İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEYVE DOKULARINDA NİTELİKSEL ÖLÇÜM YAPABİLEN ELLE TUTULABİLİR SPEKTROSKOPİK DONANIM TASARIMI VE GERÇEKLEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali SARIKAŞ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Biyomedikal Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEYVE DOKULARINDA NİTELİKSEL ÖLÇÜM YAPABİLEN ELLE TUTULABİLİR SPEKTROSKOPİK DONANIM TASARIMI VE GERÇEKLEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali SARIKAŞ
504111401

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Biyomedikal Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İnci ÇİLESİZ

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504111401 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ali SARIKAŞ,** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"MEYVE DOKULARINDA NİTELİKSEL ÖLÇÜM YAPABİLEN ELLE TUTULABİLİR SPEKTROSKOPİK DONANIM TASARIMI VE GERÇEKLEMESİ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde basarı ile sunmustur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. İnci ÇİLESİZ** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Murat GÜLSOY** Boğaziçi Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. İlker BAYRAM İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **2 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **29 Mayıs 2014**

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca bana destek olan, karşılaştığım problemlerde tecrübesini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, yapıcı önerileriyle doğruları bulmamda sürekli cesaretlendiren, çalıştığımız süre boyunca kendisinden akademik olarak çok şey öğrendiğim ve çalışmaktan inanılmaz mutluluk duyduğum tez danışmanım, çok değerli hocam, Prof. Dr. İnci ÇİLESİZ'e,

Tez çalışmamda her türlü laboratuvar çalışmalarımı gerçekleştirmemi sağlayarak çalışmamın başarıyla sonuçlanmasında büyük katkı sağlayan Şişecam Araştırma Laboratuvarı Müdürü Sn. Yük. Müh. Ateş PARLAR ve deneyler sırasında her zaman samimiyetiyle yol gösterici olan Sn. Oğuzhan KAFALI'ya,

Tezimin her aşamasında birlikte yol aldığımız ve çalışmamda desteğini hep hissettiğim, çok değerli arkadaşım, Araş. Gör. Merve DOĞRUYOL'a,

Tüm öğrenim hayatım boyunca hep yanımda olan, bana inanan ve güvenen başta annem olmak üzere aileme ve sevdiklerime teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2014

Ali SARIKAŞ
(Araştırma Görevlisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
SEMBOL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxi**
1. GİRİŞ **1**
2. IŞIK-DOKU ETKİLEŞİMİ **3**
2.1 Dokunun Optik Özellikleri 3
2.1.1 Saçılma ve Sınırlı Alanda Saçılım 4
2.1.2 Soğurma 9
2.1.2.1 Soğurma Etkin Kesiti ve Soğurma Katsayısı 9
3. VIS-NIR SPEKTROSKOPİSİ **13**
4. ARAÇ VE GEREÇLER **17**
4.1 Işık Kaynağı Olarak LED'ler 17
4.2 Işık Dedektörü Olarak Foto Diyotlar 20
4.2.1 PIN Foto Diyotlar 22
4.3 Analog - Sayısal Dönüştürücüler 22
4.3.1 Çözünürlük 22
4.3.2 Kuantalama Hatası 23
4.3.3 ADC'lerin Çeşitleri ve Özellikleri 23
4.3.3.1 Ardışıl Yaklaşımlı ADC 24
4.4 Sayısal-Analog Dönüştürücüler 28
4.4.1 Çözünürlük 28
4.4.2 Doğruluk 28
4.4.3 Yerleşme Zamanı 30
4.5 Mikrodenetleyiciler 34
4.5.1 Genel Özellikleriyle PIC18F4550 Mikrodenetleyicisi 35
4.6 Kullanıcı Arayüzü 37
4.6.1 Tuş Takımı 37
4.6.2 Grafik LCD 38
4.7 Veri Depolama Birimi 39
5. YÖNTEM **41**
5.1 Neden MikroC Yazılımı? 41
5.2 Devre Üzerinde Seri Programlama (ICSP) 41
5.3 Işık Kaynakları 42
5.4 Cihazın Algılayıcı Kısmı 43
5.5 Kalibrasyon 44
5.6 Yazılım 46

6. SONUÇ VE ÖNERİLER **49**
KAYNAKLAR **54**
EKLER **58**
ÖZGEÇMİŞ **64**

KISALTMALAR

ADC	**:** Analog-to-Digital Converter - Analog Sayısal Dönüştürücüler
CPU	**:** Central Process Unit - Merkezi İşlem Birimi
DAC	**:** Digital-to-Analog Converter - Sayısal Analog Dönüştürücüler
EEPROM	**:** Electrically Erasable Programmable Read Only Memory- Elektrikle Silinebilir Programlanabilir Salt Okunur Bellek
FAT	**:** File Allocation Table - Dosya Yerleşim Çizelgesi
FSE	**:** Full Scale Error - Tam Skala Hatası
GE	**:** Gain Error - Kazanç Hatası
GLCD	**:** Graphical Liquid Crystal Display - Grafik Sıvı Kristal Ekran
ICD	**:** In-Circuit Debugger - Devredeyken Hata Ayıklayıcısı
ICSP	**:** In-Circuit Serial Programming – Devredeyken Seri Programlama
IR	**:** Infrared - Kızılaltı
LED	**:** Light Emitting Diode - Işık Yayan Diyot
LSB	**:** Least Significant Bit - En Düşük Değerlikli Bit
LVP	**:** Low Voltage Programming - Düşük Gerilimde Programlama
MMC	**:** Multi Media Card - Çoklu Ortam Kartı
MSB	**:** Most Significant Bit - En Yüksek Değerlikli Bit
NIR	**:** Near Infrared - Yakın Kızılaltı
NIRS	**:** Near Infrared Spectroscopy - Yakın Kızılaltı Spektroskopisi
OD	**:** Optical Density - Optik Yoğunluk
RAM	**:** Random Access Memory - Rasgele Erişimli Bellek
RGB	**:** Red Green Blue - Kırmızı Yeşil Mavi
SMD	**:** Surface Mounted Devices - Yüzey Montaj Elemanları
USB	**:** Universal Serial Bus - Evrensel Seri Veriyolu
UV	**:** Ultraviolet - Ultraviyole
UVS	**:** Ultraviolet Spectroscopy - Ultraviyole Spektroskopisi
VIS	**:** Visual Spectroscopy - Görünür Işık Spektroskopisi
ZE	**:** Zero Code Error - Sıfırlama Hatası

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 **:** DAC101C085 entegresinin slave adres tanımlamaları 33
Çizelge 5.1 **:** Mikrodenetleyici - program yükleyici kart bağlantı uçları 42
Çizelge A.1 **:** Grafik LCD'nin pin tanımları 59
Çizelge B.1 **:** PIC18F4550 Mirodenetleyicisinin çevresel birimlerle bağlantısında kullanılan pin numaralarına karşılık gelen anlamları 60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Işığın dokuya uygulanması boyunca ışımanın dokudaki optik davranışı... 3
Şekil 2.2 : Işığın madde içerisinde yerleşik başka maddeye rastlayarak saçılımı. 4
Şekil 2.3 : Saçılım etkin kesiti. 5
Şekil 2.4 : Işığın parçacığa çarptıktan sonra saçılımı. 6
Şekil 2.5 : Ortalama serbest yol. 7
Şekil 2.6 : (a) Işığın dokuda iletimi (b) Işığın modifiye edilmiş Lambert-Beer Kuralı'na göre B mesafesini kat ederek ışığın geldiği yüzeyden çıkması (muz şekli yol- banana shape path) (c) Farklı B1, B2, B3 yollarını kat ederek yüzeyin farklı noktalarından saçılan ışığın çıkması. 8
Şekil 2.7 : Işığın dokuda muz şekli etkisinden dolayı izleyebileceği yol. 8
Şekil 2.8 : Etkin ve gerçek soğurma kesitleri. 10
Şekil 2.9 : Yumuşak dokulardaki soğurucuların emilim tayfı. 11
Şekil 2.10 : Meyve pigmentlerinden klorofil-a, klorofil-b ve β-karotene ait emilim tayfı. 12
Şekil 3.1 : Elektromagnetik dalga spektrumu. 14
Şekil 3.2 : Bir elmanın yansıma spektroskopisi grafiği. 14
Şekil 3.3 : Spektrofotometrenin temel bileşenleri. 15
Şekil 3.4 : Yansıma spektroskopisi tekniği ile elde edilmiş bir ölçümün grafiği. 16
Şekil 4.1 : Cihazın donanımını oluşturan bileşenler. 17
Şekil 4.2 : Çeşitli kılıf yapılarında üretilmiş LED'ler. 18
Şekil 4.3 : LED'in iç yapısı. 18
Şekil 4.4 : IR LED, RGB LED ve RGB LED'in içyapısı. 19
Şekil 4.5 : Mikrodenetleyici ile RGB LED' in sürülmesi. 20
Şekil 4.6 : Foto diyotun duyarlılığı. 21
Şekil 4.7 : 2 bit'lik ideal bir ADC'nin giriş- çıkış karakteristiği. 23
Şekil 4.8 : 8-bit'lik bir ardışıl yaklaşımlı ADC'nin blok diyagramı. 25
Şekil 4.9 : PIC18F4550 A/D donanım birimi blok diyagramı. 26
Şekil 4.10 : A/D dönüşüm sonucunun kaydedicilere yüklenme formatı. 27
Şekil 4.11 : DAC'nin doğruluğuna etki eden faktörler. 29
Şekil 4.12 : 3-bit'lik bir DAC'de çıkıştaki doğrusalsızlık hatasına ait sinyal şekli... 30
Şekil 4.13 : Yerleşme zamanı. 31
Şekil 4.14 : DAC101C085 entegresinin pin bağlantıları. 31
Şekil 4.15 : DAC101C085'in blok diyagramı. 32
Şekil 4.16 : DAC101C085 entegresinde D/A çevrim için ağırlıklı direnç toplama prensibi. 33
Şekil 4.17 : DAC101C085 entegresinin giriş- çıkış transfer eğrisi. 34
Şekil 4.18 : PIC18F4550 mikro denetleyicisinin 44-PIN TQFP ve 40 PIN PDIP paketleri. 35
Şekil 4.19 : TQFP paketli PIC18F4550'nin pin görünüş şeması. 36
Şekil 4.20 : 4x3' lük membran tuş takımının ön(soldaki) ve arka(sağdaki) yüzü. 38

Şekil 4.21 : Tuş takımı-mikrodenetleyici bağlantı şeması. 38
Şekil 4.22 : Grafik LCD - mikrodenetleyici bağlantı şeması.. 39
Şekil 4.23 : MikroSD kart - mikrodenetleyici bağlantı şeması. 40
Şekil 5.1 : Mikrodenetleyici - program yükleyici kart bağlantı şekli. 41
Şekil 5.2 : Cihazın algılayıcı kısmı. 43
Şekil 5.3 : Muz şekli etkisinden dolayı ışık kaynağı ile detektörlerin dizilimi. 43
Şekil 5.4 : Foto diyotun spektral duyarlılığı. 46
Şekil 5.5 : Ana program ve ölçüm algoritması. 47
Şekil 5.6 : Ölçüm sonuçlarının veri tabanına kaydını gerçekleştiren alt program algoritması. 47
Şekil 6.1 : Tasarlanan cihazın sembolik gösterimi 50
Şekil 6.2 : Spektrofotometre ile prototip cihazın ölçümlerinin karşılaştırılması. 50
Şekil 6.3 : Perkin Elmer Lambda 900 UV/Vis/NIR Spektrofotometresi kullanılarak belirtilen meyvelerin olgunluk çözümlemeleri... 51
Şekil C.1 : Cihazın menü ve alt menü ekran görüntüleri. (a,b) İlk açılış, (c) İlk menü, (d) Ölçme alt menüsü, (e) Ölçülen bir örneğin grafiksel ölçüm sonucu, (f) Ölçülen bir örneğin niceliksel ölçüm sonucu (g) Ölçüm sonucu (h-k) Referans alt menüsü 62

SEMBOL LİSTESİ

A	**:** Ortam soğurganlığı
$\boldsymbol{c}$	**:** Işık hızı
$\boldsymbol{E}$	**:** Enerji
$\boldsymbol{f}$	**:** Frekans
$\boldsymbol{g}$	**:** Anizotropi faktörü
$\boldsymbol{h}$	**:** Planck sabiti
$\boldsymbol{i_p}$	**:** Detektör devresinde oluşan akım
$\boldsymbol{I_0}$	**:** Gelen ışığın şiddeti
$\boldsymbol{I}$	**:** İletilen ışığın şiddeti
$\boldsymbol{I(z)}$	**:** z optik eksenine olan işareti
J	**:** Joule
$\boldsymbol{k'}$	**:** Konsantrasyon dışındaki iç parametreler
$\boldsymbol{n}$	**:** Kırılma indisi
$\boldsymbol{OSY_a}$	**:** Soğurmanın ortalama serbest yolu
$\boldsymbol{OSY_s}$	**:** Saçılımın ortalama serbest yolu
$\boldsymbol{P}$	**:** Optik güç
$\boldsymbol{P_{abs}}$	**:** Soğurma gücü
$\boldsymbol{P_{scatt}}$	**:** Saçılım gücü
$\boldsymbol{Q_a}$	**:** Soğurma verimliliği
$\hat{s}$	**:** Işığın saçılmadan önceki yönü
$\hat{s}'$	**:** Saçılan ışığın yönü
$\boldsymbol{T}$	**:** Ortam iletkenliği
$\boldsymbol{x}$	**:** Optik eksen bileşeni
$\boldsymbol{z}$	**:** Optik eksen bileşeni
$\boldsymbol{\alpha}$	**:** Soğurulan maddenin konsantrasyonu
$\boldsymbol{\varepsilon}$	**:** Molar genişleme katsayısı
$\boldsymbol{\eta}$	**:** Kuantum verimliliği
$\boldsymbol{\theta}$	**:** Yüzeye geliş açısı
$\boldsymbol{\theta'}$	**:** Yansıma & Kırılma açısı
$\boldsymbol{\lambda}$	**:** Işığın dalga boyu
$\lambda_{0.5}$	**:** Foto diyotun yarı duyarlı olduğu dalga boyu
$\boldsymbol{\mu_a}$	**:** Soğurma katsayısı
$\boldsymbol{\mu_s}$	**:** Saçılma katsayısı
$\boldsymbol{\mu_t}$	**:** Toplam zayıflama katsayısı
$\boldsymbol{\xi}$	**:** Foto detektörün duyarlılığı
$\boldsymbol{\rho}$	**:** Soğurucuların yoğunluğu
$\boldsymbol{\sigma_a}$	**:** Soğurma etkin kesiti
$\boldsymbol{\sigma_s}$	**:** Saçılım etkin kesiti
Ω	**:** Saçılma açısı

MEYVE DOKULARINDA NİTELİKSEL ÖLÇÜM YAPABİLEN ELLE TUTULABİLİR SPEKTROSKOPİK DONANIM TASARIMI VE GERÇEKLEMESİ

ÖZET

Gıda endüstrisinde, gıdanın güvenilirliği ve kalitesi, doğrudan insan sağlığını ilgilendirdiğinden önemli bir konudur. Hızlı ve tahribat yapmadan algılama yapan spektroskopi tekniği, meyve ve sebzelerin toplama öncesi, toplama sırası ve toplama sonrasında büyümesi ve gelişimini çözümlemede çok önemli bir teknik olmuştur. Spektroskopi tekniği ile meyvelerin dokusunun yapısal değişimi, klorofil pigmentlerinin sayısal ölçümü gibi iç ögeler ile coğrafik yapı, hava ve toprak koşulları, meyvelerin topraktan beslenme durumu gibi dış etmenler hakkında üreticiye hızlı bir geri bildirim sağlanması, üreticinin meyvenin gelişimi için daha erken girişimde bulunmasını da sağlamaktadır.

Literatür incelemesi sonucunda gıda endüstrisinin ürünleri olan günlük tüketilen besinler, süt, meyve, sebze, mısır, yağ, et, balık yağı, meyve suları, zeytinyağı ve daha birçok gıda ürününün UV, VIS ve NIR spektroskopisi kullanılarak nitelik çözümlemelerinin yapıldığı görülmüştür. Yapılan ön laboratuvar çalışmaları sonucunda 280-2500nm dalga boylarında meyve dokusu ile ışık arasındaki etkileşim izlenmiş ve yansıma bantları gözlenmiştir. Tez çalışmasında meyvenin olgunluğunun belirlenmesinde 3 kriter incelenmiştir: 1) Meyvenin renk durumu için kabuğundaki pigmentler, 2) Meyvenin etlenme durumu için hücre yapısı, 3) Meyvenin sulanma durumu için suyun soğurma bantları.

Işığın dokuyla etkileşimi temelde 4 türlüdür: 1) Yansıma ve kırılma, 2) Geçiş, 3)Saçılma ve 4) Soğurulma. Bu olaylar dokudan dokuya ve dalgaboyuna göre farklılık gösterir. Işıma boyunca ışık doku etkileşim mekanizması dokunun fiziksel özellikleriyle belirlenir. Dokunun fiziksel özellikleri optik, ısıl ve mekanik özelliklerdir. Bu özellikler genel olarak soğurma katsayısı, saçılma katsayısı, anizotropi faktörü, ısıl iletim, ısı kapasitesi ve mekanik dayanıklıktır. Bu deneysel çalışmada sıcaklık ölçümü yapılmadığından sadece dokunun soğurma, saçılma ve anizotropi tanımlarından bahsedilmiştir. Işık doku etkileşimlerinde dokuda meydana gelen değişiklikler soğurma ve saçılma olaylarının bir sonucudur. Dokunun saçıcı özelliği, fotonların doku içindeki dağılımı açısından önemlidir. VIS ve NIR bölgesinde (400-1200 nm) saçılma dokuda baskındır. Meyve dokusundaki soğurgan moleküller genel olarak su, porphyrin (klorofiller), flavin, glukoz, yağ asitleri ve aminoasitlerdir. Biyolojik dokular %60-80 kadar su içerdiginden NIR ve IR bölgelerinde soğurma genelde su molekülü tarafından yapılır. Tez çalışmasında yapılan çözümlemelerde dokunun yapısından kaynaklanan bu soğurma ve saçılma olayları sonucu yüzeyden küresel yansıma değerlerinin değerlendirilmesi temel alınmıştır. Tez çalışmasının ilk bölümlerinde saçılma ve soğurma olayları kuantum teorisine göre yeterli bilgi verecek şekilde açıklanmıştır.

Tez çalışmasında spektrofotometre ile yapılan çözümleme sonuçlarına göre aynı çözümlemesini yapabilecek bir el tipi cihazın prototipi geliştirilmiştir. VIS ve NIR bölgesinin çözümlemelerini yapabilmek için RGB LED ve IR LED ışık kaynakları kullanılmıştır. Mikrodenetleyici, sayısal/analog ve analog/sayısal dönüştürücüler ve uygun detektörler kullanılarak tasarlanan cihazın, ölçümlerde optimum sonuçları verebilmesi kalibrasyon ayarları yapılarak ve uygun yazılım ile desteklenerek sağlanmış, verimli sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A HAND-HELD DEVİCE TO SPECTROSCOPICALLY ASSESS FRUIT QUALITY

SUMMARY

In the food industry, food safety and quality are still performed as an important issue all over the world, which are directly related to people's health and social progress. Consumers are gradually looking for quality seals and trust marks on food products, and expect manufacturers and retailers to provide products of high quality. All of these factors have underlined the need for reliable techniques to evaluate food quality. Considering the demands in practice, it is necessary to develop a fast and efficient method such as NIRS technology to evaluate internal quality of food.

A rapid nondestructive sensing technique could be very helpful to monitor and to manage different working steps directly in horticultural production, at harvest as well as in fruit and vegetable preharvest and postharvest processing. Because of the fast response, the influence of different external factors like geographical site, weather and soil conditions, nutrition status, etc. can be assessed early-on during plant development and the producer may take appropriate measures at an earlier date than conventional.

Visual spectroscopy (VIS) covers the wavelength range from 400 to 750 nm. Within this range, several important plant pigment groups (chlorophyll, anthocyanins, and carotenoids) can be detected. Each pigment absorbs light within characteristic wavelength bands. The degree of light absorption in each of these wavelength bands correlates with the relative pigment content of the cell tissue included in the measurement. The Beer–Lambert law shows the relation between wavelength-specific light absorption and the concentration of absorbing molecules in a sample. NIR spectroscopy utilizes the spectral range from 780 to 2500 nm (12,500-4,000 cm^{-1}) and provides much more complex structural information related to the vibration behavior of combinations of bonds. The record of NIR region of the electromagnetic spectrum involves the response of the molecular bonds O-H, C-H, C-O and N-H. These bonds are subject to vibrational energy changes when irradiated by NIR frequencies, and two vibration patterns exist in these bonds including stretch vibration and bent vibration. These can be measured with NIR spectrophotometer.

In the literature, quality of dairy products such as cheese and milk, fruit and vegetables, corn seed, fatty acids, meat, fish oils, fruit juices, olive oils, and processed food was analysed using UVS, VIS, and NIRS techniques. After our review, light-fruit canopy interactions observed were in the wavelength range from 280 to 2500nm. The spectral signature of plant canopy in VIS and NIR wavelength range indicates sensitively the seasonal development and particularly the effect of stress conditions on chlorophyll and water content. Reflectance from plant foliage is largely controlled by plant pigments in the spectral region between 0.4 and 0.7 μm, by internal leaf structure between 0.75 and 1.0 μm, and by foliar moisture content between 1.1 and 2.5 μm.

In principle, four effects exist which may interfere with its undisturbed propagation:

- reflection and refraction,
- transmission,
- absorption,
- scattering.

These effects vary different tissues and as a function of wavelengths. During irradiation, interaction mechanisms are determined by physical properties of tissues. These properties are generally optical, thermal and mechanical. Interactions are influenced by absorption coefficient, scattering coefficient, anisotropy, thermal propagation, heat capacity, and mechanical strength. Only the absorption, scattering and anisotropy effects of tissue are mentioned in this study because no heat generation. In light-tissue interactions mechanism, absorption and scattering events cause changes in tissue structure. Scattering function of a tissue is important for photon propagation. Scattering effect is a dominating factor in VIS and NIR region (400-1200 nm). Water, phorphryn (chlorophyll), flavonol, glucose, fatty acids and aminoacids are absorber molecules (chromophores) in fruit cell structures. Because the water content is 60-80% in biological tissues, water molecules cause the absorption in NIR and IR regions in general. In this study, diffuse reflection was evaluated/measured. In the first part of the thesis, scattering and absorption processes are explained in a clear and concise manner, according to quantum theory.

The aim of this study is to develop a hand held electronic device that can do measurements like spectrophotometers. To manage this, first, light sources were chosen. RGB LED and IR LED were used to analyse the wavelength range of VIS and NIR regions. Second, to detect the reflected signal from fruit canopy, highly sensitive photodiodes (Silicon PIN Photodiodes) were used. These photodiodes' spectral responsivity covers 190-1250 nm wavelength range and $\lambda_{0.5}$ values are between 400 and 1100 nm wavelength range. Reflected light signal is an analog signal and this signal must be first filtered and amplified, then converted to digital to evaluate by a microcontroller. This converting process is performed by analog to digital converters (ADC). The microcontroller used in this study has an embedded 10-bit ADC modul. Because of the inefficiency of programming memory, a microSD memory card was used in addition. All reference values and measurement values were processed and recorded in a text file (.txt extensive file). This file can be easily read by a PC. To drive the RGB LED, 3 digital-to-analog converters (DACs) controlled by microcontroller were used. 10-bit digital signals were applied to the relative inputs of DACs. Conventional calibration models were tested and a novel method was developed. Thanks leading to this new method, acquired spectroscopic data can provide useful information to prediction of maturity and optimum harvest date. Fruit maturity cases were displayed on a 128×64 bit resolution graphical LCD (GLCD). Measurement results can be monitored over the graphical LCD display installed on the developed hand-held device and the corresponding results can be obtained as percentage. Specific percentage intervals are shown on the display for three different states of the fruit. By considering the results of the measurements, it becomes possible to determine the maturity state of the fruit (immature, half-mature, mature) as well as the suitable harvesting time of the fruit according to its maturity.

In such a device only using UV and NIR light sources degree of aging of human skin, wound / burn healing, can be measured. Also available for this device with the optical fiber probe design more precise measurements can be made from the tissue surface. Using specific wavelengths and powerful light sources can also be more thick-skinned fruits maturity analysis. By changing the light source mentioned in the

introduction of the thesis can be made from fruits other qualitative measures. This device provides a record of the reference number of the desired flexible software architecture can be measured by the thousands of species of fruit (~150,000 fruit type) allows. Measuring period (~5 seconds) is too short a period of time in resolution consequently faster measurement provides more instances. Analysis of the material to the thin film coating of composite materials, as well as to improve the strength properties of the compounds employed in the qualitative analysis of the optical properties may also be undertaken.

