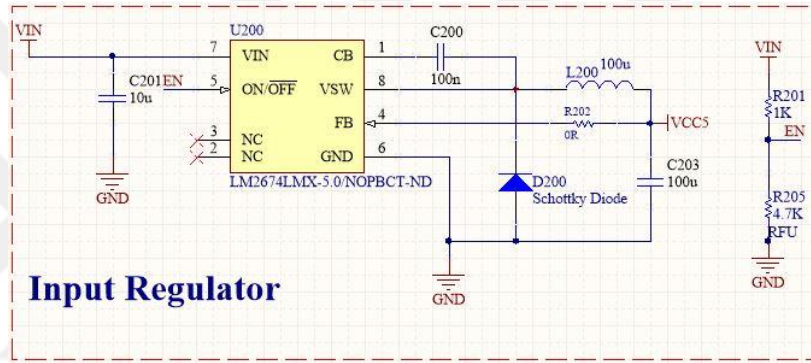
Tasarım aşamasına geçilmeden önce sistem gereksinimleri belirlenmiş ardından donanım bileşenlerini bağlantılarının gösterildiği blok tasarım gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.15).



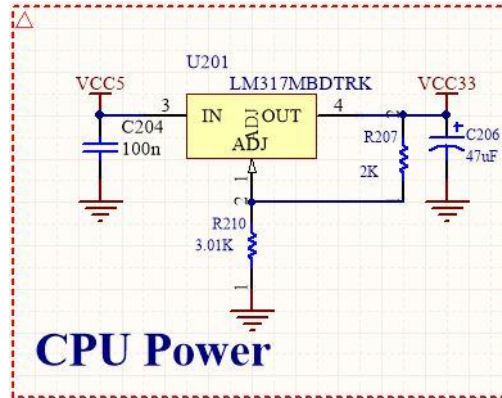
Şekil 4.15 Termal yazıcı kontrol kartı blok tasarımı

Öncelikle termal yazıcı başlığının da kontrolünü sağlayacak olan ve ana kart ile haberleşme sağlayacak mikro denetleyici olarak STM firmasına ait ARM Cortex M3 tabanlı ST32F100 serisi bir denetleyici tercih edilmiştir. Tercih edilen denetleyici üzerinde barındırdığı USART bağlantıları ile seri haberleşmeyi ve barındırdığı birçok GPIO ile termal başlık kontrolünü, kâğıt algılayıcı girişlerini, motor sürücü çıkışlarını kontrol edebilme kabiliyetine sahiptir.

Tasarlanan kontrol kartı ücret düşüm araçları için tasarlandığı için 8-40V giriş geriliminde çalışabilmektedir. Bu özelliğin sağlanabilmesi için giriş gerilimini devre besleme gerilimine dönüştüren uygun besleme devresi tasarımı yapılmıştır. Kontrol kartı tasarımında farklı donanımların beslenebilmesi için +5V ve +3.3V besleme gerilimlerine ihtiyaç olduğu tespit edilerek ürün belirlemeleri yapılmıştır. +5V besleme gerilimi için; giriş gerilimi çıkış geriliminden yüksek olduğu için güç kaynağı topolojilerinden yaygın kullanılan Buck topolojisi benimsenmiştir. Motor sürücü çipinin beslenebilmesi, ışıl başlığın kontrol edilmesi için gereken besleme; +5V çıkışından sağlanacağı için 500mA çıkış akımını verebilen ve Texas Instrument firmasına ait LM2674 ürünü tercih edilmiştir. +3.3V besleme gerilimi işlemci katmanını besleyeceği için çok küçük akımlarda çalışacağı göz önünde bulundurularak LDO kullanılmıştır.



Şekil 4.16 Termal yazıcı kontrol kartı +5V çıkış gerilimi düzenleyici



Şekil 4.17 Termal yazıcı kontrol kartı +3.3V çıkış gerilimi düzenleyici

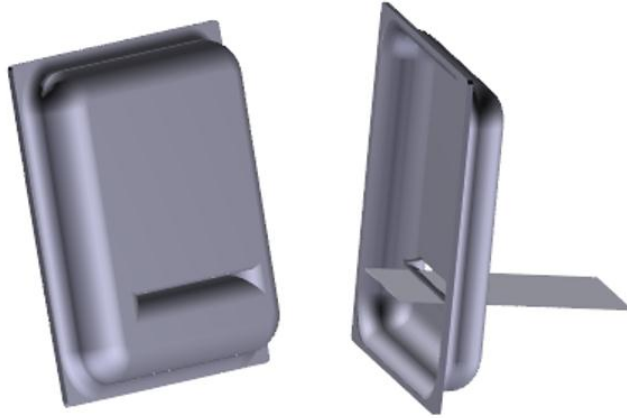
#### 4.1.4 Mekanik Tasarım

Tez kapsamında oluşturulacak donanımın toplu taşıma cihazlarında kullanılacağı için tasarımda TS EN 60950-1 güvenlik standardına uygun olarak

geliştirilmiştir. Ayrıca darbeye dayanıklı olması açısından da hammadde seçimi ABS olarak belirlenmiştir.

Donanım ve yazılım tasarımı kadar mekanik tasarım da tez kapsamında oluşturulan projenin performansını etkilemektedir. Kâğıt bilet üzerine basılan QR kodun hızlı bir şekilde okunabilmesi için doğru açıyla ve doğru şekilde kamera algılayıcısına gösterilmesi gerekmektedir. Kâğıt üzerindeki QR kod pozisyonunun istenilen koşullara uygun olarak algılanması kamera üzerine düşen görüntü üzerinden belirli bölgenin taranmasına imkân sağlamaktadır. Böylece tarama süresini düşürmek mümkündür. Her zaman aynı açıyla okuyucu mekanizmasına gelen kâğıt bilet kamera tarafından algılanır ve QR kodun bulunduğu bölgedeki görüntü ham görüntü üzerinden kırılarak elde edilen görüntü parçacığı üzerinde QR kod algılama algoritması yürütülmektedir.

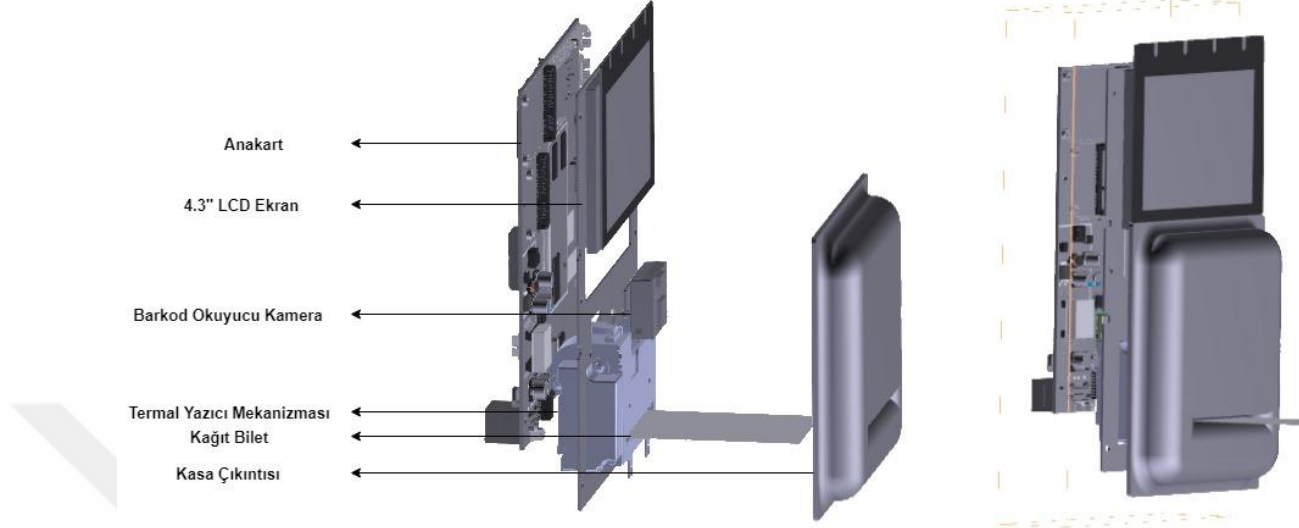
Ayrıca kâğıt biletin, mekanizma içerisine alınabilmesi için de cihaz derinliğinin uygun olarak ayarlanması okuma performansını etkilemektedir. Bilet üzerine basılacak QR kodu kamera tarafından tam olarak algılanabilmesi için ürün derinliğinin artırılması gerekmektedir. Uygun kasa derinliğinin ayarlanabilmesi için farklı ölçülerde kasa çıkıntısı tasarlanarak, 3 boyutlu yazıcı ile plastik kasa basımı gerçekleştirilmiştir. Baskısı yapılan kasa tasarımlarında uygun olan ölçünün 13,5 mm olarak belirlenmiştir. Tasarlanan kasa çıkıntısının mekanik görünümü Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18 Kasa çıkıntısı tasarımı mekanik görünümü



Şekil 4.19’de tasarlanan sistemin mekanik iç bileşenleri gösterilmiştir. Bileşenler birleştirilirken kâğıt biletin mekanizma içerisinde ilerleyerek kamera önüne getirilebilmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.19 Mekanik iç tasarım bileşenleri

## 4.2 Geliştirme Ortamının Kurulması

### 4.2.1 Doğru işletim sistemini seçme

Doğru işletim sistemini seçmek projenin başarısını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Geliştirmeyi düşündüğümüz sistemden beklentilerimizin ne olduğu ve buna karşılık harcayacağımız efor ve maliyet her zaman göz önünde bulundurulmalıdır.

Bize sağlamlık, kararlılık, güvenlik, bağlanabilirlik ve zengin kullanıcı arayüzü gibi özellikler gerekiyorsa işletim sistemi seçimi için Linux oldukça iyi bir alternatiftir. Ama Linux da her sorunu çözmez ve her proje için uygun değildir, yakından inceleyecek olursak;

- Kullanacağımız donanım bir işletim sistemi için en alt seviyede yeterli midir? Bir Gerçek Zamanlı İşletim Sistemi (Real Time Operating System, RTOS) ile kıyaslandığında Linux oldukça fazla kaynak gereksinimi duyar. En azından 32 bit bir mimariye ve görece daha fazla hafıza gereksinimi vardır.

- Linux o kadar basittir ki anlamak için dahi olmak gerekir. Özellikle board bring-up denilen ilk kart çalıştırma, “ayağa kaldırma” aşamasında ön yükleyici, işletim sistemi ve üzerindeki uygulamaların kesinlikle donanım ile uyumlandırılması gerekir. Bu aşamada çok sayıda hata ayıklama ve uyumlandırma yapılmalıdır.
- Tasarlamayı amaçladığımız sistem gerçek zamanlı ise Linux’un gerçek zamanlı işler için geliştirilmiş versiyonları ile ilgilenilmesi gerekir.

