

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEYVE DOKUSUNUN SPEKTROSKOPİK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve DOĞRUYOL

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Biyomedikal Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEYVE DOKUSUNUN SPEKTROSKOPİK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Merve DOĞRUYOL
504121410**

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Biyomedikal Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İnci Çilesiz

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504121410 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Merve DOĞRUYOL** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MEYVE DOKUSUNUN SPEKTROSKOPİK İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. İnci ÇİLESİZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Fatma Zehra TEPEHAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. İlker BAYRAM
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **29 Nisan 2014**
Savunma Tarihi : **26 Mayıs 2014**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca bana destek olan, karşılaştığım problemlerde tecrübesini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, çalıştığımız süre boyunca kendisinden akademik olarak bir çok şey öğrendiğim ve çalışmaktan mutluluk duyduğum sevgili hocam Prof. Dr. İnci ÇİLESİZ'e,

Tez çalışmamda her türlü laboratuvar çalışmalarımı gerçekleştirmemi sağlayan Şişecam Araştırma Laboratuvar Müdürü Sn. Yük. Müh. Ateş PARLAR ve deneyler sırasında her zaman yol gösterici olan Sn. Oğuzhan KAFALI'ya,

Tezimin her aşamasında birlikte yol aldığımız ve çalışmamda sonsuz emeği geçen sevgili arkadaşım Araş. Gör. Ali SARIKAŞ'a,

Değerli manevi desteğini fikir ve önerileriyle hissettiren Dr. Ertuğrul BAŞAR'a,

Tüm öğrenim hayatım boyunca hep yanımda olan, bana inanan ve güvenen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2014

Merve DOĞRUYOL
(Araştırma Görevlisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	iii
1. GİRİŞ	1
2. MEYVE DOKUSU.....	3
2.1 Genel Yapısı	3
2.1.1 Meyvenin tanımı	3
2.1.2 Meyvenin olgunlaşması	4
2.1.3 Partenokarpi	4
2.1.4 Meyvenin tohum yapısı.....	5
2.1.4 Meyve kabuğu.....	5
2.2 Meyve Türleri.....	6
2.2.1 Kuru meyveler.....	6
2.2.2 Etli (sulu) meyveler.....	6
3. DOKUNUN OPTİK ÖZELLİKLERİ	9
3.2 Yansıma ve Kırılma	9
3.3 Soğurma	13
3.3 Saçılma	17
4. IŞIK DOKU ETKİLEŞİMİ.....	19
5. SPEKTROSKOPİ	23
6. DONANIM.....	31
7. YÖNTEM.....	33
8. ÖLÇÜMLER	39
8.1 Meyve Dokusu Ölçümleri– Yansıma	39

8.1.1 Granny smith elma olgunluk deneyi	39
8.1.2 Starking olgun elma deneyi.....	40
8.1.3 Starking ham elma deneyi.....	41
8.1.4 Golden elma deneyi.....	42
8.1.5 Kayısı deneyi.....	43
8.1.6 Ayva pütürlülük deneyi.....	44
8.1.7 Erik deneyi	45
8.1.8 Armut deneyi.....	46
8.1.9 Şeftali deneyi – yeşil kısım	47
8.1.10 Şeftali deneyi – sarı kısım	48
8.1.11 Şeftali deneyi – kırmızı kısım	49
8.1.12 Portakal kabuğu deneyi	50
8.1.13 Kivi deneyi	51
8.1.14 Nar – çilek deneyi	52
8.2 Meyve Dokusu Ölçümleri– Soğurma	53
8.2.1 Starking elma deneyi – soğurma grafiği	53
9. SONUÇ	55
KAYNAKLAR.....	57
EKLER.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	73

KISALTMALAR

GPS	: Küresel Yer Belirleme Sistemi (Global Positioning System)
FM	: Frekans Modülasyonu (Frequency modulation)
IR	: Kızılötesi (Infrared)
lcd	: Sıvı kristal ekran (Liquid Crystal Display)
mW	: Miliwatt
NIR	: Yakın Kızılaltı (Near Infrared)
nm	: Nanometre
OD	: Ortam Soğurganlığı (Optical density)
UV	: Ultraviyole Bölgesi (Ultraviolet)
Vis	: Görünür Bölge (Visible)
TV	: Televizyon (Television)
USB	: Evrensel Seri Yol (Universal Serial Bus)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Saçılma tipleri.....	17
Çizelge 5.1 : Görünür bölgedeki renklerin dalga boyu ve frekans değerleri.....	25

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Meyvenin gelişimi	3
Şekil 2.2: Meyvenin iç yapısı	5
Şekil 2.3: Meyve kabuğu	6
Şekil 2.4: Tezde yapılan çalışmanın şematik gösterimi	7
Şekil 3.1: Dokudaki soğuran ve saçan parçacıkların optik özellikleri.....	9
Şekil 3.2: Düzgün yüzeylerde yansıma ve kırılma durumlarının geometrik gösterimi	10
Şekil 3.3: Işığın bir ortamdan diğerine geçerken kırılması.....	10
Şekil 3.4: Işığın yüzeye çarptığında gerçekleşen durumlar ve formülleri	12
Şekil 3.5: Hava – Cam yüzeyi için fresnel katsayıların geliş açısına göre çizdirilen grafik	13
Şekil 3.6: Yansıma, kırılma, soğurulma ve saçılmanın geometrik gösterimi	14
Şekil 3.7: Bazı biyolojik dokuların soğurma özellikleri.....	15
Şekil 3.8: a) Soğurma spektrofotometresinin dış görünümü b) Spektrofotometre düzeneğinin iç yapısı.....	16
Şekil 3.9: Rayleigh ve Mie saçılmaları.....	18
Şekil 4.1: Protein, hemoglobin, melanin ve suyun soğurma spektrumu	19
Şekil 4.2: Işığın doku ile etkileşimi	20
Şekil 5.1: Elektromagnetik spektrum	23
Şekil 5.2: Isaac Newton tarafından geliştirilen ilk spektroskopik deney düzeneği	24
Şekil 5.3: Elektromagnetik etkileşimler.....	24
Şekil 5.4: Görünür bölge renk tayfı.....	25
Şekil 5.5: Spektrofotometrenin en genel hali	26
Şekil 5.6: Tungsten-halojen lambanın iç yapısı.....	27
Şekil 5.7: Işık filtreli monokromatör	28
Şekil 5.8: Prizmalı monokromatör	28

Şekil 5.9:	Tek monokromatörlü spektrofotometre.....	29
Şekil 5.10:	Çift monokromatörlü spektrofotometre	30
Şekil 6.1:	Perkin Elmer Lambda 900 spektrofotometresi.....	31
Şekil 6.2:	5 nm aralıklarla yapılan ölçümün ayarlanma aşaması	32
Şekil 7.1:	Lambda 900 spektrofotometresi.....	33
Şekil 7.2:	Meyvenin cihaza teması	33
Şekil 7.3:	Cihazın bağlı olduğu bilgisayarda kalibrasyon yapma aşamasındaki ekran görüntüsü	34
Şekil 7.4:	30.05.2013 tarihinde deneyleri yapılan meyvelerin grafik verileri	37
Şekil 7.5:	30.05.2013 tarihinde deneyleri yapılan meyvelerin grafiği	38
Şekil 8.1:	Granny Smith elma olgunluk deneyi.....	40
Şekil 8.2:	Starking elma deneyi.....	41
Şekil 8.3:	Starking ham elma deneyi	42
Şekil 8.4:	Golden Delicious iç-dış yüzey deneyi.....	43
Şekil 8.5:	Kayısı olgunluk deneyi.....	44
Şekil 8.6:	Ayva pütürlülük deneyi	45
Şekil 8.7:	Erik deneyi	46
Şekil 8.8:	Armut deneyi.....	47
Şekil 8.9:	Şeftali deneyi- Yeşil kısım.....	48
Şekil 8.10:	Şeftali deneyi – Sarı kısım	49
Şekil 8.11:	Şeftali deneyi – Kırmızı kısım	50
Şekil 8.12:	Portakal kabuk iç - dış deneyi.....	51
Şekil 8.13:	Kivi tüylülük deneyi	52
Şekil 8.14:	Nar – Çilek deneyi	53
Şekil 8.15:	Starking elma deneyi	54
Şekil A.1:	Elektromagnetik dalgaların üst üste binmesi	63
Şekil B.1:	Işığın Yayılma Biçimi.....	65
Şekil B.2:	Polarize düzlemi yz eksenini olan ve y ekseninde polarize edilmiş bir elektromagnetik dalga	66
Şekil B.3:	Normal ışığın polarize edilmesi	66

Şekil B.4: Doğrusal, dairesel, eliptik polarizasyon.....	67
Şekil B.5: Polarize olmuş ışık	68
Şekil B.6: Kutuplanmamış güneş ışığının hava molekülleri tarafından saçılması....	68
Şekil C.1: Perkin Elmer Lambda 900 spektrofotometresinin optik sistemi	69

SEMBOL LİSTESİ

θ	: Yüzeye geliş açısı
θ'	: Yansıma ve Kırılma açısı
λ	: Işığın dalga boyu
μ_a	: Soğurma katsayısı
μ_s	: Saçılma katsayısı
δ	: Optik girginlik
α	: Soğurulan maddenin konsantrasyonu
A	: Ortam soğurganlığı
c	: Işık hızı
D_2	: Döteryum
E_i	: Gelen ışık
E_r	: Yansıyan ışık
E_t	: Geçen ışık
f	: Frekans
g	: Anizotropi faktörü
h	: Planck sabiti
H_2	: Hidrojen
Hg	: Civa
I_0	: Bulunan andaki şiddet
$I(z)$	: z optik eksenine olan ışareti
J	: Joule
k'	: Konsantrasyon dışındaki iç parametreler
n	: Kırılma indisi
N	: Saçılma numarası
$r_{\perp}$	: Yansıyan ışığın dik durumu
r_p	: Yansıyan ışığın paralel durumu
R	: Saçılmaya olan uzaklık
s	: Saniye
$t_{\perp}$	: İletilen ışığın dik durumu
t_p	: İletilen ışığın paralel durumu
v_1	: Işığın yansıma yüzeyine çarpmadan önceki hızı
v_2	: Işığın yansıma yüzeyine çarpmadan sonraki hızı
W	: Wolfram
Xe	: Ksenon
z	: Optik eksen bileşeni

MEYVE DOKUSUNUN SPEKTROSKOPİK İNCELENMESİ

ÖZET

Gıda endüstrisinde, gıdanın güvenilirliği ve kalitesi, doğrudan insan sağlığını ilgilendirdiğinden önemli bir konudur. Son yıllarda gıda kalitesinin belirlenmesinde UV, Vis ve NIR Spektroskopisi kullanışlı, etkili ve hızlı bir teknik olarak önem kazanmıştır. Kemometrik ve bilişim teknolojisinin de ilerlemesiyle NIR spektroskopisinin kullanımı gıda kalitesi araştırmacıları tarafından sıklıkla tercih edilebilir duruma gelmiştir.

UV spektroskopisinde 100 - 390 nm, Vis spektroskopisinde 390 – 700 nm NIR spektroskopisinde ise 750 – 2500 nm aralığı değerlendirilir ve moleküler yapısal bilgi sağlayan yansıma (ve ince kesitlerinden geçirgenlik) ölçümleri temel alınır. UV, Vis ve NIR spektroskopisi cihazı içerisinde birkaç ışık kaynağı ile yine en az 2 ışık detektörünün olduğu ve bu detektörlerden alınan sonuçların izlendiği bir cihazdır.

Literatür araştırıldığında günlük tüketilen besinler süt, meyve, mısır, yağ, et, balık yağı, meyve suları, zeytinyağı ve daha birçok gıda ürünlerinde NIR spektroskopisi ile ölçümler yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmaların incelenmesi ile birlikte yapılan ön çalışmalar sonucunda belirli dalga boylarında meyve dokusu ile ışık arasında etkileşim izlenmiş ve yansıma bantları görülmüştür. Genel olarak UV/Vis/NIR elektromagnetik dalgalar doku ile etkileşime girdiğinde, dokunun optik özelliklerine göre soğurulabilir, saçılabilir yada etkileşime girmeden dokudan geçebilir. Bu yüzden dokunun hücresel bileşenleri her bileşenin kendine özgü yapısından dolayı farklı dalga boylarıyla farklı biçimde etkileşir. Yani optik dokuları belirleyici veya ayırt edici olur.