This manuscript consist of six chapters:

1. Introduction
2. Light-Tissue Interactions
3. VIS-NIR Spectroscopy
4. Materials
5. Methods
6. Results and Discussion

1. GİRİŞ

Meyve ve sebzelerin kalitesi, kabul edilebilirliklerinin göstergeleri olan karakteristik, nitelik ve özelliklerinin bir bileşimidir. Kabul edilebilirliğin ölçüsü görme, dokunma, tat alma, koku alma ve işitme duyularını içeren etkenlere bağlıdır. Niteliği belirleyen etmenler iç ve dış bileşenler olmak üzere ikiye ayrılırsa; dış bileşenler büyüklük (ağırlık, hacim, boyut), biçim (çap/derinlik oranı), renk (düzgün olmayan dağılımlı, yoğunluk) ve dış hasar (çürük, delik, benek); iç bileşenler lezzet (tatlılık, ekşilik, sertlik, aroma), doku yapısı (sertlik, gevreklik, sululuk, tazelik), besin maddeleri (karbonhidratlar, proteinler, vitaminler), asitlik ve iç hasar (iç boşluk, donma hasarı, çürük)'dır.

Optik metodolojide, iç kalite bileşenleri, renk ve hasar ölçümleri yansıma, iletim ve soğurma spektroskopisi teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Tahribat yapılmadan çözümlemelerin yapılması spektroskopik tekniklerin üstünlüğüdür. Meyveler üzerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde iç nitelik bileşenleri olarak şeker, asitlik, sertlik, su ve suda çözünen bileşenlerin içeriğinin çözümlemesinin yapıldığı görülmüştür.

UV/VIS/NIR (Ultraviyole/Görünür Işık/Yakın Kızılaltı) spektrofotometreleri kullanılarak çok çeşitli meyvelerin iç nitelik bileşenlerinin yansıma spektroskopisi yöntemiyle çözümlemeleri yapılmıştır. Galvao ve ark. [1] şeker pancarında su, şeker, sukroz ve azaltılmış şeker içeriğini; Carlamango ve ark. [2] şeftalilerde şeker içeriğini; Sirisomboon ve ark. [3] armutlarda şeker içeriğini; Lammertyn ve ark. [4] elmalarda şeker, asitlik, sertlik ve su içeriğini; Pedro ve Ferreira [5] domateslerde şeker içeriği ve titrasyon asitliğinin çözümlemesini yapmışlardır. NIR spektroskopisi tekniği kullanılarak elmalarda suda çözünebilen maddelerin içeriği [6-8], şeker içeriği [9,11], flavonol içeriği [12], depolama niteliği [13], olgunluğu [14] ve çürük [15-17] çözümlemeleri; armutlarda sertlik ve suda çözünebilen maddelerin içeriğinin çözümlemeleri [18,19]; portakallarda suda çözünebilen maddelerin içeriği, toplam asitlik, titrasyon asitliği ve sertlik çözümlemeleri [20-22]; kivilerde kuru madde ve

suda çözünebilen maddelerin içeriği [23], olgunluk [24] ve sertlik [25] çözümlemeleri; domateslerde sertlik [26] ve genotip [27] çözümlemeleri; karpuzlarda çekirdeklerinden genotip çözümlemeleri [28]; mangolarda tazelik, asitlik, toplam suda çözünebilen maddelerin içeriğinin çözümlemeleri [29] yapılmıştır.

Bu çalışmada, renk, sululuk, ve doku yapısının değerlendirilmesi ile meyvenin olgunluğunun çözümlemesini gerçekleştiren elle tutulabilir prototip cihaz geliştirildi. Cihazın avantajı, referans bilgileri de kullanarak hızlı bir şekilde çözümlemesi yapmasıdır. Referans bilgilerin her bir meyve türü için değişiyor olması dezavantaj olarak görülebilir ancak referans bilgilerin de hızlı bir şekilde yazılımsal ve donanımsal destekle kaydedilmesi (mikrosaniyeler ölçüsünde) bu dezavantajı ortadan kaldırmaktadır. Dış kalite bileşenlerinin çözümlemesinde etkin olarak VIS spektroskopisi kullanılırken; iç kalite bileşenlerinin çözümlemesinde etkin olarak NIR spektroskopisi kullanılmıştır.

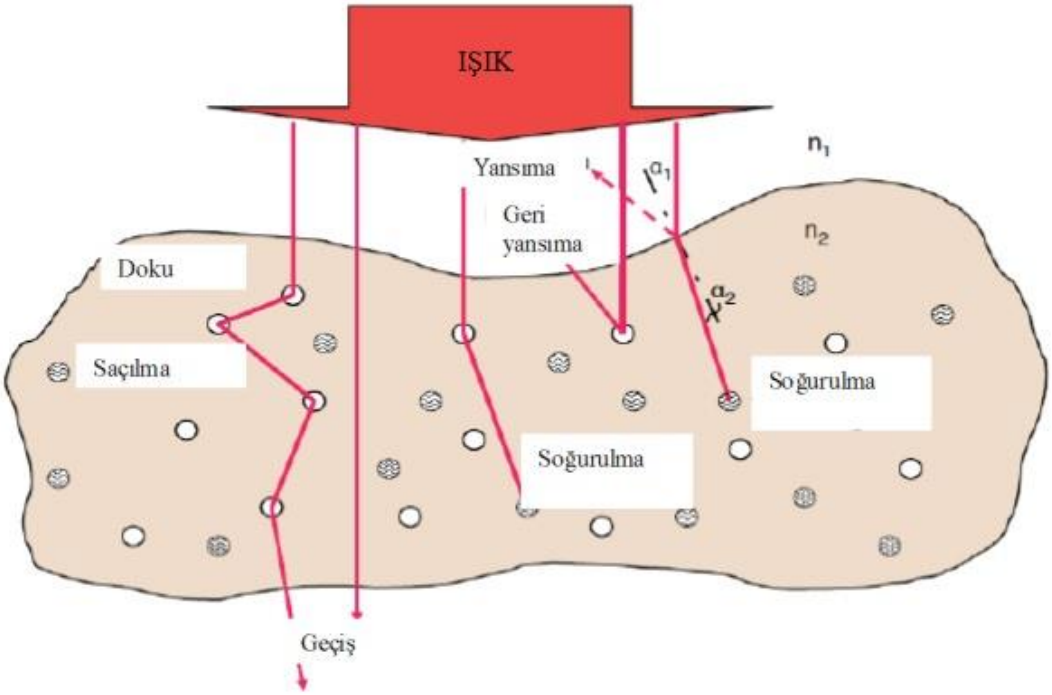
Tez çalışması giriş bölümü ile birlikte 6 bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde ışık-doku etkileşimi, dokunun optik özellikleri ve biyolojik dokularda ışığın dağılımından (light propagation); üçüncü bölümde VIS/NIR spektroskopisinden; dördüncü bölümde kullanılan materyallerden; beşinci bölümde ise kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. Altıncı ve son bölümde spektrofotometreden alınan ölçüm sonuçları ile geliştirilen cihazdan alınan ölçüm sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

2. IŞIK-DOKU ETKİLEŞİMİ

2.1 Dokunun Optik Özellikleri

Işık dokuyla etkileşime girdiğinde temelde 4 olay meydana gelir (Şekil 2.1).

- Yansıma: Işığın bir kısmı doku yüzeyinden geri yansır.
- Geçiş : Işığın bir kısmı dokudan içeri girer.
- Saçılma: Işığın belirli bir kısmı soğurulmadan önce doku içinde çeşitli yönlerde saçılır.
- Emilme: Dokuda ilerleyen foton dokuda bulunan soğuran moleküller (literatürde kromofor veya absorban olarak ifade edilir) tarafından emilir ve ısı oluşumuna ve fotokimyasal olayların başlamasına neden olur.

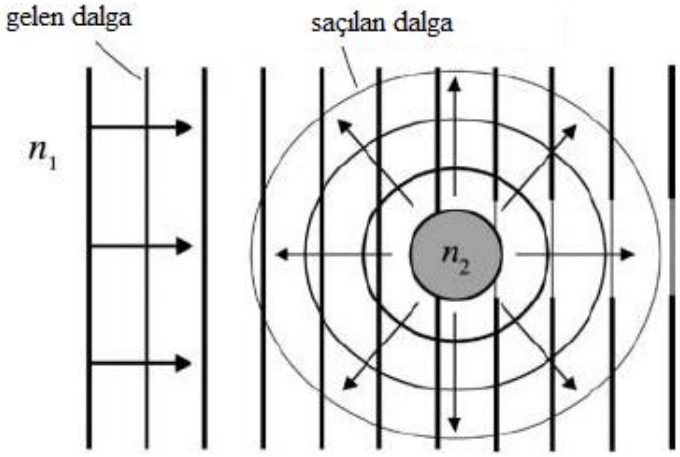


Şekil 2.1: Işığın dokuya uygulanması boyunca ışımanın dokudaki optik davranışı[31].

Yukarıdaki olaylar dokudan dokuya ve dalgaboyuna göre farklılık gösterir [18]. Işıma boyunca ışık doku etkileşim mekanizması dokunun fiziksel özellikleriyle belirlenir. Dokunun fiziksel özellikleri optik, ısıl ve mekanik özelliklerdir. Bu özellikler genel olarak emilim katsayısı, saçılma katsayısı, anizotropi faktörü, ısıl iletim, ısı kapasitesi ve mekanik dayanıklıktır. Bu deneysel çalışmada sıcaklık ölçümü yapılmadığından sadece dokunun soğurma, saçılma ve anizotropi tanımlarından bahsedilecektir. Işık doku etkileşimlerinde dokuda meydana gelen değişiklikler soğurma ve saçılma olaylarının bir sonucudur [30,31].

2.1.1 Saçılma ve Sınırlı Alanda Saçılım

Dokunun saçıcı özelliği, fotonların doku içindeki dağılımı açısından önemlidir. VIS ve NIR bölgesinde (400-1200 nm) saçılma dokuda baskın hale gelmektedir [34]. Işığın doku ile etkileşimi saçılma ile başlar, bunu emilim ve ısı oluşumu izler. Işığın yayıldığı ortamda sınırlı bir alan içerisinde farklı bir parçacık var ise, ışık fotonları bu parçacığa çarptığında saçılır. Hücresel organeller ile bunları çevreleyen sitoplazmanın kırılma indislerinin farklı olması, dokularda saçılıma neden olan etkenlerin başında gelir. Yayılan ışık, saçıcı bir parçacığa rastlayınca parçacık üzerinden belli açılarla diğer yönlere doğru saçılarak ilerler (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Işığın madde içerisinde yerleşik başka maddeye rastlayarak saçılımı[35].

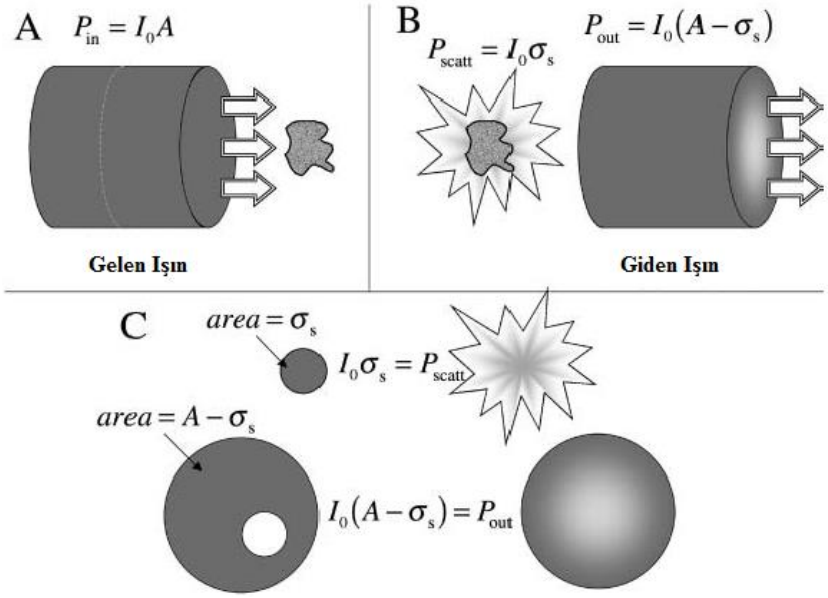
Saçılım, tanı ve sağaltım amacı ile biyomedikal optik alanında kullanılmaktadır:
Tanı amaçlı kullanımı: Saçılım, dokudaki yapıların boyutuna, morfolojisine ve yapısına bağlıdır (yağ membranları, hücre çekirdeği, kollajen lifcikler gibi). Anormal bir durumdan dolayı bu yapılarda meydana gelen değişimler, dokunun saçılım

özelliklerini değiştirir. Tanı koymada bu değişimlerden yararlanılır. Saçılım, spektroskopi ve görüntüleme uygulamalarında kullanılır.
Sağaltım amaçlı kullanımı: Saçılım işaretleri, sağaltım sırasında ışığın ideal dozimetresine (örneğin laser tabanlı sağaltım uygulamalarında) karar vermede ve sağaltım sırasında hastalık hakkında yararlı geri bilgi elde etmede kullanılabilir.

Saçılmış ışık, iki farklı maddenin, ışığın ilerlediği ortamın ve saçılıma neden olan parçacığın, kırılma indisi, saçılıma neden olan parçacığın şekli ve boyutu bilindiğinde (yazının bu kısmından sonra, "saçılıma neden olan parçacık" kısaca "parçacık" olarak adlandırılacaktır.) hesaplanabilir. Saçılım miktarını, saçılım etkin kesiti belirler. Şiddeti (birim alan başına gücü) olan monokromatik bir düzlemsel ışık dalgası yayılımı sırasında bir maddeye rastladığında, kadar güçle saçılır. Saçılım etkin kesiti, saçılan ışığın gücünün gelen ışığın şiddetine oranı olarak tanımlanır:

$$\sigma_s(\hat{s}) = \frac{P_{scatt}}{I_0} \tag{2.1}$$

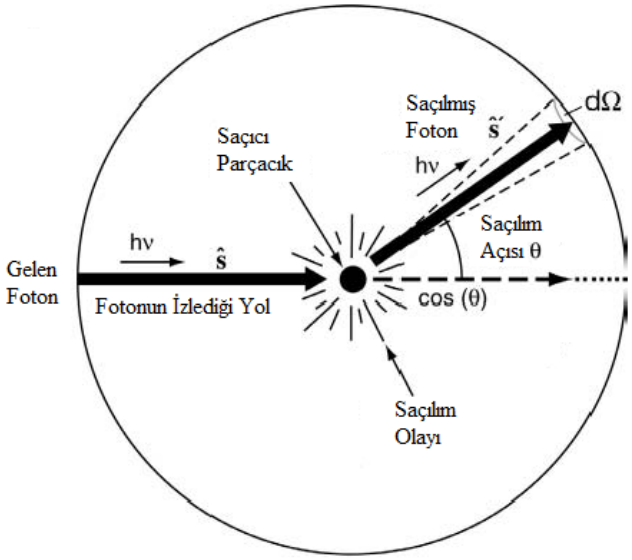
ŝ, ışık düzleminin parçacığa göre yayılım yönüdür (Şekil 2.3)



Şekil 2.3: Saçılım etkin kesiti[32,35].

Saçılım, gelen ışığın polarizasyonuna bağlıdır ancak (2.1) denklemi ile tanımlanan kesit alanı, dikey polarizasyon durumlarının ortalaması olarak düşünülebilir. Optik

özelliklerden bir diğeri olan saçılım fark kesit alanı (saçılmış ışığın açısal dağılımı olarak da tanımlanabilir), farksal etkin saçılım kesitinden hesaplanır (Şekil 2.4):



Şekil 2.4: Işığın parçacığa çarptıktan sonra saçılımı[32,35].

$$\frac{d\sigma_s}{d\Omega} = (\hat{s}, \hat{s}') \tag{2.2}$$

$\hat{s}'$, parçacıktan kaynaklı $d\Omega$ açılı koninin eksenini belirtir.

Saçılım etkin kesitinin, gelen ışığın göreceli uyumundan ve parçacıktan bağımsız olacağı varsayılmıştır. Bu durum, parçacığın küresel olarak simetrik olması ile gerçekleşir ve bu varsayım ışınım iletiminin modellenmesi bağlamında geçerli ve yakın bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım altında, belli bir dalga boyundaki saçılım etkin kesiti, parçacığın ve gelen ışığın göreceli uyumundan bağımsızdır;

$$\sigma_s(\hat{s}) = \sigma_s \tag{2.3}$$

Fark kesit alanı sadece ışığın geliş ve saçılım yönlerinin görece uyumuna bağlıdır. Bu uyum, fark kesit alanını ve $\hat{s}'$ ve $\hat{s}$ yönleri arasındaki açının kosinüsü cinsinden fonksiyon olarak yazmaya olanak sağlar;

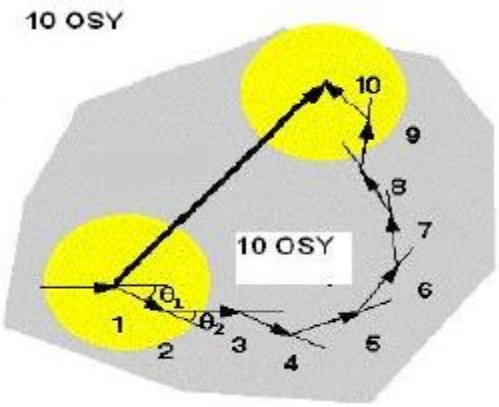
$$\frac{d\sigma_s}{d\Omega}(\hat{s}, \hat{s}') = \frac{d\sigma_s}{d\Omega}(\hat{s} \cdot \hat{s}') \tag{2.4}$$

Saçılıma neden olan ve birbirine özdeş parçacıkların homojen dağılımını içeren bir ortam, saçılım katsayısı ile şu şekilde tanımlanabilir;

$$\mu_s = \rho\sigma_s \tag{2.5}$$

(2.5) denklemindeki ifadede, ρ parçacıkların yoğunluğudur. Saçılım katsayısı aslında, ortamda birim hacim için saçılım etkin kesitidir. Saçılımın ortalama serbest yolu

(OSY), ışık fotonunun ardışık saçılım olayları arasında kat ettiği mesafeyi belirtir (Şekil 2.5).



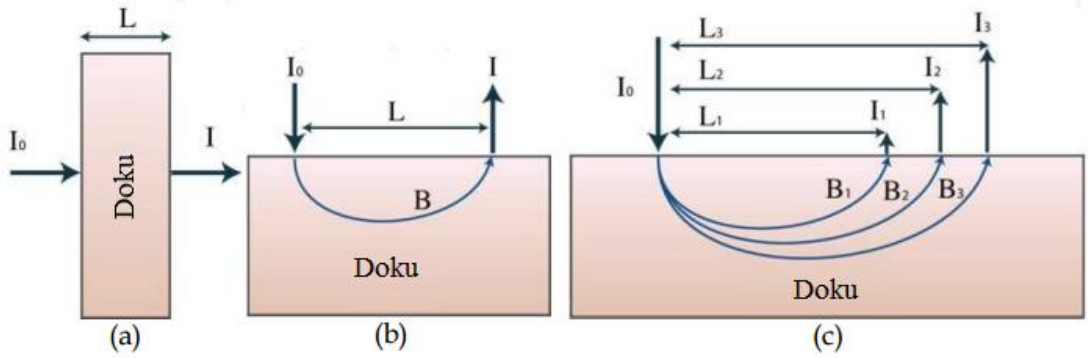
Şekil 2.5: Ortalama serbest yol[36].

$$OSY_S = \frac{1}{\mu_s} \tag{2.6}$$

Saçılım, ışığın biyolojik dokularda yayılımını sıklıkla etkiler. Saçılım, parçacığın boyutunun gelen ışığın dalga boyuna oranı ile belirlenen üç sınıfta incelenir:

- Rayleigh saçılımı: Saçılıma neden olan parçacığın boyu ışığın dalga boyuna oranla küçüktür.
- Mie saçılımı: Saçılıma neden olan parçacığın boyu ışığın dalga boyuna yakındır.
- Geometrik saçılım: Saçılıma neden olan parçacığın boyu ışığın dalga boyundan çok büyüktür.

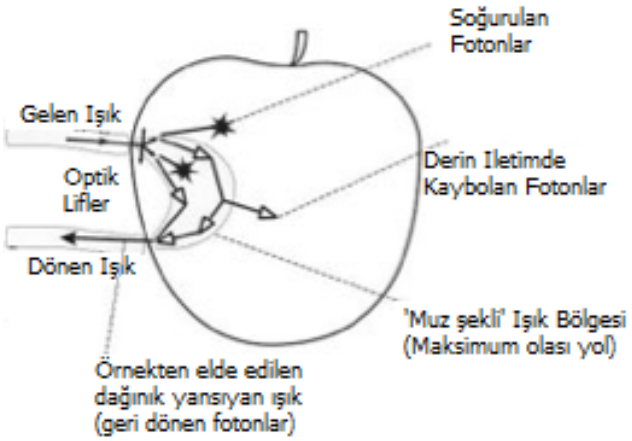
Saçılma olayı, genelde Rayleigh ve Mie saçılmalarının bileşimidir. Bu oran dokudaki baskın olan bileşene bağlıdır. Biyolojik dokularda ileriye saçılma baskındır. İleriye doğru saçılma da g ile tanımlanan anizotropi faktörüne bağlıdır. g katsayısı izotropik olmayan ortamda oluşan saçılma açısının kosinüsünün beklenen değerine eşittir. g'nin değeri 0 ile 1 arasındadır. İzotropik saçılmada g = 0, ileri saçılmada g = 1 dir. Dokuda g' nin değeri 0,8 ile 0,99 arasında değişir. Dokuda hem saçılma hem soğurma olduğundan dokuda ilerleyen ışığın enerjisi $\mu_t = (1-g)\mu_s + \mu_a$ (cm^{-1}) olarak tanımlı zayıflatma katsayısına göre azalır [31, 32].



Şekil 2.6: (a) Işığın dokuda iletimi (b) Işığın modifiye edilmiş Lambert-Beer Kuralı'na göre B mesafesini kat ederek ışığın geldiği yüzeyden çıkması (muz şekli yol- banana shape path) (c) Farklı B1, B2, B3 yollarını kat ederek yüzeyin farklı noktalarından saçılan ışığın çıkması[33].

Şekil 2.6(a)'da I_0 şiddeti ile dokuya gelen ışın doku içinde, L mesafesi kadar ilerledikten sonra çoklu yansımalar sonucu I şiddeti ile aynı yönden dokudan çıkar. Dokudan geçerken soğuran ve saçıcı özellikteki moleküllerin konsantrasyonuna bağlı olarak zayıflar. Lambert-Beer Kuralı'na göre hesaplamalar yapılabilir (Önceden bu konuya değinildiğinden tekrar anlatılmayacaktır). Şekil 2.6(b)'de ışık dokuda L mesafesi kadar B yolunu izleyerek geldiği yüzeyden geri çıkar. B yolu genelde muz şeklinde olduğundan dokunun bu saçıcı etkisine "muz şekli etkisi - banana shape effect" denir [banana makalesi]. Şekil 2.6(c)'de olası B_1, B_2, B_3 yollarını izleyen ışığın sırasıyla L_1, L_2, L_3 mesafelerini kat ederek geri saçılıp dokudan çıkacağı görülmektedir.

Şekil 2.7'de bir meyve dokusunda, dokunun muz şeklinde etkili saçıcı özelliğinden dolayı ışığın izleyebileceği yol gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Işığın dokuda muz şekli etkisinden dolayı izleyebileceği yol.

2.1.2 Soğurma

Soğurma, ışığın enerjisinin etkileşime girdiği molekül tarafından emilmesidir. Biyolojik dokularda ışığı soğuran hemoglobin, oksihemoglobin, melanin ve su gibi moleküllere kromofor denir [35]. Meyve dokusundaki soğuran moleküller genel olarak su, porphyrin (klorofiller), flavin, glukoz, yağ asitleri ve aminoasitlerdir. Biyolojik dokular %60-80 kadar su içerdiginden NIR ve IR bölgelerinde emilim genelde su molekülü tarafından yapılır. Soğurma, biyomedikal optik uygulamalarında tanı ve sağaltım amacı ile kullanılır [35]:

- Tanı uygulamaları: Bir molekülün, iki enerji seviyesi arasındaki belli dalga boylarında tanımlı geçişleri molekülün yapısı hakkında bilgi verir. Tanı koymada bu spektral bilgiden yararlanılır.
- Sağaltım uygulamaları: Işık enerjisinin soğurulması, güçlü ışığın doku üzerinde sağaltım amacı ile fiziksel etki yarattığı bir işlemdir.