#### 4.2.2 Gömülü sistem sektöründeki aktörler

- Açık kaynak topluluğu** : Kullanacağımız bir çok yazılım bu gruplar tarafından üretilir. Topluluk, çoğu bir şekilde kar amacı gütmeyen bir kuruluş, bir akademik kurum veya ticari bir şirket tarafından finanse edilen, geliştiricilerin gevşek bir ittifakıdır. Çeşitli projelerin amaçlarını ilerletmek için birlikte çalışırlar. Farklı büyüklükte bir çok grup açık kaynaklı yazılımlar için çalışır. Bu kitabın geri kalanında faydalanacağımız açık kaynak yazılımların bazıları; Linux’un kendisi, U-Boot, BusyBox, Buildroot, Yocto Projesi ve GNU şemsiyesi altındaki birçok projedir.
- CPU Mimarileri:** Bunlar kullandığımız CPU’ları tasarlayan organizasyonlardır. Buradaki önemli olanlar ARM / Linaro (ARM tabanlı SoC’lar), Intel (x86 ve x86\_64), Imagination Technologies (MIPS) ve IBM’dir (PowerPC). Temel CPU mimarisi için desteği uygularlar veya en azından etkiler. Kısacası bu şirketler CPU mimarisini tasarlar ve bu mimarileri baz alan mikroişlemciler/mikrodenetleyiciler üretilir ve bizde bu yarı iletken malzemeleri kullanırız. Açıkçası bu mimariler, eğer **Bare metal** kod yazmıyorsanız, register seviyesinde çalışmıyor, sadece işletim sisteminin oyun parkındaysanız sizi çok etkilemez.
- Çip Üzerinde silikon Üreticileri (SoC Vendor):** (Atmel, Broadcom, Intel, Qualcomm, TI, NXP, Freescale vb). Bunlar çekirdek yazılımını ve toolchain’leri kendi ürettikleri çiplere ve bu çiplerin baz aldığı mimariye uygun bir şekilde modifiye ederler. Ayrıca diğer tasarımcıların ilham alması için referans geliştirme kartları üretirler.

- **Kart Üreticileri ve OEM'ler:** Kart üreticileri referans tasarımlarını SoC satıcılarından alıp bunları belirli ürünlere, örneğin set üstü kutulara veya kameralara yerleştirir veya Avantech ve Kontron gibi firmaların oluşturdukları daha genel amaçlı geliştirme kartlarından faydalanmaktadırlar. BeagleBoard / BeagleBone ve Raspberry Pi gibi ucuz geliştirme kartları bunlara örnektir.

Tasarım aşamasında birbirine sıkı sıkıya bağlı olarak nitelendirilen bu zincirin dışına çıkmak oldukça zahmetli olmaktadır. Amaca yönelik tasarlanan ürünlerde kullanılacak işletim sistemi bileşenleri genellikle; SoC üretici firmaların müşterilerine yönelik sağlamış oldukları ve referans tasarıma uyumlu çalışacak kart destekleme paketi (Board Support Packet, BSP) sayesinde uyumlu bir yazılım elde edilmektedir. Bu çizgi üzerinden ilerlemek geliştirmenin daha hatasız ve hızlı ilerlemesini sağlamaktadır.

Açık kaynak yazılımların en büyük sorunlarından olan destek eksikliği, ademi merkezîyetçilik ve kişisel çaba fazlalığı gibi sorunlar her zaman baş göstermektedir. Örneğin bazen eski kernel versiyonları ile yıllarca çalışmak gerekmektedir. Güncellemeleri gerçekleştirebilmek için geliştiricinin oldukça efor harcaması gerekmektedir. Bu nedenle mümkün olduğu kadar güncelleme politikaları uygun üreticilerin çiplerini ve referans tasarımlarını kullanmak her zaman daha akılcıdır.

#### 4.2.3 Gömülü sistemlerde 4 temel eleman

- **Araç Zinciri (ToolChain)** : Hedef cihazınız için kod oluşturmak için gereken derleyici ve diğer araçlar. Geri kalan her şey alet zincirine bağlıdır.
- **Ön Yükleyici (Bootloader)** : Kartı başlatan ve Linux çekirdeğini yükleyen program.
- **Çekirdek (Kernel)** : Sistemin kaynaklarını yöneten ve donanımla etkileşime giren sistemin kalbidir.

- **Kök Dosya Sistemi (Root File System)** : Çekirdek başlatmayı tamamladıktan sonra çalıştırılan kütüphane, daemon ve diğer programları içerir.

## 4.3 Yazılım Tasarımı

### 4.3.1 Isıl yazıcı kontrol kartı yazılımı

Motor sürücü kart tasarımında ST firmasına ait STM32F1 ailesinden bir mikro denetleyici kullanılmıştır. Bu mikro denetleyici yazılımı için C programlama dilinden faydalanarak IAR<sup>2</sup> tümleşik geliştirme ortamı kullanılmıştır.

Geliştirilen yazılım; haberleşme bölümü, bilginin anlamlandırılması bölümü ve ısı yazıcı kontrol bölümü olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. Haberleşme arayüzü olarak UART tercih edilmekle birlikte 921600 baud hızına kadar destek vermektedir. Anakart üzerinde koşan uygulamanın UART seri haberleşme arayüzü ile göndermiş olduğu komutları yorumlayarak ısı başlığın kontrolünü sağlamaktadır. Haberleşme veri yapısı Şekil 4.20’de gösterilmiştir.

Start Bayrağı	Komut	Veri Uzunluğu	Veri	Doğrulama
---------------	-------	---------------	------	-----------

Şekil 4.20 Termal yazıcı kontrol kartı haberleşme yapısı

- **start bayrağı** :Haberleşmenin başladığını ve yeni bir paketin geldiğini belirten belirteç
- **komut**: Ana uygulama tarafından yapılması istenen komutu belirten belirteç karakter.
- **veri uzunluğu**: Komut ile birlikte gönderilecek verinin uzunluğu.
- **veri**: Komut belirtecinin yapacağı görevin girdisi olarak kabul edilen veri bütünü. Burada yazılması istenen bilgi içeriği örnek olarak verilebilir.

<sup>2</sup> Bir tümleşik geliştirme ortamıdır. RISC mimarisine sahip mikro denetleyiciler için derleyiciye sahiptir. ST firmasına ait mikro denetleyicilere destek vermektedir.

- **doğrulama:** Tüm haberleşme paketinin özel veya (XOR) işleminden geçirildikten sonra oluşturulan belirteç. Buradaki amaç paketi gönderen ile alanın doğru paket ile haberleştiğinin ve eksik bir veri alınmadığının tespitinin yapılmasıdır.

Seri haberleşmedeki paket kayıplarını engellemek amacıyla burada doğrudan hafızaya erişim (direct memory access, DMA) yöntemi kullanılmıştır. DMA, çevresellerden gelen bilgiyi doğrudan hafızaya (veya tam tersi) aktarma işlevini yerine getirmektedir. Böylece mikro denetleyicinin paket almak ve göndermek için harcadığı iş yükü azaltılmıştır. Mikro denetleyici üzerinde koşan yazılımda genel işleyiş işlemleri tamamlandıktan sonra DMA ile paylaşılan hafızaya erişerek burdaki verileri haberleşme veri yapısına uygun olarak yorumlar ve komut verisine uygun atanmış görevleri yerine getirir.

Komut listesindeki komutlar aşağıda işlevleri ile açıklanmıştır.

- **WriteLine:** Ana kontrol uygulamasının seri haberleşme arayüzünden göndermiş olduğu öncede denetleyici içerisine tanımlanmış olan karakter tablosu içerisindeki karakter setinin tek satır halinde yazılmasını sağlar.
- **WriteBitMap:** Ana kontrol uygulamasının seri haberleşme arayüzünden Bitmap formatında göndermiş olduğu içerisinde genişlik ve yüksekli bilgilerinin barındığı görüntünün basılma işlemini yürütür.
- **Cut:** Termal yazıcı mekanizmasında bulunan kesici mekanizmasındaki motoru harekete geçirerek kâğıdın kesilmesi işlemini yürütür.
- **GetPaperStatus:** Termal yazıcı mekanizmasındaki kâğıt algılayan sensörlerden kâğıdın mekanizma içerisinde bulunduğu pozisyon algılanır.
- **getVersion:** Isıl yazıcı sürücü kartın sürüm bilgisi istemci uygulamaya gönderilir.
- **FeedLine:** Kâğıt üzerine hiç bir bilgi yazılmadan mekanizma üzerinde bulunan adım motoru aracılığıyla belirtilen satır sayısı kadar ileri itilmesi sağlanır.

- ReverseFeedLine: Kâğıt üzerine hiç bir bilgi yazılmadan mekanizma üzerinde bulunan adım motoru aracılığıyla belirtilen satır sayısı kadar geri çekilmesi sağlanır. FeedLine işleminin tersi yönünde kâğıt hareketi sağlar.

Bölüm 3.3’de de bahsedildiği gibi termal yazıcılar termal kâğıt üzerindeki kimyasalın ısı ile siyahlaşarak desen oluşturması yöntemiyle baskı almaktadır. Herhangi bir mürekkep veya kartuşa ihtiyaç duyulmamaktadır. Isıl başlık üzerinde strobe adı verilen ısıl rezistansların bulunduğu birimler ile bu kimyasal reaksiyon gerçekleştirilmektedir. Isıtıcı rezistansların sıklığı baskı çözünürlüğünü belirlemektedir ve yüksek akım ile güç tüketimi yapmaktadır.

Tasarım kapsamında her bir ısıl rezistansa bağlı anahtarlama elemanının anahtarlama süresi yazılım ile kontrol edilerek kâğıt üzerindeki baskının yoğunluğu belirlenmiş olur. İstenilen bölgenin yakılması halinde adım motoru ile kâğıt ileriye itilerek bir sonraki satırın yakılması işlemi başlatılır.

Isıtıcı rezistanslara bilgi kaydırma yazmacı (shift register) ile iletilmektedir. Kaydırma yazmacı arka arkaya bağlı bitlerden oluşmaktadır. Her bir saat atımında bir sonraki bitin çıkışa doğru ilerleyerek tüm verinin işlenmesi sağlanır.

Proje kapsamında tercih edilen ısıl başlık 432 farklı ısıl noktadan oluşmaktadır. Her bir nokta resim üzerindeki pikse gibi farklı noktayı temsil etmektedir. Kâğıt üzerine karakter basımının gerçekleştirilebilmesi için karakter tablosundaki karakter genişliği kadar bilgilerin genişliği 432 bite denk gelecek şekilde birleştirilerek satır işleminin yakılması gerçekleştirilir.

Her bir satır için oluşturulmuş bitleri temsil eden karakter dizisi önce kaydırma yazmacındaki tampon belleğe aktarılır. Tampon bellekteki veri kaydırma yazmacına aktarılmadan önce mandal (latch) bacağı kontrol edilerek veri saat atımı ile birlikte gönderilir. Daha sonra çıkış aktif (output enable, OE) bacağı kontrol edilerek kaydırma yazmacı çıkışındaki bacaklar aktif edilerek ısıl noktaların kontrolü sağlanmış olur. Her bir satır yakıldıktan sonra adım motoru yardımıyla kâğıt bir piksel boyunda itilerek diğer satırın yakılması sağlanmış olur.