Meyvenin olgunluğunun belirlenmesinde 3 özellik incelenir ;

- 1) Meyve kabuğundaki pigmentler,
- 2) Meyvenin hücre yapısı,
- 3) Meyvenin su içeriği.

Bu çalışmada ölçümler sonucu belirlenmiş en fazla 6 farklı dalga boyunda ve her biri ortalama 10 mW gücünde elektromagnetik dalga kaynakları kullanılarak yapılan yansıma ölçümleri ile meyvelerin farklı olgunluk dönemlerinde alınacak veriler işlenerek incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar meyvelerin pigment yapısı, meyve et kısmı ve sulu kısımlarında belirli dalga boylarında etkileşim olduğunu göstermiştir. Etkileşim dalga boylarının her meyvede birbirine yakın belirgin değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda her meyve için kullanabilecek ortalama dalga boyları hesaplanarak kullanılacak ışık kaynaklarının dalga boyları belirlenmiştir.

SPECTROSCOPIC ANALYSES OF THE FRUIT TISSUE

SUMMARY

In food industry, reliability and quality of food is an important subject matter since it relates directly to the human health. In recent years, UV (Ultraviolet), Vis (Visible) and NIR (Near Infrared) spectroscopy have become popular since these are useful, effective and fast techniques. Spectroscopic measurements are preferred frequently since these measurements neither damage nor change the tissue on which they are applied. Due to advances in chemometric and informatics technology, the use of spectroscopy by food quality researchers have become very popular.

By performing spectroscopic measurements in a wider range, one can obtain more information in a wider spectrum interval. The following intervals are considered in UV, Vis and NIR spectroscopy, respectively: 100-390 nm, 390-700 nm and 750-2500 nm, and reflection measurements are considered to obtain information on molecular structure. There are two light sources as well as two light detectors in UV, Vis and NIR spectroscopy devices and in spectroscopy devices the results obtained from these two detectors are monitored.

In this study, measurements were performed in 280-2500 nm interval. This 280-2500 nm interval occupies UV/Vis/NIR regions. Two light sources were exploited in the aforementioned device, while for the spectrum interval corresponding to NIR and Vis regions an halogen lamp was used. On the other hand, for the spectrum interval corresponding to the UV region, a spectrophotometer having a deuterium lamp was used. Integrating sphere reflection measurements assures that results are obtained accurately and reliably from all parts of the tissue and from all angles. Calibration of the device was repeatedly performed every time it was turned on and the lamps were replaced every six months. The data obtained after measurements was transferred to a computer. In order to evaluate the gathered data, Powerful UV Winlab software was used in the processing computers.

In literature, researchers performed measurements using spectroscopic methods on daily consumed foods such as milk, fruit, corn, oil, meat, fish oil, fruit juice, olive oil and so on. By the review of the current works in the literature, we observed through first studies that there is an interaction between the fruit tissue and light at certain wavelengths and reflection bands were observed. Generally, when fruit tissues are exposed to UV/Vis/NIR electromagnetic waves, these waves can be absorbed, scattered or penetrate through the tissue without interaction according to the optical properties of the tissue. Therefore, the cell structure of the tissue interact with different wavelengths in a different ways due to the distinctive structure of the tissue's cell structure. In other words, the cell structure determines optical properties and can be distinctive.

The following three features were investigated to determine the fruit ripening

- 1) The pigments at the pericarp of the fruit
- 2) The cell structure of the fruit
- 3) The water content of the fruit

In this study, using reflection measurements at six different wavelengths, the data obtained at different ripening stages were processed and investigated. These six different wavelengths were determined with measurements and in reflection measurements, electromagnetic sources of 10 mW power were considered.

Reflection bands formed by the tissue were investigated in detail in three parts: color region of the tissue, the region contains the tissue pigments and the water region inside the tissue. During experiments, according to the studies performed at color pigment regions, we observed that different fruits show absorption percentage peak values at different wavelengths in the provided figures. First, these peak values correspond to the visible region of the electromagnetic spectrum. Second, the observed region is the region of tissue pigments and cell structure. In spite of the fact that different fruits show different absorption percentage peak values, we also observed that the fruits of the same kind can show different peak values at different times or when they were kept for some time. Finally, it is observed that the water absorption bands of the fruit tissue were more intense at specific wavelengths of the absorption band (such as 980 nm, 1250 nm, 1480 nm ve 1950 nm); however, it is seen that the depth of the concavities at the graphics of this region varies according to the maturity of the fruit tissue. We observed that with the increasing maturity of the fruit tissue, the mentioned concavities at the graphics become more apparent.

According to the collected results, there is an interaction at specific wavelengths for the pigment structure of the fruit, fleshy fruit and juicy fruit. We observed that interaction wavelengths were specific values, which were close to each other for different fruits. Considering this fact, the wavelength of the light sources were determined by the calculation of the average wavelength that can be used for each fruit.

Contrary to the studies given in literature, water content and color changes of the fleshy part of ten different types of fruits (apple-granny smith, apple-starking, apple-golden, plum, pear, apricot, peach, kiwifruit, pomegranate, strawberry and quince) are investigated in this study. Additionally, absorption percentance differences which were obtained from gritty and non-gritty surfaces of the pericarp of different fruits and color and water content changes according to the inner or outer layers of the fruit pericarp were analyzed. Moreover, the measurement value differences in the peak values show the inner cell structure after purification of the fluffies as well as the percentange differences in the absorption band of the water content of the inner cell structure of the two different types of fruits at the same color were investigated.

As using the results of this work a original handheld device was developed by my fellow graduate student friend Ali SARIKAŞ to analyze several harvesting time, the maturity of the inner structure and the water content of the fruits. Measurement results can be monitored over the LCD display which is installed on the developed hand-held device and the corresponding results can be obtained as percentage. Specific percentage intervals can be displayed 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.

1. GİRİŞ

Gıda endüstrisinde, gıdanın güvenilirliği ve kalitesi, doğrudan insan sağlığını ilgilendirdiğinden önemli bir konudur. Son yıllarda gıda kalitesinin belirlenmesinde UV/Vis/NIR spektroskopisi kullanışlı, etkili ve hızlı bir teknik olarak önem kazanmıştır [1].

Literatür araştırıldığında günlük tüketilen besinler meyve, sebze ve daha birçok gıda ürünlerinin kalitesinin belirlenmesinde, tahribat yapmadan spektroskopik yöntemler kullanılarak ölçümler yapıldığı görülmüştür [1-5,7]. Dokunun hücresel bileşenleri, her bileşenin kendine özgü yapısından dolayı farklı dalga boylarıyla farklı biçimde etkileşir. Yani optik dokuları belirleyici veya ayırt edici olur.

Meyve kalitesinin değerlendirilmesinde UV/Vis/NIR spektroskopik teknikleri 1960lardan bu yana pratik bir araç olmuş ve geniş bir kullanım alanında yer almıştır[3]. Lammertyn ve diğ. [4] NIR spektroskopik tekniğini kullanarak elmaların şeker içeriği, asitliği, sertliği ve su içeriğini; Carlomagno ve diğ. [5] şeftalilerin şeker içeriğini; Galvao ve diğ. [6] şeker pancarının sululuğunu, şeker içeriğini, sukroz (sucrose) ve şekerin azaltılmasını; Pedro ve diğ. [7] domateslerin şeker içeriğini ve titrasyon asitliğini; Sirisomboon ve diğ. [8] armutların şeker içeriğini; McGlone diğ. [9] kivilerin sertliğini; Peirs ve diğ. [10] elmaların en uygun hasat zamanının tespitini; Park ve diğ. [11] Golden Delicious elmaların sertliğini; Xing ve diğ. [12] Golden Delicious elmaların zedelenmesini; Nicolai ve diğ. [13] armutların sertliğini analiz etmişlerdir.

Yapılan bilimsel literatür araştırmaları doğrultusunda bu tez çalışmasında, 280-2500 nm geniş dalga boyu aralığını kapsayan UV/Vis/NIR bölgelerinde on çeşit (elma-granny smith, elma-starking, elma-golden, erik, armut, şeftali, kayısı, kivi, portakal, nar, çilek ve ayva) meyve üzerinde yansıma spektroskopisi tekniği kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu analizlerle meyve dokularının spektroskopik özelliklerinin araştırılarak olgunluklarının (renk, etlenme, sululuk) tespiti yapılmıştır.

Bu çalışmaların incelenmesi ile birlikte yapılan n çalışmalar sonucunda; belirli dalga boylarında meyve dokusu ile ışık arasında etkileşim izlenmiş ve farklı miktarda yansıma bantları oluştuğu görülmüştür.

Tez alışması giriş bölümü dışında 9 bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde meyve dokusunu, genel yapısı ve türleri anlatılmıştır. nc bölümde dokunun optik özellikleri anlatılmış buna bağlı olarak dördüncü bölümde ışık doku etkileşimi ele alınmıştır. Beşinci bölümde spektroskopi konusu genel olarak işlenmiştir. Altıncı bölümde bu çalışmada kullanılan cihazın donanımı hakkında genel bilgilendirilme yapılmış ayrıntılı bilgiye ekte yer verilmiştir devamında yedinci bölümde kullanılan cihazla meyvelerin temasından bahsedilmiş, cihazla yapılan aşamalar üzerinde kısaca durulmuştur. Sekizinci bölümde meyve dokusu ile yapılan çalışmalar sonuçlarıyla birlikte işlenmiştir. Çalışmanın son bölümünde de sonuç kısmı sunulmuştur.

2. MEYVE DOKUSU

Bu bölümde, meyvelerin iç yapısı, içeriği ve kabuğun yapısı hakkındaki bilimsel literatür incelenmiştir.

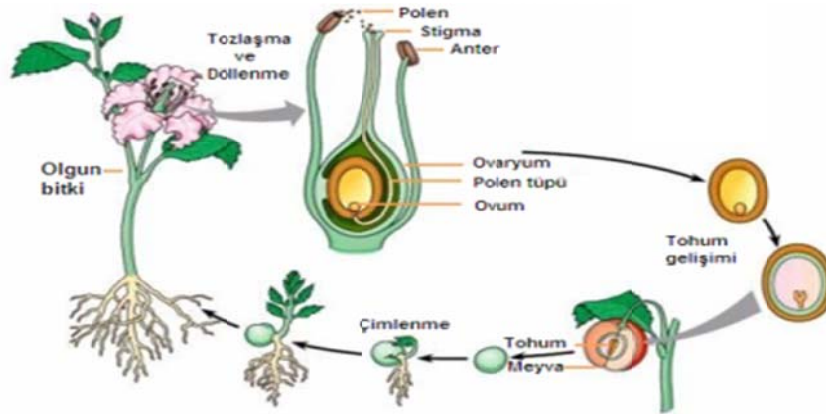
Meyve hücrelerinin duvarları, taze meyvelerin doku özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır [14]. Meyvenin olgunlaşması ve yumuşaması süresince, her bir çeşit meyvenin hücre duvarlarında yapısal ve kimyasal değişiklikler oluşmaktadır [15-18].

2.1 Genel Yapısı

2.1.1 Meyvenin tanımı

Meyve, çiçeğin dişi organının tozlaşma ile döllenme sonunda farklılaşıp, yumurtalığın gelişmesiyle meydana gelen ve tohumları taşıyan organdır. Olgunlaşmada ovaryum olgunlaşarak meyveyi oluşturur [19].

Meyveler doğada yalnızca çiçekler verimli bir şekilde tozlaşmışsa gelişmektedir. Eğer tozlaşma gerçekleşmezse, tüm çiçekler büzüşür ve meyve oluşmaz. Gelişen tohumlar yumurtalık duvarının içerisinde tenefüs eden ve onun büyümesine neden olan hormonlar ürettiği zaman meyve gelişimi gerçekleşmektedir. Meyvenin oluşumunda oksin ve giberellin hormonları etki etmektedir [20].



Şekil 2.1 : Meyvenin gelişimi [20].