Soğurma kavramı, kuantum teorisinde önemli bir konu olan enerji seviyelerini (atom veya molekülün kuantum evreleri) içerir. Bir atom veya molekülün belli bir enerji seviyesinden diğerine kaymasına geçiş denir. Düşük bir enerji seviyesinden yüksek bir enerji seviyesine geçiş, uyarılmış seviyeye geçişi temsil eder ve bunun gerçekleşmesi için bir miktar (hf) enerjinin soğurulması gerekir. Bu miktar, iki enerji seviyesi arasındaki fark kadardır ve $\Delta E = hf$ olarak belirtilir.

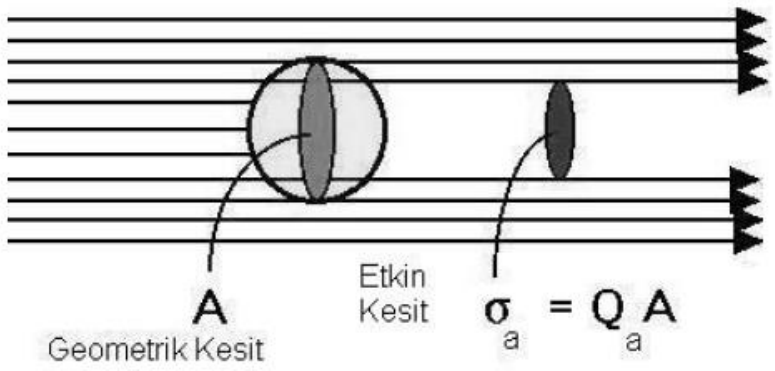
Yüksek bir enerji seviyesinden düşük bir enerji seviyesine geçiş, iki seviye arasındaki enerji miktarı kadar enerjinin açığa çıkartılması ile sonuçlanır. Enerjinin açığa çıkması, ışınım olmadan (titreşimlerle/sürtünmeyle ısı yayarak) olabileceği gibi bir foton yayılımı (ışıldama) şeklinde de olabilir.

Fotonlar, kuantum teorisine göre atomlar ve moleküller tarafından belli geçişlerde soğurulur ve fotonun enerjisi bu atom ve moleküllerin enerji seviyelerini arttırmak için kullanılır. Bu olayların gerçekleştiği spektrum bölgesi soğurma bantları olarak tanımlanır ve bu bantlar, molekül veya atom türlerine özgüdür. Elektronik, titreşimsel ve dönel olmak üzere üç temel soğurma vardır.

2.1.2.1 Soğurma Etkin Kesiti ve Soğurma Katsayısı

Soğurma etkin kesiti, saçılım etkin kesiti ile benzer şekilde ifade edilir. Bu durumda soğurma etkin kesiti, soğurulan ışığın gücünün gelen ışığın şiddetine oranı olarak tanımlanır;

$$\sigma_a = \frac{P_{abs}}{I_0} \tag{2.7}$$



Şekil 2.8: Etkin ve gerçek soğurma kesitleri[37].

P_{abs}, şiddeti I_0 (birim alan başına gücü) olan düzlemsel ışık dalgasından soğurulan güç miktarıdır (Şekil 2.8). Soğurma etkin kesiti, parçacığın üzerine gelen ışığın ne kadarını verimli şekilde soğurduğunu gösterir. Şekil 2.8'de görülen Q_a, soğurma verimliliği olarak adlandırılır ve birimi yoktur. Saçılım için de, değeri aynı olmamakla beraber, gerçek ve etkin saçılım oranını belirten verimlilik katsayısı kavramı geçerlidir. Soğurmaya neden olan ve birbirine özdeş parçacıkların homojen dağılımını içeren bir ortam, soğurma katsayısı ile şu şekilde tanımlanabilir;

$$\mu_a = \rho\sigma_a \tag{2.8}$$

(2.8) denklemindeki ifadede, ρ soğurucuların yoğunluğudur. Soğurmanın ortalama serbest yolu ise;

$$OSY_a = \frac{1}{\mu_a} \tag{2.9}$$

şeklinde tanımlanır ve soğurma ortalama serbest yolu, fotonun soğurulmadan önce kat ettiği mesafeyi belirtir. Bir ortamın soğurma katsayısı aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$dI = -\mu_a I dz \tag{2.10}$$

(2.10) denklemindeki ifadede dI, μ_a soğurma katsayısına sahip homojen bir ortam içinde sonsuz küçüklükte dz miktarı kadar yol alan ışık demetinin yoğunluğundaki değişimdir. (2.10) denkleminde her iki tarafın, z değişkeni için integrali alındığında, Beer-Lambert Yasası elde edilir;

$$I = I_0 \exp[-\mu_a z] \tag{2.11}$$

$$I = I_0 \exp[-\varepsilon_\lambda az] \tag{2.12}$$

ε_λ değişkeni, λ dalga boyundaki molar genişleme katsayısını [$cm^2.mol^{-1}$], *a* değişkeni [$mol.cm^{-3}$] soğurucunun molar konsantrasyonunu ve *z* değişkeni, kalınlığı [*cm*] ifade eder. ε_λ, soğurma gücünü ölçmede kullanılır.

İletilen şiddetin, *I*, gelen şiddete, I_0, oranı iletim olarak adlandırılır ve şu şekilde ifade edilir;

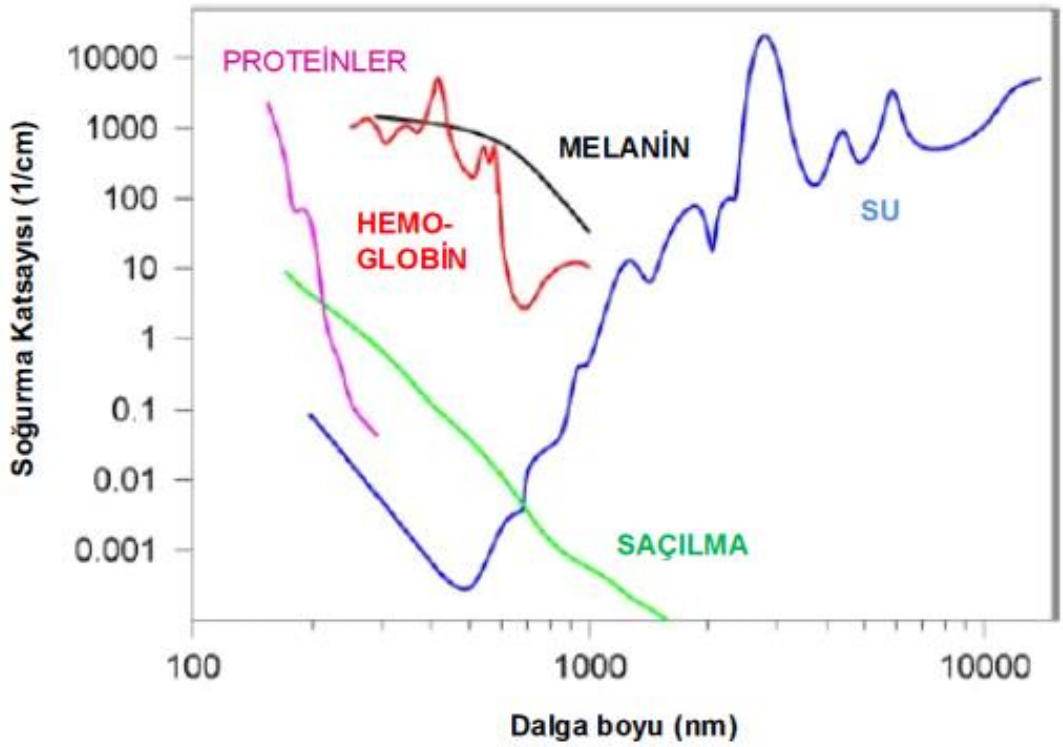
$$T = \frac{I}{I_0} \tag{2.13}$$

Ortamın soğurganlığı ise *A* ile gösterilir;

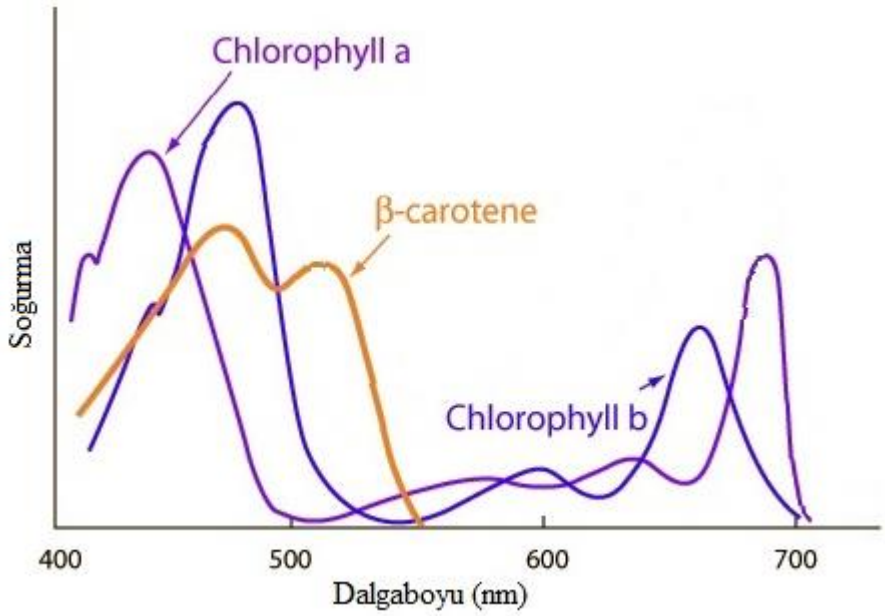
$$A = OD = \log(\frac{I}{I_0}) \tag{2.14}$$

(2.14) denklemi ile ifade edilen soğurganlık aynı zamanda optik yoğunluk (*OD*) olarak da bilinir. ε_λ'nin dalga boyuna göre değişimi soğurma spektrumunu oluşturur.

Şekil 2.9 ve 2.10'da bazı biyolojik doku ve yapılarda ışığın soğurulduğu bantlar görülmektedir.



Şekil 2.9: Yumuşak dokulardaki soğurucuların emilim tayfı[38].



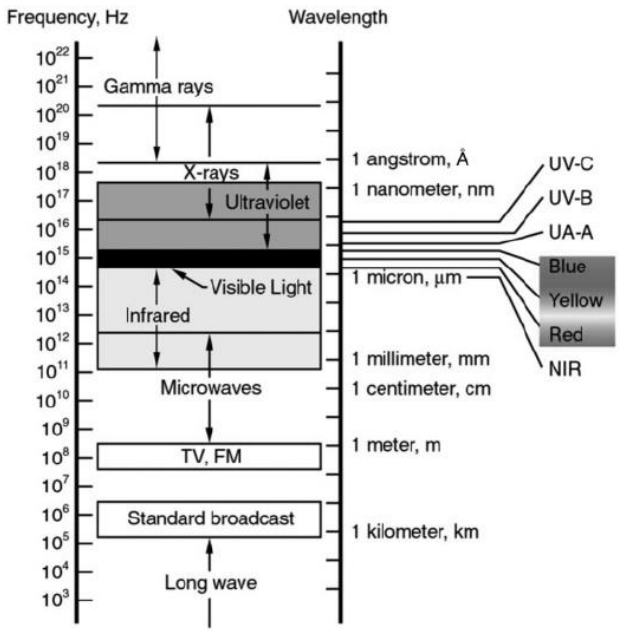
Şekil 2.10: Meyve pigmentlerinden klorofil-a, klorofil-b ve β-karotene ait emilim tayfı [39].

3. VIS-NIR SPEKTROSKOPİSİ

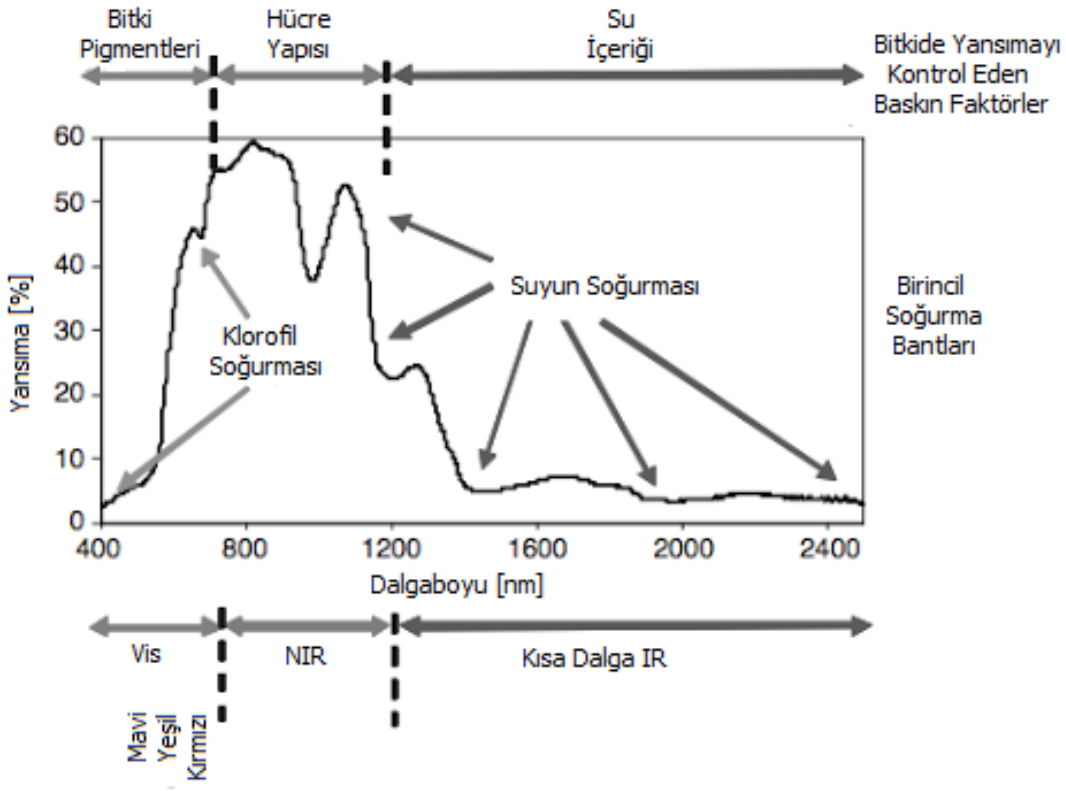
Hızlı ve tahribat yapmadan algılama yapan spektroskopi tekniği, meyve ve sebzelerin hasat öncesi, hasat sırası ve hasat sonrasında büyümesi ve gelişimini çözümlemede çok önemli bir teknik olmuştur. Spektroskopi tekniği ile meyvelerin dokusunun yapısal değişimi, klorofil pigmentlerinin sayısal değerlendirmesi gibi iç unsurlar ile coğrafik yapı, hava ve toprak şartları, meyvelerin topraktan beslenme durumu gibi dış unsurlar hakkında üreticiye hızlı bir geri bildirim sağlanması, üreticinin meyvenin gelişimi için daha erken müdahale etmesini de sağlamaktadır.

Spektroskopi tekniğinin anlaşılması için öncelikle elektromagnetik tayfın bilinmesi ve hangi spektral aralığın bu çalışmayı ilgilendirdiği anlaşılmalıdır (Şekil 3.1).

Elektromagnetik tayfın gözle görülebilir renklerin dalgaboyunu kapsayan bölgesi, görünür bölge olarak adlandırılır. Ancak spektroskopi tekniklerinde UV ve IR bölgeler de kullanılmaktadır. UV bölgesi 10-400 nm; IR bölgesi 750 nm- 1 mm dalgaboyu aralıklarını kapsar [32, 35]. Bu tez çalışmasının ön aşamasında Merve DOĞRUYOL tarafından spektrofotometre kullanılarak yapılan ölçümlerde 280-2500 nm dalga boyu aralığının çözümlemesi yapılmıştır. Bu aralık UV/VIS/NIR bölgelerinin üçünü de kapsamaktadır. Tez çalışmasının bir ürünü olan prototip cihazın spektral aralığı ise 400-1100 nm dalga boyu aralığıdır (Yani VIS ve NIR bölgelerini incelemek için tasarlanmıştır). VIS spektroskopisi 400-700 nm dalgaboyu aralığını inceler. Bu dalga boyu aralıklarında birkaç önemli bitki pigment grubu (klorofiller, antosiyaninler ve karotenler) teşhis edilebilir. Her bir pigment belirli bir karakteristik dalga boyu bandında ışığı soğurur. Işığın soğurulmasının derecesi bu her bir dalga boyu bandında doku hücresindeki ilgili pigment içeriğinin ölçümü ile ilişkilidir. Bu ölçüm Bölüm 2'de ayrıntılı olarak bahsedilen Lambert-Beer Yasası'nı esas alır.



Şekil 3.1: Elektromagnetik dalga spektrumu[35].

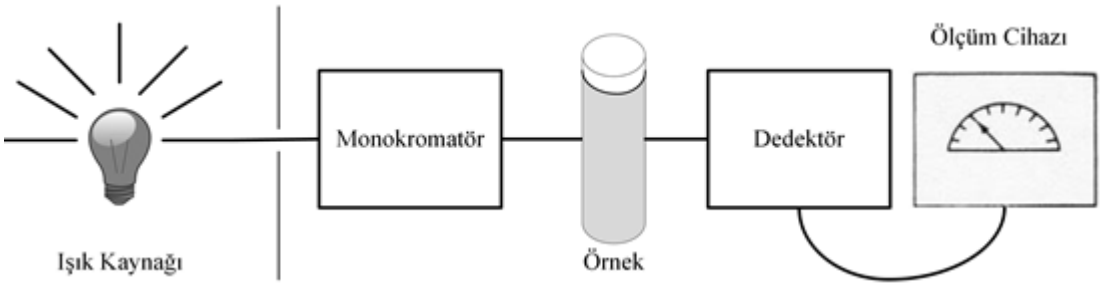


Şekil 3.2: Bir elmanın yansıma spektroskopisi grafiği[40].

Kalite değişimi, spektroskopik ölçümlerle elde edilebilen, meyve dokusunun kimyasal bileşimindeki değişimlerle ilgilidir. Üst bitki tabakasının (ekzokarp) Vis ve NIR dalgaboyu aralıklarındaki spektral kimliği, mevsimsel gelişimini ve özellikle de

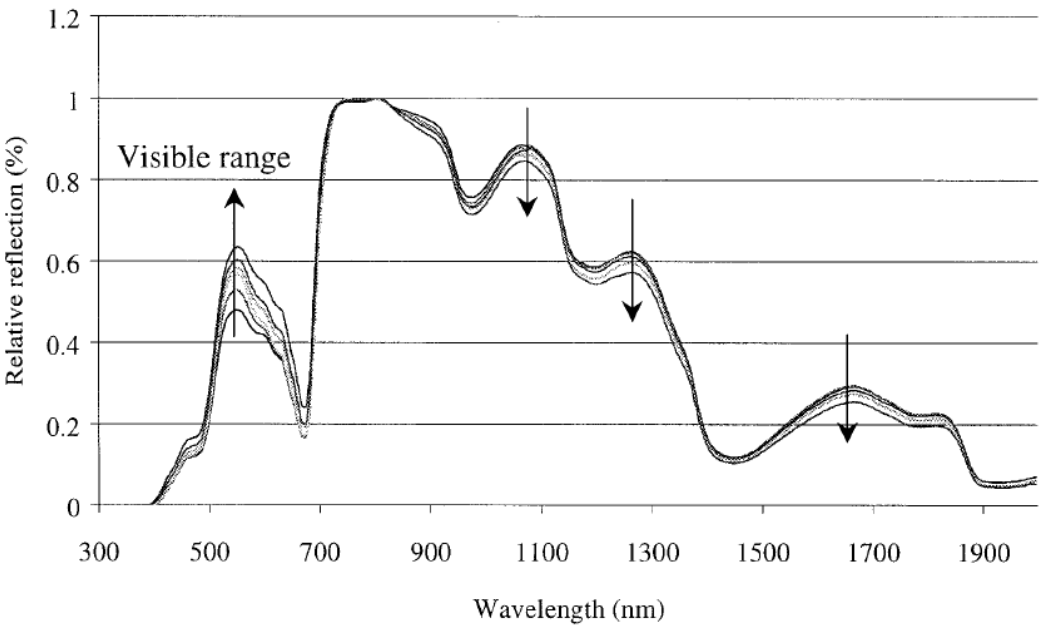
klorofil ve su içeriği üzerindeki baskın etkisini göstermektedir (Şekil 3.2). Şekil 3.2'de bitki dokusundan elde edilen yansıma ölçüm değerlerinin 400-700 nm dalgaboyu aralığında bitki pigmentleri; 750-1000 nm dalgaboyu aralığında doku iç yapısı ve 1200-2500 nm dalgaboyu aralığında iç yapının su içeriği etmenlerinden etkilendiği görülmektedir.

Spektroskopik çözümlemeler genelde spektrofotometrelerle yapılır. Spektroskopik çözümlemeler yansıma, iletim ve soğurma ölçümlerini içerir. Şekil 3.3'te bir spektrofotometrenin temel bileşenleri gösterilmiştir. Işık kaynakları, monokromatörlerin sayısı ve detektörlerin yapısı değiştirilerek daha gelişmiş spektrofotometreler üretilmiştir.



Şekil 3.3: Spektrofotometrenin temel bileşenleri.

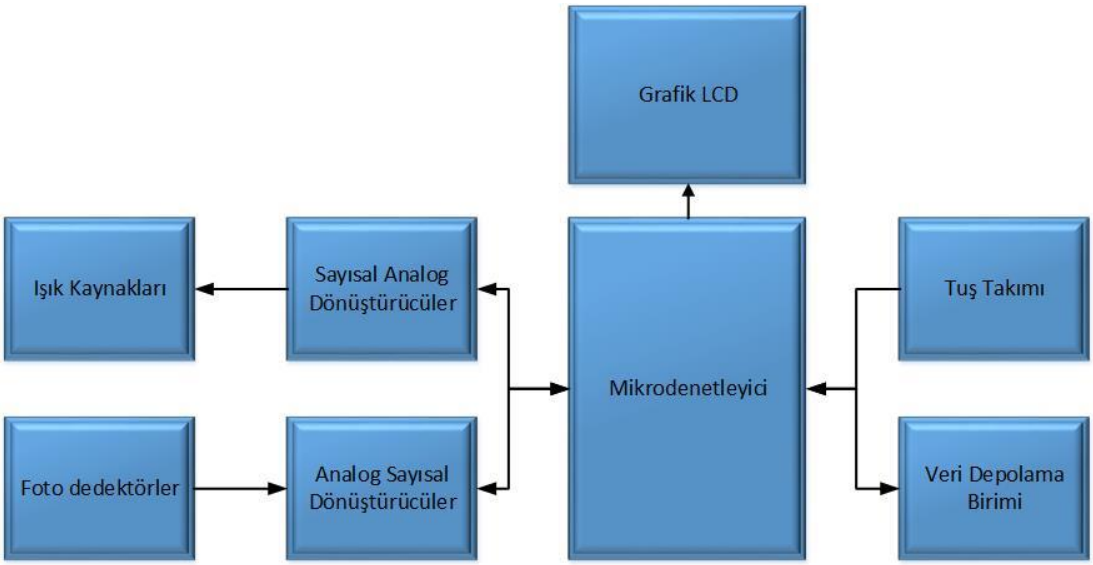
Tez çalışmasının ilk aşamasında çözümlemeleri yaptığımız spektrofotometrede polikromatik ışık yayan Döteryum ve Halojen ışık kaynakları kullanılmıştır. Cihazda ayrıca hem referans hem de örnek için iki ayrı monokromatör kullanılmıştır. Monokromatörler, ışık kaynağından gelen polikromatik ışıktan tek bir dalga boyunda (monokromatik) ışık elde edilmesini sağlamaktadırlar. Küeresel yansıma spektroskopisi tekniği ile elde edilmiş grafiksel ölçüm sonucunun yorumlanması, Şekil 3.4'te de görüleceği üzere olgunluk ok yönünde artmaktadır [40]. VIS bölgede ok yönünde artışın olması pigmentlerin niceliğinin artması ve renginin olgunlaşmasını ifade ederken; NIR bölgede ok yönünde belli noktalarda belirgin azalmaların olması, suyun soğurma bandını ilgilendiren bölge olması sebebiyle, yansımanın az olması diğer yandan soğurmanın fazla olması dokunun su içeriğinin fazla olduğunu ifade eder.