Kayırdırma yazmacına verinin yazılması işlemi için verinin bit halinde saat adımı kullanılarak aktarılması gerektiğinden bu yöntem SPI<sup>3</sup> haberleşme yöntemine benzemektedir. Bu yüzden bu işlemlerin yürütülebilmesi için mikro denetleyicinin de sağlamış olduğu kolaylıktan faydalanılarak hem yüksek hızlarda çıkış elde edilmiş hem de yazma hızı arttırılmıştır.

#### 4.3.2 Linux sürücü yazılımlarının kullanımı

Proje kapsamında kullanılacak olan işletim sisteminin bizim ihtiyaçlarımızı karşılayacak özellikleri desteklemesi gerekmektedir. Seçmiş olduğumuz işletim sistemi Linux'ta tüm paketler yüklü olarak gelmemektedir. Sistem gereksinimlerine göre özelleştirilmesi geliştirici tarafından yürütülmektedir. Böylece işletim sistemi gömülü sistem tarafından kullanılmayan sürücü ve bileşenleri içermeyerek daha hafif ve kullanıma özgü bir çözüm sunmuş olacaktır.

Aşağıda verilen komut ile git<sup>4</sup> versiyonlama aracı kullanılarak işlemcimize ait stabil çekirdek kodu *kernel\_imx* klasörü altına indirilir.

```
$ git clone git://git.kernel.org/pub/scm/linux/kernel/git/stable/linux-stable.git
kernel_imx
```

Kaynak kodlarının indirildiği dosya dizinine aşağıdaki komut satırı istemci komutuyla ilerlenir ve çalışılmak istenilen çekirdek versiyonu (v2.6.35.3) seçilerek o alt dal tercih edilir.

```
$ cd kernel_imx
```

```
$ git checkout v2.6.35.3
```

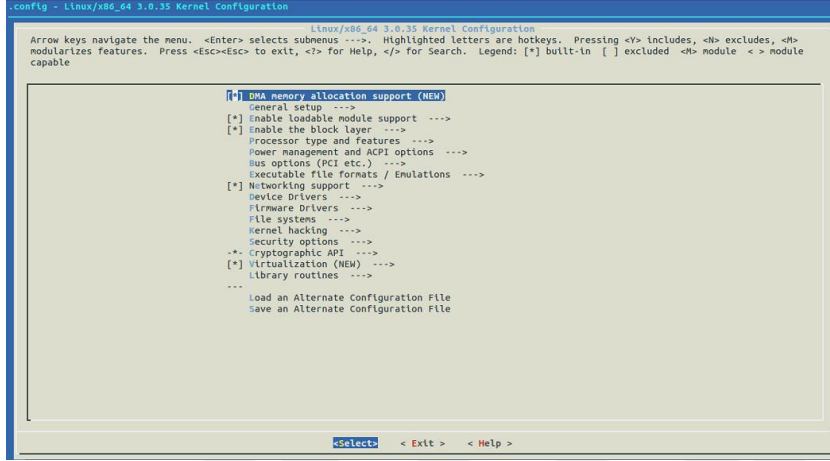
Çekirdek kodu elde edilip, gerekli yamalar uygulandıktan sonra derleme işlemi için uygun yapılandırma ayarlarının yapılması gerekir. Bunun için hedef sistem iyi analiz edilmeli gerekli modüllerin ve özelliklerin desteği yapılandırma ayarlarıyla verilmelidir.

<sup>3</sup> SPI (Serial Peripheral Interface) seri çevresel arayüzü. Motorola tarafından geliştirilmiş basit ve kullanışlı bir seri haberleşme yöntemidir.

<sup>4</sup> Git bir versiyonlama sistemi aracıdır.. Birden fazla geliştiricinin farklı versiyon ve değişiklikler ekleyebilmesini sağlayan ortak bir ortam oluşturma aracıdır.

## \$ *nake menuconfig*

Yukarıdaki komut ile Şekil 4.21’de çekirdek kodunun yapılandırma ekranı açılır. Bu ekran üzerinden çekirdeğe aktarılmak istenilen tüm sürücü destekleri ve diğer özellikler aktif edilebilir. Yapılandırılmak istenilen ayar bu ekrandan uygun bölümler tercih edilerek aktif hale getirilebilir.



Şekil 4.21 Çekirdek kodunun yapılandırma ayarlarının yapılabildiği menü ekranı

Tasarlanan gömülü sistemin EXT3 ve EXT4 gibi dosya formatlarını desteklemesi gerekmektedir Bunun için gerekli yapılandırma ayarı Şekil 4.22’de gösterilmektedir.



```

<+> Second extended fs support
[ ] Ext2 extended attributes
[ ] Ext2 execute in place support
<+> Ext3 journalling file system support
[ ] Default to 'data=ordered' in ext3
[*] Ext3 extended attributes
[ ] Ext3 POSIX Access Control Lists
[ ] Ext3 Security Labels
<+> The Extended 4 (ext4) filesystem
[*] Ext4 extended attributes
[*] Ext4 POSIX Access Control Lists
[ ] Ext4 Security Labels
[ ] EXT4 debugging support
[ ] JBD (ext3) debugging support
[ ] JBD2 (ext4) debugging support
< > Reiserfs support
< > JFS filesystem support
< > XFS filesystem support
< > GFS2 file system support
< > Btrfs filesystem (EXPERIMENTAL) Unstable disk format
< > NILFS2 file system support (EXPERIMENTAL)
[*] Enable POSIX file locking API
[*] Dnotify support
[*] Inotify support for userspace
[ ] Filesystem wide access notification
[ ] Quota support
< > Kernel automounter version 4 support (also supports v3)
<+> FUSE (Filesystem in Userspace) support
< > Character device in Userspace support

```

Şekil 4.22 Çekirdek dosya formatları desteğinin tercih edilmesi

Gömülü sistemlerde uzun yıllar boyunca kullanılan ve kullanılmaya devam eden NAND Flash desteği için gerekli çekirdek konfigürasyon ayarları Şekil 4.23'de gösterilmektedir. Tez kapsamında tasarlanan gömülü sistemde 512 MB NAND Flash desteği bulunmaktadır.

```

-- Memory Technology Device (MTD) support
[ ] Debugging
< > MTD tests support
< > RedBoot partition table parsing
[*] Command line partition table parsing
< > TI AR7 partitioning support
*** User Modules And Translation Layers ***
<+> Direct char device access to MTD devices
-- Common interface to block layer for MTD 'translation layers'
<+> Caching block device access to MTD devices
< > FTL (Flash Translation Layer) support
< > NFTL (NAND Flash Translation Layer) support
< > INFTL (Inverse NAND Flash Translation Layer) support
< > Resident Flash Disk (Flash Translation Layer) support
< > NAND SSFDC (SmartMedia) read only translation layer
< > SmartMedia/xD new translation layer
< > Log panic/oops to an MTD buffer
< > Swap on MTD device support
RAM/ROM/Flash chip drivers --->
Mapping drivers for chip access --->
Self-contained MTD device drivers --->
-- Include chip ids for known NAND devices.
[ ] NAND ECC Smart Media byte order
<+> NAND Device Support --->
< > OneNAND Device Support --->
LPDDR flash memory drivers --->
<+> Enable UBI - Unsorted block images --->

```

Şekil 4.23 Çekirdeğe NAND desteğinin eklenmesi

İki ağ geçidi arasında doğrudan bağlantı kurmaya yarayan Noktadan Noktaya (Point to Point, PPP) Protokolünü aktif etmek için Şekil 4.24'teki konfigürasyon ayarları yapılır.

```
<*> PPP (point-to-point protocol) support
[*]   PPP multilink support (EXPERIMENTAL)
[*]   PPP filtering
<*>   PPP support for async serial ports
<*>   PPP support for sync tty ports
<*>   PPP Deflate compression
<*>   PPP BSD-Compress compression
<*>   PPP MPPE compression (encryption) (EXPERIMENTAL)
<*>   PPP over Ethernet (EXPERIMENTAL)
<*>   PPP over IPv4 (PPTP) (EXPERIMENTAL)
<*>   PPP over L2TP (EXPERIMENTAL)
<*>   PPP on L2TP Access Concentrator
<*>   PPP on PPTP Network Server
< >  SLIP (serial line) support
[ ]   Fibre Channel driver support (NEW)
```

Şekil 4.24 Çekirdek ağ geçit ayarlarının yapılması

Gömülü sistemde kullanılan USB arayüzlü GPRS modem desteği için *CONFIG\_OPTION* modülü çekirdek üzerinde aktif edilir (Şekil 4.25).

```
Symbol: USB_SERIAL_OPTION [=y]
Type : tristate
Prompt: USB driver for GSM and CDMA modems
Defined at drivers/usb/serial/Kconfig:593
Depends on: USB_SUPPORT [=y] && USB_SERIAL [=y]
Location:
-> Device Drivers
-> USB support (USB_SUPPORT [=y])
-> USB Serial Converter support (USB_SERIAL [=y])
Selects: USB_SERIAL_WWAN [=y]
```

Şekil 4.25 Çekirdek USB desteğinin açılması

*CONFIG\_USB\_SERIAL\_GENERIC* seçimi ile de genel USB seri çevirici desteği sağlanarak modem açıldığında Linux USB bağlantısını algılayıp seri port üzerinden kullanıma sunar (Şekil 4.26).

```
Symbol: USB_SERIAL_GENERIC [=n]
Type : boolean
Prompt: USB Generic Serial Driver
Defined at drivers/usb/serial/Kconfig:50
Depends on: USB_SUPPORT [=y] && USB_SERIAL [=y]
Location:
-> Device Drivers
-> USB support (USB_SUPPORT [=y])
-> USB Serial Converter support (USB_SERIAL [=y])
```

Şekil 4.26 Çekirdek USB seri çevirici özelliğinin eklenmesi

USB ara yüzlü modem için Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'deki konfigürasyonlar seçilir.

```

*** USB Device Class drivers ***
<*> USB Modem (CDC ACM) support
< > USB Printer support

```

Şekil 4.27 Çekirdek USB modem desteğinin eklenmesi

```

< > USB Xircom / Entegra Single Port Serial Driver
<*> USB driver for GSM and CDMA modems
< > USB ZyXEL omni.net LCD Plus Driver

```

Şekil 4.28 Çekirdek USB sürücü GSM modem desteğinin eklenmesi

Linux çekirdeğinde sistem hakkında bilgilere erişebilmek ve bazı alt seviye sistem ile sürücü kontrollerini kullanıcı uzayına aktarabilmek için RAM tabanlı bir dosya sistemi olan /sys sanal dosya sistemi geliştirilmiştir. Birçok sürücü, çalışma zamanında ana çekirdeğe bağlanırken otomatik olarak sürücü yazılımlarında belirtilen özelliklerini /sys dosya sistemi altına ekler ve kullanıcıların bu dosya sistemi üzerinden erişimi sağlanmış olur. Şekil 4.29'da GPIO'lar için /sys dosya sistemi özelliği aktif edilerek istenilen GPIO<sup>5</sup>'ya /sys üzerinden erişilebilecektir. Bu sürücü yazılımı ve sağladığı GPIO kontrol desteği ile LED gibi genel amaçlı giriş çıkış kontrolleri kolaylıkla yapılabilir.

```

--- GPIO Support
[*] /sys/class/gpio/... (sysfs interface)
*** Memory mapped GPIO drivers: ***
<*> Basic memory-mapped GPIO controllers support

```

Şekil 4.29 Çekirdek sys dosya sistemi desteğinin eklenmesi

Tasarlanan gömülü sistemde GPRS/GSM modem USB portu üzerinden işlemciye bağlıdır. Ayrıca 1 adet sunucu modda ve 1 adet de OTG<sup>6</sup> (on the go ) modunda çalışan USB portu bulunmaktadır. Daha fazla USB port desteği için ise ev sahibi (host) portu bir USB çoklayıcı çipi üzerinden çoğalır. Sisteme genel USB port desteği vermek için gereken ayarlar Şekil 4.30'da görülebilir.