2.1.2 Meyvenin olgunlaşması

Meyve olgunlaşmasına bağlı değişen fizyolojilerinin yapılan çalışmalarda türlere bağlı olarak farklılık gösterdiği görülmüştür. Üzüm, turunçgiller ve çilek gibi meyveler kademeli olarak olgunlaştıkları görülürken, domates, elma ve armut gibi diğer meyveler ise sürekli olgunlaşmaya yatkın (climacteric) yapıda oldukları görülmüştür. Bu fizyolojik gelişmeler meyve tarafından absorbe edilen oksijen miktarındaki etkileyici artış ve ardından perikarpın rengi ve fiziksel doğasındaki hızlı değişiklikleri ortaya çıkarmaktadır.

Meyve olgunlaşması önemli bir süreç olup tohumların verimli bir şekilde yayılması için mutlaka düzgün bir şekilde gerçekleşmelidir. Domates, kiraz, elma, portakal ve muz gibi etli meyvelerde meyve olgunlaşması perikarpta birçok önemli değişiklik yapmaktadır.

En gözlenebilir değişiklik meyvenin renginde olmaktadır. Olgun olmayan meyvelere dış katmanlarının duvarlarındaki klorofil pigmentinin varlığından ötürü yeşil renktedir. Meyveler olgunlaştıkça klorofil yapısı bozulmakta ve turuncu, sarı, kırmızı ve mor gibi diğer renkler ortaya çıkmaktadır. Bu renkler, olgunlaşmamış meyve içerisinde bulunan ve klorofil tarafından maskelenen ya da meyve olgunlaştıkça oraya çıkan pigmentlerden kaynaklanmaktadır. Perikarpın yüzeyi ve kimsayal birleşimi de değişmektedir.

Birçok meyve, perikarptaki hücre duvarlarının zayıflamasıyla olgunlaşmakta ve dolayısıyla yumuşamaktadır. Aynı zamanda perikarptaki nişasta ya da yağlar fruktoz gibi basit şekerlere kimyasal olarak dönüşmektedir.

2.1.3 Partenokarpi

Döllenme olmadan tohumsuz meyve oluşumuna partenokarpi (partenocarpy) ve bu şekilde oluşan tohumsuz meyvelere de partenokarp (partenocarp) meyve adı verilir. Meyvelerin yetişmesi için gerekli olan oksin (auxin) ve giberelin (giberellin) hormonları bu tip meyvelerde dışarıdan meyveye enjekte edilmektedir, böylece tohumsuz meyveler elde edilebilmektedirler. Muz, armut, portakal gibi partenokarpik meyvelerdir. Bu türlerde tohum oluşmazsa meyve tutumu gerçekleşebilmektedir. 3 çeşit partenokarpi görülür. Bunlar;

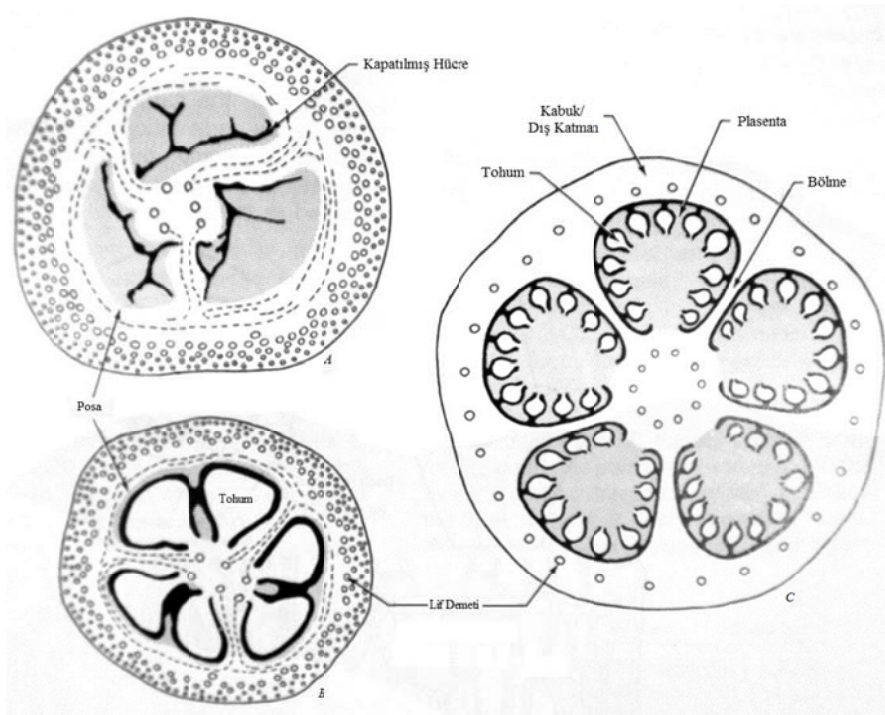
- Stimülatif Partenokarpi: Embriyo kesesinin kusurlu olması sebebiyle oluşur.

- Vejetatif Partenokarpi: Tohum taslaklarındaki şekil bozukluklarından ve embriyo kesesinin bulunmamasından kaynaklanmaktadır.
- Fakültatif Partenokarpi: Normal embriyo kesesine sahiptir fakat çiçek yapıları anormal olup çimlenme kabiliyetleri düşük olan meyvelerde görülmektedir [21].

2.1.4 Meyvenin tohum yapısı

Ovaryumu meydana getiren karpeller (meyve yaprağı), meyve kabuğu (perikarp) haline ve ovaryum içindeki tohum taslakları da tohum haline döner.

Hemen hemen her meyve perikarp olarak adlandırılan bir et katmanından oluşan genel bir yapıya sahiptir. Tohum ile perikarp arasında genellikle lokül olarak adlandırılan bir boşluk vardır. Bu yapıya güzel bir örnek olarak, turuncu dış yüzeyi perikarp olan, lokül içerisinde boşluk bulunan ve lokülün içerisinde tohumları olan balkabağı verilebilir.

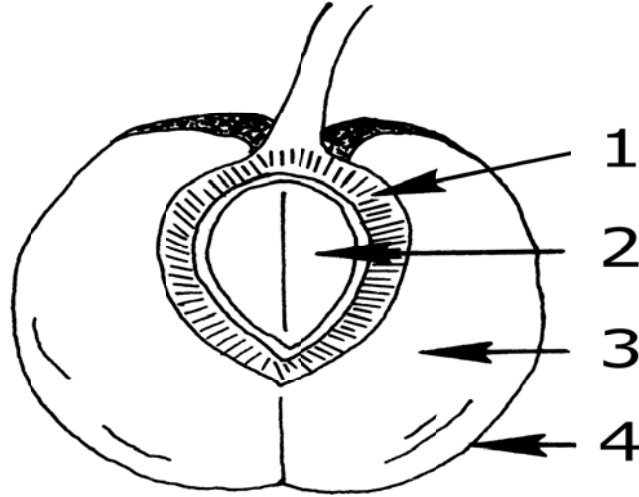


Şekil 2.2 : Meyvenin iç yapısı [22].

2.1.4 Meyve kabuğu

Meyveyi kaplayan meyve kabuğu olan perikarp 3 katmandan oluşmuştur (Şekil 2.3). Bunlar dıştan içe doğru;

- Dış tabaka (ekzokarp): ince ve zarımsıdır.
- Orta tabaka (mezokarp): sulanma bölgesidir.
- İç tabaka (endokarp): sert kısımdır.



Şekil 2.3 : Meyve kabuğu 1:Endokarp, 2:Tohum, 3:Mezokarp, 4:Ekzokarp.

2.2 Meyve Türleri

Meyveler perikarplarının doğasına göre etli (fleshy) ve kuru (dry) olmak üzere iki grupta incelenirler [23].

2.2.1 Kuru meyveler

Bazı bilinen kuru meyvelere örnek olarak baklagiller (legume), sert kabuklu meyveler (achenes), buğdaysı meyve (caryopsis), ayçiçeği (sunflower) verilebilir.

2.2.2 Etli (sulu) meyveler

Etli meyvelerin üç en ünlü türü etli ve tek çekirdekli (drupe), yumuşak ve küçük çekirdekli (berry), yumuşak çekirdekli (pome) türleridir.

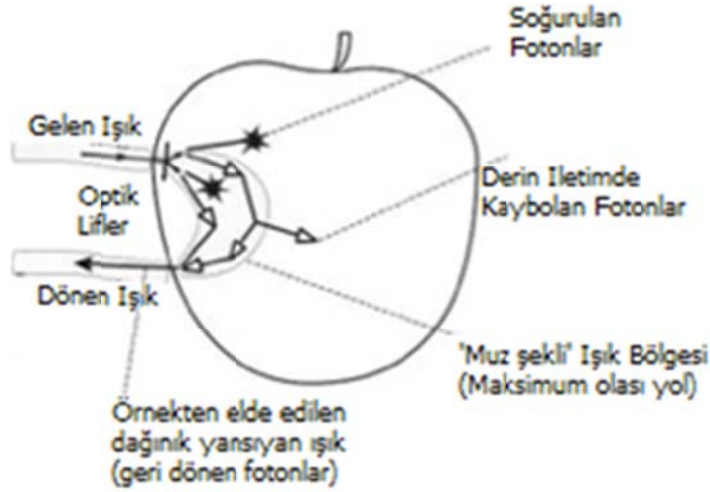
Etli ve tek çekirdekli (drupe) meyvelere şeftali, erik, zeytin ve kiraz örnek verilebilir. Tohumları sert yapıya sahiptir.

Yumuşak ve küçük çekirdekli (berry) meyvelere domates, üzüm, patlıcan örnek verilebilir. Tohumları küçük, yumuşak ve çok miktardadır.

Bu iki türdeki meyvelerin perikarpın orta (mezokarp) ve dış (ekzokarp) tabakaları sulu ve genellikle tatlıdır.

Yumuşak çekirdekli (pome) meyvelere elma örnek verilebilir. Çok sayıda tohum içerirler, perikarpını çevreleyen kalın yardımcı bir dokuya sahiptirler. Bu yardımcı doku genellikle sulu, tatlı ve yenilebilirdir.

Diğer etli meyveler narenciye (hesperidium) meyveleri ve pepo olup tüylü dış yüzeyleriyle karakterize edilirler. Citrus meyveler olarak da bilinen narenciyeler (hesperidium), şekerli ve asidik içeriğe sahip olup, aromatik yağlar bakımından zengin bir dış yüzeye sahiptir. Hesperidium ailesi portakallar, greyfurtlar, limonlar ve ıhlamuru içermektedir. Pepolar ise; pürüzsüz ya da farklı yapıda sert bir eksokarpa sahip olup normal olarak çok sayıda tohum içermektedir. Bunlara karpuz, kavun, kabak örnek olarak verilebilir.



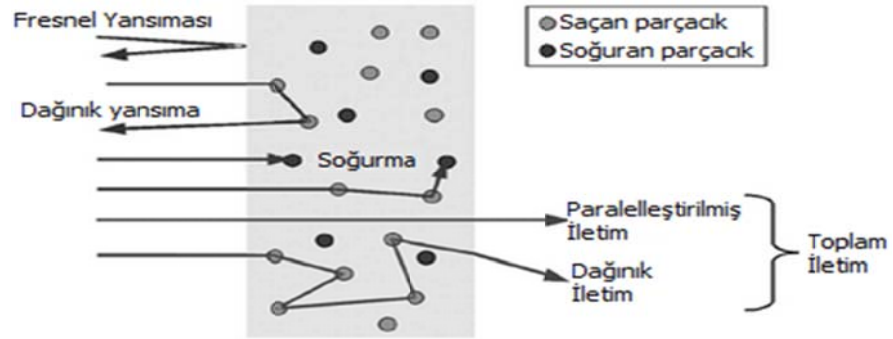
Şekil 2.4 : Tezde yapılan çalışmanın şematik gösterimi.

Bu çalışmada kullanılan meyveler etli (sulu) meyve çeşitleri olup genellikle çok çekirdekli meyveler kullanılmıştır. Meyvelerin kabuk yüzeyine ışın gönderilip, yüzeyden soğurulan ve yansıyan ışığın miktarlarının farklılığıyla, gönderilen ışığın şeklindeki yolu izleyerek (banana effect) soğurduğu ışık miktarının yüzdesiyle ilgili yorum yapılmıştır (Şekil 2.4). Yapılan deneylerde meyve dokusunun klorofil yapısının zamanla değişimi (renk, etlenme, sululuk) gözlenmiş, buna bağlı olarak zamanla soğurulan ışının farklı miktarlarda olduğu kanısına varılmıştır.