Şekil 3.4: Yansıma spektroskopisi tekniği ile elde edilmiş bir ölçümün grafiği[40].

4. ARAÇ VE GEREÇLER

Prototip olarak tasarlanan cihazın donanımı genel olarak güç besleme katı, ışık kaynakları, ışık detektörleri, mikrodenetleyici, veri depolama birimi olarak hafıza elemanı mikroSD kart, sayısal-analog çeviriciler, GLCD ve tuş takımından oluşmaktadır. Tasarlanan cihazın donanımsal bileşenleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

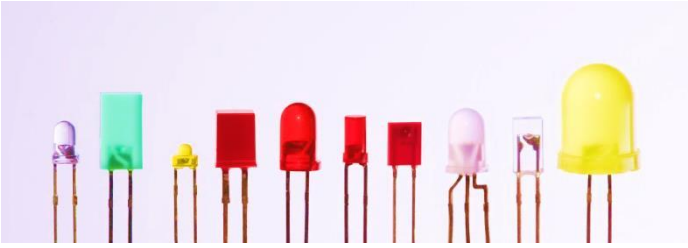


Şekil 4.1 : Cihazın donanımını oluşturan bileşenler.

4.1. Işık Kaynağı Olarak LED'ler

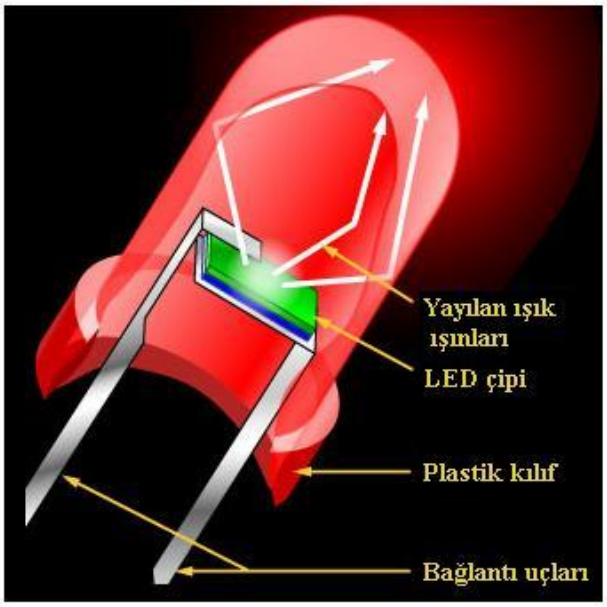
LED, İngilizce' de Light Emitting Diode kelimelerinin baş harflerinden oluşturulmuş olup "Işık Yayan Diyot" anlamına gelir. LED'ler elektrik enerjisini ışığa dönüştüren yarı iletken devre elemanlarıdır. Çeşitli kılıflarda üretilen LED'lerin genel görünüşü aşağıdaki şekilde gösterildiği gibidir (Şekil 4.2).

LED'lerin ortama yaydığı ışığın frekansı, spektrumun görünür ışık bölgesine denk düşer. Bununla birlikte gözle görülemeyen frekansta ışık yayan kızılaltı (NIR) veya morötesi (UV) LED'ler de vardır.



Şekil 4.2 : Çeşitli kılıf yapılarında üretilmiş LED'ler[41].

LED'in en önemli kısmı yarı iletken malzemeden oluşan ve ışık yayan LED çipidir. LED çipi noktasal bir ışık kaynağıdır ve kılıf içine yerleştirilmiş yansıtıcı eleman sayesinde ışığın belirli bir yöne doğru yayılması sağlanır. Şeffaf kılıflı bir LED'e dikkatle bakılırsa LED çipi gözle görülebilir. LED'in içyapısı Şekil 4.3' te görülmektedir.



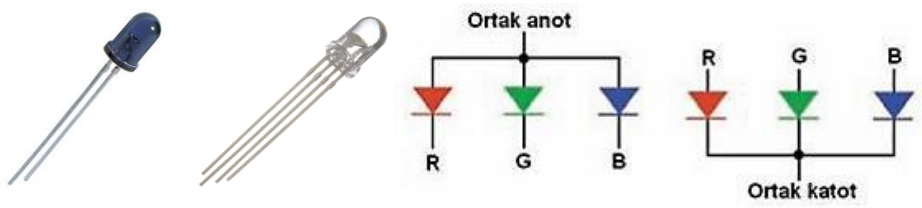
Şekil 4.3 : LED'in iç yapısı[42].

LED'lerin yaydığı ışık, LED çipi içerisindeki yarı iletken katkı maddeleri ile ilgilidir. LED'in hangi renkte ışık yayması isteniyorsa galyum, arsenit, alüminyum, fosfat, indiyum, nitrit gibi kimyasal malzemelerden uygun oranda yarı iletken malzemeye katkı yapılır (GaAIAs, GaAs, GaAsP, GaP, InGaAIP, SiC, GaN). Böylece LED çipinin istenen dalga boyunda ışıma yapması sağlanır. Örneğin kırmızı renk (660 nm) için GaAlAs, sarı renk (595 nm) için InGaAIP, yeşil renk (565 nm) için GaP, mavi renk (430 nm) için GaN kullanılır.

LED üreten firmalar kataloglarında LED'in yaydığı ışığın dalga boyunu vermektedir. LED çipinde kullanılan katkı maddesine bağlı olarak aynı renkli LED'lerin dalga boyu farklı olabilmektedir. Örneğin InGaAlP katkılı LED 640 nm dalga boyunda; GaAlAs katkılı LED 660nm dalga boyunda; GaP katkılı LED ise 700 nm dalga boyunda kırmızı ışık yayar.

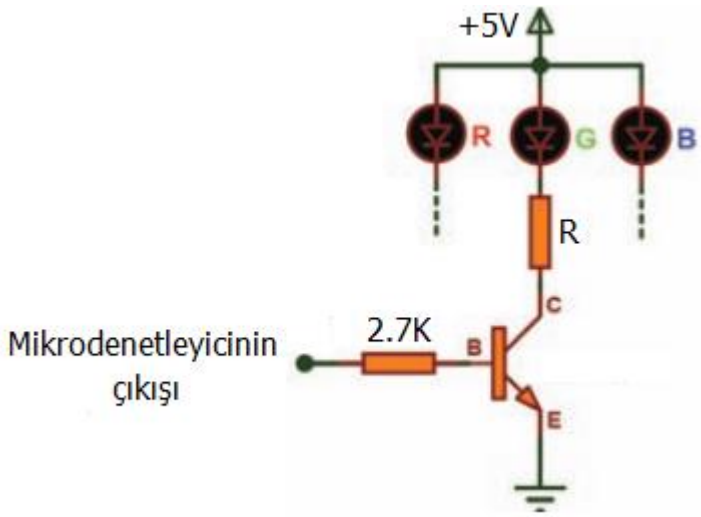
Güvenli, basit, sıcaklığa az bağımlı, ucuz olması, Fresnel yansımaları gibi gelen ışığın enerjisinden etkilenmemesi LED kullanımını avantajlı hale getirmiştir.

Tek renk ışık yayan diyotların yanı sıra son birkaç yıldır iki, üç renk ışık yayan diyotlar da üretilmektedir. Çalışmamızda, tasarımın kolaylaşması ve istenilen dalga boyundaki ara renklerin üretilebilmesi açısından üç renk ışık yayan diyot (RGB LED) kullanılmıştır. Şekil 4.4' te IR LED ve RGB LED'in bir görünümü ve ortak anotlu ile ortak katotlu RGB LED'in iç yapıları gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : IR LED, RGB LED ve RGB LED'in içyapısı (soldan sağa)[43-45].

LED'lerin üzerinden maksimum 20 mA akım geçecek şekilde hesaplanan bir dirençle birlikte bağlantısının yapılması gerekir. Ortak anotlu ve ortak katotlu RGB LED'lerin sürülmesi için çeşitli sürücü devreler tasarlanmıştır. Örneğin, ortak katotlu bir RGB LED'i sürmek için Şekil 4.5' teki gibi bir devrenin kurulması gerekmektedir. RGB LED'in dört terminalinden üçü farklı renkler olup her bir LED için bu devrenin kurulması gerekir. NPN tipi bir transistörün kollektör terminaline R direnci ile bağlanan her bir LED'in, renklerine bağlı olarak üzerine düşen gerilimlerin farklı olmasından dolayı, bu R direncinin değerleri de farklı olacaktır. Ölçümler sonucunda kırmızı LED'in çalıştırıldığında üzerine düşen gerilim 1,8 V olduğundan R direncinin değeri 150 Ω; yeşil LED'in çalıştırıldığında üzerine düşen gerilim yaklaşık 3 V olduğundan R direncinin değeri 100 Ω ve mavi LED'in çalıştırıldığında üzerine düşen gerilim 3,3 V olduğundan R direncinin değeri 82 Ω olarak seçilebilir.



Şekil 4.5 : Mikrodenetleyici ile RGB LED' in sürülmesi.

Mikrodenetleyicinin çıkışlarından yeterli büyüklükte akım aktığı için fazladan transistörlü sürücülere gerek kalmamıştır. Akım sınırlayıcı dirençlerle bağlantılarının sağlanması yeterli olmuştur.

4.2 Işık Dedektörü Olarak Foto Diyotlar

Foto diyotlar, gelen fotonları soğuran ve elektron üreten yarı iletken malzemelerden üretilmiştir. Foto diyotlar, optik sinyali elektriksel sinyale çevirirler. Foto detektörlerinin genel özellikleri şunlardır [46]:

- Kuantum verimliliği (Quantum efficiency)
- Detektör tepkisi (Responsivity)
- Tepki süresi (Response time)
- Kazanç (Gain)
- Spektral duyarlılık

Kuantum Verimliliği (η): Bir fotonun, detektör akımına katkıda bulunacak elektron ve oyuk çifti oluşturma olasılığıdır. Birden çok foton olması durumunda foton akısı cinsinden tanımlanırsa,

$$\eta = \frac{\text{elektron - oyuk çifti üreten ışık akısı}}{\text{dedektöre gelen toplam ışık akısı}} \tag{4.1}$$

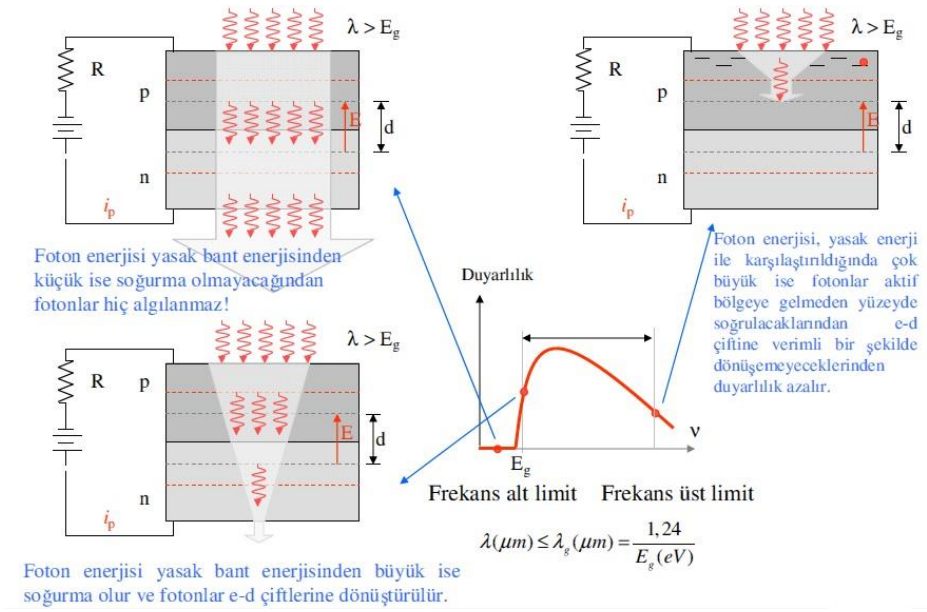
Detektör tepkisi (Responsivity): Detektör devresinde oluşan akım (i_p) ile detektör üzerine düşen optik güç (P) arasındaki katsayıdır. Eşitlik 4.2'de foto detektörün duyarlılığının kuantum verimliliği ile dalga boyuna bağlı ifadesi verilmiştir.

$$\xi = \frac{i_P}{P} = \frac{\eta e}{h\nu} = \eta \frac{\lambda}{1.24} \tag{4.2}$$

Tepki süresi (Response time): Işık detektörlerinde tepki süresi, geçiş zamanı gecikmesi ve RC zaman sabiti olarak ifade edilir.

Kazanç (Gain): Bir fotonun detektör devresinde oluşturduğu toplam yük miktarıdır.

Spektral Duyarlılık: Foto diyotun elektromagnetik spektrumun hangi bölgelerinde ışığa duyarlı olduğunu belirtir. Şekil 4.6' da foto diyotun ışığa duyarlılığı prensip olarak gösterilmiştir. Silisyum katkılı foto diyotlar 190-1240 nm; Germanyum katkılı foto diyotlar 800-1650 nm; InGaAs katkılı foto diyotlar 900-2600 nm; InSb katkılı foto diyotlar 900-5500 nm ve HgCdTe katkılı foto diyotlar 900-20000 nm dalga boyu aralığında daha duyarlıdır.



Şekil 4.6 : Foto diyotun duyarlılığı[46].

4.2.1 PIN Foto Diyotlar

PIN foto diyotlarda, p-n yapı arasına katkılanmamış bir katman konarak tüketim bölgesinin genişliği kontrollü olarak genişletilir. Uygulanan ters gerilim tümüyle i-bölgesinde (katkılanmamış katman veya çok az katkılı) görülür.

PIN foto diyotların diğer foto diyotlara olan üstünlüğü, tüketim bölgesinin çok geniş olması sayesinde daha fazla foton toplanması, tüketim bölgesinin kalınlığının kontrol edilebilir olması ve tepki süresinin piko saniyeler seviyesinde olmasıdır.

4.3 Analog - Sayısal Dönüştürücüler

Fiziksel dünyadaki bütün olaylar analog şekilde değişmektedir. Yani, sürekli bir değişim söz konusudur. Oysa bilgisayar dünyasında; var-yok, evet-hayır veya 0-1 şekilde iki duruma bağlı olarak işlemler yapılmaktadır. Günümüzdeki teknolojiye bağlı olarak analog dünya ile bilgisayar arasında bağlantı yapmak amacıyla analog sinyali sayısal sinyale çeviren dönüştürücülere ihtiyaç vardır. Analog büyüklükler önce bir dönüştürücü yardımı ile elektriksel analog büyüklüğe dönüştürülür. Sonra, analog- sayısal dönüştürücü ile bilgisayarın çözümleyebileceği sayısal işarete dönüştürülerek bilgisayara verilir. Analog- sayısal dönüştürücülerde aşağıdaki iki kavram önem taşımaktadır:

- Çözünürlük (Resolution)
- Kuantalama Hatası (Quantizing Error)

4.3.1 Çözünürlük

Analog- sayısal dönüştürücülerde çözünürlük iki şekilde tanımlanır:

Birincisi, çıkışta 1 LSB (Least Significant Bit- En Düşük Değerlikli Bit) 'lik bir değişim oluşturacak olan analog girişteki değişimdir. Yani,

$$\text{Çözünürlük} = \frac{\text{Tam Skala Çıkışı}}{2^n - 1} = \frac{\text{Tam Skala}}{2^n} \tag{4.3}$$

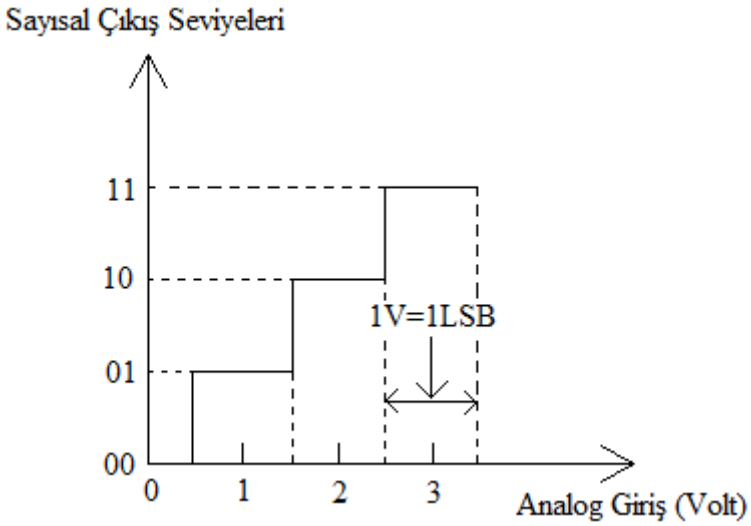
şeklinde tanımlanır.

İkincisi, çıkıştaki değişik durumların sayısıdır. Yani,

$$\text{Çözünürlük} = 2^n \tag{4.4}$$

şeklinde tanımlanır. Burada *n*, çıkıştaki bit sayısını göstermektedir.

Örnek olarak, 2-bit'lik bir ADC' nin giriş – çıkış karakteristiği Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Analog giriş gerilimi 0V' tan tam skalaya (V_{TS} = 3 V) kadar sürekli bir şekilde değişmektedir. 2- bit'lik ADC' de 2^2 = 4 değişik çıkış vardır. Bunlar ikili (binary) tabandaki; 00, 01, 10 ve 11 değerleridir. Giriş gerilimindeki her bir volt'luk artışta çıkış, 1 LSB kadar artar. Tam skala 4 V ve maksimum çıkış veya tam skala çıkışı 3 V' tur.



Şekil 4.7: 2 bit'lik ideal bir ADC'nin giriş- çıkış karakteristiği.

4.3.2 Kuantalama Hatası

Şekil 4.7'de görüleceği üzere, analog giriş 1 V olduğu zaman, sayısal çıkış seviyesi 01' dir. Çıkışın 01' de kalması durumunda, girişin 0,5 V ile 1,5 V arasında olabileceği gözükmektedir. Dolayısıyla, dönüşüm sistemine bağlı olarak önlenemeyen ve değeri ±LSB/2' ye eşit olan bir hata vardır. Bu hataya kuantalama hatası denir. Bit sayısı (n) arttırılarak bu hata küçültülebilir.

4.3.3 ADC'lerin Çeşitleri ve Özellikleri

ADC'ler dönüştürme prensiplerine bağlı olarak üç standart grup altında toplanır. Bunlar;

1. İntegral tipi (Integrating) ADC
2. Ardışıl Yaklaşımlı (Successive Approximation) ADC
3. Paralel veya hızlı (Flash) ADC

şeklindedir. Bunun dışında, analog – sayısal dönüşümün tamamlanmasını ifade eden, dönüşüm zamanına göre de; yavaş, hızlı ve çok hızlı olmak üzere üç ayrı grup altında toplanır.

İntegral tipi ADC'ler yavaş (milisaniye mertebesinde), ardışıl yaklaşımlı ADC'ler hızlı (mikrosaniyeler mertebesinde) ve paralel ADC'ler çok hızlı (nanosaniyeler mertebesinde) dönüşüm hızlarına sahiptirler.

İntegral tipi ADC'ler DC voltmetre uygulamalarında, ardışıl yaklaşımlı ADC'ler ses uygulamalarında ve paralel tip ADC'ler video veya resim uygulamalarında daha çok kullanılırlar.

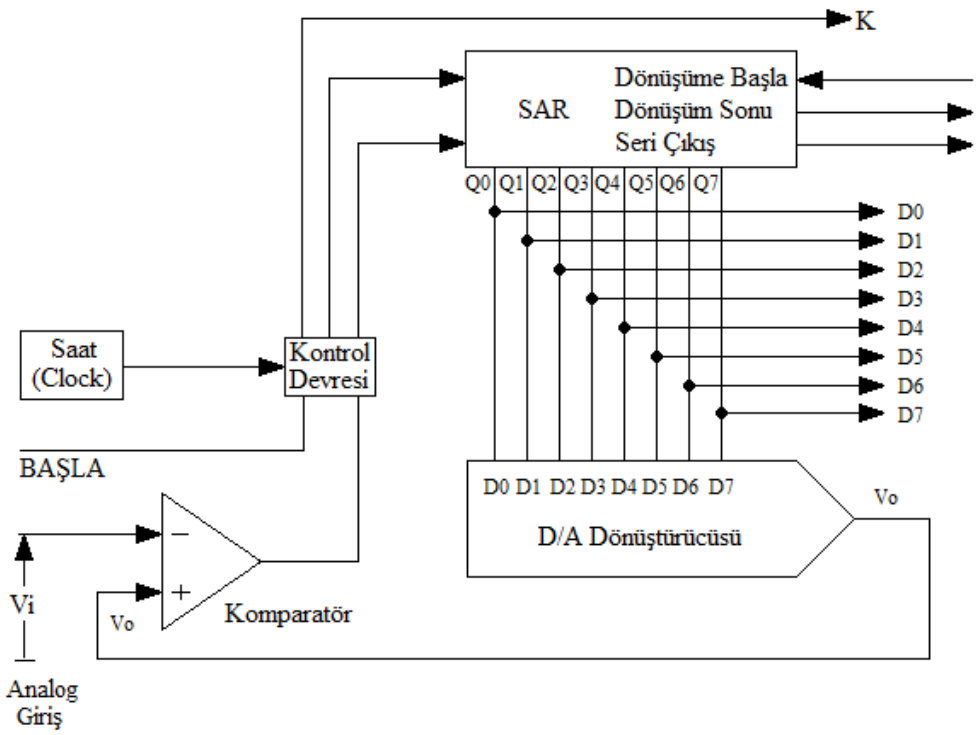
ADC'ler bir de, sayısal- analog dönüştürücüsünü içerip içermemesine bağlı olarak iki ana grup altında toplanır. Bunlar;

1. Sayısal – analog dönüştürücülü ADC'ler
   a) Rampa tipi ADC
   b) Ardışıl yaklaşımlı ADC
2. Sayısal – analog dönüştürücüsüz ADC'ler
   a) İntegral tipi ADC
   b) Paralel tip ADC
   c) İzleyen tip (tracking) ADC

şeklinde gruplara ayrılır [47].

4.3.3.1 Ardışıl Yaklaşımlı ADC

Tasarlanan cihazda A/D donanım birimi, mikrodenetleyicide dahili modül olarak yer almaktadır. Ardışıl yaklaşımlı (successive approximation) dönüştürme prensibine göre çalışmaktadır. Genel amaçlı olarak pratikte en çok kullanılan analog – sayısal dönüştürücü, ardışıl yaklaşımlı ADC'dir. Şekil 4.8'de 8-bit'lik bir ardışıl yaklaşımlı ADC'nin blok diyagramı gösterilmiştir.



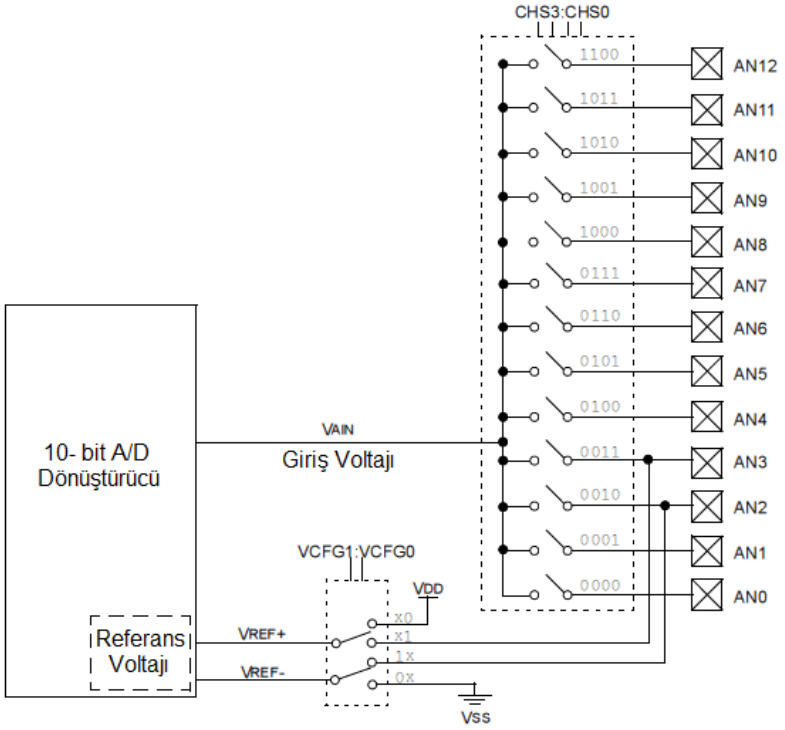
Şekil 4.8: 8-bit'lik bir ardışıl yaklaşımlı ADC'nin blok diyagramı[47].