<sup>5</sup> GPIO, genel amaçlı giriş çıkış bağlantı noktasıdır.

<sup>6</sup> OTG, USB hattının bilgisayar gibi sahip modunda çalışabilmesi özelliği

```

--- USB support
<*> Support for Host-side USB
[ ] USB verbose debug messages
[ ] USB announce new devices
*** Miscellaneous USB options ***
[ ] USB device filesystem (DEPRECATED)
[*] USB device class-devices (DEPRECATED)
[ ] Dynamic USB minor allocation
[*] USB runtime power management (autosuspend) and wakeup
[*] OTG support
[ ] Rely on OTG Targeted Peripherals List
[ ] Disable external hubs
< > USB Monitor
< > Enable Wireless USB extensions (EXPERIMENTAL)
< > Support WUSB Cable Based Association (CBA)
*** USB Host Controller Drivers ***
< > Cypress C67x00 HCD support
< > xHCI HCD (USB 3.0) support (EXPERIMENTAL) (NEW)
<*> EHCI HCD (USB 2.0) support
[*] Root Hub Transaction Translators
[ ] Improved Transaction Translator scheduling
< > OXU210HP HCD support
< > ISP116X HCD support
< > ISP 1760 HCD support
< > ISP1362 HCD support
< > OHCI HCD support (NEW)
< > UHCI HCD (most Intel and VIA) support (NEW)
< > SL811HS HCD support
< > R8A66597 HCD support

```

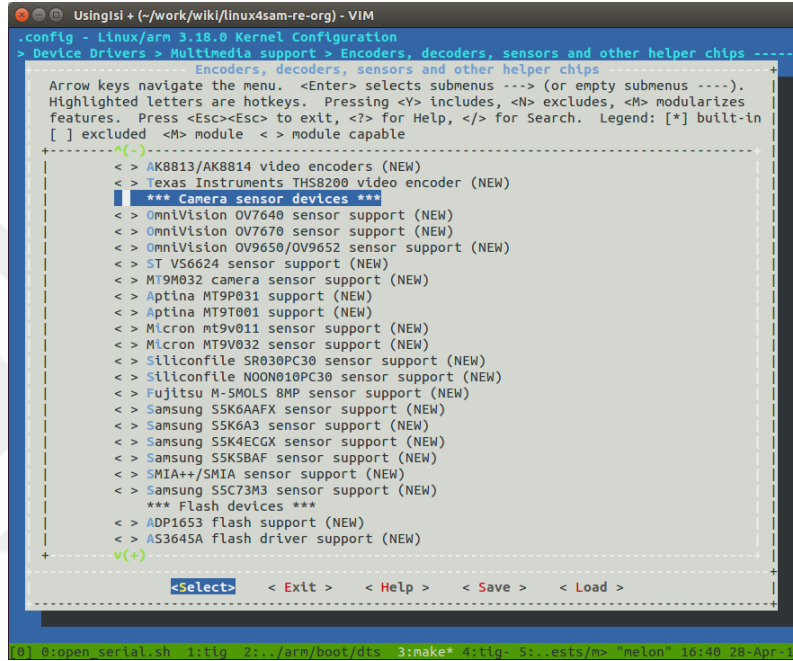
Şekil 4.30 Çekirdek USB genel ve OTG özelliğinin eklenmesi

Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de farklı görüntü sensörleri için hedef SoC’lerde nasıl etkinleştirilip yapılandırılacağı ile ilgilidir.

- Görüntü Sensörü Arabirimi (ISI), CMOS tipi bir görüntü sensörünü işlemciye bağlar ve sensör tarafından çeşitli biçimlerde görüntü yakalamayı sağlar.
- Senkronizasyon için H / VSYNC sinyalini veya EAV / SAV kullanılır.
- ISI destekli sensör giriş formatları YCbCr422, RGB565, RGB888 ve gri tonlamadır.
- ISI çıktı formlarını destekler
- ISI, çıktı için iki yola (Önizleme yolu ve Codec yolu (Preview path and Codec path)) sahiptir.
- Önizleme yolu, RGB verilerini farklı formatta gönderecektir. YCbCr veya YUV’yi RGB’ye dönüştürebilir. Ölçek ve küçültmeyi destekler. Maksimum çıkış çözünürlüğü 640x480’dir.

- Codec yolu, YUV verilerini farklı isteklere verir. RGB'yi YCrCb'ye dönüştürebilir. Maksimum çıkış çözünürlüğü 2048x2048'dir.

ISI sürücüsü standart V4L2<sup>7</sup> API'lerini destekler. Desteklenen mevcut sesnsörler: OV2640, OV2643, OV5640, OV7740 ve OV9740. Tüm desteklenen kamera sensörleri çekirdek menuconfig dosyasında bulunur: Bu menüye: "Aygıt Sürücülerini -> Multimedia desteği -> soc\_camera sürücüsünde kullanılan sensörler" yolu ile ulaşılır.



```

Usingisi + (-/work/wiki/linux4sam-re-org) - VIM
.config - Linux/arm 3.18.0 Kernel Configuration
> Device Drivers > Multimedia support > Encoders, decoders, sensors and other helper chips -----
Encoders, decoders, sensors and other helper chips
Arrow keys navigate the menu. <Enter> selects submenus --- (or empty submenus ----).
Highlighted letters are hotkeys. Pressing <Y> includes, <N> excludes, <M> modularizes
features. Press <Esc><Esc> to exit, <?> for Help, </> for Search. Legend: [*] built-in
[ ] excluded <M> module <> module capable

-----
<> AK8813/AK8814 video encoders (NEW)
<> Texas Instruments TH58200 video encoder (NEW)
*** Camera sensor devices ***
<> omniVision OV7640 sensor support (NEW)
<> omniVision OV7670 sensor support (NEW)
<> omniVision OV9650/OV9652 sensor support (NEW)
<> ST VS6624 sensor support (NEW)
<> MT9M032 camera sensor support (NEW)
<> Aptina MT9P031 support (NEW)
<> Aptina MT9T001 support (NEW)
<> Micron mt9v011 sensor support (NEW)
<> Micron MT9V032 sensor support (NEW)
<> Siliconfile SR030PC30 sensor support (NEW)
<> Siliconfile NODN010PC30 sensor support (NEW)
<> Fujitsu M-5M0L5 BMP sensor support (NEW)
<> Samsung S5K6AAX sensor support (NEW)
<> Samsung S5K6A3 sensor support (NEW)
<> Samsung S5K4ECGX sensor support (NEW)
<> Samsung S5K5BAF sensor support (NEW)
<> SMIA++/SMIA sensor support (NEW)
<> Samsung S5C73M3 sensor support (NEW)
*** Flash devices ***
<> ADP1653 Flash support (NEW)
<> AS3645A Flash driver support (NEW)
-----
<Select> <Exit> <Help> <Save> <Load>
[0] D:open_serial.sh 1:tlg 2:./arm/boot/dts 3:make* 4:tlg-5:..ests/n> melon 10:40 20-Apr-15

```

Şekil 4.31 Çekirdek kamera desteklerinin eklenmesi

<sup>7</sup> V4L2, Linux için video kütüphanesi. Video özelliklerinin desteklendiği linux kütüphanesi.

```

UsingIsi (~/.work/wiki/linux4sam-re-org) - VIM
.config - Linux/arm 3.18.0 Kernel Configuration
> Device Drivers > Multimedia support > Sensors used on soc_camera driver -----
Sensors used on soc_camera driver
Arrow keys navigate the menu. <Enter> selects submenus ---> (or empty
submenus ---). Highlighted letters are hotkeys. Pressing <Y> includes,
<N> excludes, <M> modularizes features. Press <Esc><Esc> to exit, <?>
for Help, </> for Search. Legend: [*] built-in [ ] excluded <M> module
-----
[*] *** soc_camera sensor drivers ***
< > imx074 support
< > mt9m001 support
< > mt9m111, mt9m112 and mt9m131 support
< > mt9t031 support
< > mt9t112 support
< > mt9v022 and mt9v024 support
<*> ov2640 camera support
<*> ov5642 camera support
< > ov6650 sensor support
< > ov772x camera support
< > ov9640 camera support
<*> ov9740 camera support
<*> ov7740 camera support
< > rj54n1cb0c support
< > tw9910 support
-----
<Select> < Exit > < Help > < Save > < Load >

```

Şekil 4.32 Çekirdek kamera sensör desteklerinin eklenmesi

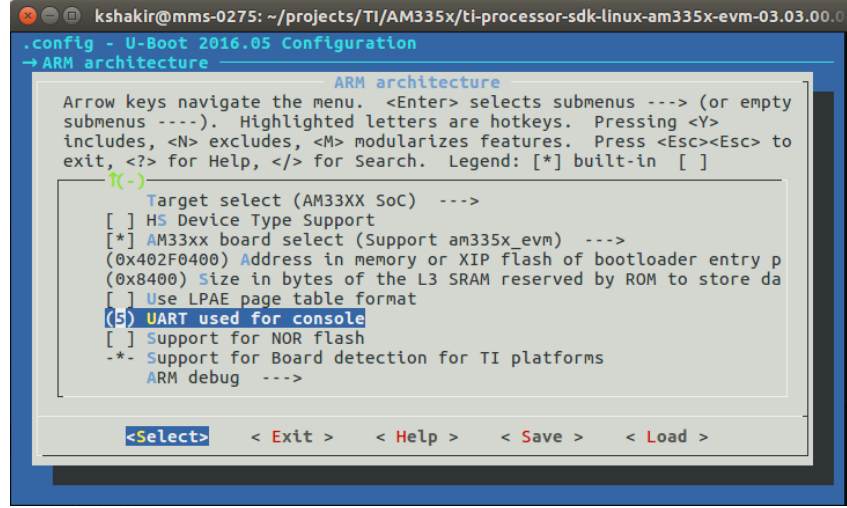
```

UsingIsi (~/.work/wiki/linux4sam-re-org) - VIM
.config - Linux/arm 3.18.0 Kernel Configuration
> Device Drivers > Multimedia support -----
Multimedia support
Arrow keys navigate the menu. <Enter> selects submenus ---> (or empty submenu
---). Highlighted letters are hotkeys. Pressing <Y> includes, <N> excludes, <M> modularizes
features. Press <Esc><Esc> to exit, <?> for Help, </> for Search. Legend: [*] built-in
[ ] excluded <M> module < > module capable
-----
--- Multimedia support
[*] *** Multimedia core support ***
[*] Cameras/video grabbers support
[ ] Analog TV support
[ ] Digital TV support
[ ] AM/FM radio receivers/transmitters support
[ ] Software defined radio support
[ ] Remote Controller support
[*] Media Controller API
[*] V4L2 sub-device userspace API
[ ] Enable advanced debug functionality on V4L2 drivers
[ ] Enable old-style fixed minor ranges on drivers/video devices
*** Media drivers ***
[ ] Media USB Adapters ----
[*] V4L platform devices --->
[ ] Memory-to-memory multimedia devices ----
[ ] Media test drivers ----
*** Supported MMC/SDIO adapters ***
< > Cypress firmware helper routines
*** Media ancillary drivers (tuners, sensors, i2c, frontends) ***
[ ] Autoselect ancillary drivers (tuners, sensors, i2c, frontends)
[*] Encoders, decoders, sensors and other helper chips --->
Sensors used on soc_camera driver --->
Customise DVB Frontends --->
-----
<Select> < Exit > < Help > < Save > < Load >