3. DOKUNUN OPTİK ÖZELLİKLERİ

Gelen ışık madde ile etkileştiğinde, çeşitli etkileşimler oluşturmaktadır. Bu etkileşimler;

- Yansıma ve Kırılma (Reflection & Refraction)
- Soğurma (Absorption)
- Saçılma (Scattering) durumlarıdır.



Şekil 3.8 : Dokudaki soğuran ve saçan parçacıkların optik özellikleri.

3.2 Yansıma ve Kırılma

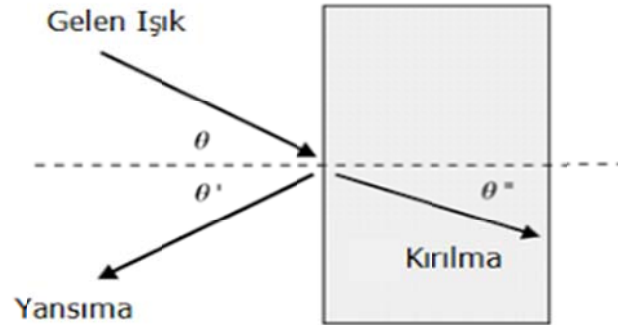
Elektromagnetik radyasyonun uygulandığı yüzeylerden yön ve doğrultu değiştirerek geri dönmesi olayına yansıma denir. Genel olarak yansıtıcı bir yüzey, hava ve doku gibi farklı kırılma indislerine sahip iki nesnenin arasındaki bir fiziksel sınırdır. Kırılma indisi farklı bir ortamdan diğerine geçerken ışığın bir kısmının yansıması geri kalan kısmının da yön değiştirmesi gerçekleşir. Yansıma kanunu olarak yüzeye gelen ışının normalle yaptığı geliş açısı ile yansıma açısı birbirine eşittir ($\theta = \theta'$) (Şekil 3.2).

θ' ve θ açıları sırasıyla yüzey normaline gelen ve yansıyan ışınların yüzey normaliyle arasındaki derecelerdir. Düzgün olmayan (dağınık) yüzeylerde her yüzeyin farklı bir yüzey normali varken, düzgün yüzeylerdeki düzensizlikler yansıma

dalga boyuna göre çok küçük olmaktadır, yüzey normali tektir. Bu durum (specular reflection) aynasal (düzgün) yansıma olarak adlandırılır.

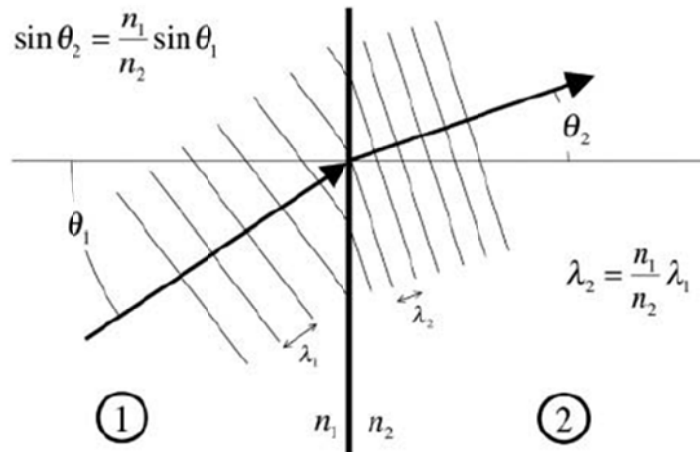
Ara yüzeyde dalgaların sağlaması gereken faz koşulu; yansıma ve kırılma (Snell Yasası) kanununu, genlik koşulu ise ortamlardaki enerji dağılımı (Fresnel Eşitlikleri) bilgisini verir.

Faz koşulu ile ilgili ayrıntılı bilgi Ek A’dadır.



Şekil 3.2: Düzgün yüzeylerde yansıma ve kırılma durumlarının geometrik gösterimi.

Yansıtıcı yüzey, farklı kırılma indislerine sahip iki farklı ortamı birbirinden ayırdığı zaman kırılma gerçekleşmektedir. Kırılma indisi bulunduğu yerden daha düşük bir yere geçen ışının davranışı Şekil 3.3’teki gibidir;



Şekil 3.3 : Işığın bir ortamdan diğerine geçerken kırılması.

Kırılma, ışık dalgasının bir ortamdan kırılma indisi farklı bir ortama geçerken değişimden kaynaklanmaktadır. Kırılmayla ilgili temel matematiksel eşitlik Snell kanunu olarak bilinmektedir. Kanunla ilgili eşitlik ;

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1}, \quad (3.1.1)$$

buradaki θ_1 kırılma açısını, v_1 ve v_2 ise ışığın yansıma yüzeyine çarpmadan önceki ve sonraki hızlarıdır. Kırılma indisleri;

$$n = \frac{c}{v}, \quad (3.1.2)$$

$$n' = \frac{c}{v'}, \quad (3.1.3)$$

şeklinde ifade edilirler, $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$ boşluktaki ışık hızını temsil etmektedir ve eşitlik 3.1.2 ve 3.1.3 eşitliklerinden;

$$n_1 \cdot \sin\theta_1 = n_2 \cdot \sin\theta_2 \quad (3.1.4)$$

(Snell Kanunu) şekline dönüşür.

Kırılma indisi dalga boyu ilişkisi (3.1.5) şeklinde ifade edilebilir;

$$\tilde{n}(\lambda) = n(\lambda) - ia(\lambda) \quad (3.1.5)$$

Denklemden belirtilen $\alpha(\lambda)$ soğurmadan kaynaklanan zayıflamanın ifadesidir. Buradaki kırılma indisi reel kısım olarak ifade edilmektedir;

$$\text{Re}[\tilde{n}(\lambda)] = n(\lambda) \quad (3.1.6)$$

Fotonun enerjisi denklemlerden;

$$E = \frac{c}{\lambda} = hf \quad (3.1.7)$$

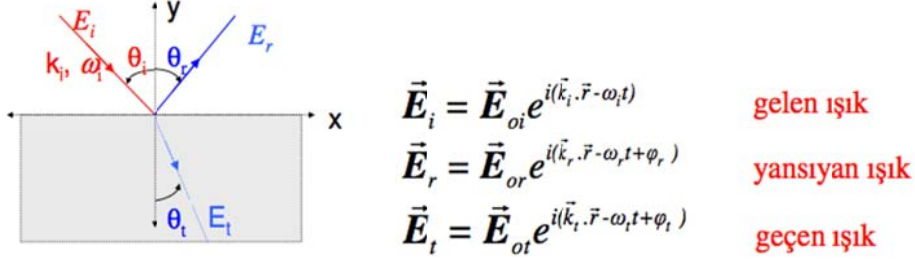
olarak bulunur ve ($h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$) foton ile aynı yöndedir.

Yansıma ve iletim açıları, polarizasyonu ve sınır yüzeyini oluşturan malzemenin kırılma indisine bağlıdır. Polarizasyon ile ilgili ayrıntılı bilgi Ek B'dedir.

Işığın yansıması ve iletilmesi arasındaki sayısal ilişki Fresnel yasaları olarak

bilinmektedir.

Ara yüzeyde gelen, geçen ve yansıyan dalgaların sınır şartlarını sağlanması gerekir. Işık dalgası ifadesinde hem genlik hem de faz terimi olduğundan ara yüzeyde dalgaların sınır koşullarının her iki terimi de aynı anda sağlaması gerekir.



Şekil 3.4 : Işığın yüzeye çarptığında gerçekleşen durumlar ve formülleri.

Şekil 3.4'te belirtilen E_i , E_r , E_t sırasıyla yüzeye gelen, yansıyan ve geçen ışık denklemlerinin üstel olarak verilmiş ifadelerinin karşılığıdır. Işık dalgası hem genlik hem de faz terimi olduğundan ara yüzeyde dalgaların sınır koşullarının her iki terimi de aynı anda sağlaması gerekir. Bu ifadelerin sağlanması sonucunda Fresnel eşitlikleri meydana gelir.

Yansıyan ve iletilen ışığın paralel durum için Fresnel formülleri ;

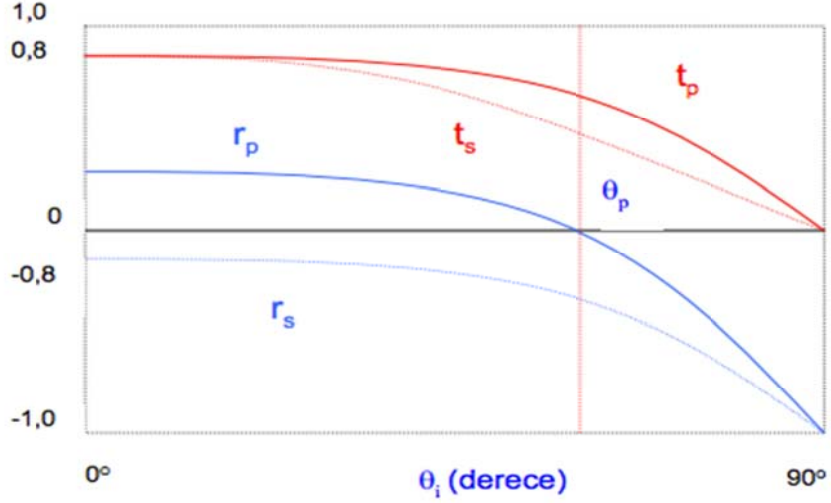
$$r_p = \left(\frac{E_r}{E_i}\right)_p = (-n_i \cdot \cos \theta_t + n_t \cdot \cos \theta_i) / (n_i \cdot \cos \theta_t + n_t \cdot \cos \theta_i) \quad (3.1.8)$$

$$t_p = \left(\frac{E_t}{E_i}\right)_p = (2n_i \cdot \cos \theta_i) / (n_i \cdot \cos \theta_t + n_t \cdot \cos \theta_i) \quad (3.1.9)$$

Yansıyan ve iletilen ışığın dik durum için Fresnel formülleri ;

$$r_{\perp} = \left(\frac{E_r}{E_i}\right)_{\perp} = (n_i \cdot \cos \theta_i - n_t \cdot \cos \theta_t) / (n_i \cdot \cos \theta_i + n_t \cdot \cos \theta_t) \quad (3.1.10)$$

$$t_{\perp} = \left(\frac{E_t}{E_i}\right)_{\perp} = (2n_i \cdot \cos \theta_i) / (n_i \cdot \cos \theta_t + n_t \cdot \cos \theta_t) \quad (3.1.11)$$



Şekil 3.5: Hava–cam yüzeyi için fresnel katsayılarına geliş açısına göre çizdirilen grafik.

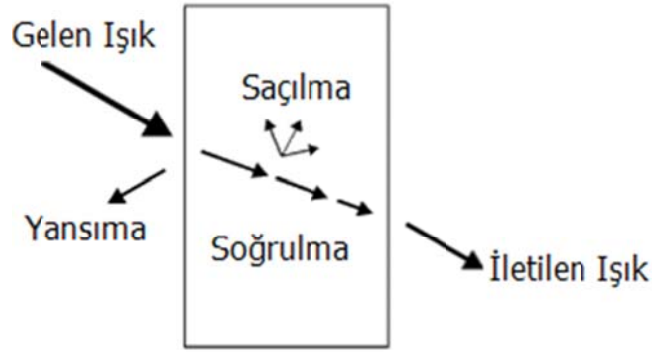
3.3 Soğurma

Bir ortamın içerisinde geçmekte olan gelen elektromagnetik dalganın yoğunluğu emilim esnasında azalır. Ortamın soğurması (absorbance), gelen ve emilen elektromagnetik dalganın yoğunlukların oranı olarak tanımlanır (Şekil 3.5).

Emilime, ışık enerjisinin kısmi olarak ısı hareketine (heat motion) dönüşümü ya da emilimi gerçekleştiren nesnenin moleküllerinin titreşimi neden olmaktadır. Kusursuz bir saydam (transparent) ortam hiçbir emilim olmaksızın gelen ışığın geçişine olanak sağlamaktadır; öyle ki, ortama giren ve ortamdan çıkan toplam ışıyan enerji (radiant energy) aynı olmaktadır.