Ardışıl yaklaşımlı ADC'de bir karşılaştırıcı, bir saat devresi, bir kontrol devresi, bir DAC ve bir de ardışıl yaklaşımlı kaydedici (Successive Approximation Register, SAR) bulunur. ADC'nin çıkışı seri ve paralel olabilir. V_O çıkışı ile V_i giriş işareti karşılaştırıcıda sürekli karşılaştırılır. 8-bit'lik ADC' de 8 karşılaştırma yapılır. Karşılaştırma MSB'den başlayıp, LSB'de biter ve dönüşüm bitti sinyali verilir.

Ardışıl yaklaşımlı ADC'nin doğruluğu içerideki DAC ve komparatörün doğruluğuna bağlıdır. ADC'nin en iyi ±LSB/2'lik doğruluğu için, DAC ve karşılaştırıcının toplam doğruluklarının ±LSB/2' den küçük olması gerekmektedir. Yaklaşık olarak ikiye bölünürse, DAC'nin doğruluğu, ±LSB/4 olmalıdır. Komparatörün girişindeki (V_i-V_O) gerilim farkı ±LSB/4'ten küçük olmalıdır. Ayrıca komparatör kısmında kullanılan yükseltecin offset gerilimi ile kaymasının (drift) iyi olması gerekir.

A/D donanım birimi, analog bir değeri mikrodenetleyicinin işleyebileceği şekilde ikilik sayı sistemine dönüştürür. Sayısal bilgiye dönüşen analog sinyalin karşılığı ADRESH ve ADRESL kaydedicilerine yazılır. Kullandığımız mikrodenetleyicide (PIC18F4550, ileride genel özellikleri tanıtılacaktır.) bu donanım birimi; 13 kanal, 10-bit çözünürlüğe sahiptir (13 kanal: 13 adet analog girişe sahip, 10-bit çözünürlük: herhangi bir analog sinyalin 10-bit'lik sayısal sinyale dönüştürülmesi). Bu donanım birimi aşağıda isimleri verilen kaydedicileri kullanır:

- **A/D Res**ult **H**igh Register (A/D Sonuç Yüksek Byte Kaydedicisi - **ADRESH**)
- **A/D Res**ult **L**ow Register (A/D Sonuç Düşük Byte Kaydedicisi - **ADRESL**)
- **A/D Con**trol Register 0 (A/D Kontrol Kaydedicisi 0 – **ADCON0**)
- **A/D Con**trol Register 1 (A/D Kontrol Kaydedicisi 1 – **ADCON1**)
- **A/D Con**trol Register 2 (A/D Kontrol Kaydedicisi 2 – **ADCON2**)



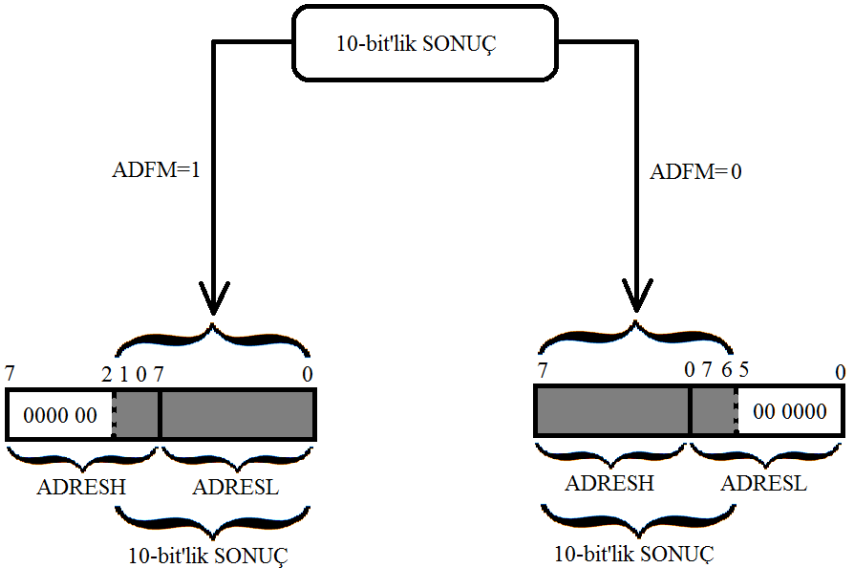
Şekil 4.9: PIC18F4550 A/D donanım birimi blok diyagramı[48].

A/D biriminin dönüştürme işlemleri kontrolünü ADCON0, ADCON1 ve ADCON2 kaydedicileri sağlamaktadır (Ayrıntılı bilgi için bkz. [48]). ADRESH:ADRESL kaydedicileri ise, A/D dönüştürme işleminin 10-bit'lik sonucunu tutar. A/D dönüştürme işlemi bittiği zaman, sayısal bilgi A/D sonuç kaydedicisine yazılır.

Şekil 4.9'da verilen A/D blok diyagramında görüleceği üzere; **CHS3:CHS0 (ADCON0<5:4>)** bit'leri ile hangi kanalın kullanılacağı seçilir, **VCFG1:VCFG0 (ADCON1<5:4>)** bit'leri ile gerilim referans birimi yapılandırılır (yani referans voltajı seçilir) ve analogdan sayısale dönüştürülen sinyal sonuç kaydedicisinde saklanır.

Şekil 4.10'da görüleceği üzere, kullanılan mikrodenetleyicinin analogdan sayısale dönüştürdüğü bilgi 10-bit'liktir. Bu 10-bit'lik sayısal bilgi **ADRESH:ADRESL**

kaydedici çiftinde depolanır. Depolama şeklini ise, **ADCON2** kaydedicisinin **ADFM** bit'i belirler. Bu bit'in 1 veya 0 olmasına göre sonuç bilgisinin depolanma şekli değişir. Bu durum Şekil 4.10'da açıkça görülmektedir.



Şekil 4.10: A/D dönüşüm sonucunun kaydedicilere yüklenme formatı.

Analog bilgiyi sayısala dönüştürmek için, aşağıda verilen adımlar izlenmelidir [48]:

1. A/D donanım biriminin yapılandırılması:
   - Analog pin'ler, referans voltajı ve sayısal giriş-çıkış pin'leri yapılandırılır (**ADCON1**).
   - A/D giriş kanalı seçimi yapılır (**ADCON0**).
   - A/D kazanç zamanı seçimi yapılır (**ADCON2**).
   - A/D dönüşümü için saat seçimi yapılır (**ADCON2**).
   - A/D modülü açılır (**ADCON0**).

2. A/D kesme (interrupt) ayarlarının yapılandırılması (arzu edilirse):
   - **ADIF** bit'i sıfırlanır.
   - **ADIE** bit'i kurulur/ayarlanır (set).
   - **GIE** bit'i kurulur/ayarlanır (set).

3. Dönüştürme işlemine başlanması için, gerektiği kadar beklenmesi
4. Dönüşümün başlaması:
   - **GO/DONE** bit'i kurulur/ayarlanır (set, **ADCON0**).

5. A/D dönüştürme işleminin tamamlanması için beklenmesi:

- Onay için, **GO/DONE** bit'i sıfırlanır (kesme aktif) veya
- A/D kesmesi için beklenir.

6. A/D dönüşüm sonuç kaydedicileri **ADRESH** ve **ADRESL** okunur ve arzu edilirse **ADIF** bit'i sıfırlanır.
7. Dönüştürme işleminin devam etmesi için, 1. ve 2. adımlar tekrarlanır.

4.4 Sayısal-Analog Dönüştürücüler

Sayısal/Analog dönüştürücü veya kısa olarak DAC, sayısal bilgileri analog büyüklüklere dönüştüren devre veya cihazdır. Sayısal büyüklük iki tabanlı sayılarla ifade edilmiş ve bilgisayar veya sayısal bir cihazdan elde edilen büyüklüktür.
Sayısal/Analog dönüştürücüsünün girişi, 0 veya 1 şeklinde büyüklükler olup, çıkışında akım veya gerilim büyüklüğü bulunur. Sayısal/Analog dönüşümde göz önüne alınması gereken temel parametreler şunlardır [47]:

a) Çözünürlük (Resolution) ve tam skala çıkışı
b) Doğruluk (Accuracy)
c) Yerleşme zamanı (settling time)

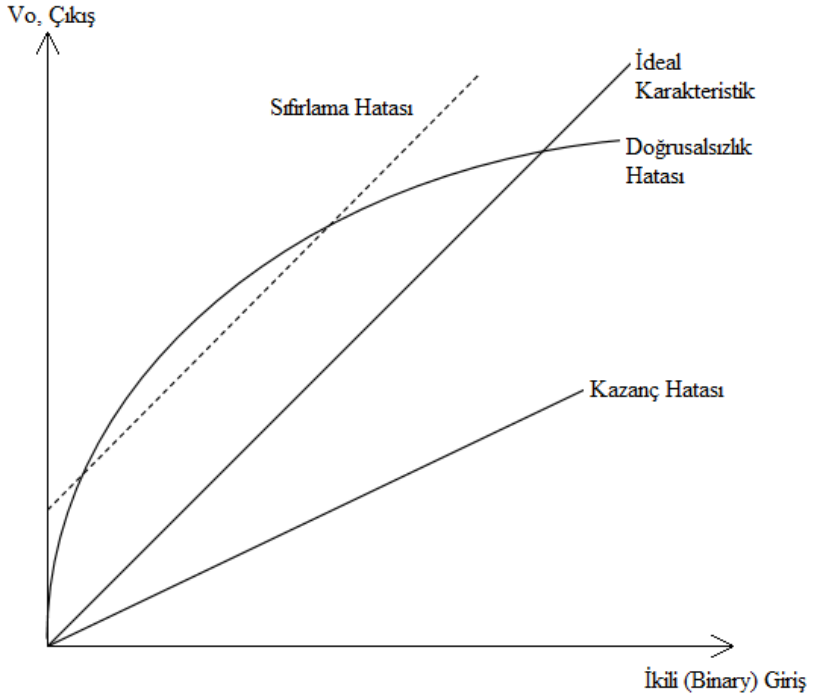
4.4.1 Çözünürlük

Bir DAC'nin çıkışındaki analog büyüklüğün değişik seviyelerinin basamak sayısı cihazın çözünürlüğünü ifade eder. DAC'nin girişindeki bit sayısı ne kadar fazla ise, çıkıştaki çözünürlük o kadar fazladır. Örneğin, n = 4-bit'lik bir sayısal girişin çıkıştaki basamak sayısı veya çözünürlüğü $N = 2^4 = 16$ olduğu halde, 10-bit'lik bir giriş için çözünürlük $N = 2^{10} = 1024$ olur.
Çözünürlüğün yüzde ifadesi ise; $1/2^n$ şeklinde tanımlanır. n = 8-bit'lik bir DAC'nin çözünürlüğü %0,0039 olur. Bu durumu pratik olarak yorumlarsak; girişteki en küçük değişiklik, çıkışta tam skalanın %0,0039'u kadar bir değişiklik yapacaktır.

4.4.2 Doğruluk

Doğruluk ile çözünürlük aynı şey değildir. Örneğin, 10-bit'lik bir DAC'de bir basamağın genliği; maksimum değerin $1/2^{10} = 1/1024$'de bir olup, çözünürlüğü oldukça yüksektir. Bu durum, çıkışın tam doğru olduğunu ifade etmez. Normal şartlarda çıkış, ±LSB/2 kadar hatalı olabilir. Yani, iki basamak arasında olamaz. Ya bir öncekinde, ya da bir sonrakinde olur. Doğruluğa etki eden diğer faktörler

sıfırlama hatası, doğrusalsızlık hatası ve kazanç hatasıdır. Çözünürlük sonsuz kabul edilerek transfer eğrileri birer çizgi ile Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

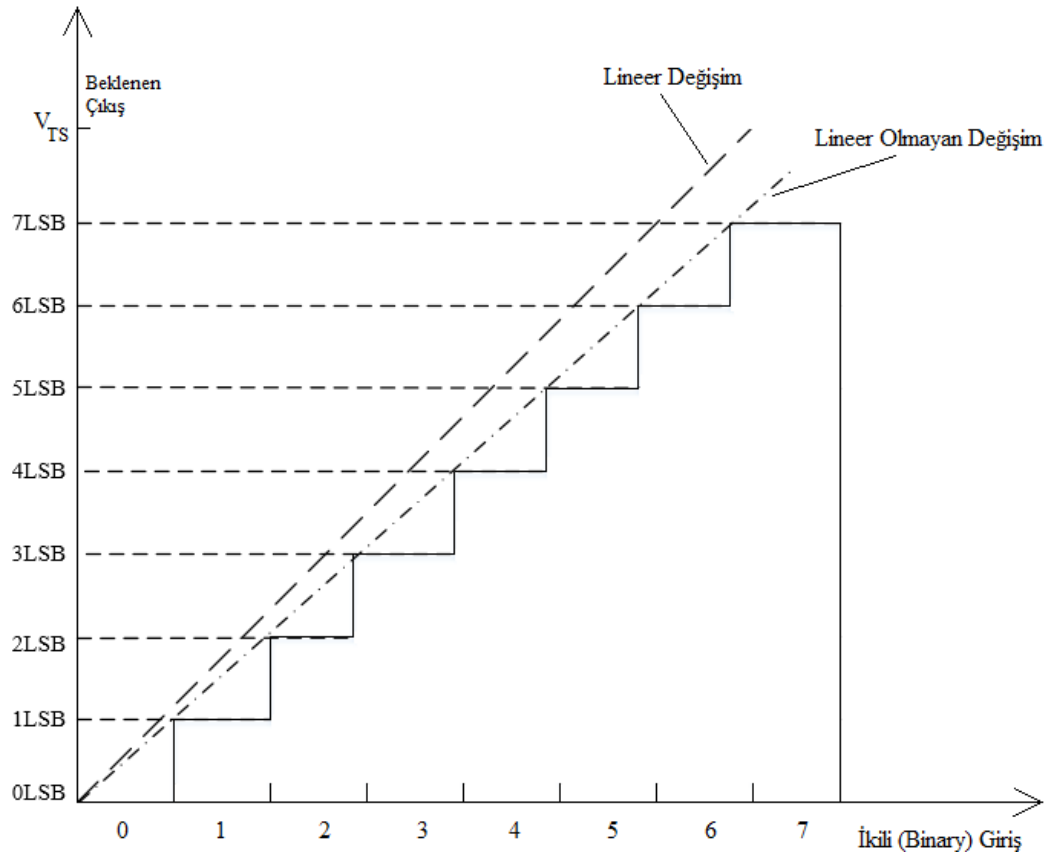


Şekil 4.11: DAC'nin doğruluğuna etki eden faktörler[47].

Sıfırlama hatası, DAC'nin girişine herhangi bir işaret uygulanmadığı zaman, çıkış sıfır olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın bütün değerlere aynı oranda etki etmesi ile transfer eğrisi ideal karakteristiğe paralel olur.

Doğrusalsızlık hatası, DAC'nin doğrusalsızlığından kaynaklanmaktadır. Bu durum transfer eğrisinin doğrusal olmamasına ve basamak genliklerinin farklı olmasına sebep olur. Şekil 4.12'de 3-bit'lik bir DAC'de çıkıştaki doğrusalsızlık hatasına ait sinyal şekli gösterilmiştir.

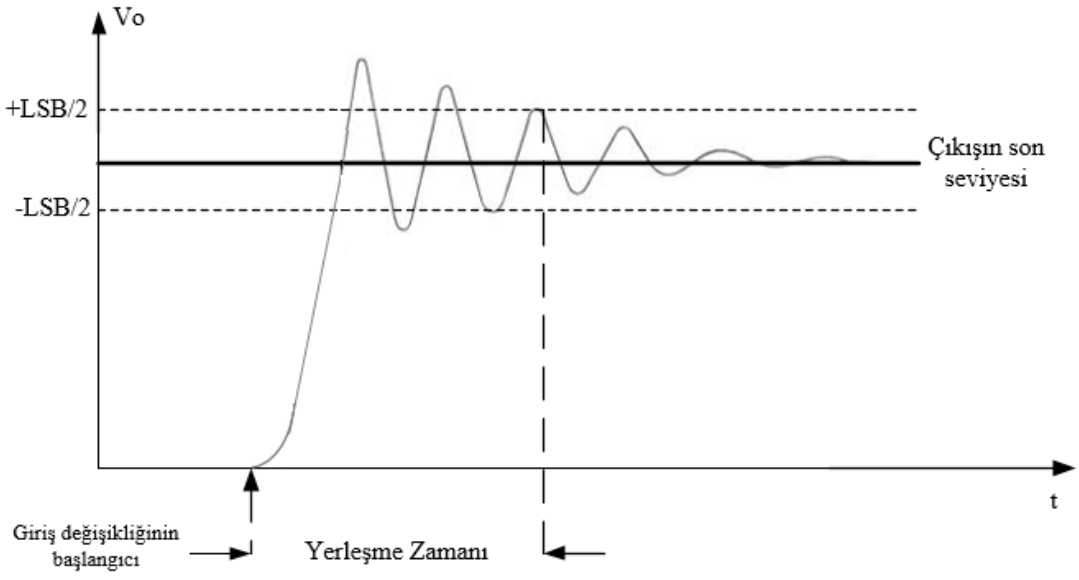
Kazanç hatası ise, basamak genliklerinin olması gereken değerden büyük veya küçük olması şeklinde ifade edilir.



Şekil 4.12: 3-bit'lik bir DAC'de çıkıştaki doğrusalsızlık hatasına ait sinyal şekli[47].

4.4.3. Yerleşme Zamanı

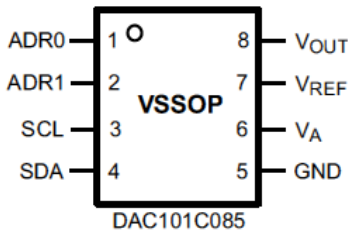
İdeal bir DAC'de herhangi bir girişe ait cevap anidir. Halbuki pratikte, çıkışın değişmesi ve son duruma gelmesi için belli bir zamanın geçmesi söz konusudur. Bu zaman aralığı yerleşme zamanı olarak ifade edilir. En uzun yerleşme zamanı, DAC'nin minimumdan maksimuma geçmesi durumunda elde edilir. Şekil 4.13'te yerleşme zamanı için örnek bir grafik gösterilmiştir. Eğer bir DAC'nin en kötü yerleşme zamanı 1 ms ise, ikili girişlerin konum değiştirmesinin 1 ms'den daha az bir zamanda gerçekleşmesi gerekir.



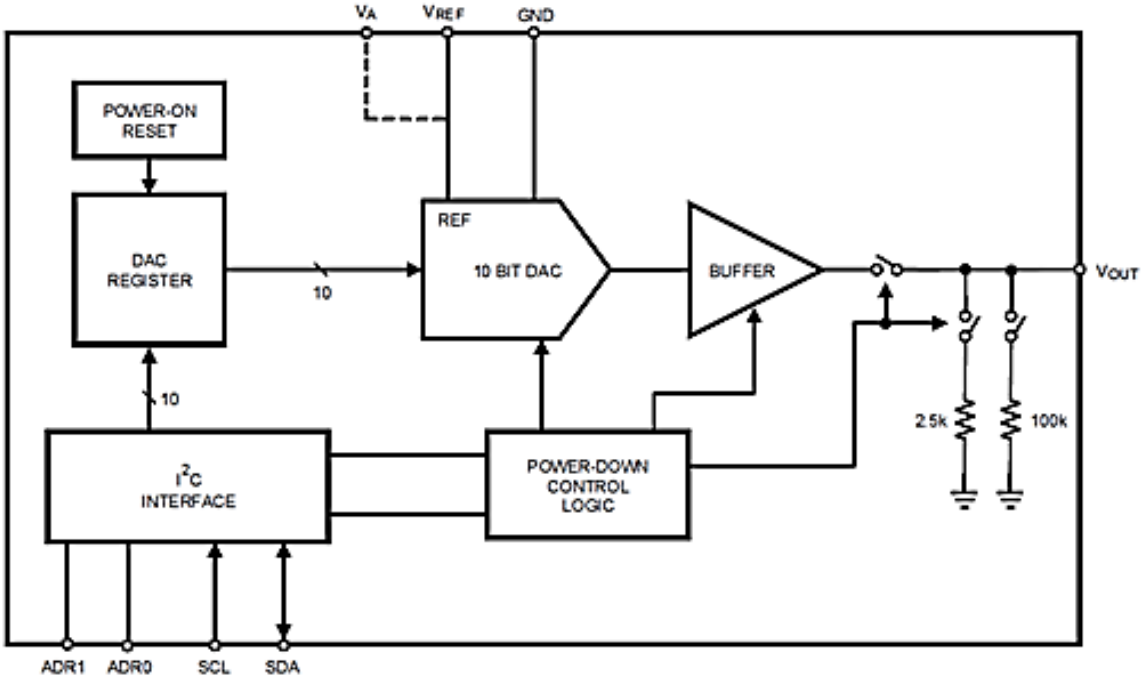
Şekil 4.13: Yerleşme zamanı[47].

Sayısal – analog dönüştürücülerin ağırlıklı direnç toplamalı (weighted resistor summing) ve R-2R merdiven tipi (R-2R ladder) olmak üzere iki çalışma prensibi vardır. Günümüzde entegre devre şeklinde üretilen DAC'ler genellikle bu iki prensibe göre çalışmaktadırlar. Tasarlanan cihazda kullanılan DAC entegresi, Texas Instruments firmasının DAC101C085 modelidir. Bu entegrenin özellikleri maddeler halinde şöyle belirtilebilir:

- 10-bit'lik çözünürlüğe sahiptir.
- Mikrodenetleyici ile haberleşmesi I2C protokolüne göredir.
- Sıfırlama hatası tipik olarak 1,1 mV olup maksimum 10 mV'tur.
- Tam skala hatası tipik olarak -%0,1 olup maksimum -%0,7'dir.
- Kazanç hatası tipik olarak -%0,2 olup maksimum -%0,7'dir.
- Sıfırlama hatası 1 ^{o}C'lik değişimde -20 µV değişim göstererek kayar.
- MikroWatt seviyelerinde güç tüketimi en önemli avantajlarındandır.



Şekil 4.14: DAC101C085 entegresinin pin bağlantıları[49].



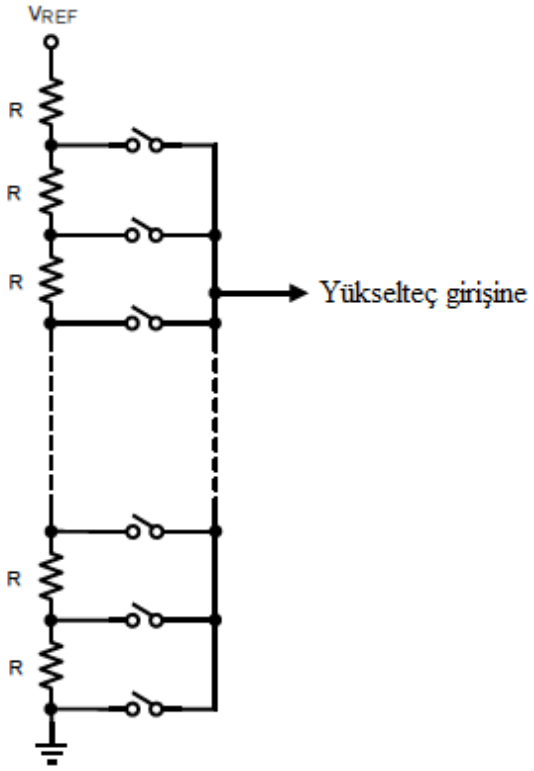
Şekil 4.15: DAC101C085'in blok diyagramı[49].

DAC101C085 entegresinin bileşenlerinin blok diyagramı Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Bu entegre devrenin bileşenleri DAC kaydedicisi, I2C protokolünü kullanan haberleşme birimi, 10-bit'lik DAC, tampon yükselteç, sıfırlama ve kontrol birimleridir. Şekil 4.14'te belirtilen ayak bağlantıları blok diyagram üzerinde de gösterilmiştir.

DAC101C085'in sayısal – analog dönüştürücü kısmında 1024 adet eşit değerde direnç ve her bir direnci şaseye bağlayan anahtar dizisi bulunmaktadır (Şekil 4.16). Çıkışta doğrusallığı çok yüksek olan bir tampon yükselteç yer almaktadır. DAC kaydedicisine yüklenen kod ile anahtarların açılıp kapatılması sağlanır ve çıkışta toplanarak tampon yükseltece uygulanır. İdeal çıkış gerilimi,

$$V_{out} = \frac{D}{1024} \times V_{REF}$$

ile hesaplanır. Burada *D*, DAC kaydedicisine yüklenen ikilik tabandaki (binary) kodun onluk tabandaki (decimal) karşılığıdır. 0 - 1023 (her ikisi de dahil) arasındaki tamsayı değerlerini alabilir.