```

Şekil 4.33 Linux için video desteğinin eklenmesi

Seri port konsolu için Şekil 4.34 Çekirdek UART özelliğinin seçilmesi'teki menuconfig ayarı kullanılır, burada hangi uart portu kullanılacaksa o seçilir. Versiyon 3.11 ve üstü olan Linux çekirdeklerinde bu seçim Aygıt Ağacı (Device Tree, DTS) ile belirlenir.



Şekil 4.34 Çekirdek UART özelliğinin seçilmesi

### 4.3.3 QR kod çözümü kütüphanesi yazılımı

QR kodların tespiti ve kodunun çözülmesi için öncelikle QR kodlar tespit edildi ve ön işleme başlandı. ZBar QR kod okuyucu kütüphanesi kullanıldığından, bu kitaplık QR kodların tespit sürecini iyileştirmeyi sağladı. ZBar QR kod okuyucu kütüphanesi, video akışları, görüntü dosyaları ve ham (raw) görüntü sensörleri gibi çeşitli kaynaklardan 1-D ve 2-D barkodları okumak için kullanılan açık kaynaklı bir yazılım paketidir. EAN-13 / UPC-A, UPC-E, EAN-8, Kod 128, Kod 39, Codabar, 5/2 Interleaved ve QR Kodu destekler. Kütüphaneye dahil edilenler, yakalanan QR kod görüntülerini deşifre etmek ve bir video cihazını (ör. Web kamerası) QR kod tarayıcı olarak kullanmak için temel uygulamalardır. QR kodların tespitinde kilit faktör çözünürlüktür.

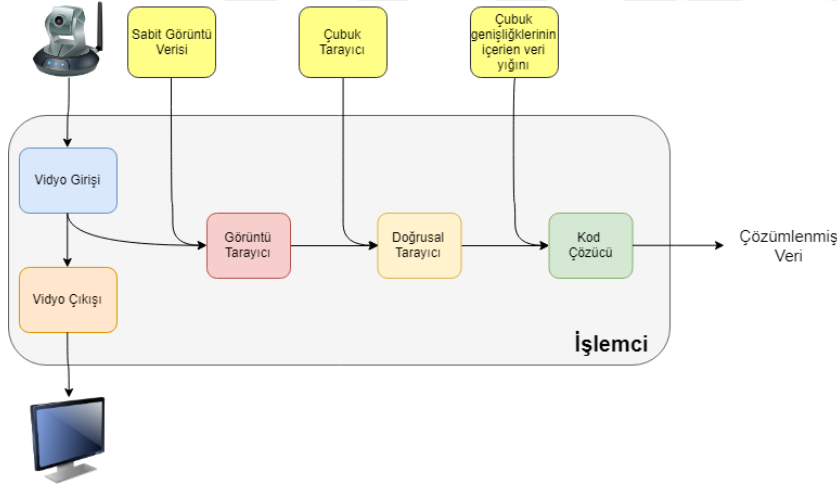
Zbar; esnek ve katmanlı uygulama yapısına sahiptir. Herhangi bir uygulamanın QR kod taramasını ve kodunu çözmeyi kolaylaştırmaktadır. Zbar kolaylıkla bir GUI yada komut satırı programlarıyla tek başına kullanılabilir. Bir QR kod tarama widget'ı Qt, GTK+ veya PyGTK GUI uygulamanıza kolayca entegre edilebilir. Script veya programlama arayüzleri (Python, Perl, C++) gibi dillerden gömülü kullanıma uygun C kütüphanesine kadar birçok dilde kullanılabilir.

QR kod "görüntü tarayıcı" için yaygın olarak kullanılan bir tasarımdır. QR kod içeren bir görüntüye dijital görüntü işleme teknikleri uygulanmaktadır. Kesin ayrıntılar uygulamaya göre değişse de bunlar genellikle görüntüyü temizlemek,

kontrastı keskinleştirmek ve geliştirmek, kenar tespiti ve şekli geliştirmek, sembolün yerini ve oryantasyonunu belirleme analizi için birkaç filtre adımı içerir. Son olarak veriler bu bozulmamış görüntüden çıkarılır. Bu işlem aşamalarının tümü CPU döngüsü ve bellek kaynakları gerektirir ve genellikle son kullanıcıların anlaması ve kurması zor olan çeşitli "filtre parametresi" yapılandırmalarına duyarlıdır.

ZBar kütüphanesi, "wand" ve "lazer" tarayıcılar tarafından kullanıma daha yakın bir yaklaşım kullanır. Doğrusal (1D) barkodlar, bir sembolün aydınlık ve karanlık alanlarından geçen basit bir ışık sensörü tarafından çözülmek üzere tasarlanmıştır. Bundan yararlanan ZBar uygulaması, her pikseli tek bir ışık sensöründen alınan bir örnek olarak ele alarak, görüntü üzerinde doğrusal tarama yapılmasını sağlamaktadır.

Zbar, görüntü işleme yöntemlerini uygularken katmanlı bir akış mekanizması yürütmektedir. Şekil 4.35’de sistem katmanları anlatılmıştır (Zbar, 2019).



Şekil 4.35 ZBar kütüphanesinin çalışma mekanizması

#### 4.3.3.1 Vidyo girişi

Görüntü üreten bir vidyo cihazının tarama için kullanılmasıdır. Video4Linux kütüphanesinin sürüm 1 ve 2 türleri için destekteği bulunmaktadır.



#### **4.3.3.2 Çıkış penceresi**

Taranmış bir görüntüyü kullanıcıya sunabilen ve yanıt olarak girişi kabul edebilen bir ekran çıkış penceresinin basit bir soyutlamasıdır. Esnekliği en üst düzeye çıkarmak için, pencere kütüphane tarafından açılabilir ve sahip olabilir veya bir GUI'ye gömülü uygulama tarafından yönetilen bir pencereye eklenebilir. Mevcut sürüm, temel X11 arayüzlerini (XVideo ve XImage) desteklemektedir.

#### **4.3.3.3 Görüntü tarayıcı**

Doğrusal bir görüntü yığını oluşturabilmek için görüntünün tarayıcıdan geçirilmesi işlemi kapsamaktadır. Giriş görüntüleri, video giriş modülünden veya herhangi bir harici görüntü kaynağından gelebilir.

#### **4.3.3.4 Doğrusal tarayıcı**

Çubuklardan oluşan barkod örneklerinde çubukların genişliğini taramak için doğrusal görüntü yığınının taranması işlemi gerçekleştirilmektedir. Doğrusal görüntü yığını; görüntü tarayıcısından veya harici bir doğrusal yığın sağlayıcıdan alınan veri olabilir.

#### **4.3.3.5 Kod çözücü**

Kod çözücü, tanımlanmış modeller için bir çubuk genişliğini çözümlenmeye çalışır ve tüm sembolden elde edilen veriyü üretmeye çalışır. Zbar kütüphanesi, EAN-13, UPC-A, UPC-E, EAN-8, Kod 128 ve Kod 39 sembolleri için kod çözümlene desteği vermektedir.

#### **4.3.3.6 İşlemci**

Tamamen bağımsız bir modüler yaklaşımın dezavantajı, tüm modülleri birbirine bağlamak için basit bir kodlamanın bile karmaşık hale gelmesidir. Yüksek seviye "işlemci" modülü, diğer tüm modülleri, birçok yaygın kullanımı esnek bir şekilde desteklemek için birbirine bağlamaktadır. Örneğin, bir pencerenin açılmasını (veya açılmamasını) ve görüntü kaynaklarından QR kodları taramayı kolaylaştırır. Bunun nasıl yapılacağına en iyi örnekleri zbarcam ve zbarimg örnek uygulamalarıdır.

### 4.3.3.7 Dil arayüzleri

C dili ile hızlı bir şekilde QR kod çözümlenmeyi desteklemektedir. Ayrıca Perl ve python dillerinin de desteklemektedir.

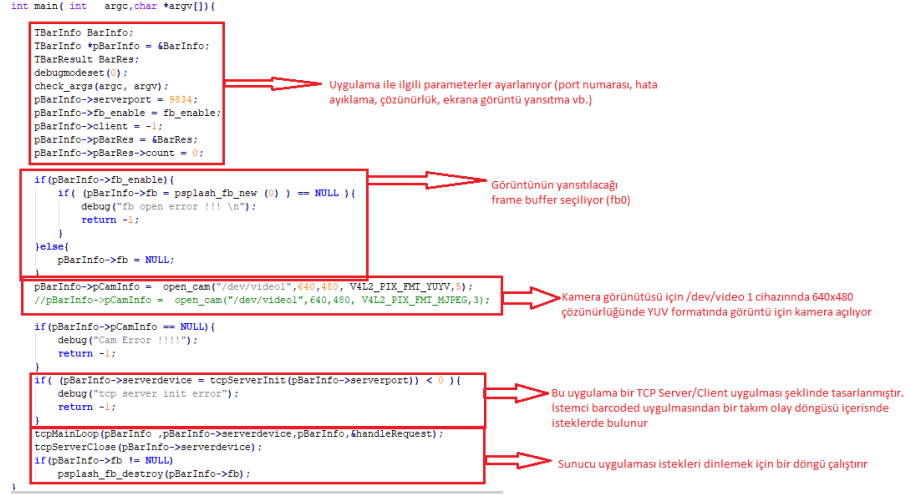
### 4.3.4 QR Kod okuyucu yazılımı

Bu çalışmada oluşturulan gömülü sistem tasarımı ücret toplama araçlarında kullanılacağı için ücret toplama özelliklerini de desteklemektedir. Temassız kart okuma özelliği gibi ana işlevlerden birisini yerine getirmekte olan tasarımda eş zamanlı olarak da QR kod okuma özelliğinin çalışması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda bir arka plan uygulaması olan *barcoded* geliştirilmiştir. Bu uygulama kameraya erişme, görüntü alma, görüntüyü istenildiği takdirde ekranda gösterme, görüntü renk uzayının dönüştürülmesi ve QR kod görüntüsünden verinin elde edilmesi ve ana uygulama olan *valapp*<sup>8</sup> ile haberleşerek bilgi akımının sağlanması işlemlerini yerine getirmektedir. Burada basit bir *socket*<sup>9</sup> programlama yöntemi kullanıştır. Uygulama C dili kullanılarak geliştirilmiştir. Ayrıca QR kod okuma için Bölüm 4.3.3'te bahsedilen ZBar ve kamera erişimi için V4L2 kütüphanesi kullanılmıştır. Şekil 4.36'te *barcoded* uygulamasının ana fonksiyonun işlevleri açıklanmıştır. Bu fonksiyon genel olarak uygulama değişkenlerinin rahatlıkla girilebilmesi için oluşturduğum bir *structure* değişkenlerinin girilerek kamera erişiminin yapıldığı ve *valapp* ile haberleşmenin sağlandığı kısımdan oluşmaktadır.