Biyolojik dokular içerisinde kornea ve lenslerin görünen ışığa karşı oldukça saydam olduğu göz önüne alınabilir. Diğer taraftan, gelen ışınının (incident radiation) neredeyse sıfıra düşürüldüğü ortamlara ise opak (mat, saydam olmayan ortam) denmektedir. Meyve dokusu gibi dokularda da doku ışığa karşı opak bir davranış sergilemektedir.

Saydam ve mat terimleri göreceli olup bu terimler dalga boyuna bağlıdır. Örneğin, kornea ve lensler çoğunlukla sudan oluşmakta ve kızılötesi spektrumdaki dalga boylarına oldukça güçlü bir emilim göstermektedir. Dolayısıyla, bu dokular kızılötesi spektral bölgesinde mat olmaktadır. Esasında, elektromagnetik spektrumun tüm dalga boylarına ya saydam ya da mat olan bir ortam bilinmemektedir.



Şekil 3.6 : Yansıma, kırılma, soğurulma ve saçılmanın geometrik gösterimi.

Elektromagnetik radyasyonu soğurmak çeşitli ortam koşulları bulunmaktadır; bunlar temel olarak atom ve moleküller arasındaki faktörlere, dalga boyuna, soğuran yüzeyin kalınlığına ve iç parametrelere (sıcaklık yada konsantrasyon soğurma birimleri) bağlıdır. İki yasa sırasıyla kalınlığın ya da konsantrasyonun soğurma üzerine etkisini tarif etmek için uygulanır. Bunlar Lambert yasası ve Beer yasası olarak ifade edilir;

$$I(z) = I_0 \exp[-\mu_a z], \quad (3.2.1)$$

ve

$$I(z) = I_0 \exp[-k' \alpha z], \quad (3.2.2)$$

z : optik eksenini ifade etmektedir.

$I(z)$: z eksenine olan uzaklığın şiddeti,

I_0 : bulunan andaki şiddet,

μ_a : soğurma katsayısı,

α : soğurulan maddenin konsantrasyonu,

k' : konsantrasyon dışındaki diğer iç parametreleri ifade eder, soğurma gücünü ölçmede kullanılır.

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

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (3.2.3)$$

Her iki yasa da emilme karşı aynı davranışı tarif ederler ve Lambert-Beer yasası olarak bilinir. (3.2.1) den elde edilirse;

$$z = \frac{1}{\mu_a} \ln \frac{I_0}{I_z} \quad (3.2.4)$$

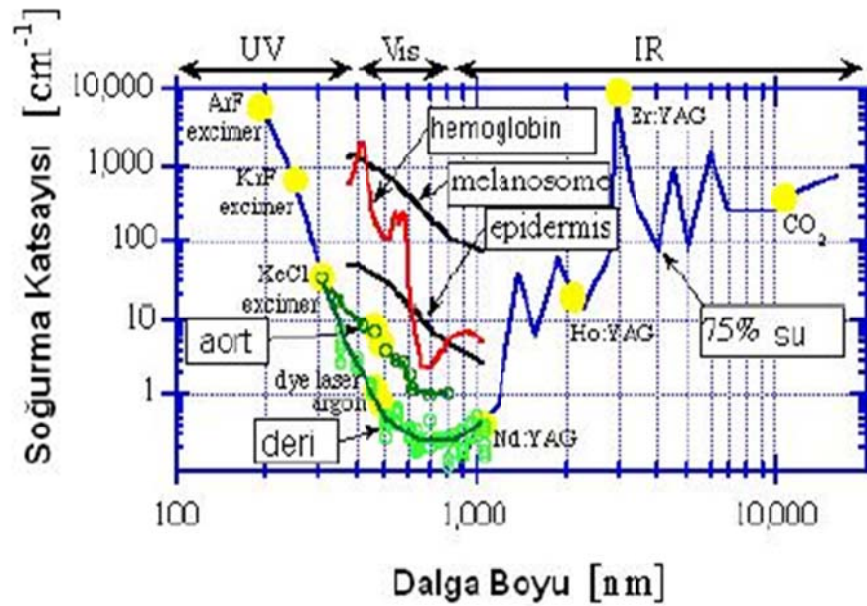
Ortam soğurganlığı A ile gösterilir;

$$A = OD = \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (3.2.5)$$

Soğurma katsayısı μ_a ifadesinin tersi soğurma uzaklığı L ile orantılıdır;

$$L = \frac{1}{\mu_a} \quad (3.2.6)$$

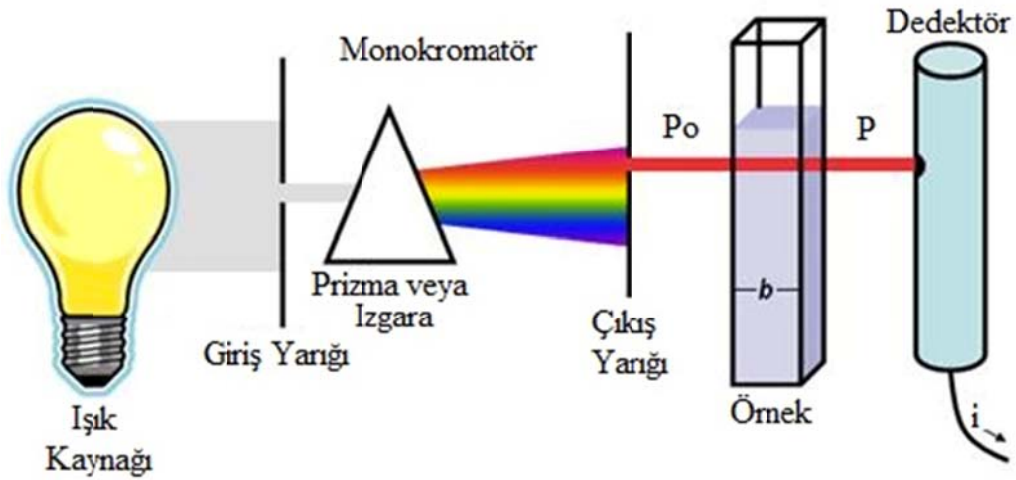
(3.2.6) denklemi ile ifade edilen soğurganlık aynı zamanda optik yoğunluk (OD) olarak da bilinir. k' nin dalga boyuna göre değişimi soğurma spektrumunu oluşturur.



Şekil 3.7 : Bazı biyolojik dokuların soğurma özellikleri [24].

Şekil 3.6’da bazı dokulardaki ve yapılardaki soğurma bantları çizdirilmiştir. Şekil 3.6’daki biyolojik dokuların ya da yapıların farklı dalga boylarında farklı soğurma katsayısına, dalga boyuna, soğurma spektrumuna sahip oldukları görülmektedir.

Dokunun ya da maddenin ışığı soğurmasını incelemek için kullanılan düzeneğe soğurma spektrometresi veya soğurma spektrofotometresi adı verilir.



Şekil 3.8: a) Soğurma spektrofotometresinin dış görünümü [25].

b) Spektrofotometre düzeneğinin iç yapısı [26].

3.3 Saçılma

Elastik yapılu yüklü parçacıklar elektromagnetik dalgalara maruz kaldığında, parçacıklar elektrik alan ile harekete geçmektedirler. Elektromagnetik dalga, dalga boyundan daha küçük bir nesneye çarptığı zaman saçılmaktadır. Saçılma süreci, ortamda herhangi bir enerji kaybı ya da kazanımına neden olmaz. Dolayısı ile saçılma süreci esnasında sıcaklık değişmez. Saçılmaya genellikle hava molekülleri, küçük toz parçacıkları, su molekülleri ve çeşitli kirleticiler gibi çok küçük boyutlu maddeler neden olur.

Saçılma 3 teori başlığında incelenir;

Çizelge 3.1: Saçılma tipleri.

Parçacık Tipi	Parçacık Çapı (μm)	Saçılmanın Tipi	Gözlenen Olay
Hava molekülleri	0.0001-0.001	Rayleigh	Mavi gökyüzü, kırmızı günbatımı
Kirleticiler	0.01-1.0	Mie	Kahverengimsi hava
Bulut damlacıkları	10-100	Geometrik	Beyaz bulutlar

- Rayleigh saçılması: Işığın kendi dalga boyundan çok daha küçük boyuttaki doku yapıları tarafından saçıldığı durumlarda geçerlidir. Parçacığın boyutunun dalga boyuna oranla küçük olmasının en önemli sonucu, parçacık etrafında eşit dağılımlı elektrik alanının oluşmasıdır. Işığın fotonlardan değil de elektromagnetik dalgadan oluştuğunu varsayan klasik teoride, bu durum parçacıkta çift kutuplu moment yaratır.

Oluşan moment, elektrik alanının frekansı ile salınım yaparak çift kutuplu ışıma neden olur. Saçılımdan sonra fotonun enerjisi korunduğu için, Rayleigh saçılımı kuantum fiziğinde esnek saçılım olarak nitelendirilir. Saçılan fotonun dalga boyu gelen fotonun dalga boyuyla aynıdır. Dağılımın dalga boyu ile olan güçlü bağlantısı ($\sim\lambda^{-4}$) kısa (mavi) dalga boyunun uzun (kırmızı) dalga boyuna oranla daha fazla saçılacağını gösterir [27,28]. Rayleigh bağıntısı;

$$I = I_0 \frac{8\pi^4 N \alpha^2}{\lambda^4 R^2} (1 + \cos^2 \theta) \quad (3.3.1)$$

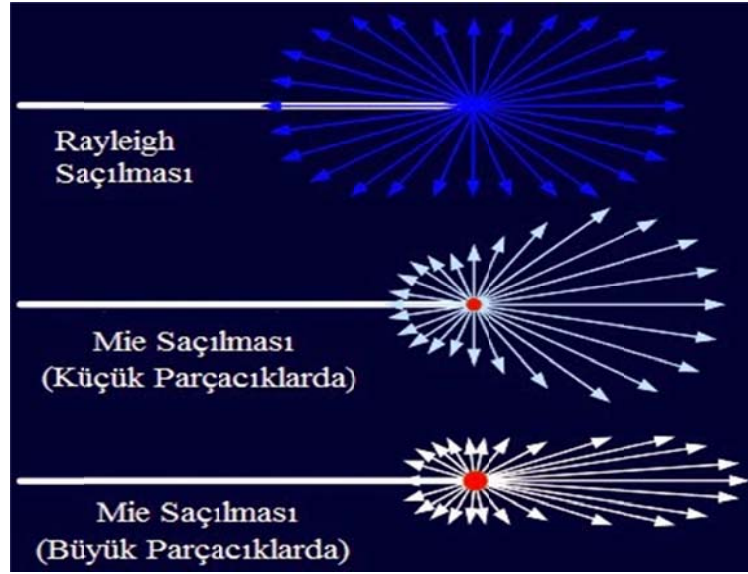
I_0 : Gelen ışık şiddeti

I : Saçılan ışığın şiddeti

γ : Birim hacimdeki saçılma merkezi

α : Polarizasyon derecesi

r : Molekülden detektöre olan uzaklık



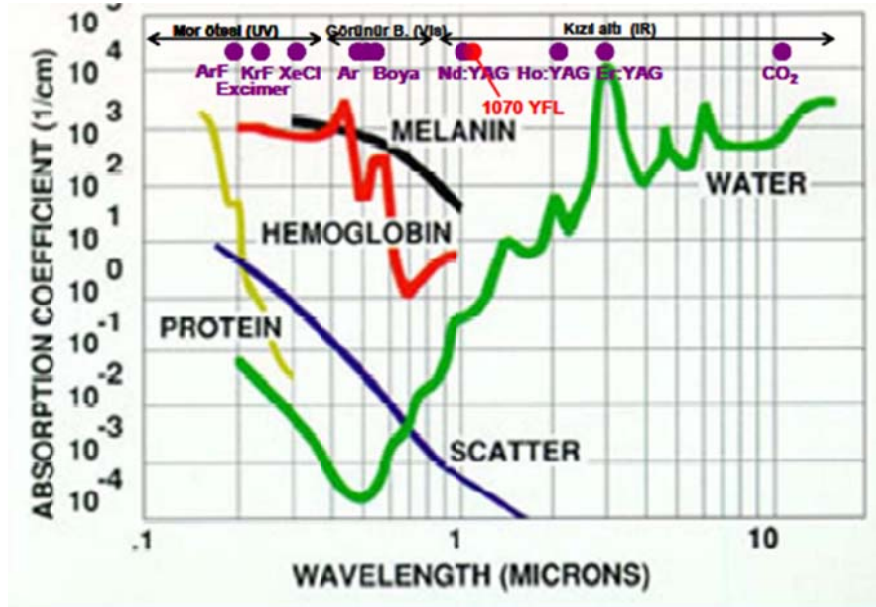
    l 3.9 : Rayleigh ve Mie saçılmaları [29].