Şekil 4.16: DAC101C085 entegresinde D/A çevrim için ağırlıklı direnç toplama prensibi[49].

Çizelge 1'de gösterilen şekilde mikrodenetleyicinin master, DAC entegresinin slave olması durumu söz konusudur. Bu durumda mikrodenetleyici, DAC'yi kontrol edecektir. Tasarlanan cihazda üç adet DAC kullanılmıştır. Her bir DAC'nin ADR0 ve ADR1 bağlantı uçlarının ayrı ayrı veya aynı olacak şekilde GND (şase) ve V_A potansiyellerine bağlantıları gerçekleştirilerek slave adresleri belirlenmiş olacaktır. Kod yüklenmesi sırasında bu adresler kullanılacaktır.

Çizelge 4.1: DAC101C085 entegresinin slave adres tanımlamaları[49].

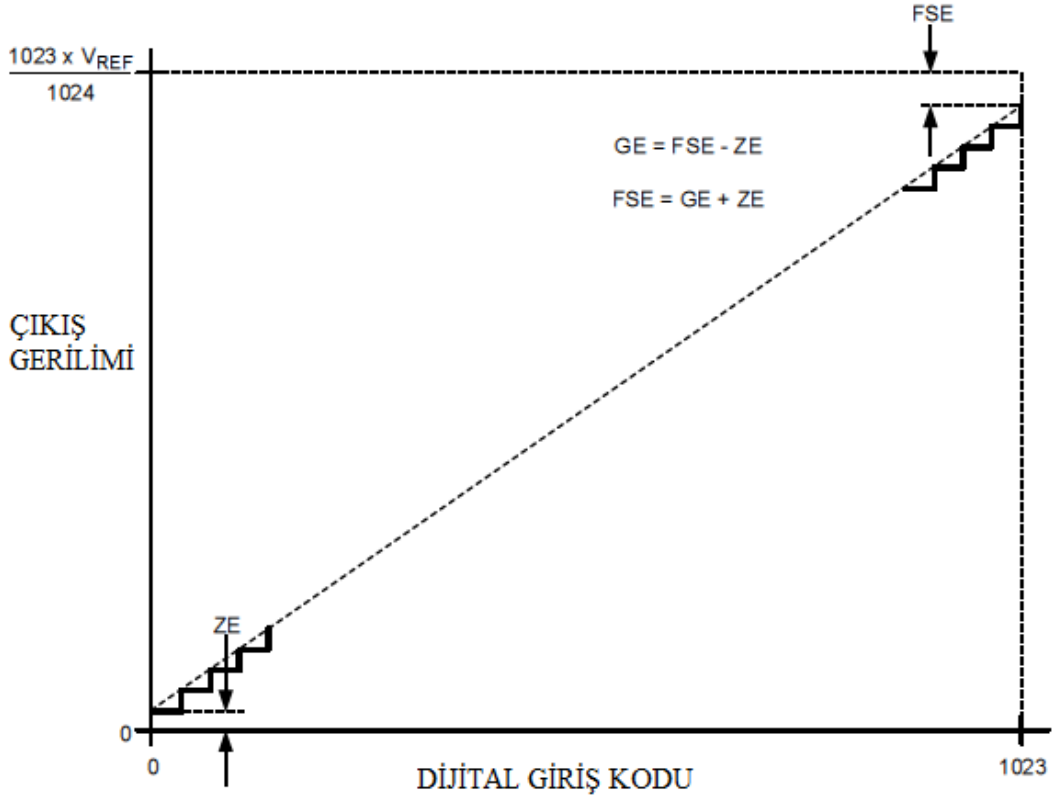
Slave Address	DAC101C085 (VSSOP-8)	
[A6-A0]	ADR1	ADR0
0001100	Floating	Floating
0001101	Floating	GND
0001110	Floating	V_A
0001000	GND	Floating
0001001	GND	GND
0001010	GND	V_A
1001100	V_A	Floating
1001101	V_A	GND
1001110	V_A	V_A
1001000	----------Broadcast Address----------	

Şekil 4.17'de, kullanılan DAC'nin sayısal giriş kodlarına (ikilik kodlar) karşılık çıkış gerilimleri gösterilmiştir. Burada,

FSE: Full Scale Error - Tam skala hatası,

GE: Gain Error – Kazanç hatası,

ZE: Zero Code Error- Sıfırlama hatasıdır. Bu hata türlerine bölümün girişinde değinilmiştir.



Şekil 4.17: DAC101C085 entegresinin giriş- çıkış transfer eğrisi[49].

4.5 Mikrodenetleyiciler

Mikrodenetleyiciler tek başına bir bilgisayarda bulunması gereken giriş/çıkış birimleri, CPU (Central Process Unit- Merkezi İşlem Birimi), RAM (Random Access Memory- Rasgele Erişimli Bellek) gibi tüm yapıların hepsini barındıran entegre devrelerdir. Mikrodenetleyiciler ile bilgisayarların yapıları oldukça benzemektedir. Bu benzerlikleri, kısaca maddeler halinde belirtirsek;

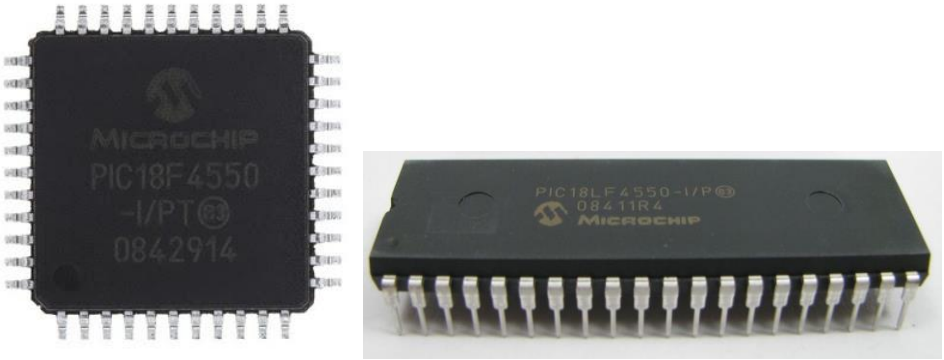
- Mikrodenetleyicilerin, bilgisayarlarda olduğu gibi bir merkezi işlem birimi vardır.
- Bilgisayarlarda programları saklamak için sabit diske ihtiyaç vardır. Mikrodenetleyicilerde ise hard disk işlevini yerine getiren bölüm flash bellek

ve EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory-Elektrikle Silinebilir Programlanabilir Salt Okunur Bellek) bellektir.

- Bilgisayarların değişkenleri saklamak için RAM'e ihtiyacı vardır. Mikrodenetleyicilerde de aynı amaçla kullanılan RAM bulunmaktadır.
- Bilgisayarların çevredeki diğer cihazlarla bağlantısını sağlayan veya kullanıcının bilgisayara veri girmesini ve verileri okumasını sağlayan giriş-çıkış kapıları vardır. Mikrodenetleyicilerde bu yapı, bilgisayara kıyasla çok basite indirgenmiş olmasına rağmen temelde aynıdır.

4.5.1 Genel Özellikleriyle PIC18F4550 Mikrodenetleyicisi

32 adet giriş/çıkışa sahiptir. Geriye kalan bağlantı uçları besleme gerilimi, osilatör, Reset (MCLR) gibi mikrodenetleyicinin çalışması için gerekli donanıma ayrılmıştır. 44-PIN QFN, 44-PIN PLCC, 44-PIN TQFP ve 40-PIN PDIP paketlerinde satılmaktadır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18: PIC18F4550 mikro denetleyicisinin 44-PIN TQFP ve 40 PIN PDIP paketleri.

PIC18F4550'nin değişik hızlarda çalışan birçok tipi vardır. Bu üretilen farklı tipleri arasında en yüksek hızlı olanı 20 MHz kristal osilatör ile çalışabilmektedir. Bu durum bir program çevriminin en az 200 ns olmasına olanak sağlaması anlamına gelmektedir. Bunun dışında 4, 8, 12 MHz gibi seçenekler de mevcuttur.

32k × 8-bit flash program belleğine sahiptir. Flash belleğe 100.000 kez üst üste program yazma silme yapılabilir.

RAM olarak tanımlanan, değişkenlerin bulunduğu veri belleği 2048 × 8-bit'tir. Bu, 2048 adet değişken tanımlanabileceği anlamına gelir.

256 × 8-bit EEPROM veri belleği mevcuttur. EEPROM belleği, RAM veri belleğinden farklı olarak elektrik olmadan da kaydedilen veriyi saklayabilir. EEPROM veri belleğine 1.000.000 kez üst üste yazma silme işlemi uygulanabilir.

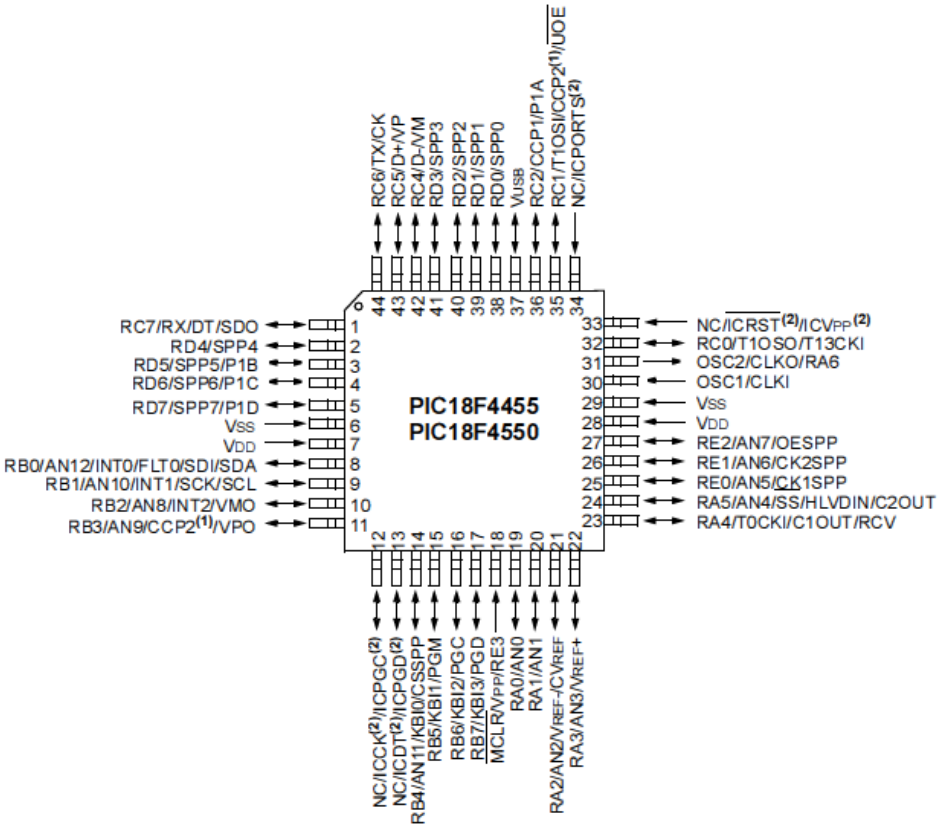
4 adet zamanlayıcı- sayıcı (timer) vardır. Bu zamanlayıcılardan TMR0 8-bit bir sayıcıdır. TMR1 uyuma (sleep) durumunda bile dışardan bağlanan bir kristalle arttırabilecek 16-bit'lik bir sayaçtır. TMR2 ise TMR0 gibi 8-bit'lik bir sayıcıdır. TMR2 mikrodenetleyicideki CCPM modülü için zamanlayıcı olarak kullanılır. TMR3 ise yine TMR1 gibi 16-bit'lik birsayıcı veya zamanlayıcı olarak kullanılabilmektedir.

2 adet Capture, Compare, PWM (CCPM) modülü ile 6,25 ns hassasiyetinde yakalama (capture), 100ns hassasiyetinde karşılaştırma (compare) ve 10-bit'lik çözünürlükle PWM sinyali uygulama özelliklerine sahiptir.

Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) modülü ile otomatik kapanma ve otomatik yeniden başlatma özelliklerine sahiptir.

Senkron Seri İletişim (MSSP) portu ile SPI (master) ve I2C (master/slave) protokollerinde seri iletişim özelliğine sahiptir.

RD (okuma), WR (yazma) ve CS (kanal seçme) kontrol özellikleriyle birlikte USB port girişinden aldığı yüksek hızda veriyi donanımsal paralel iletişim portuna SPP<7:0> aktarma özelliğine sahiptir.



Şekil 4.19: TQFP paketli PIC18F4550'nin pin görünüş şeması[48].

10-bit'lik, 13 kanallı Analog/Sayısal çeviriciye sahiptir. Referans değerleri olarak mikrodenetleyiciyi besleyen Vdd ve Vcc dışında bir değer seçilmek istendiğinde, RA2 ve RA3 portlarından farklı üst ve alt referans gerilimleri seçme imkanını sağlar. Cihaz uyuma (sleep) modunda olsa bile mikrodenetleyicinin içinde bulunan kendi A/D çevrim RC saati ile çevrime devam edebilir.

İki adet karşılaştırıcıya sahiptir. Karşılaştırıcının referans gerilim değerleri, çıkış ve giriş portları yönlendirilebilir yapıdadır.

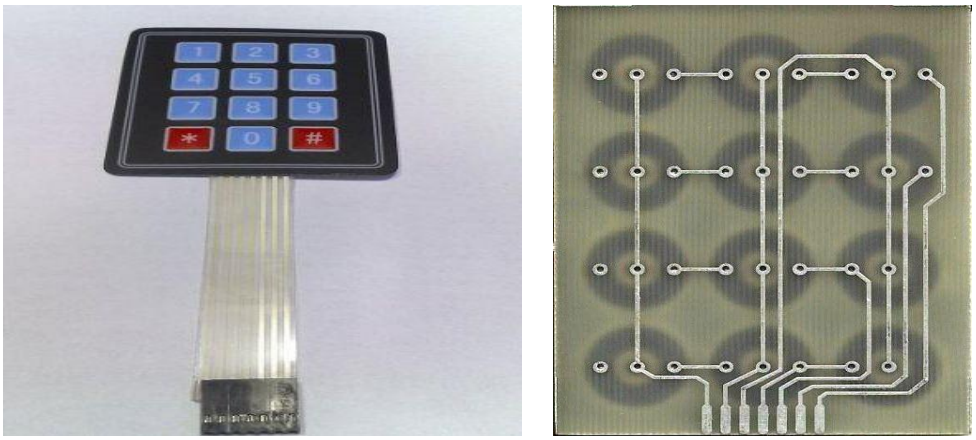
31 katlı bir yığın (stack) yapısına sahiptir. Bu iç içe otuz bir alt program çağırılabileceği anlamına gelmektedir. Buna kesmeler de dahildir.

Bunların dışında CPU'nun çalışmasında etkili bazı nitelikler vardır. ICSP (In-Circuit Serial Programming) özelliği sayesinde sadece iki pini kullanılarak mikrodenetleyicinin uygulama devresi üzerindeyken programlanabilmesi sağlanır. ICD (In-Circuit Debugger) özelliği ile devre üzerindeyken hata ayıklama yapılabilir. LVP (Low Voltage Programming) özelliği ile sadece 5 V uygulanarak programlanabilmektedir. Programlanabilir Code Protection özelliği sayesinde program belleğinin bir kısmı okunmaya karşı koruma altına alınabilir, diğer bir kısmı ise okunabilir yapılabilir. Düşük gerilimlerde kararsız durumlarla karşılaşmamak için BODEN (Brown Out Reset) adı verilen özellik ile belli bir gerilimin altında reset devresi çalıştırılır. Az enerji tüketmek amacıyla kullanılan Sleep (uyuma) özelliği vardır. Düşük seviyede enerji tüketir ve 2 – 5,5 V arasındaki gerilimlerde çalışabilir.

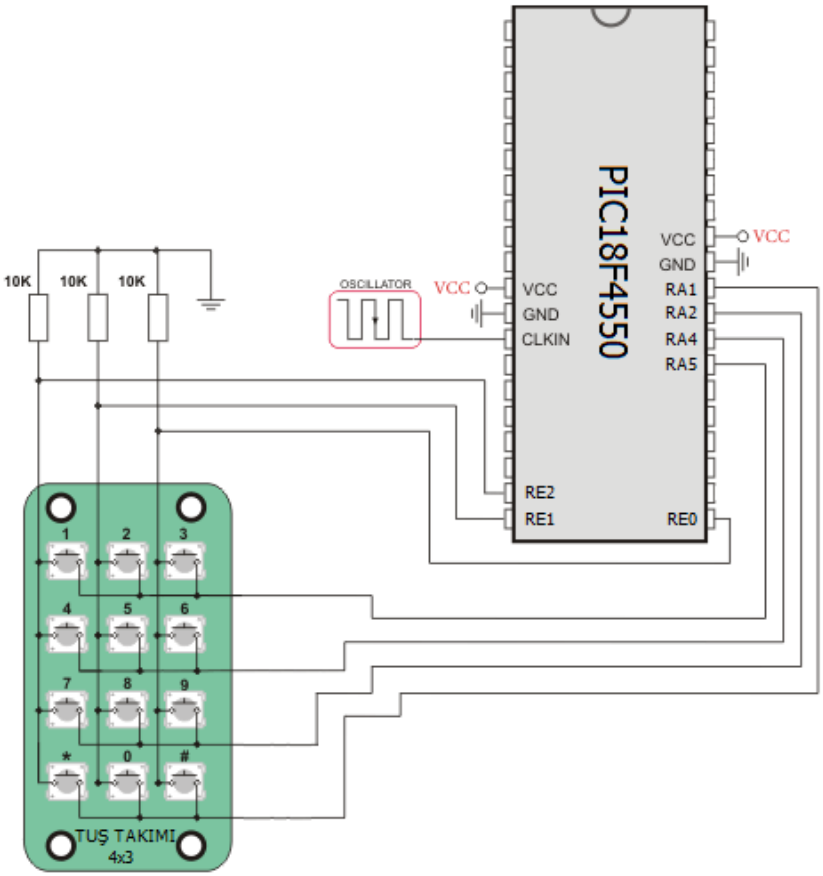
4.6 Kullanıcı Arayüzü

4.6.1 Tuş Takımı

Devre kartının kutu içerisine muhafazasının sağlanmasıyla tasarlanan cihazın kutusu üzerine yapışkan özelliği ile istenilen şekilde montajının yapılması ve satır-sütun iletkenlerinin çıkarılması ile mikro denetleyiciye bağlantısının oldukça kolay olması, membran tuş takımlarının en büyük avantajlarındandır. Şekil 4.20' den de görüleceği üzere tuş takımının 4 satırı ve 3 sütunu bulunmaktadır. Bu demek oluyor ki, mikrodenetleyici ile bağlantısının sağlanması için 7 adet pin' e ihtiyaç olacaktır (Şekil 4.21). EK-B'de tuş takımının bağlantısının hangi pin'ler olduğu yer almaktadır.



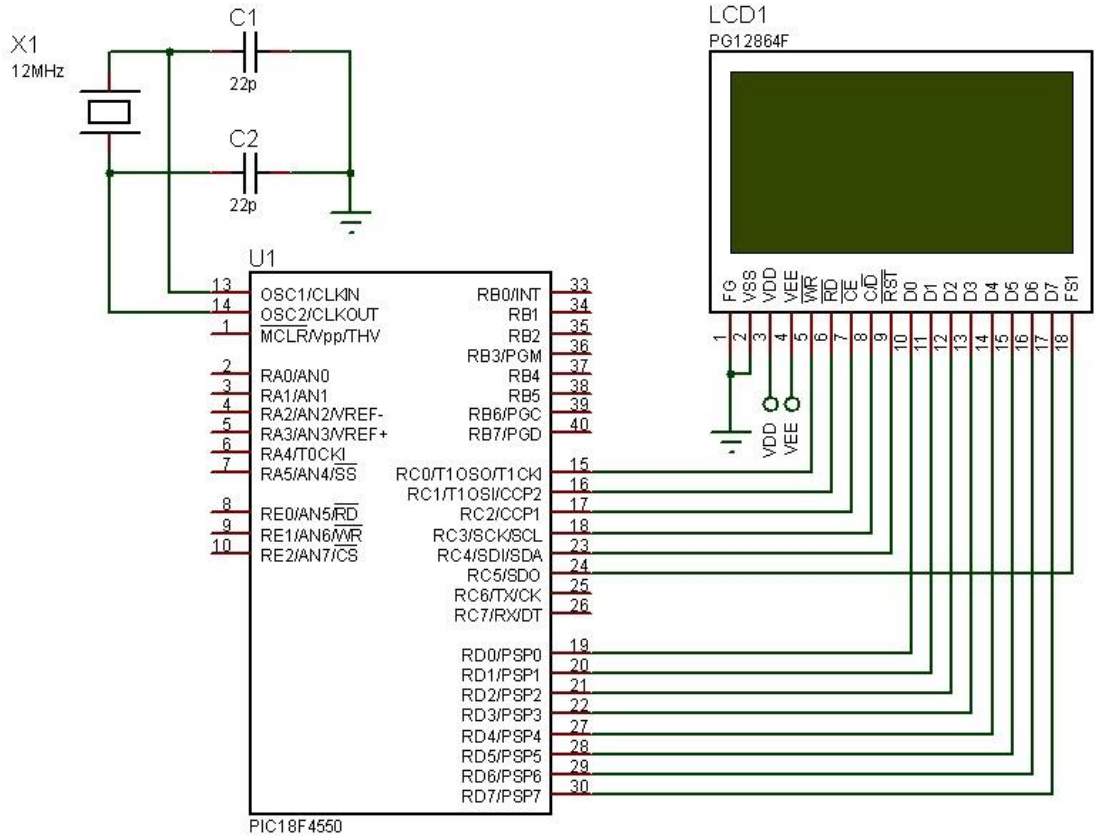
Şekil 4.20: 4 × 3’ lük membran tuş takımının ön(soldaki) ve arka(sağdaki) yüzü.



Şekil 4.21: Tuş takımı-mikrodenetleyici bağlantı şeması.

4.6.2 Grafik LCD

Tez çalışmasında, Winstar marka 128 × 64-bit’lik mavi ekranlı grafik LCD ekran kullanılmıştır. Şekil 4.22’de gösterildiği gibi mikrodenetleyici ile bağlantısı gerçekleştirilir. Grafik LCD’nin pinlerinin tanımları çizelge şeklinde EK-A’da verilmiştir.

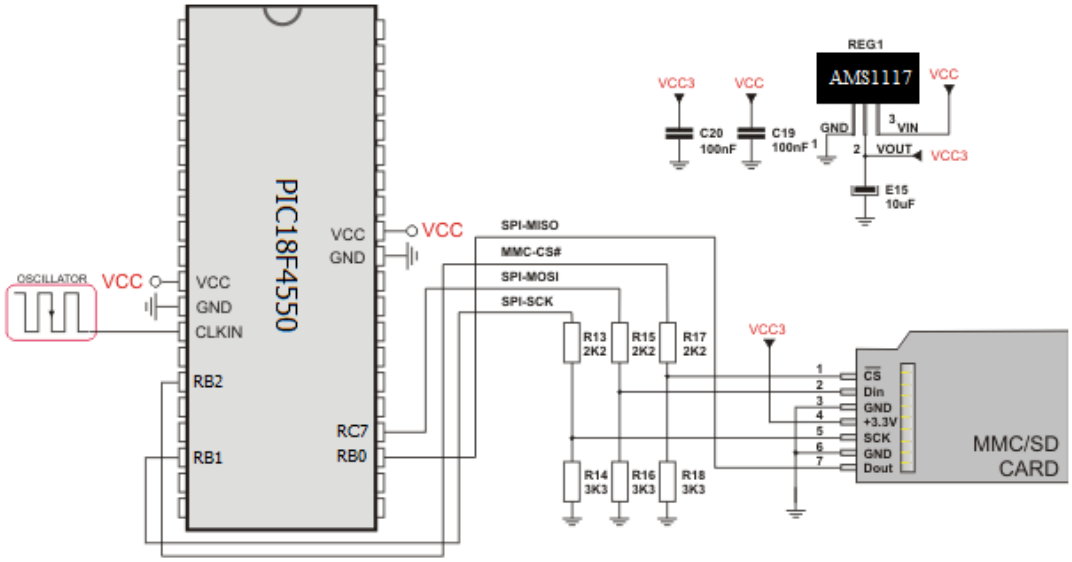


Şekil 4.22: Grafik LCD - mikrodenetleyici bağlantı şeması.