---

<sup>8</sup> Daha önce geliştirilmiş ve destekçi firma tarafından geliştirilmiş ana ücret toplama uygulaması. Sunucu ile haberleşme ve biniş bilgilerinin doğrulanması gibi işlevlerin gerçekleştirildiği uygulama.

<sup>9</sup> Socket programlama, uygulamalar arası haberleşme için kullanılan bir yöntemdir.



Şekil 4.36 QR Kod okuyucu uygulama ana fonksiyonun açıklanması

*valapp* uygulaması tarafından *barcoded* uygulamasına yapacağı işlemler bildirilmektedir. Bu işlemler görüntü yakalamanın başlatılması/sonlandırılması, QR kodların analizlerinin başlatılması/sonlandırılması ve QR kod analiz sonuçlarının istenmesi adımlarını içermektedir. Bu işlemlere ait kod parçacığı Şekil 4.37’de verilmiştir.



Şekil 4.37 Ana uygulama istemcisinin talep fonksiyonları

Burada görüntü yakalama komutunun gelmesiyle uygulama kamera erişerek görüntü almaya başlamaktadır. Alınan görüntü matris formatında olmakla birlikte bir diziye aktarılmaktadır. Bu dizi içerisinde görüntü çözünürlük boyutuna göre veri barındırmaktadır. Bu çalışmada görüntü 640\*480 boyutunda alınmaktadır. Alınan görüntüdeki her piksel 3 bayt renk bilgisi içermektedir.

```

int start_capturing (TCamInfo *pCamInfo)
{
    unsigned int i;
    enum v4l2_buf_type type;
    struct v4l2_buffer buf;
    pthread_mutex_lock(&pCamInfo->mutex);
    if(pCamInfo->capturestart){
        pthread_mutex_unlock(&pCamInfo->mutex);
        return 0;
    }
    for (i = 0; i < pCamInfo->ReqCount; ++i) {
        CLEAR (buf);

        buf.type      = V4L2_BUF_TYPE_VIDEO_CAPTURE;
        buf.memory    = V4L2_MEMORY_MMAP;
        buf.index     = i;

        if (-1 == xioctl (pCamInfo->fd, VIDIOC_QBUF, &buf)){
            debug ("VIDIOC_QBUF");
            pthread_mutex_unlock(&pCamInfo->mutex);
            return -1;
        }
    }

    type = V4L2_BUF_TYPE_VIDEO_CAPTURE;

    if (-1 == xioctl (pCamInfo->fd, VIDIOC_STREAMON, &type)){
        debug ("VIDIOC_STREAMON");
        pthread_mutex_unlock(&pCamInfo->mutex);
        return -1;
    }
    pCamInfo->capturestart = 1;
    pthread_mutex_unlock (&pCamInfo->mutex);
    return 0;
}

```

Şekil 4.38 Kameradan görüntü almanın başlatılması

```
pBarInfo->pCamInfo = open_cam("/dev/video1",640,480, V4L2_PIX_FMT_YUYV,5);
```

Şekil 4.39 Kameradan alınacak görüntünün özelliklerinin girilmesi

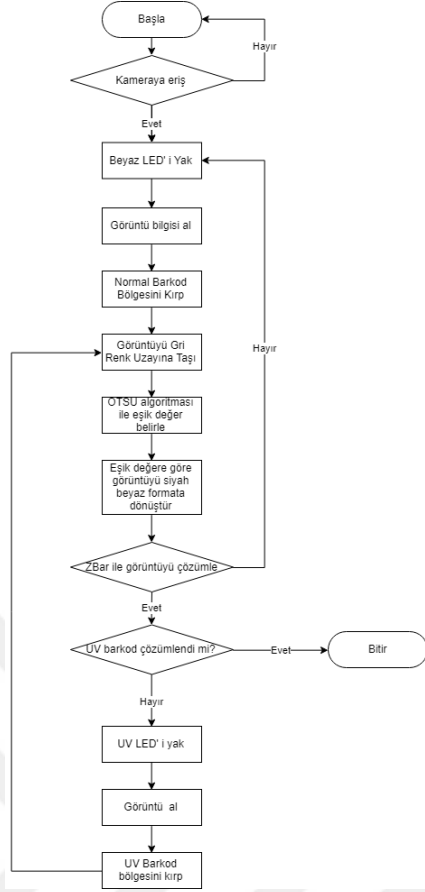
```

TCamInfo * open_cam(char * name,int width,int height,unsigned int pixformat,int reqCount){
    int fd;
    TCamInfo * pCamInfo;
    pCamInfo = (TCamInfo *) malloc(sizeof(TCamInfo));
    if(pCamInfo == NULL){
        debug("Out Of Memory ");
        return NULL;
    }
    strcpy(pCamInfo->name,name);
    pCamInfo->fd = -1;
    pCamInfo->height = height;
    pCamInfo->width = width;
    pCamInfo->pixelformat = pixformat;
    pCamInfo->ReqCount = reqCount;
    pCamInfo->capturestart = 0;
    fd = open_device(pCamInfo->name);
    if (fd < 0){
        debug("Cannot open '%s'\n",
            pCamInfo->name);
        free(pCamInfo);
        return NULL;
    }
    pCamInfo->fd = fd;
    if (init_device(pCamInfo) < 0){
        debug("init device error %s \n",pCamInfo->name);
        close_device(pCamInfo);
        free(pCamInfo);
        return NULL;
    }
    if(pthread_mutex_init(&pCamInfo->mutex, NULL)){
        debug(" pthread_mutex_init error ");
        close_device(pCamInfo);
        free(pCamInfo);
        return NULL;
    }
    return pCamInfo;
}

```

Şekil 4.40 Kamera erişim fonksiyonu

Görüntü bilgisinden QR kod deseninin çözülmesi ve çözümlenen verinin ana uygulamaya iletilebilmesi için QR kod analizinin başlatılması işlemi uygulanmalıdır. Görüntünün çözülmesi işlemi birden fazla alt fonksiyondan oluşmaktadır. Bu fonksiyonlar, alınan görüntü bilgisinden QR kodun bulunduğu bölgenin ayıklanması, ayıklanan görüntü matrisinin renk uzayının gri tonlamaya dönüştürülmesi, gri tonlamalı görüntü dizisinde Bölüm 3.4'de anlatılan OTSU algoritmasıyla histogramından eşik değerinin belirlenmesi, görüntünün siyah beyaz formata dönüştürülmesi ve Zbar kütüphanesi ile QR kod bilgisinin çözülmesi. Bu işlem adımları Şekil 4.41'de gösterilmiştir.



Şekil 4.41 QR kod okuma algoritmasının akış diyagramı

Şekil 4.41’de gösterilen adımların gerçekleştirilebilmesi için farklı fonksiyonlar geliştirilmiştir. Bu fonksiyonlardan QR kod bölgesinin kırılması işlemi Şekil 4.42’de gösterilen fonksiyon ile yapılmaktadır.

```

int cutImage(int BytePerPix,int width,int height,int x,int y,int nwidth,int nheight,unsigned char * src,unsigned char *dst){
    int i = 0;
    int j = 0;
    for(i=0;i<nheight;i++){
        for(j=0;j<nwidth*BytePerPix;j++){
            dst[i*nwidth*BytePerPix+j] = src[((i*x)*width*BytePerPix)+j+y*BytePerPix];
        }
    }
    return 0;
}

```

Şekil 4.42 Görüntünün belirlenen bölgeye göre kırılması

Görüntünün gri renk uzayına dönüştürülmesi Şekil 4.43’deki gibi yapılmaktadır.

```

int imageYUVtoGray(int width,int height,unsigned char * src,unsigned char *dst,int reverse){
    int i = 0;
    int j = 0;
    for(i=0;i<height;i++){
        for(j=0;j<width/2;j++){
            yuvtogray(src[((i*width/2)+j)*4], src[((i*width/2)+j)*4+1], src[((i*width/2)+j)*4+3], &dst[((i*width/2)+j)*2],reverse);
            yuvtogray(src[((i*width/2)+j)*4+2], src[((i*width/2)+j)*4+1], src[((i*width/2)+j)*4+3], &dst[((i*width/2)+j)*2+1],reverse);
        }
    }
    return 0;
}

```

Şekil 4.43 Görüntünün gri renk uzayına dönüştürülmesi

OTSU ile gri görüntüden elde edilen eşik değeri ise Şekil 4.44'deki gibi hesaplanarak, görüntü Şekil 4.45'deki gibi siyah beyaz forma dönüştürülmektedir. Son olarak da Şekil 4.46'deki fonksiyon ile görüntü çözümlenerek QR kod bilgisi elde edilmektedir.

```

static float Px(int init, int end, unsigned char *hist)
{
    int sum = 0;
    int i;
    for (i = init; i <= end; i++)
        sum += hist[i];
    return (float)sum;
}
static float Mx(int init, int end, unsigned char *hist)
{
    int sum = 0;
    int i;
    for (i = init; i <= end; i++)
        sum += i * hist[i];
    return (float)sum;
}
static int FindMax(double *vec, int n)
{
    float maxVec = 0;
    int idx = 0;
    int i;
    for (i = 1; i < n - 1; i++)
    {
        if (vec[i] > maxVec)
        {
            maxVec = vec[i];
            idx = i;
        }
    }
    return idx;
}
static unsigned char imageHistogram(unsigned char *rgbimage,int width,int height){
    int i;
    unsigned char threshold;
    unsigned char histogram[GRAYLEVEL];
    double vet[GRAYLEVEL];
    float p1,p2,p12;
    unsigned char grlevel;
    for(i = 0; i<GRAYLEVEL;i++){
        histogram[i] = 0;
    }
    for(i = 0; i < (width*height*3); i+=3){
        grlevel = 0.3*rgbimage[i]+0.59*rgbimage[i+1]+0.11*rgbimage[i+2];
        histogram[grlevel]++;
        rgbimage[i] = grlevel;
        rgbimage[i+1] = grlevel;
        rgbimage[i+2] = grlevel;
    }
    int k;

    for (k = 1; k != 255; k++)
    {
        p1 = Px(0, k, histogram);
        p2 = Px(k + 1, 255, histogram);
        p12 = p1 * p2;
        if (p12 == 0)
            p12 = 1;
        float diff = (Mx(0, k, histogram) * p2) - (Mx(k + 1, 255, histogram) * p1);
        vet[k] = (float)diff * diff / p12;
    }
    threshold = (unsigned char)FindMax(vet, 256);
    printf("\nthreshold value = %d\n", threshold);
    return threshold;
}