- Mie saçılması: I    n dalga boyu ile parçacığın boyutunun birbirine yakın veya parçacığın boyutunun daha b    k olduğu durumlarda geçerlidir. Saçılımın bu   ekli Rayleigh ile kıyaslandığında, daha uzun dalga boylarını etkileme eğiliminde olduğu görüşür. Su buharı ve toz zerrecikleri mie saçılmasının nedenidir [27].
- Geometrik dağılım teorisi: Saçılmaya neden olan parçacığın dalga boyu       n dalga boyundan çok b    kt  r, bu durum genellikle doku yapılarının en üst katmanlarında meydana gelir.

4. IŞIK DOKU ETKİLEŞİMİ

Optik özellikler soğurma katsayısı (absorption coefficient, μ_a), saçılma katsayısı (scattering coefficient, μ_s) ve saçılmanın yönünü belirleyen anizotropi (anisotropy, g) etkenidir. Dokunun soğurma özellikleri (μ_a), içeriğindeki kromoforlar, farklı dalga boylarına duyarlı doku bileşenleri (su, protein, hemoglobin, melanin) tarafından belirlenir.

Saçılma özellikleri (μ_a ve g), gelen dalga boyunun, dokunun hücresel boyutlarına oranıyla belirlenir. Bazı kromoforların soğurma katsayılarının dalga boyu ile değişimleri Şekilde incelenmiştir, koyu mavi renk saçılmanın değişimini göstermektedir [31].



Şekil 4.1: Protein, hemoglobin, melanin ve suyun soğurma spektrumu[32].

Şekil 4.1'e göre su, en az görünür ışık bölgesinde (~ 500 nm), en çok kızılaltı bölgesinde (~ 3 μ m) olan dalga boylarını soğurmaktadır. Dalga boyu arttıkça saçılmalar azalmaktadır. Bu çalışmada suyun soğurması durumları üzerinde yoğunlaşmış olup yeşil renkli grafik dikkate alınmıştır. Saçılma ve soğurma

katsayıları ile gönderilen ışığın optik girginliği (δ) belirlenir ve şu formüllerle gösterilir:

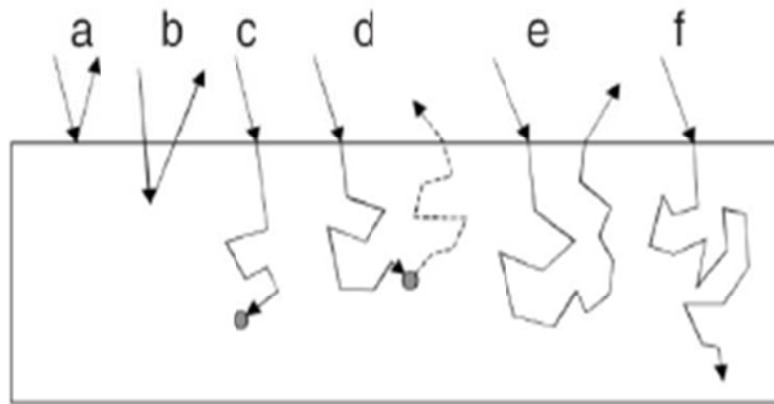
$$\delta = \frac{1}{\mu_a + \mu_s} \quad (3.2.7)$$

$$\mu'_s = \mu_s(1 - g) \quad (3.2.8)$$

$$\delta' = \frac{1}{\mu_a + \mu'_s} \quad (3.2.9)$$

Denklem 3.2.9 ile hesaplanan etkin girginlik, tek bir fotonun doku içerisinde saçılmadan ve soğurulmadan ilerleyebildiği mesafedir ve saçılmaların ortalama açısına (anizotropi faktörü, g) bağlı olarak değişir. Bu nedenle hesaplamalarda indirgenmiş saçılma katsayısı (reduced scattering coefficient, μ'_s) kullanılır, çalışmada bahsedilen girginlik, etkin girginliktir [30].

Işık dokuyailetildiğinde saçılır veya soğurulur (Şekil 4.2). Dokudan yansıması ise saçılımın özel bir halidir. Bu durumla ilgili ayrıntılı bilgi bir önceki bölümde verilmiştir.



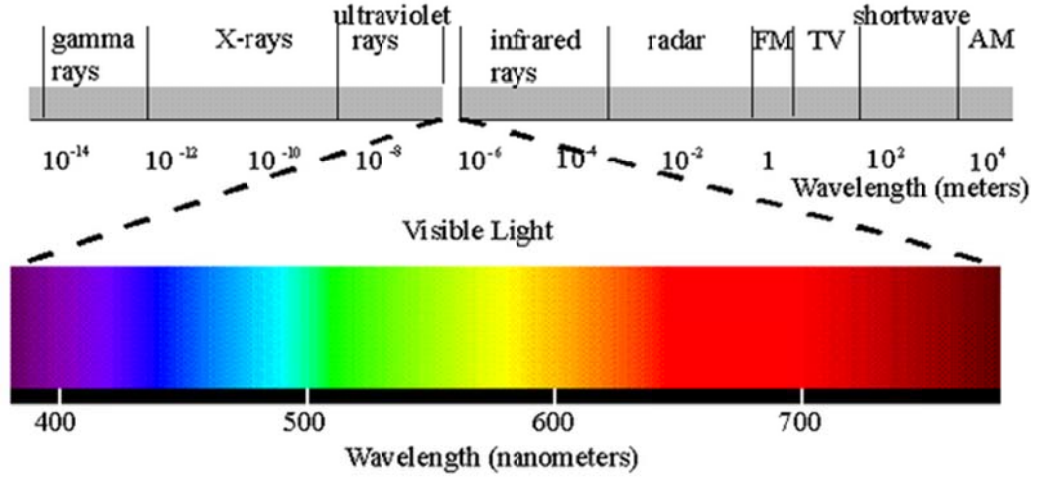
Şekil 4.2: Işığın doku ile etkileşimi [30].

Şekil 4.2’de ışığın dokuda yayılımı ile ilgili durumlar gösterilmiştir [31]. “a” durumu, gelen ışığın basit Frensel yansımasını gösterir. Yansıyan ışık doku hakkında

çok az bilgi içermektedir. "b" durumu ise dokunun hücresel ve yapısal bileşenlerine çarparak bir veya birkaç defa saçılan ışığı gösterir. Fotonun enerjisi saçılım sürecinde değişmediğinden, bu tip saçılım esnek saçılım olarak adlandırılır. Saçılım dalga boyu, hücresel yapıların boyutuna ve yoğunluğuna bağlı olduğu için esnek saçılım ile dokudaki yapısal ve morfolojik değişimler gözlemlenebilir. "c" durumu, ışığın soğurulmasını temsil eder. Dokulardaki kromoforların soğurma bandına bağlı olarak, kromoforlar ile aynı dalga boyuna sahip fotonlar dokuda soğurulur ve geri saçılmaz. "d" durumu, saçılan fotonun enerjisinin değiştiği esnek olmayan saçılımı gösterir. "e" ve "f" durumları ise, ışığın dağınık biçimde birden fazla sayıda saçılım gerçekleştirdikten sonra dokudan geri yansımaları veya soğurulmasında izledikleri yolları gösterir [32,33].

5. SPEKTROSKOPİ

Elektromagnetik ışınının madde ile etkileşmesini inceleyen bilim dalıdır. Söz konusu madde doku, atom, molekül veya iyon olabilir. Spektroskopiden elde edilen veriye ise spektrum adı verilir [34]. Spektrum, her bir dalga boyu için enerji yoğunluğunu gösteren bir ifadedir. Spektroskopik yöntem ile maddenin yapısını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini inceleyip bunlar hakkında nitel veya nicel analizler yapılabilmektedir.



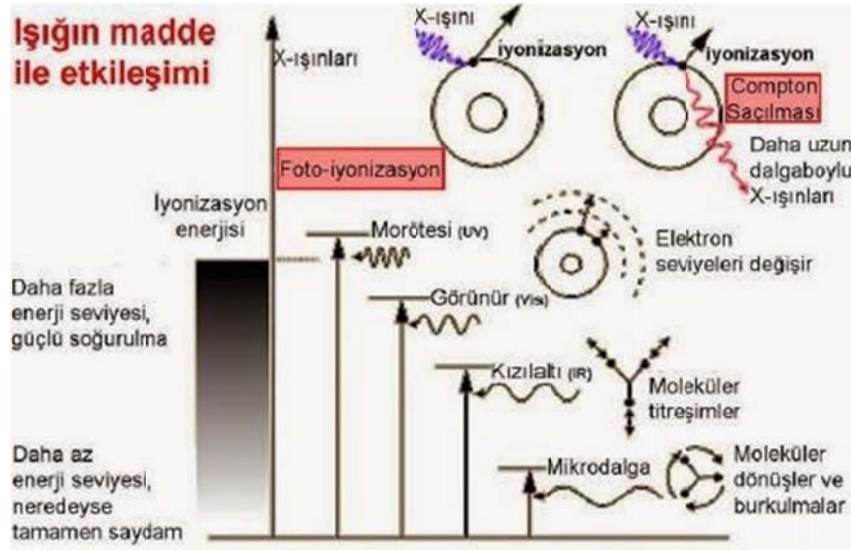
Şekil 5.1: Elektromagnetik spektrum (gamma rays: gamma ışınları, X-rays: X-ışınları, ultraviolet rays: ultraviyole ışınları, Vis: görünür bölge, IR: kızılötesi bölge, microwaves: mikrodalga bölgesi, GPS, FM, TV, Short wave, AM: radyo bant bölgesi) [37].

17. yüzyılda Isaac Newton'un çalışmaları ile spektroskopinin gelişimi başlamıştır. Spektroskopik yöntemler, mikroskopik boyuttaki taneciklerden makroskopik boyuttaki yıldızlara kadar tüm ölçekteki alanlarda kullanılabilir. Işık demetini geçirmek için bir açıklık, ışığı hizalayıcı bir ayna, ışığı dağıtmak için bir prizma ve sonucu görüntülemek için bir perde kullanarak yaptığı deneyde, beyaz ışığı oluşturan

renkleri göstermiştir [35]. Bu deney, modern anlamdaki ilk spektroskopi deneyidir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2: Isaac Newton tarafından geliştirilen ilk spektroskopik deney düzeneği [35].



Şekil 5.3: Elektromagnetik (EM) etkileşimler. Mikrodalgalar, kızıl altı, görünür bölge, mor ötesi ve X-ışınlarının madde ile karşılaştıkları zaman oluşturdıkları etkiler[30,36].

Elektromagnetik spektrum: Gamma ışınları (Gamma rays), X-ışınları (X-rays), Uv ışınları (Ultraviolet rays), Görünür bölge (Vis), Kızılötesi bölge (IR), Mikrodalga bölgesi (Microwaves), Radyo bant bölgesi (GPS, FM, TV, Short wave, AM) bölgelerinden meydana gelmektedir [37].

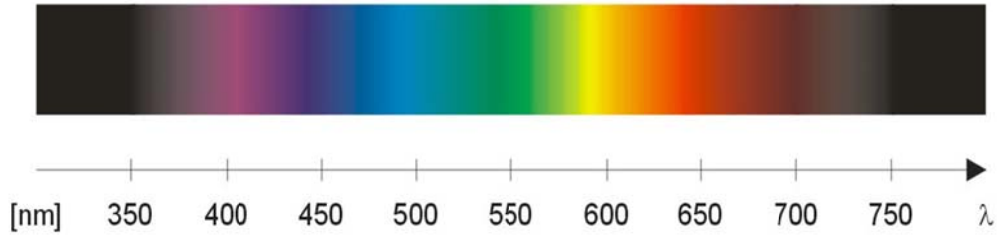
Spektroskopik analiz yöntemlerinde uyarıcı bir tanecik, ölçümü alınmak istenen örnek üzerine yollanır ve örneğin bu uyarıcı taneciğe karşı olan davranışı ölçülür.