4.7 Veri Depolama Birimi

Veri depolamak ve işlemek için mikrodenetleyicinin hafıza birimleri yeterli olmadığından cihazda kullanılan hafıza elemanı MikroSD karttır. MMC (Multi Media Card), SD (Secure Digital) ve MikroSD kartlar alternatif ve kullanılışlı hafıza elemanlarıdır. Fiziksel boyutunun az yer kaplamasından dolayı MikroSD kart tercih edilmiştir. Mikrodenetleyici, MikroSD kart ile SPI haberleşme protokolünü kullanmaktadır. SPI haberleşme protokolüne göre mikrodenetleyici ile hafıza kartının bağlantısı Şekil 4.23'te gösterilmiştir. Çözümlemelerin yapılması için gerekli olan tüm referans değerler ve ölçüm değerleri MikroSD kartın sektörlerine kayıt edilmektedir. FAT16 dosya yapısında bilindiği üzere 512 byte'lık paketler kullanılır. Şu hesabın bilinmesi gerekir (4.5):

$$\text{Sektör sayısı} = \text{Hafıza kartı boyutu(byte)} / 512 \text{ byte} \qquad (4.5)$$



Şekil 4.23: MikroSD kart - mikrodenetleyici bağlantı şeması.

5. YÖNTEM

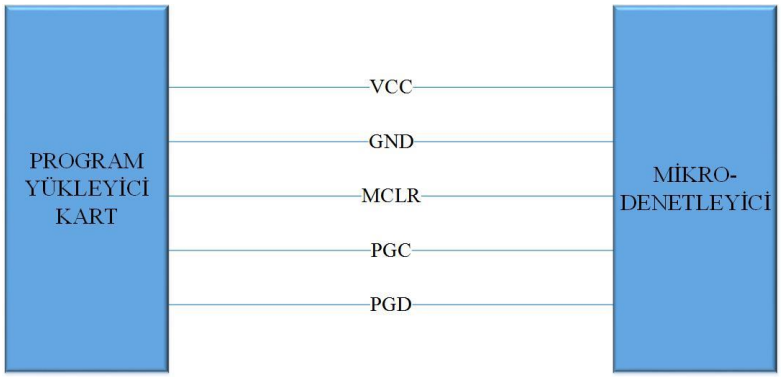
5.1 Neden MikroC Yazılımı?

MikroC programlama dili, günümüzün en güçlü ve kütüphanesi en zengin olan programlama dili olmakla birlikte;

- C tabanlı olması,
- Komut yapısının kolay, esnek ve kullanılışlı olması,
- Kendisini en hızlı güncelleyen derleyici ve yenileyen kütüphaneye sahip olması,
- Paralel, seri ve USB veri iletişimini kullanıcıya en kolay bir şekilde kullandıran yapısı,
- Mikrodenetleyici donanımlarına hiçbir kısıtlama getirmeden, kolay ve esnek erişim imkanı vermesi gibi üstün özelliklerinden dolayı tercih sebebi olmuştur.

5.2 Devre Üzerinde Seri Programlama (ICSP)

Mikrodenetleyicinin paket yapısının sadece yüzeye montajının yapılmasına imkân tanıması (SMD), programlanması için sürekli devreden çıkarılıp takılmasını imkânsız hale getirmiştir. Bu nedenle devreden çıkarmadan mikrodenetleyiciye program yüklemek için ICSP yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem için kullanılan bağlantı şekli Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Mikrodenetleyici ile program yükleyici kartın bağlantı uçları ise Çizelge 2'de daha ayrıntılı gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Mikrodenetleyici - program yükleyici kart bağlantı şekli.

Çizelge 5.1: Mikrodenetleyici - program yükleyici kart bağlantı uçları.

Program Yükleyici Kart	Mikrodenetleyici
VCC	VCC
GND	GND
MCLR	MCLR/VPP/RE3
PGC	RB6/KBI2/PGC
PGD	RB7/KBI3/PGD

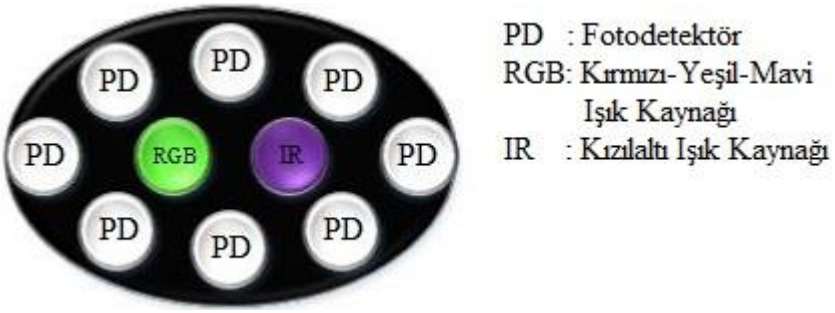
Çizelge 2'den de görüleceği üzere 3 bağlantı ucu (pin) ile seri şekilde program yüklemek oldukça basit bir yöntemdir. MCLR pin'i cihazın yazılım içeriğinin sıfırlanması ve yeniden program yüklenmesinin aktif edilmesi için kullanılır. PGC pin'i saat (clock) sinyalinin, PGD pin'i verinin (data) taşındığı bağlantı ucudur. Mikrodenetleyiciye program yüklemek için Mikroelektronika firması tarafından üretilen MikroC PRO derleyicisi kullanılmıştır (Ayrıntılı bilgi için bkz. [50]). Program yükleyici kart ile mikrodenetleyici arasında yukarıdaki çizelgede belirtilen bağlantının yapılması ve belirtilen derleyicinin kullanılması sayesinde kolaylıkla program yükleme işlemleri yapılabilir.

5.3 Işık Kaynakları

400 -700 nm dalgaboyu aralığındaki görünür bölgede ışık kaynağı olarak ortak katot RGB LED (kırmızı-yeşil-mavi ışık yayan diyot) kullanılmıştır. Görünür bölgenin belirtilen dalgaboyu aralıklarında 5'er nm artışlarla ara renklerin üretilmesi yazılım desteği ile sağlanmıştır. Bu işlem için öncelikle donanımsal olarak mikrodenetleyici ile RGB LED arasına sayısal-analog dönüştürücüler yerleştirilmiş, sonra 5'er nm'lik artışın sağlandığı sayısal bilgiyi içeren yazılım, mikrodenetleyiciye yüklenmiştir. Mikrodenetleyici bu yazılıma göre sayısal-analog dönüştürücüyü kontrol ederek ara renklerin üretilmesini sağlamıştır. Yakın kızılaltı bölgeyi incelemek için 875 nm dalgaboyunda ışık yayan NIR LED kullanılmıştır.

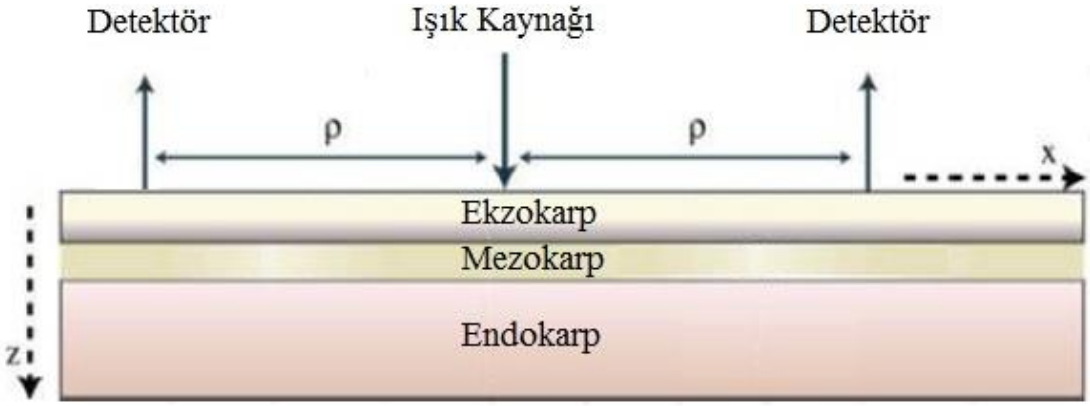
5.4 Cihazın Algılayıcı Kısmı

Literatür incelemesi ve yapılan denemeler/ölçümler sonucunda Şekil 5.2'deki gibi bir algılayıcının yapılmasına karar verilmiştir.



Şekil 5.2: Cihazın algılayıcı kısmı.

Algılayıcının elips şeklinde olmasının sebebi, ortada iki ışık kaynağının yer alması sonucu fotodetektörlerin en uygun diziliminin şekilde gösterildiği gibi olmasıdır. Bölüm 2'de bahsedilen ve Şekil 5.3'te de gösterilen muz etkisinden dolayı mümkün olan her açıda yansımaların ölçülmesi için fotodetektörler simetrik olarak Şekil 5.2'de gösterildiği gibi dizilmiştir. Yapılan ölçümler bu dizilimin verimli sonuçlar verdiğini göstermiştir.



Şekil 5.3: Muz şekli etkisinden dolayı ışık kaynağı ile detektörlerin dizilimi.

5.5 Kalibrasyon

Ölçümlerin güvenirliliği ve doğruluğu kalibrasyonlarından kaynaklanır. Tez çalışması sonucunda tasarlanan cihazın kalibrasyon ayarı için önemli parametreler şunlardır:

- Aydınlık-karanlık ölçümleri
- Spektral aralık
- Işık kaynağının dalgaboyu aralığı (Interval)
- Işık kaynağının gücü
- Detektörün türü ve hassasiyeti

El tipi (Hand-held) tasarlanan taşınabilir spektrofotometrelerin normal olarak üretilen çok büyük cihazlara göre önemli farklarından birisi, referans değerlere ihtiyaç duymasıdır. Ancak prototip bir cihazda, referans değerin kayıtlı tutulması ve sayısal bilgi olarak mikrodenetleyici tarafından işlenmesi/kontrol edilmesi durumları söz konusudur. Yani her bir örnek türü için farklı bir referans değeri vardır. Elektronik devrede kimyasal veya mekanik herhangi bir işlem gerçekleştirilmeden sadece referans değerler kullanılarak örneklerin ölçülmesi ve referans değerlerle karşılaştırılması işlemleri gerçekleştirilir. Burada matematiksel teorinin ve buna bağlı olarak mikrodenetleyicinin yazılımının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu tez kapsamında İstanbul-Topkapı'da bulunan Şişecam Araştırma Laboratuvarlarında ham ve olgun 12 çeşit meyvenin ölçümlerinin sonuçları ile literatürde yapılan çalışmalar incelenerek karşılaştırmalar yapıldı. Bu çözümleme sonuçlarına göre, tasarlanan cihazın kalibrasyonu için gereken referans değerler, aşağıdaki formüllere göre elde edildi:

$$R_{ham_\lambda} = \frac{S_{ham_1_\lambda} + S_{ham_2_\lambda} + \cdots + S_{ham_n_\lambda}}{n} \tag{4.1}$$

Burada,

R_{ham_λ} , λ dalgaboyundaki ham meyvenin referans değeri,

$S_{ham_1_\lambda}$, 1. ham meyvenin λ dalgaboyundaki yansıma gücü,

$S_{ham_2_\lambda}$, 2. ham meyvenin λ dalgaboyundaki yansıma gücü,

$S_{ham_n_\lambda}$, n. ham meyvenin λ dalgaboyundaki yansıma gücü,

n, referans elde etmek için ölçümü yapılan ham meyve sayısını belirtmektedir.

$$R_{\mathrm{olgun}_\lambda} = \frac{S_{\mathrm{olgun}_1_\lambda} + S_{\mathrm{olgun}_2_\lambda} + \cdots + S_{\mathrm{olgun}_n_\lambda}}{n} \tag{4.2}$$

Burada,

$R_{\mathrm{olgun}_\lambda}$, λ dalgaboyundaki olgun meyvenin referans değeri,

$S_{\mathrm{olgun}_1_\lambda}$, 1. olgun meyvenin λ dalgaboyundaki yansıma gücü,

$S_{\mathrm{olgun}_2_\lambda}$, 2. olgun meyvenin λ dalgaboyundaki yansıma gücü,

$S_{\mathrm{olgun}_n_\lambda}$, n. olgun meyvenin λ dalgaboyundaki yansıma gücü,

n, referans elde etmek için ölçümü yapılan olgun meyve sayısını belirtmektedir.

$$m = \frac{S_S - S_D}{R_S + S_D} \tag{4.3}$$

Burada,

S_S , örnekten ölçülen sinyalin şiddeti,

S_D , karanlıkta yapılan ölçümün şiddeti,

R_S , referans alınan sinyal şiddeti,

m, ölçüm sonucunun yüzde cinsinden değerini belirtir.

$$\text{Yansıma}(\%) = m \cdot R_{PD} \tag{4.4}$$

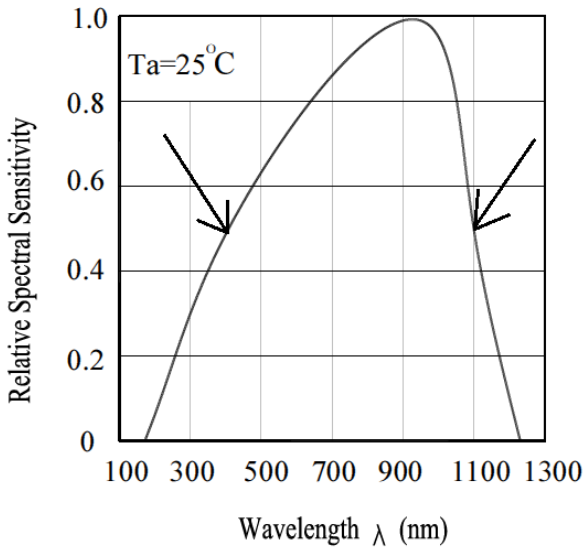
Burada,

R_{PD} , foto diyotun spektral duyarlılığıdır. Her bir dalga boyunda değişken değere sahiptir.

Kalibrasyon için önemli olan diğer bir faktör, detektörün spektral duyarlılığıdır. Tasarlanan cihazda 8 adet silisyum PIN foto diyot kullanılmıştır. Foto diyotların spektral aralığı 190-1240 nm dalgaboylarıdır. Ancak cihazın incelediği aralık Şekil 5.4'te oklarla gösterildiği gibi 400-1100 nm aralığıdır. Şekilden de görüleceği üzere kullanılan detektörler bu dalgaboyu aralığına da oldukça duyarlıdır (%50 - %100 arasındadır).

Spektrofotometrenin ışık kaynağı kadar önemli bir parçası da monokromatörlerdir. Kalibrasyon için monokromatörlerin katkısı çok büyüktür. Tasarlanan cihazda, ışık kaynağının monokromatör kullanmadan yazılım sayesinde ve sayısal/analog dönüştürücüler vasıtasıyla 5 nm'lik artışı sağlanmış, böylelikle RGB LED'den farklı dalgaboylarında ışık elde edilmiş, ışık dokuya gönderilmiş ve detektörlerle her bir dalga boyundaki saçılan ışık şiddeti algılanmıştır.

Algılanan bu ışık şiddeti detektörlerle elektriksel sinyale dönüştürülmüş, yükselteç ile uygun yükseltme işlemi gerçekleştirilmiş, mikrodenetleyicide bulunan analog/sayısal dönüştürücü modülü ile analog elektriksel sinyal sayısal sinyale dönüştürülmüştür. Sayısala dönüştürülen veri mikrodenetleyici ile istenilen şekilde işlenmiştir.

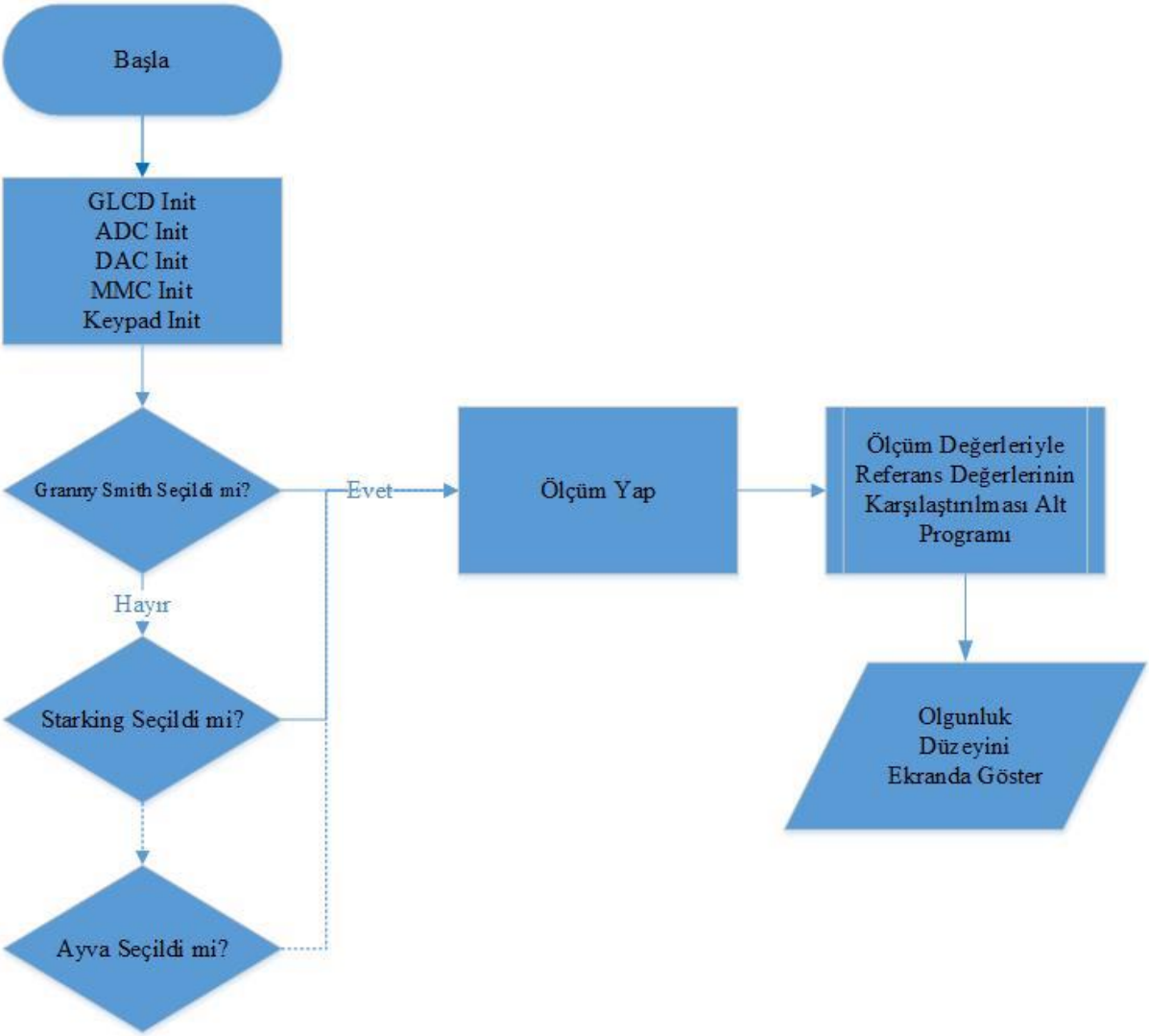


Şekil 5.4: Foto diyotun spektral duyarlılığı[51].

5.6 Yazılım

Grafik LCD ve ADC modülü yazılımsal olarak başlangıç ayarları yapılandırıldığından cihazın çalıştırılmasıyla birlikte çalışmaya başlarlar. Kullanıcının kontrolü tuş takımı sayesinde olup her bir menüde kullanılabilecek tuşlar atanmıştır. Cihaza ait ekran görüntüleri EK-C'de verilmiştir. Ayrıca ölçümü yapılan Golden Delicious türü elmanın da ölçüm sonuçları ve referans kayıt menü ekran görüntüleri de ekte yer almaktadır.

Şekil 5.5'te ana program ve ölçme tuşuna basılmasıyla yapılan ölçümün algoritması gösterilmiştir. Ana programda önce Grafik LCD, ADC, DAC, MikroSD kart ve tuş takımının başlangıç ayarları (tanımlamalar, vs.) yapılandırılır. DAC ve MikroSD kart, mikrodenetleyici ile farklı protokollerde haberleşirler. Mikrodenetleyici, DAC ile haberleşmek için I2C protokolünü; MikroSD kart ile haberleşmek (veri yazılması/okunması) için SPI protokolünü kullanmaktadır. Şekil 5.6'da ölçüm sonuçlarının veri tabanına kaydını gerçekleştiren alt program algoritması gösterilmiştir.



Şekil 5.5: Ana program ve ölçüm algoritması.

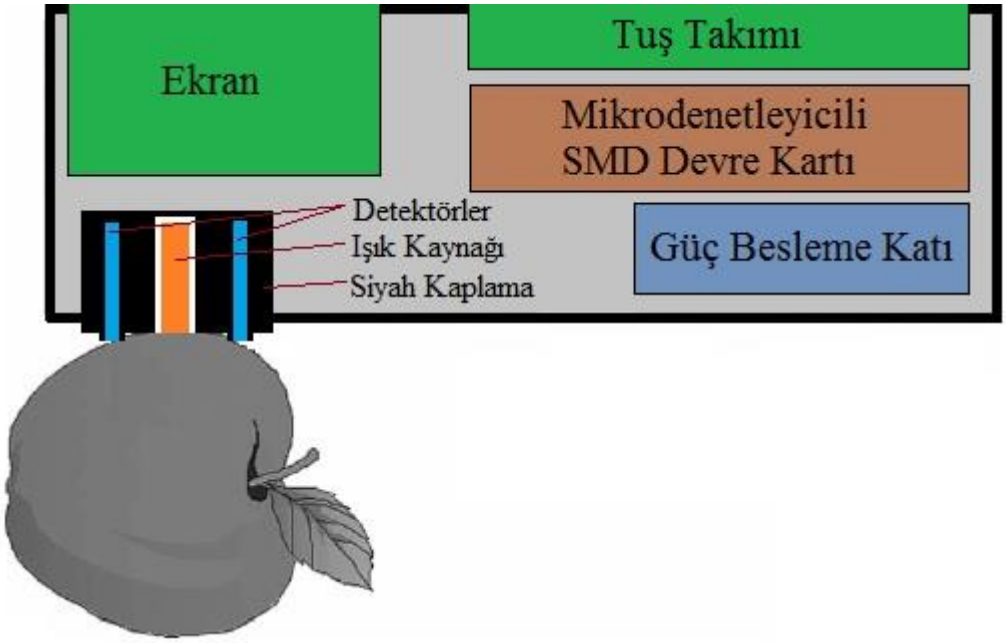
Şekil 5.6: Ölçüm sonuçlarının veri tabanına kaydını gerçekleştiren alt program algoritması.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının ön aşamasında Şişecam Araştırma Laboratuvarı'nda Perkin Elmer Lambda 900 UV/VIS/NIR spektrofotometresi ile 280 - 2500 nm dalga boyu aralığında on iki çeşit meyvenin (elma-granny smith, elma-starking, elma-golden, erik, armut, şeftali, kayısı, kivi, portakal, nar, çilek ve ayva) yansıma spektroskopisi yöntemiyle renk değişimi, etlenme ve sulanma durumuna bağlı olarak olgunlaşmasının çözümlemesi yapılmıştır.

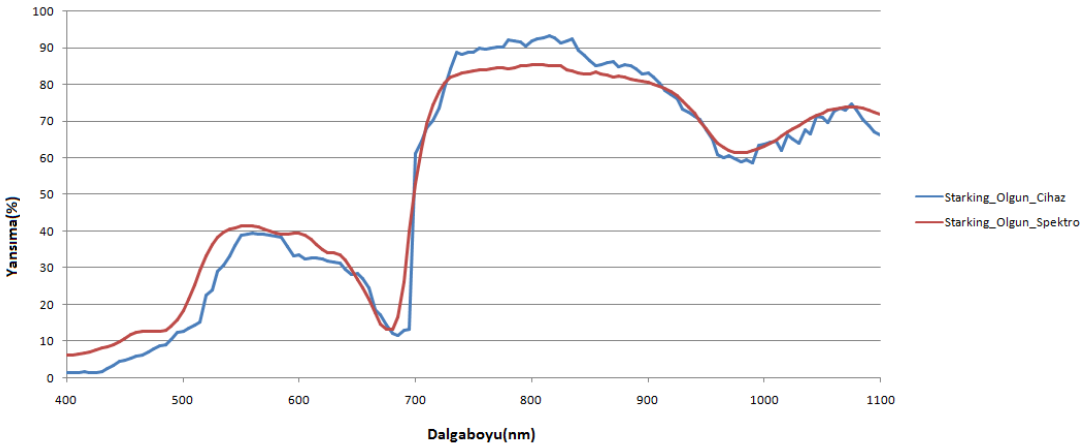
Bilimsel literatür araştırmalarında, 280 - 2500 nm dalga boyu aralığındaki spektrumu kapsayan, bu çalışmada alınan ve incelenen ölçüm değerleri kadar çok çeşit meyve incelemesi yapılmamıştır. Şekil 6.3'te yansıma spektroskopisi tekniği ile incelemesi/çözümlemesi yapılan meyvelerin ölçüm sonuçları gösterilmektedir. Sonuçlara dikkat edilirse meyve dokusunun üç bölge incelemesi rahatlıkla yapılabilir. 280 - 700 nm dalga boyu aralığında meyve kabuğuna rengini veren pigmentlerin; 700 - 1000 nm dalga boyu aralığında hücre yapısının (etlenme durumu) ve 1000 - 2500 nm dalga boyu aralığında ise suyun soğurma bantlarının en çok görüldüğü bölge olması sebebiyle meyve dokusunun sulanma durumu gözlemlenmiştir. Bu üç bölgenin optimum değerlendirilmesiyle meyvenin olgunluk durumu belirlenmiştir.