```

Şekil 4.44 OTSU algoritmasıyla eşik değerinin hesaplanması

```

static void imageGraytoBitMap(unsigned char *image, int width,int height){

    int i;
    int pixelcount = height*width*3;
    unsigned char tr = imageHistogram(image,width,height);
    for(i = 0; i < pixelcount; i++){
        if(image[i]>= tr)
            image[i] = 255;
        else
            image[i] = 0;
    }
}

```

Şekil 4.45 Görüntünün eşik değeriyle siyah beyaz forma dönüştürülmesi

```

int zbar_barcode_scan(int width ,int height ,void *raw ,char * barcode)
{
    int ret;
    zbar_processor_t *processor = NULL;
    processor = zbar_processor_create(0);
    assert(processor);

    if(zbar_processor_init(processor, NULL, 0) {
        zbar_processor_error_spew(processor, 0);
        return(1);
    }

    /* create a reader */
    zbar_image_t *imagegray = zbar_image_create();

    /* configure the reader */
    zbar_processor_set_config(processor, 0 , ZBAR_CFG_ENABLE, 0);
    zbar_processor_set_config(processor, ZBAR_QRCODE , ZBAR_CFG_ENABLE, 1);

    /* wrap image data
     *
     * */
    zbar_image_set_format(imagegray, fourcc('G','R','E','Y'));
    zbar_image_set_size(imagegray, width, height);
    zbar_image_set_data(imagegray, raw, width * height, zbar_image_free_data);

    if(imagegray == NULL){
        debug("image is null");
        return -1;
    }
    /* scan the image for barcodes */
    ret = zbar_process_image(processor, imagegray);
    if (ret < 0){
        fprintf(stderr,"No symbols were found\n");
        return -1;
    }

    /* extract results */
    const zbar_symbol_t *symbol = zbar_image_first_symbol(imagegray);

    if(symbol != NULL){
        //for(; symbol; symbol = zbar_symbol_next(symbol)) {
        /* do something useful with results */
        zbar_symbol_type_t typ = zbar_symbol_get_type(symbol);
        const char *data = zbar_symbol_get_data(symbol);
        debug("decoded %s symbol \"%s\" \n strlen(data):%d",
            zbar_get_symbol_name(typ), data, strlen(data));
        stropy(barcode,data);

        zbar_image_destroy(imagegray);
        zbar_processor_destroy(processor);

        if (strcmp(barcode, "") == 0)
            return 1;
        else
            return 0;
        }
    //}
    /* clean up */
    zbar_image_destroy(imagegray);
    zbar_processor_destroy(processor);

    return(1);
}

```

Şekil 4.46 ZBar kütüphanesiyle desenin çözülmesi



## 5. SONUÇLAR

Bu çalışma ile kare kod okuma işlevini gerçekleştirebilen ve ücret toplama araçlarında kullanılabilir özelliklere sahip bir cihaz tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistem sadece toplu taşıma sistemleri için kullanılmamakla birlikte biletli ödeme sistemlerinde kullanılabilir bir çözüm de oluşturmuştur. Ayrıca cihaz temassız kart okuyabilme özelliğini de destekleyerek aynı anda birden fazla çözümün de uygulanabildiği halini almıştır.

Gömülü sistem gerçekleştirmeleri bir çok farklı alanda kullanılmakla birlikte, ücret toplama araçlarında da yaygın olarak kullanımını sürdürmektedir. Genel olarak, araç bilgilerinin toplanması, araç takip sistemleri, sürücü karakteristiğinin çıkartılması, araç içi görüntü toplama, ücret toplama, hat-durak gösterge panellerinin kontrolü ve yolcu bilgilendirme sistemleri gibi farklı özellikleri destekleyen özelliklere sahip olarak tasarlanmaktadır. Tez çalışması kapsamında oluşturulan gömülü sistem örneği, bahsedilen özellikleri desteklemektedir. Bu yan özelliklerin yanısıra temel odak noktası olan kare kod algılama işlevinin yerine getirebilmesi için görüntü sensörü, lens ve görüntü üzerindeki kare kodların aydınlatılması amacıyla kullanılan beyaz ve morötesi ledler ile yeni bir donanım tasarımı yapılmış ve sistem entegrasyonu yapılmıştır. Ayrıca Bölüm 4.1.3'de bahsedildiği gibi kâğıt biletin bir ısı yazıcı mekanizması yardımıyla kamera devresi önüne getirilmesi ve biletin onaylanması işlevini yerine getiren ısı yazıcı kontrol donanımının yapılması ve sistem entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Böylece gömülü sistem bir bütün olarak kullanılabilirlikle birlikte tasarlanan diğer donanımlar ve yazılımları da ayrı birer çözüm olarak kullanılabilir birer ürün olarak yeni çözümler oluşturmuştur.

Gömülü sistem tasarımı gerçekleştirilirken kâğıt biletin mekanizma yardımıyla kamera önüne getirilmesi, sabit bir noktaya odaklanabilmeyi dolayısıyla odaklanma süresinden kaynaklanacak süre kayıplarının azalmasına sebep olmuştur. Ayrıca kamera tarafından algılanan görüntü kare kodun bulunduğu bölgeye göre kesilerek küçültülmesi daha küçük boyutlu görüntü matrisi üzerinden işlem yapılmasını böylece işlem sürelerinin hızlandığı gözlemlenerek böyle bir çözümün kullanılabilirliği kararı verilmiştir.

## 6. ÖNERİLER

Gelecek çalışmalarda, cep telefonu ile üretilebilen kare kodların okunabilmesi için kamera dışarıya koyulabilir. Ama bu durumda morötesi ışık altında kâğıt bilet üzerindeki görünmez kare kodun okunabilmesi ve okunan biletin onaylanması için farklı bir çözüm bulmak gerekecektir.

Farklı işletim sistemleri üzerinde de çalışmalar gerçekleştirilerek, daha yaygın kullanıma sahip bir çözüm oluşturulabilir.

Kamera bağlantısı USB (Universal Serial Bus) bağlantı noktası ile gerçekleştirildiği için veri aktarımında daha hızlı olabilmek için işlemcinin desteklediği (CSI gibi) farklı bir bağlantı noktası belirlenerek yeni bir çözüm oluşturulabilir.

Kamera devresinin tasarımında sadece görüntü işleme işlevini yerine getiren ayrı bir işlemci kullanılarak işlemlerin daha hızlı yapılması sağlanabilir. Belirlenecek bir haberleşme arayüzü (UART gibi) ile de ana işlemciye çözümlenmiş bilginin içeriği geçilebilir. Bu durum maliyet problemi olmayan bir sistem için tercih edilebilir bir çözüm olacaktır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Apsca**, 2019, Our Members, Asya Pasific Smart Card Association Online, <https://apsca.org/members/members>, (Son erişim: 23 Mart 2019)
- Barcodes Inc.**, 2018, “What is a 1D (linear) barcode? What is a 2D barcode?”, <https://www.barcodesinc.com/faq/?nav=fr> ,(Erişim tarihi: Şubat 2018)
- Denso ADC**, 2011, QR Code Essentials, <http://www.nacs.org/LinkClick.aspx?fileticket=D1FpVAvvJuo%3D&tabid=1426&mid=4802>, (Erişim tarihi: 20 Mayıs 2018)
- Denso Wave**, 2018a, What is a QR Code, <http://www.qrcode.com/en/about/>, (Erişim tarihi: 27 Mayıs 2018)
- Denso Wave**, 2018b, Error Correction Feature, [http://www.qrcode.com/en/about/error\\_correction.html](http://www.qrcode.com/en/about/error_correction.html), (Erişim tarihi: 27 Mayıs 2018)
- Denso Wave**, 2018c, Types of QR Code, <http://www.qrcode.com/en/codes/>, (Erişim tarihi: 27 Mayıs 2018)
- Denso Wave**, 2018d, QR Code Model 1 Model 2, <http://www.qrcode.com/en/codes/model12.html>, (Erişim tarihi: 27 Mayıs 2018)
- Denso Wave**, 2018e, Micro QR Code, <http://www.qrcode.com/en/codes/microqr.html>, (Erişim tarihi: 27 Mayıs 2018)
- Denso Wave**, 2018f, iQR Code, <http://www.qrcode.com/en/codes/iqr.html>, (Erişim tarihi: 27 Mayıs 2018)
- Gao, Z., Zhai, G. and Hu, C.**, 2015, “The Invisible QR Code”, MM’15 Proceedings of the 23rd ACM International Conference on Multimedia, pp. 1047-1050.
- Grundfest W.**, 1999, “Overview of medical applications and cardiovascular intervention”, Quantum Electron. Laser Sci. Conf., pp. 23-28
- Huang C.H., Chuang S.C. and Wu J.L.**, 2008, “Digital-Invisible-Ink Data Hiding Based on Spread-Spectrum and Quantization Techniques”, IEEE Transactions On Multimedia, 10(4), pp. 557-569
- Huseman, D.** , 1999, “The Smart Card: Don’t Leave Home Without It”, IEEE Concurrency, 7(2), pp. 24-27