Bir yarıktan geçirilen beyaz ışık daha sonra bir prizmadan yada filtreden geçirildiğinde prizmanın karşısındaki ekranda tayf adı verilen renkler dizilir. Bu

tayfta sırasıyla mor, lacivert, mavi, yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı renkler bulunmaktadır (Çizelge 5.1). Tayfta bulunan her renk farklı dalga boyuna sahiptir ve bu renklerin dalga boyları nanometre (nm) adı verilen uzunluk birimi ile ifade edilir. 390-700 nm aralığındaki dalga boylarındaki ışık gözle görülebilmektedir (Şekil 5.4).

Çizelge 5.1: Görünür bölgedeki renklerin dalga boyu ve frekans değerleri.

Renk	Dalga Boyu (nm)	Frekans (THz)
Mor	430-390	700-790
Mavi	500-430	600-700
Cyan	520-500	580-600
Yeşil	565-520	530-580
Sarı	590-565	510-530
Turuncu	625-590	480-510
Kırmızı	700-625	405-480



Şekil 5.4: Görünür bölge renk tayfı.

Floresans, floresans yayma özelliğine sahip olan maddeler üzerine düşen belli dalga boyundaki ışınların soğurulup bu maddeler tarafından farklı dalga boyunda ışınlar halinde yayılması olayıdır. Uyarıcı ışın ile etkileşme sonucu oluşan ışın yayılımı uzun süreli (10^{-4} sn <) ise bu olaya fosforesans, kısa süreli ise (10^{-9} - 10^{-8} sn) bu olaya floresans denir. Floresans ve fosforesans olayları lüminesans başlığı altında toplanırlar [32].

Spektroskopi, enerjinin madde ile etkileşimi inceleyen bir yöntem olduğu için her bir enerji çeşidi için bir spektroskopi yöntemi vardır. Bu yöntemler;

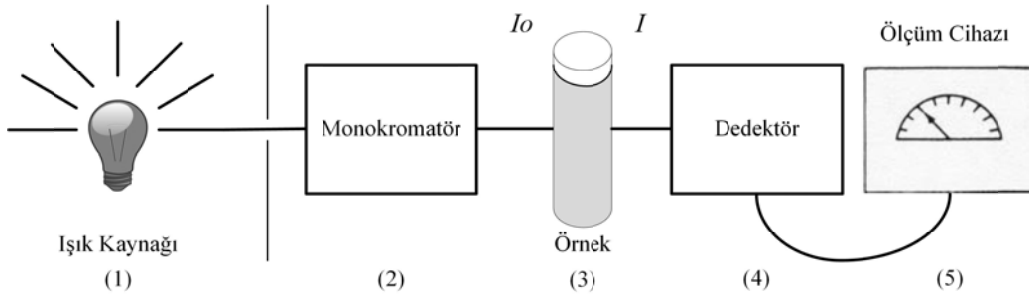
- Soğurma spektroskopisi: Soğurmada, maddeye gelen elektromagnetik ışının belli frekansları, maddedeki bazı atomlar tarafından soğurulur. Bu

spektroskopi yöntemi ile elektromagnetik ışınının hangi spektral aralığının madde tarafından soğurulduğu anlaşılabilir.

- Yayılm spektroskopisi: Yayılmada, madde elektromagnetik enerjiyi soğurduktan sonra daha az enerjili bir frekansa sahip ışınım salar. Bu spektroskopi yönteminde, salınan ışın veya fotonların ölçümüne dayanarak maddenin özellikleri incelenebilir.
- Saçılım spektroskopisi: Saçılım spektroskopisi ile maddenin belli dalga boylarında ve açılarında saçtığı ışığın miktarı ölçülerek maddenin bazı fiziksel özellikleri öğrenilir. Saçılımın, soğurma ve yayılımdan daha hızlı gerçekleşen bir süreç olması sebebiyle saçılım spektroskopisi diğer iki yöntemden ayrılır [40].

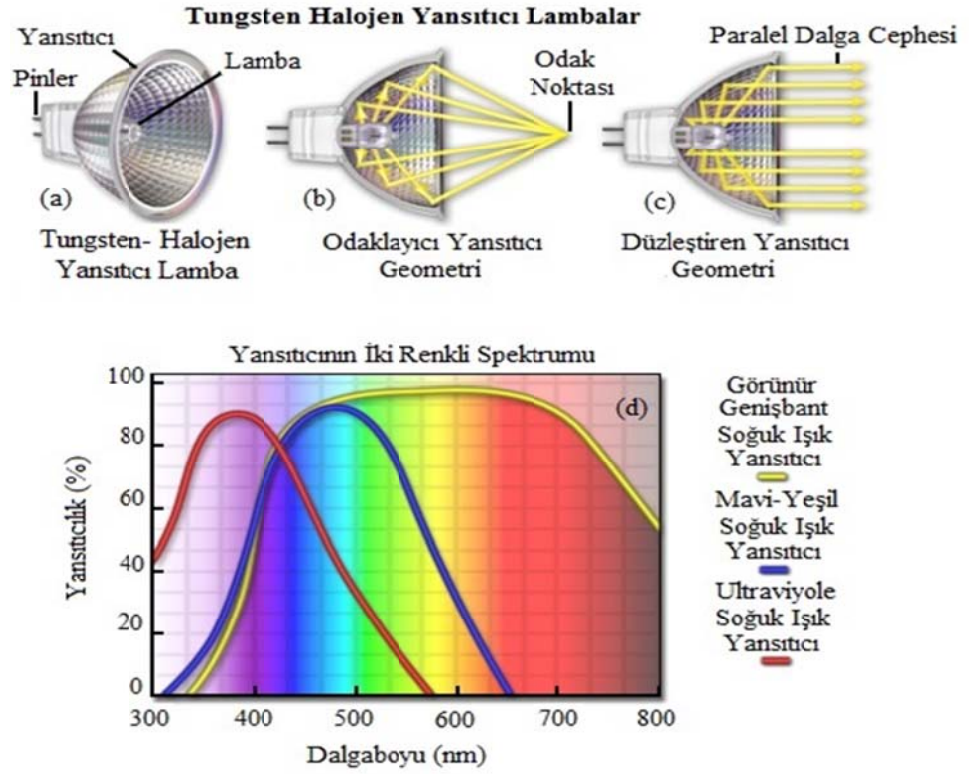
Spektrometrik ölçümlerin analizi spektrofotometrelerle olur.

Bir spektrofotometre düzeneği, başlıca ışık kaynağı, dalga boyu seçicisi (monokromatör), detektörden oluşur; detektörde elektrik sinyaline çevrilen optik sinyal bir kaydedici ile ölçülür [38].



Şekil 5.5: Spektrofotometrenin en genel hali.

UV-görünür bölgede D_2 , W, H_2 , Xe, civa buhar lambası gibi sürekli ışık kaynakları kullanılır.

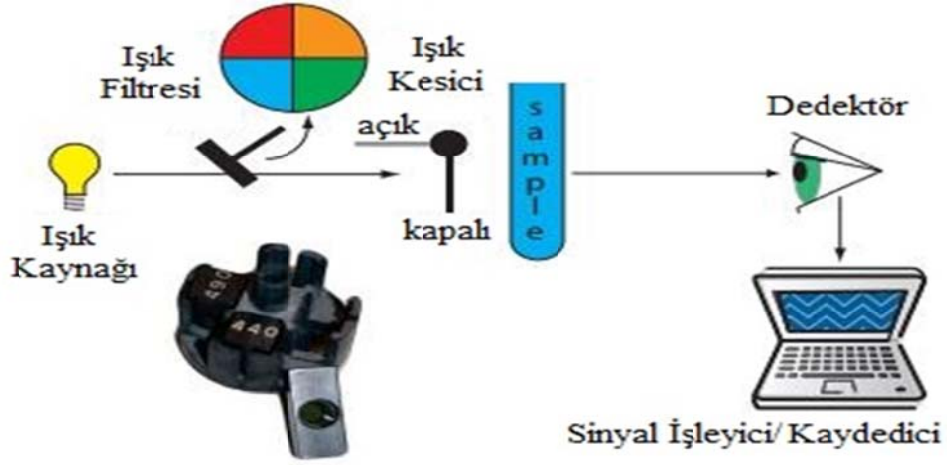


Şekil 5.6: Tungsten-halojen lambanın iç yapısı [39].

Tungsten flaman lambası, görünür ve yakın IR bölgede (320-3000 nm) ışık yayar. Tungsten lambasının içinde bir miktar iyot veya brom buharı bulunursa lambanın ömrü artar ve bu lamba tungsten-halojen lambası olarak adlandırılır.

Ultraviyole bölgede en çok kullanılan lambalar, hidrojen ve döteryum elektriksel boşalım lambalarıdır. Bu lambalar 180-380 nm arasında ışık yayar. Daha pahalı ve daha uzun ömürlü olan D₂ lambasının yaydığı ışığın şiddeti H₂ lambasına göre çok daha fazladır.

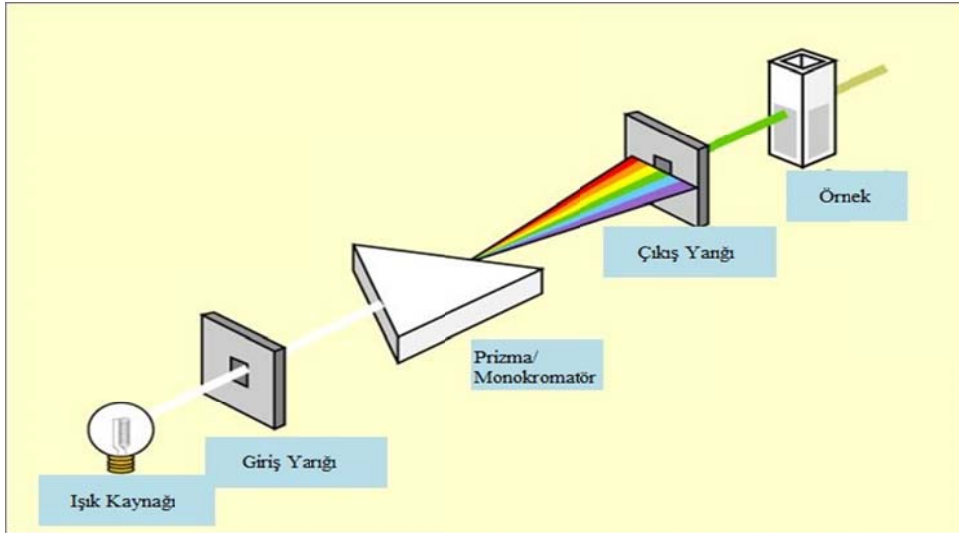
Monokromatörler, ışık kaynağından gelen polikromatik ışıktan tek bir dalga boyunda monokromatik ışık elde edilmesini sağlamaktadırlar. Monokromatör, filtreli fotometrelerde ışık filtresidir (Şekil 5.7) [40].



Şekil 5.7: Işık filtreli monokromatör [40].

- Işık filtreleri, görünür bölge renk aralıklarındaki boyalarla boyanmış ve camdan yapılmış filtrelerdir. İstenilen zaman uygun dalga boyundaki filtreyi cihaza takılabilmektedir, portatiflerdir. Renklerin dalga boyları filtrelerin üzerinde yazılmaktadır ve istenilen dalga boyundaki filtre istenilen ölçüm için yerleştirilir. Filtrenin rengi, ölçüm yapılacak çözeltinin rengine göre seçilir; örneğin, mavi ışığı tutan (sarı) bir maddenin ölçümünde sadece mavi ışığı geçiren filtre kullanılır (Şekil 5.7).

Spektrofotometrelerde ise monokromatör ışık prizmasıdır (Şekil 5.8) [38,40].