Tez çalışmasının son aşamasına kadar Merve DOĞRUYOL ile birlikte gerçekleştirdiğim inceleme/çözümleme sonuçlarını değerlendirerek ülkemizde bilimsel anlamda henüz üretilmemiş olan el tipi bir prototip cihaz geliştirildi. Şekil 6.1'de, tasarlanan cihazın sembolik gösterimi yer almaktadır. Cihazda bulunan Grafik LCD ekran sayesinde kullanıcıya anlamlı verilerin gösterilmesi sağlanmıştır. Işık kaynağı ve detektörlerin uygun kullanımı ve yazılımla mikrodenetleyici tarafından verimli bir şekilde kontrol edilmesi sağlanarak geçerli ölçüm sonuçlarının elde edilmesi sağlanmıştır. Meyvelerin olgunluk düzeyleri (renk oluşumu, etlenme ve sulanma) yüzdelik olarak gösterildiği gibi, ham, yarı-olgun ve olgun şeklinde belirtilerek de gösterilmiştir. Meyvelerin koparılması için uygun olan zaman uygun bir algoritma ile belirlenebilecektir.



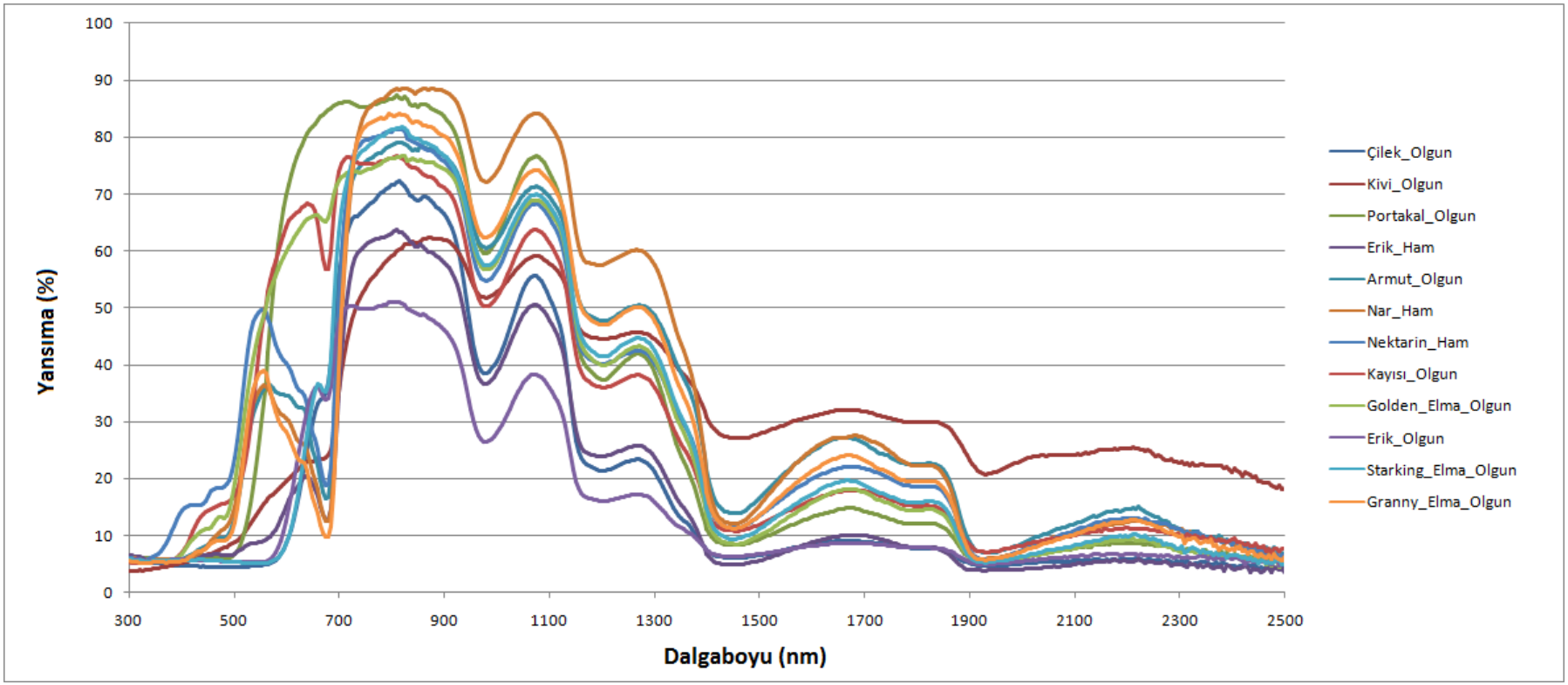
Şekil 6.1: Tasarlanan cihazın sembolik gösterimi.

Tasarlanan prototip cihaz ile yapılan Starking cinsi olgun bir elmanın yansıma ölçümü, spektrofotometre ile yapılan yansıma ölçümü ile karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça yakın elde edildiği gözlemlenmiştir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2: Spektrofotometre ile prototip cihazın ölçümlerinin karşılaştırılması.

Sonuç olarak, cihazın ölçüm sonuçlarına göre meyvenin olgunluğu hakkında karar vermesi, iki unsurun değerlendirilmesiyle sağlanmıştır. Birincisi, meyvenin türüne göre yansıma değerlerinin maksimumu gösteren (pik) noktalarına karşılık gelen dalgaboyu değeri ve bu noktaların ±10 nm aralığındaki değerleri ayrıca kaydedilerek o türe ait referans değerler ile karşılaştırılması sağlanmıştır. Bu sonuca göre türün



Şekil 6.3: Perkin Elmer Lambda 900 UV/Vis/NIR Spektrofotometresi kullanılarak belirtilen meyvelerin olgunluk çözümlemeleri.

doğruluğu konusunda değerlendirme yapılmıştır. VIS bölgede pik noktalarının değerinin yüksek olması meyve kabuğundaki klorofil pigment sayısının çoğaldığını dolayısıyla olgunluğun arttığını göstermektedir. Pik noktalarının kontrol edilebilmesiyle aynı tür meyvenin ham, yarı olgun veya olgun olduğuna karar verebilmesi kolaylaştırılmıştır.

İkincisi, meyve dokusunun hücre yapısı ve su içeriğinin ölçümü NIR bölgesinde gerçekleştirilerek olgunluk çözümlemesi yapılabilmiştir. Yine referans değerler ile ölçüm değerlerinin karşılaştırılması sonucu aynı tür meyvenin ham, yarı olgun veya olgun olduğuna karar vermesi sağlanmıştır.

Bu cihaz, ışık kaynaklarının güçlendirilmesi ve dedektör türlerinin değiştirilmesi ile daha da geliştirilebilir. Spektral bölgeleri (UV/VIS/NIR bölgeleri) farklı olan ışık kaynakları kullanılarak farklı dokuların yansıma spektroskopisi ölçümleri yapılabilir. Bu çalışmanın ileriki boyutunda farklı dokuların çözümlemesi için cihazın özelliğinin değiştirilmesi/farklı dokulara özgü olacak şekilde yeniden tasarlanması planlanmaktadır. Böyle bir cihazda sadece UV ve NIR ışık kaynakları kullanılarak insan derisi üzerinden yaşlanma derecesi, yara/yanık iyileşmesi ölçümleri yapılabilir. Ayrıca bu cihaza uygun optik lif prob tasarımı ile doku yüzeyinden daha hassas ölçümler yapılabilir.

Belirli dalgaboylarında ve güçlü ışık kaynakları kullanılarak daha kalın kabuklu meyvelerin olgunluk çözümlemeleri de yapılabilir. Yine ışık kaynaklarının değiştirilmesi ile tezin giriş bölümünde belirtilen meyvenin diğer niteliksel ölçümleri de yapılabilecektir. Bu cihaz istenilen sayıda referans kaydını sağlayan esnek yazılım yapısıyla binlerce tür meyvenin ölçülebilmesine (~150.000 meyve türü) olanak sağlamaktadır. Ölçüm süresinin (~5 saniye) çok kısa olması çözümlemelerin daha hızlı dolayısıyla belli bir sürede daha fazla örneğin ölçülmesini sağlamaktadır.

İnce film kaplamaların uygulandığı malzemelerin çözümlemelerinin yanısıra kompozit malzemelerin dayanıklılık özelliklerinin geliştirilmesi için kullanılan bileşiklerin de optik özelliklerinin nitelik çözümlemeleri de yapılabilecektir.

KAYNAKLAR

[1] **Galvao, L. S., Formaggio, A. R., & Tisot, D. A.** (2005). Discrimination of sugarcane varieties in Southeastern Brazil with EO-1 Hyperion data. Remote Sensing of Environment, **94**, 523-534.

[2] **Carlomagno, G., Capozzo, L., Attolico, G., & Distante, A.** (2004). Non-destructive grading of peaches by near-infrared spectrometry. Infrared Physics and Technology, **46**, 23-29.

[3] **Sirisomboon, P., Tanaka, M., Jujita, S., & Kojima, T.** (2007). Evaluation of pectin constituents of Japanese pear by near infrared spectroscopy. Journal of Food Engineering, **78**, 701-707.

[4] **Lammertyn, J., Nicolai, B., Ooms, K., de Smedt, V., & de Baerdemaeker, J.** (1998). Non-destructive measurement of acidity, soluble solids, and firmness of jongold apples using NIR-spectroscopy. Transactions of the ASAE, **41**, 1089-1094.

[5] **Pedro, A. M. K., & Ferreira, M. M. C.** (2005). Nondestructive determination of solids and carotenoids in tomato products by near-infrared spectroscopy and multivariate calibration. Analytical Chemistry, **77**, 2505-2511.

[6] **A. Peirs, N. Scheerlinck, B.M. Nicolai,** (2003). Temperature compensation for near infrared reflectance measurement of apple fruit soluble solids contents. Postharvest Biol. Technol. **30(3)**, 233-248.

[7] **A. Peirs, J. Tirry, B. Verlinden, P. Darius, B.M. Nicolai,** (2003). Effect of biological variability on the robustness of NIR models for soluble solids content of apples. Postharvest Biol. Technol. 28(2), 269-280.

[8] **M. Ventura, A. de Jager, H. de Putter, F. Roelofs,** (1998). Non-destructive determination of soluble solids in apple fruit by near infrared spectroscopy (NIRS). Postharvest Biol. Technol. **14(1)**, 21-27.

[9] **B.M. Nicolai, K.I. Theron, J. Lammertyn,** (2006). Kernel PLS regression on wavelet transformed NIR spectra for prediction of sugar content of apple. Chemom. Intell. Lab. Syst. **85(2)**, 243-252.

[10] **Y.B. Ying, Y.D. Liu, X.P. Fu,** (2006). Soluble solids content prediction of apple using near-infrared spectroscopy treated by wavelet transform. Spectrosc. Spectr. Anal. **26(1)**, 63-66.

[11] **J.-M. Roger, F. Chauchard, V. Bellon-Maurel,** (2003). External parameter orthogonalisation of PLS application to temperature-independent measurement of sugar content of intact fruits. Chemom. Intell. Lab. Syst. **66(2)**, 191-204.

[12] **M.N. Merzlyak, A.E. Solovchenko, A.I. Smagin, A.A. Gitelson,** (2005). Apple flavonols during fruit adaptation to solar radiation: spectral features and technique for non-destructive assessment. J. Plant. Physiol. **162(2)**, 151-160.

[13] **V.A. McGlone, R.B. Jordan, P.J. Martinsen,** (2002). Vis/NIR estimation at harvest of pre- and post-storage quality indices for 'Royal Gala' apple. Postharvest Biol. Technol. **25(2)**, 135-144.

[14] **A. Peirs, A. Schenk, B.M. Nicolai,** (2005). Effect of natural variability among apples on the accuracy of VIS-NIR calibration models for optimal harvest date predictions. Postharvest Biol. Technol. **35(1)**, 1-13.

[15] **J. Xing, J. De Baerdemaeker,** (2007). Fresh bruise detection by predicting softening index of apple tissue using VIS/NIR spectroscopy. Postharvest Biol. Technol. **45(2)**, 176-183.

[16] **J. Xing, S. Landahl, J. Lammertyn, E. Vrindts, J.D. Baerdemaeker,** (2003). Effects of bruise type on discrimination of bruised and non-bruised 'Golden Delicious' apples by VIS/NIR spectroscopy. Postharvest Biol. Technol. **30(3)**, 249-258.

[17] **J. Xing, V. Van Linden, M. Vanzeebroeck, J. De Baerdemaeker,** (2005). Bruise detection on Jonagold apples by visible and near-infrared spectroscopy. Food Control **16(4)**, 357-361.

[18] **B.M. Nicolai, B.E. Verlinden, M. Desmet, S. Saevels, W. Saeys, K. Theron, R. Cubeddu, A. Pifferi, A. Torricelli,** (2008). Time-resolved and continuous wave NIR reflectance spectroscopy to predict soluble solids content and firmness of pear. Postharvest Biol. Technol. **47(1)**, 68-74.

[19] **X.P. Fu, Y.B. Ying, H.S. Lu, H.Y. Yu, H.R. Xu,** (2006). Application Fourier transform near infrared spectrometer in rapid estimation of soluble solids content of intact citrus fruits. Spectrosc. Spectr. Anal. **27(5)**, 911-915.

[20] **J.A. Cayuela,** (2008). Intact orange quality prediction with two portable NIR spectrometers. Postharvest Biol. Technol. **47(1)**, 75-80.

[21] **A.H. Gomez, Y. He, A.G. Pereira,** (2006). Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques. J. Food Eng. **77(2)**, 313-319.

[22] **V.A. McGlone, D.G. Fraser, R.B. Jordan, R. Kunnemeyer,** (2003). Internal quality assessment of mandarin fruit by vis/NIR spectroscopy. J. Near Infrared Spectrosc. **11(5)**, 323-332.

[23] **V.A. McGlone, R.B. Jordan, R. Seelye, P.J. Martinsen,** (2002). Comparing density and NIR methods for measurement of kiwifruit dry matter and soluble solids content. Postharvest Biol. Technol. **26(2)**, 191-198.

[24] **J. Kim, A. Mowat, P. Poole, N. Kasabov,** (2000). Linear and non-linear pattern recognition models for classification of fruit from visible-near infrared spectra. Chemom. Intell. Lab. Syst. **51(2)**, 201-216.

[25] **X.P. Fu, Y.B. Ying, H.S. Lu, H.R. Xu, H.Y. Yu,** (2007). Measurement of soluble solids content in watermelon by Vis/NIR diffuse transmittance technique. Sens. Instrumen. Food Qual. **1(1)**, 29-35.

[26] **C. Van Dijk, C. Boeriu, F. Peter, T. Stolle-Smits, L.M.M. Tijskens,** (2006). The firmness of stored tomatoes (cv. Tradiro). 1. Kinetic and near infrared models to describe firmness and moisture loss. J. Food Eng. **77(3)**, 575-584.

[27] **L. Xie, Y. Ying, T. Ying, H. Yu, X. Fu,** (2007). Discrimination of transgenic tomatoes based on visible/near-infrared spectra. Anal. Chim. Acta **584(2)**, 379-384.

[28] **Z. Seregely, T. Deak, G.D. Bisztray,** (2004). Distinguishing melon genotypes using NIR spectroscopy. Chemom. Intell. Lab. Syst. **72(2)**, 195-203.

[29] **Z. Schmilovitch, A. Mizrach, A. Hoffman, H. Egozi, Y. Fuchs,** (2000). Determination of mango physiological indices by near-infrared spectrometry. Postharvest Biol. Technol. **19(3)**, 245-252.

[30] **Yıldız, F.,** (2012). "NIR-IR Laserlerin Karaciğer Üzerindeki Etkilerinin in vitro Ortamda Araştırılması ve Karşılaştırılması" Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[31] **Raulin, C., and Karsai (eds.), S.** (2011). "Laser and IPL Technology in Dermatology and Aesthetic Medicine" DOI: 10.1007/978-3-642-03438-1.

[32] **Cilesiz, I.**, **(**2014). BM582 Spec. Stud. Fundamentals of Photonics. Ders notları, Bogaziçi Üniversitesi, Istanbul.

[33] **Mansouri, C., and Kashou N.H.,** (2012). "New Window on Optical Brain Imaging; Medical Development, Simulations and Applications", Selected Topics on Optical Fiber Technology, Dr Moh. Yasin (Ed.).

[34] **Welch, A.J., van Gemert, M.J.C.** (2011). "Optical-Thermal Response of Laser-Irradiated Tissue", 2nd ed. DOI 10.1007/978-90-481-8831-4.

[35] **Mobley, J., Vo-Dinh, T.,** 2003. Optical Properties of Tissue, in Biomedical Photonics Handbook, Chapter 2.

[36] **Biyolojik Dokuların Soğurma Bandı**
<http://omlc.ogi.edu/classroom/ece532/class3/muaspectra.html>
Erişim Tarihi: 20.04.2014

[37] **Deniz, S. M.,** (2006). "Biyolojik Dokuların Esnek Saçılım Spektroskopisi Verilerine Göre Sınıflandırılması" Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[38] **Peng, Q., Juzeniene, A. , Chen, J., O Svaasand,L., Warloe, T., Giercksky, K.R ve Moan, M.** (2008). "Lasers in medicine" Rep. Prog. Phys., volume **71**, issue 5, doi:10.1088/0034-4885/71/5/056701.

[39] **Fotosentez Olayında Işığın Soğurulması**

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/biology/ligabs.html>

Erişim Tarihi: 22.02.2014

[40] **Herold, B.,** (2008). “Monitoring and Mapping of Fresh Fruits and Vegetables Using VIS Spectroscopy” ,Taylor & Francis Group, LLC.

[41] **LED Çeşitleri**

<http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode>

Erişim Tarihi: 10.03.2014

[42] **LED’in İç Yapısı**

<http://www.icatlarbuluslar.com/led-lambanin-icadi-ledi-kim-buldu.html>

Erişim Tarihi: 10.03.2014

[43] **IR LED**

<http://www.smartprj.com/catalog/index.php?main_page=product_info&products_id=226>

Erişim Tarihi: 10.03.2014

[44] **RGB LED**

<https://solarbotics.com/download.php?file=1563>

Erişim Tarihi: 10.03.2014

[45] **RGB LED İç Yapısı**

<http://www.emo.org.tr/ekler/956c5080dc82dda_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube= >

Erişim Tarihi: 10.03.2014

[46] **Hüseyin Sarı Optoelektronik Ders Notları Bölüm 16**

<http://www.huseyinsari.net.tr/ders-optoelektronik.htm>

Erişim Tarihi: 10.01.2014

[47] **Pastacı, H.**, (1991). “Çözümlü Elektronik Devre Problemleri”, Yıldız Teknik Üniversitesi.

[48] **PIC18F4550 Mikrodenetleyicisinin Katalog Bilgisi**

<ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>

Erişim Tarihi: 20.07.2013

[49] **DAC101C085 Entegresinin Katalog Bilgisi**

<www.ti.com/cn/lit/gpn/dac101c085>

Erişim Tarihi: 20.07.2013

[50] **MikroC Derleyicisi**

<http://www.mikroe.com/>

Erişim tarihi:01.10.2013

[51] **Foto Diyot Katalog Bilgisi**

<http://www.everlight.com/datasheets/PD204-6C-L3_datasheet.pdf>

Erişim tarihi:05.01.2014

EKLER

EK-A: Grafik LCD'nin pin tanımları

EK-B:PIC18F4550 Mirodenetleyicisinin çevresel birimlerle bağlantısında kullanılan pin numaralarına karşılık gelen anlamları

EK-C: Cihazın menü ve alt menü ekran görüntüleri

EK-A

Çizelge A.1: Grafik LCD'nin pin tanımları

Pin	Pin Sembolü	Pin Tanımı
1	Vdd	Besleme Gerilimi (+5V)
2	GND	Besleme Gerilimi (GND)
3	Vo	Kontrast Ayarı
4	DB0	Veri Yolu
5	DB1	Veri Yolu
6	DB2	Veri Yolu
7	DB3	Veri Yolu
8	DB4	Veri Yolu
9	DB5	Veri Yolu
10	DB6	Veri Yolu
11	DB7	Veri Yolu
12	CS1	Çip Seçimi IC1
13	CS2	Çip Seçimi IC2
14	RST	Sinyali Reset Yapma
15	R/W	Veri Okuma/Yazma
16	D/I	Veri/Komut
17	E	Sinyali Aktif Etme
18	Vee	Negatif Gerilim Çıkışı
19	A	LED için Besleme Gerilimi (+4.2V)
20	K	LED için Besleme Gerilimi (0V)

EK-B

Çizelge B.1: PIC18F4550 Mirodenetleyicisinin çevresel birimlerle bağlantısında kullanılan pin numaralarına karşılık gelen anlamları

Pin Numarası	Kullanımı
1	Micro SD Kart (SDO)(SPI HAB.)
2	Grafik LCD (Data Bus 4.bit)
3	Grafik LCD (Data Bus 5.bit)
4	Grafik LCD (Data Bus 6.bit)
5	Grafik LCD (Data Bus 7.bit)
6	VSS
7	VDD
8	Micro SD Kart (SDI)(SPI HAB.)
9	Micro SD Kart (SCK)(SPI HAB.)
10	Grafik LCD (CS1)
11	Grafik LCD (CS2)
12	ICSP (PGC)
13	ICSP (PGD)
14	Grafik LCD (RS,D/I)
15	Grafik LCD (R/W)
16	Grafik LCD (E)
17	Grafik LCD (RST)
18	MCLR
19	Micro SD Kart (CS)(SPI HAB.)
20	Tuş Takımı 6.bit
21	ADC
22	Tuş Takımı 5.bit
23	Tuş Takımı 4.bit
24	Tuş Takımı 3.bit
25	Tuş Takımı 2.bit
26	Tuş Takımı 1.bit
27	Tuş Takımı 0.bit
28	VDD
29	VSS
30	OSC1
31	OSC2
32	IR LED BESLEME
33	ICSP (ICRST,ICVPP)
34	Kullanılmıyor
35	DAC (SCL) (SOFT I2C HAB.)
36	DAC (SDA) (SOFT I2C HAB.)
37	Kullanılmıyor(VUSB)
38	Grafik LCD (Data Bus 0.bit)
39	Grafik LCD (Data Bus 1.bit)
40	Grafik LCD (Data Bus 2.bit)
41	Grafik LCD (Data Bus 3.bit)
42	Kullanılmıyor
43	Kullanılmıyor
44	Kullanılmıyor

EK-C

MIASpect

(a)

VIS/NIR
Spektrofotometre

(b)

Olcum yapmak icin
[*]'e basiniz...
Referans Kaydi icin
[#]'ye basiniz...

(c)

Referans Meyveler
[1]Golden Del_Apple
[2]Starking Del_Apple
[3]Granny Smith Apple
[4]Pear
[5]Strawberry
[#]Ana_menu

(d)

100
75
50
25
0
400 500 600 700 800 900
A 875
U 2.04

(e)

Nm_Sam: 580
Lev_Sam: 52
IR_Sam: 40
Basa_don[*]

(f)

(g)

(h)

(i)

(j)

(k)

Şekil C.1: Cihazın menü ve alt menü ekran görüntüleri. **(a,b)** İlk açılış, **(c)** İlk menü, **(d)** Ölçme alt menüsü, **(e-g)** Ölçülen bir örneğin grafiksel, niceliksel ve niteliksel ölçüm sonucu, **(h-k)** Referans alt menüsü

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ali SARIKAŞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Karaisalı/ADANA - 02.05.1988

E-Posta: asarikas@itu.edu.tr - ali.sarikas@marmara.edu.tr

Lisans: Marmara Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Öğr.(İng.) (2006-2010)

Mesleki Deneyim ve Ödüller: Marmara Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu'nda Araştırma Görevlisi (2011 - …..)

Güncel CV: <https://abb.marmara.edu.tr/cv/1658/ali-sarikas>