## **KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Husni, E. and Purwantoro, S.**, 2012, “Shopping application system with Near Field Communication (NFC) based on Android”, System Engineering and Technology (ICSET), pp. 1-6.
- IBM**, 2018, <http://www-03.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/upc/>, (Son erişim: 14 Mayıs 2018)
- Introduction To The Smart Card Information Technology Essay**, 2019, <https://www.ukessays.com/essays/information-technology/introduction-to-the-smart-card-information-technology-essay.php>, (Son erişim: 23 Mart 2019)
- ISO/IEC 18004:2000**, 2000, Information Technology -Automatic Identification and Data Capture Techniques –Barcode Symbology- QR Code
- ISO 21348:2007**, 2007, Space environment (natural and artificial) – Process for determining solar irradiances
- ISO/IEC 7810:2003**, 2003, Identification cards - Physical characteristics
- ISO/IEC 7816-2:2007**, 2007, Identification cards - Integrated circuit cards - Part 2: Cards with contacts – Dimensions and location of the contacts
- ISO/IEC 7816-3:2006**, 2006, Identification cards - Integrated circuit cards - Part 3: Cards with contacts – Electrical interface and transmission protocols
- Jain, G., Dahiya S.**, 2015, “Nfc: Advantages, Limits And Future Scope”, ”, International Journal on Cybernetics & Informatics (IJCI), Vol. 4, No. 4, pp. 1-12.
- Jerry Gao, Simon Shim, Hsing Mei and Xiao Su.** , 2011, “Engineering Wireless-Based Software Systems”, Artech House Publisher
- Karczemska A. and Sokolowska A.**, 2001, “Materials for DNA sequencing chip.”, 3rd Int. Conf. Novel Appl. Wide Bandgap Layers, Zakopane, Poland, pp. 176
- Kato, H. and Tan, K. T.**, 2007, “Pervasive 2D Barcodes for Camera Phone Application. Pervasive Computing”, pp. 76-85.
- Knight G.**, 2004, “Monitoring of ultraviolet light sources for water disinfection”, IEEE Ind. Applicat. Conf. 39th IAS Annu. Meet., pp. 1016-1018.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Malinowski P. E., Duboz J. Y., Moor P. De, John J., Minoglou K., Srivastava P., Creten Y., Torfs T., Putzeys J., Semond F., Frayssinet E., Giordanengo B., BenMoussa A., Hochedez J. F., Mertens R. and Van Hoof C.,** 2010, “10  $\mu\text{m}$  pixel-to-pixel pitch hybrid backside illuminated AlGaNon- Si imagers for solar blind EUV radiation detection”, IEEE Int. Electron Dev. Meet., San Francisco, CA, pp. 348-351.
- Microchip,** 2007, MCP1824/MCP1824S 300 mA Low Voltage, Low Quiescent Current LDO Regulator, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22070a.pdf>, (Son erişim: 10 Mayıs 2019)
- MHI,** 2019, Automatic Identification and Data Collection, <http://www.mhi.org/fundamentals/automatic-identification>, (Erişim tarihi: 20 Mayıs 2019)
- Milesdata,** 2019, “Barcode Wristbands: Innovative Solutions for Positive Patient Identification”, [http://www.milesdata.com/wp-content/uploads/2018/05/barcode-wristbands-positive-patient-identification-white-paper-en.us\\_.pdf](http://www.milesdata.com/wp-content/uploads/2018/05/barcode-wristbands-positive-patient-identification-white-paper-en.us_.pdf) (Erişim tarihi: 5 Nisan 2019)
- Monroy E., Omnès F. and Calle F.,** 2003, “Wide-bandgap semiconductor ultraviolet photodetectors” Semicond. Sci. Technol., 18(4), pp. R33-R51
- Mori M., Hamamoto A., Takahashi A., Nakano M., Wakikawa N., Tachibana S., Ikehara T., Nakaya Y., Akutagawa M. and Kinouchi Y.,** 2007, "Development of a new water sterilization device with a 365 nm UV-LED", Medical & Biological Engineering & Computing, 45 (12), pp. 1237-1241
- Muniz, R., Junco, L. and Otero, A.,** 1999, “A Robust Software Barcode Reader Using The Hough Transform”, Proceedings 1999 International Conference on Information Intelligence and Systems, 313-319 pp.
- Muradzikwa, G., Sarai, N., Govere, W. D. and Sibanda, D.,** 2014, “Designing of Android Mobile Based System Using QR Code”, 2004 International Conference on, 3(11), 25-33 pp.
- No more cash in taxis: Gauteng launches first-in-SA payment system,** 2016, <http://www.htxt.co.za/2016/10/17/gauteng-cashless-taxi-payment/>, (Son erişim: 08 Nisan 2019)

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ohbuchi, E., Hanaizumi, H. and Hock, L. A.**, 2004, “Barcode Readers using the Camera Device in Mobile Phones”, 2004 International Conference on Cyberworlds, 260-265 pp.
- Otsu, N.**, 1979, “A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms” , IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 9, pp. 62-66
- Pontarelli, S., Reviriego, P., Ottavi, M. and Maestro, J., A.**, 2015, “Low Delay Single Symbol Error Correction Codes Based on Reed Solomon Codes ” , IEEE Transaction on Computers, 64(5), pp. 1497-1500.
- QR Code Standarts**, 2018, <http://www.qrcode.com/en/about/standards.html>, (Son erişim: 10 Mayıs 2018)
- QRCodeTracking**, 2019, “McDonald’s Uses QR Codes”, <http://qrcodetracking.com/mcdonalds-uses-qr-codes> (Erişim tarihi: 5 Nisan 2019)
- QR Code Tutorial**, 2018, <http://www.thonky.com/qr-code-tutorial/>, (Son erişim: 12 Mayıs 2018)
- Razeghi M., Rogalski A.**, 1996, “Semiconductor ultraviolet detectors”, Appl. Phys., 12(10), pp. 7433-7473
- Seino K., Kuwabara S., Mikami S. and Takahashi Y.** , 2004, “Development of the Traceability System which Secures the Safety of Fishery Products using the QR Code and a Digital Signature”, IEEE Computer, pp. 476-481
- Shelfer, K. and Procaccino, J.D.** , 2002, “Smart Card Evolution”, Communications of the ACM, 45(7), pp. 83-88.
- Shi L. and Nihitianov S.**, 2012, “Comparative Study of Silicon–based UV Photo detectors,” IEEE Sensors Journal, 12 (7), pp. 2453.
- Smallbusiness**, 2019, “QR Code Based Mobile Ordeing for B2B Restocking Orders”, <http://small-business-inventory-management.com/qr-code-ordering-module.htm> (Erişim tarihi: 5 Nisan 2019)
- Smart Card Forum**, 2019, Smart Card Forum Schweiz, <https://smartcard-forum.ch/ueber-uns/mitglieder/>, (Son erişim: 23 Mart 2019)
- Smartex**, 2019, Smart Cards Online - Smart Card Technology, Chip Cards, Smart Card Club & Association, <https://www.smartex.com>, (Son erişim: 23 Mart 2019)

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Smith W.A. and Lam K. P.**, 2010, “Exploratory analysis of UVvis absorption spectra”, 3rd Int. Congr. Image Signal Process., pp. 3359-3363
- Speed, T., Nykamp, D., Heiser, M., Anderson, J. and Nampalli, J.**, 2013, “Mobile Security: How to Secure, Privatize, and Recover Your Devices”, [https://subscription.packtpub.com/book/application\\_development/9781849693608/1/ch011v11sec11/mobile-purchasing-and-identification-methods-who-needs-credit-cards?\\_ga=2.40305186.1286359940.1554389706-2061384915.1554389706](https://subscription.packtpub.com/book/application_development/9781849693608/1/ch011v11sec11/mobile-purchasing-and-identification-methods-who-needs-credit-cards?_ga=2.40305186.1286359940.1554389706-2061384915.1554389706) (Erişim Tarihi: 17 Mart 2019)
- Tarjan, L., Senk, I., Kovac, R., Horvat, S. and Ostojic, G.**, 2011, “Automatic Identification Based on 2D barcodes”, XV International Scientific Conference on Industrial Systems, pp. 130-135.
- Tübitak**, 2019, Embedded Security Module, <https://bilgem.tubitak.gov.tr/en/urunler/ggm-embedded-security-module>, (Son erişim: 23 Mart 2019)
- Yüksel, M. E. ve Zaim, A. H.**, 2009, “Yeni nesil teknoloji olarak rfid, rfid sistem yapıları ve bir rfid sistem tasarımı yaklaşımı”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük.
- Wachenfeld, S., Terlunen, S. and Jiang, X.**, 2008, “Robust Recognition of 1-D Barcodes Using Camera Phones”, 19th International Conference on, 1-4 pp.
- Wang, Y., Sun, C., Kuan, P., Lu, C. and Wang, H.**, 2018, “Secured Graphic QR Code with Infrared Watermark”, Proceedings of IEEE International Conference on Applied System Innovation, 690-693 pp.
- Wikipedia**, 2018a, [http://en.wikipedia.org/wiki/QR\\_code/](http://en.wikipedia.org/wiki/QR_code/), (Son erişim: 13 Mayıs 2018)
- Wikipedia**, 2018b, <https://en.wikipedia.org/wiki/Codabar>, (Son erişim: 13 Mayıs 2018)
- Wikipedia**, 2018c, [https://en.wikipedia.org/wiki/Code\\_39](https://en.wikipedia.org/wiki/Code_39), (Son erişim: 13 Mayıs 2018)
- Wikipedia**, 2018d, Electromagnetic spectrum, [https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_spectrum](https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum), (Erişim tarihi: 13 Haziran 2018)
- Wikipedia**, 2018e, Ultraviolet, <https://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet>, (Erişim tarihi: 13 Haziran 2018)

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Wikipedia**, 2018f, Invisible Ink, [https://en.wikipedia.org/wiki/Invisible\\_ink](https://en.wikipedia.org/wiki/Invisible_ink), (Erişim tarihi: 13 Haziran 2018)
- Wikipedia**, 2018g, Light-emitting diode, [https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting\\_diode](https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode), (Erişim tarihi: 13 Haziran 2018)
- Wikipedia**, 2019a, “NFC”, <http://tr.wikipedia.org/wiki/NFC> (Erişim tarihi: 5 Nisan 2019)
- Winter, Mick.**, 2010, “Scan me-everybody’s guide to the magical world of QR Codes” , Westsong Press, p.142
- Wolfgang, R. and Wolfgang, E.** , 1997, Smart Card Handbook (C. Translations, Trans. English ed.): John Wiley & Sons, Inc.
- Zbar**, 2019, ZBar bar code reader, <http://zbar.sourceforge.net/about.html>, (Erişim tarihi: 7 Mart 2019)
- Zhou, B., Lan, S., Sun, K., Cao, J., Yu, H. and Chen, Y.**, 2013, “Double Threshold with a Membership Function Applied to QR Image Recognition”, In proceedings of 2013 The Fuzzy Systems, Knowledge Discovery, and Natural Computation Symposium, pp. 58-63



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim sürecinde ve tez çalışmam sırasında bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, desteğini esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Aydoğan SAVRAN'a çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca bana sürekli destek olan aileme teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca desteklerinden dolayı Kentkart Ege Elektronik A.Ő.'ye ve Kent Kart Ege Elektronik A.Ő. Araştırma Geliştirme Bölümü çalışanlarına çok teşekkür ederim.

29/08/2019

Burak ŞAHAN

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Burak ŞAHAN

Doğum tarihi : 05.08.1991

Doğum yeri : Çivril (TR)

E-mail : buraksahan@yandex.com

Eğitim :

- 2009–2013 Ege Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümü CGPA: 2.82/4
- 2005–2009 Emine Özcan Anadolu Lisesi Grade 89,48/100

Çalışmalar:

- Yolcu C., Şahan B., “Vehicle Status Monitoring and Diagnostic”, 2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO), 2016
- Şahan B., Yolcu C., Şahin S., “Energy consumption and boot time performances of Kentkart industrial tablet on Android platform”, 2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET), 2017
- Şahan B., Yolcu C., Şahin S., “Hardware design of industrial tablet for fare collection based on ARM embedded system”, 2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET), 2017
- Şahan B., Savran A., “Improving quick response code detection performance in fare collection tools and an embedded system implementation”, 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2018