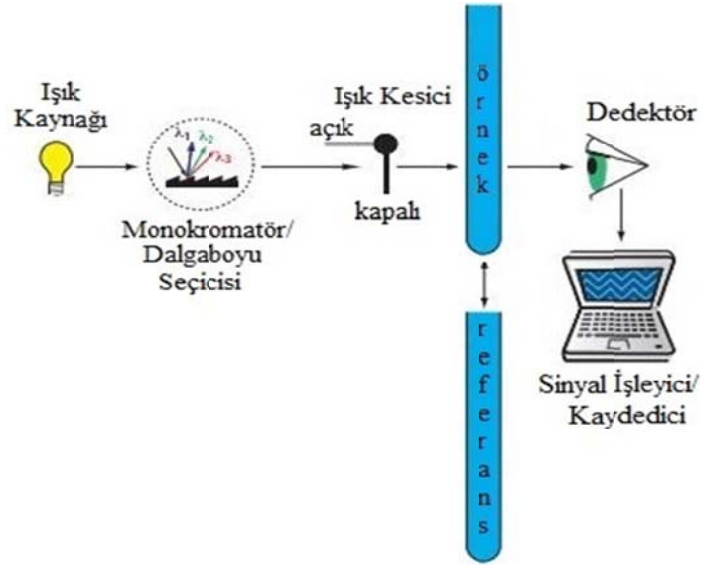


Şekil 5.8: Prizmalı monokromatör [38,41].

- Işık prizmaları, cam veya kuartz çeşitleri bulunmaktadır. Cam prizma düşük UV ışınları iyi geçirmediğinden görünür bölge için tercih edilmektedir. Kuartz prizmalar ise hem UV ışınlarını iyi geçirir, hem de görünür ışık ve IR'e yakın bölgelerde çalışmaya elverişlidir. Kuartz prizmalar maliyeti yüksek spektrofotometrelerde bulunur (Şekil 5.8).

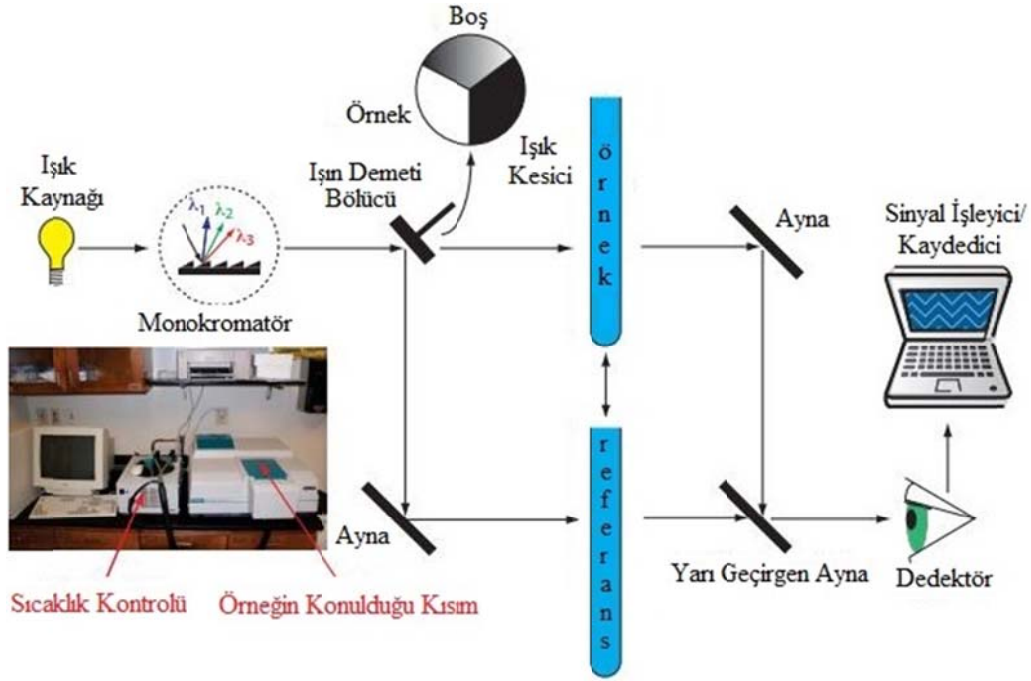
Tek yollu spektrofotometrelerde; tüm bileşenler aynı ışık yoluna yerleştirilmiştir. Tek monokromatörlü aletlerin başlıca üç ayar düğmesi vardır: Bunlardan biri, alette kullanılan filtreyi veya prizmayı mekanik olarak döndürmeyi sağlayan düğmedir. İkinci düğme, ışık yolunu tamamen kapatarak kaydedici “sıfır” geçirgenlik ayarını yapmak içindir. Üçüncü düğme, ışığın geçtiği aralığın enini değiştirerek istenilen boyuttaki sonuçların alınmasını sağlamaktadır.

Ölçümün yapılacağı dalga boyu birinci düğme ile ayarlandıktan sonra ışık yolu kapatılarak ikinci düğme ile “sıfır” ayarı yapılır. Bu ayara kalibrasyon ayarı denir ve her deney düzeneğinde deneyin tekrarlanması durumunda yapılır. Daha sonra üçüncü düğme ile ışığın geçtiği aralığın eni değiştirilerek ve örnek kabında sadece çözücü kullanılarak kaydedici 100 değerine getirilir. Sıfır ve 100 ayarları her dalga boyunda ölçüm sonuçlarının doğruluğu açısından yeniden tekrarlanmalıdır (Şekil 5.9)[40].



Şekil 5.9: Tek monokromatörlü spektrofotometre [40].

Örneğe gönderilen ışığın polikromatikten daha monokromatik olmasını sağlamak için bazı spektrofotometrelerde çift monokromatör kullanılır (Şekil 5.10) [42].



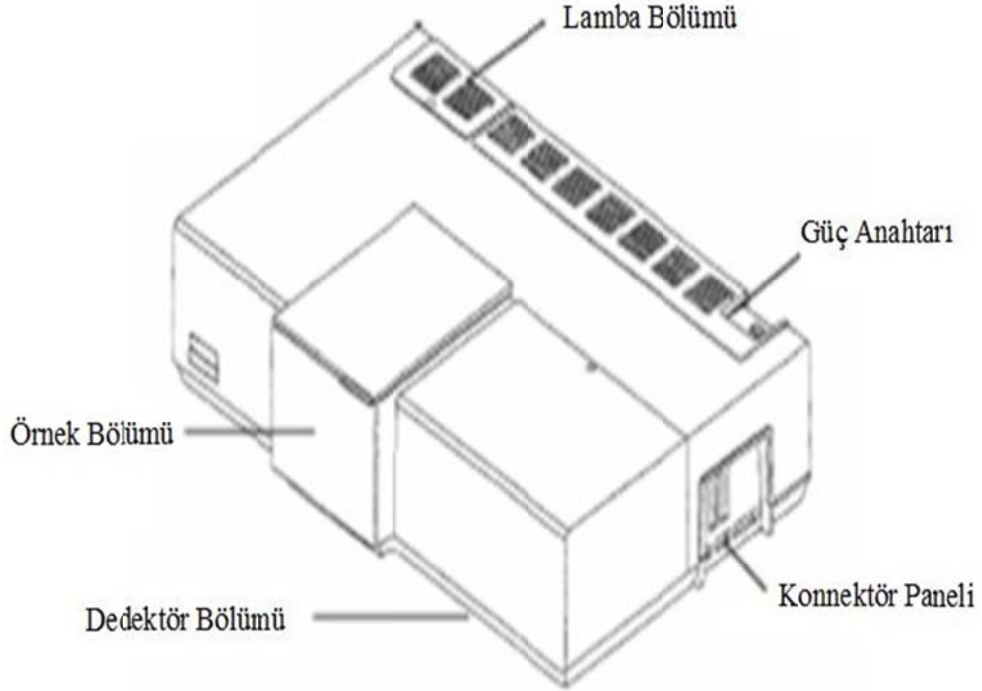
Şekil 5.10: Çift monokromatörlü spektrofotometre [40].

Çift yollu spektrofotometrelerde; monokromatörden çıkan ışık, eşit şiddette iki demete bölünerek ışıkların biri örneğe diğeri sadece referansın bulunduğu kaba gönderilir. İkiye ayrılan ışık, iki farklı detektörle algılanır ve detektörlerde oluşan sinyallerin oranı ölçülür. Böylece örnekteki değer sürekli olarak referanstaki ile karşılaştırılmış olur. Burada iki detektörün tam uyumlu olması, yani eşit şiddetteki ışık ile aynı sinyali oluşturması gerekir. Bu işleme aynı anda kalibre olması adı da verilebilir ve ölçüm sırasında doğru sonuçlar alınmasını sağlar. Alınan sonuçlar detektör yardımıyla kaydediciye gönderilir [40].

Bu çalışmada kullanılan dalga boyu aralığı 280-2500 nm aralığını kapsamıştır. Bu aralığa UV, Vis ve NIR bölgeleri dahil olmaktadır. Meyve dokuları üzerinde yansıma ve soğurma spektroskopi ölçümleri kullanılmıştır. Cihaz çift monokromatörlü olup belirtilen dalga boyunu ölçümlerinin sonuçlarını elde edebilmek için Döteryum ve Halojen lambalar ve ızgaralar kullanılmıştır.

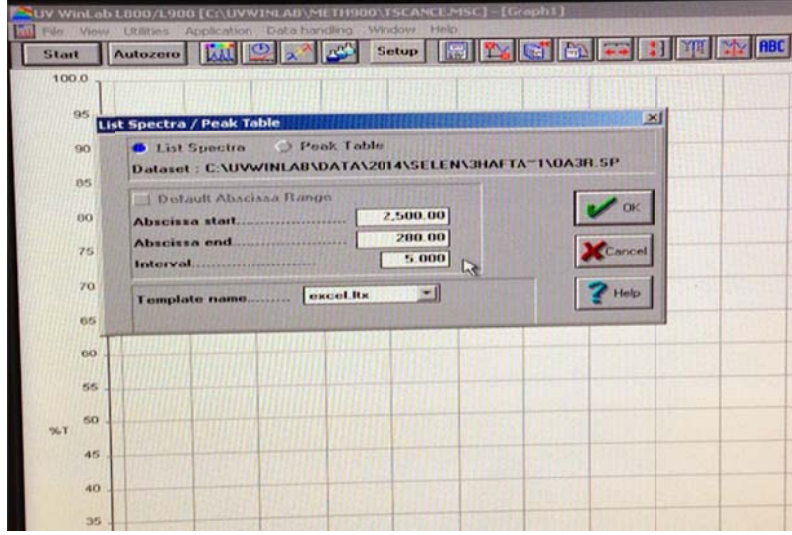
6. DONANIM

Çalışmaların deneysel kısmı Şişecam Topkapı Araştırma Merkezi laboratuvarlarında, ArGE Müdürü Sayın Ateş PARLAR'ın izni ve desteği ile, Perkin Elmer Lambda 900 spektrofotometre kullanılarak yapılmıştır. 280–2500 nm (UV/Vis/NIR) arasında örnekler üzerinden küresel yansıma ölçümleri (integrating sphere) alınmış olup kullandığımız cihaz çift ışık kaynaklı, çift detektörlü, çifte monokromatörlü geniş bantlı bir spektrofotometredir.



Şekil 6.1: Perkin Elmer Lambda 900 spektrofotometresi.

Alınan veriler USB bağlantısından edinilebilir. Cihazdan yukarıda anılan bantta 5 nm'lik aralıklarla veriler alınmıştır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2: 5 nm aralıklarla yapılan ölçümün ayarlanma aşaması.

Alınan veriler bilgisayar sistemince belirlenen formatta kaydedilip gerekli arşiv oluşturmuştur. Lambda 900 spektrometre ile veri alabilmek için, bilgisayara yazılımının (Powerful UV WinLab) yüklenmesi gerekmektedir. Sonuçlar gerçek zamanlı bir şekilde anında elde edilebilmektedir.

Cihazın içeriği ilgili ayrıntılı bilgi Ek C'dedir.

7. YÖNTEM

Lambda 900 cihazı belirli aralıklarda kalibre edilmektedir. Meyve dokusu cihaza Şekil 7.1 ve Şekil 7.2'deki dokundurulup doku yüzeyine ışık gönderilir, meyve dokusundan küresel (integrating sphere) olarak geri saçılan ışık algılanır. Dağınık olarak yansıma yapan ışık, bilgisayar yazılımı (Powerful UV WinLab) tarafından kaydedilmektedir.



Şekil 7.1: Lambda 900 spektrofotometresi.



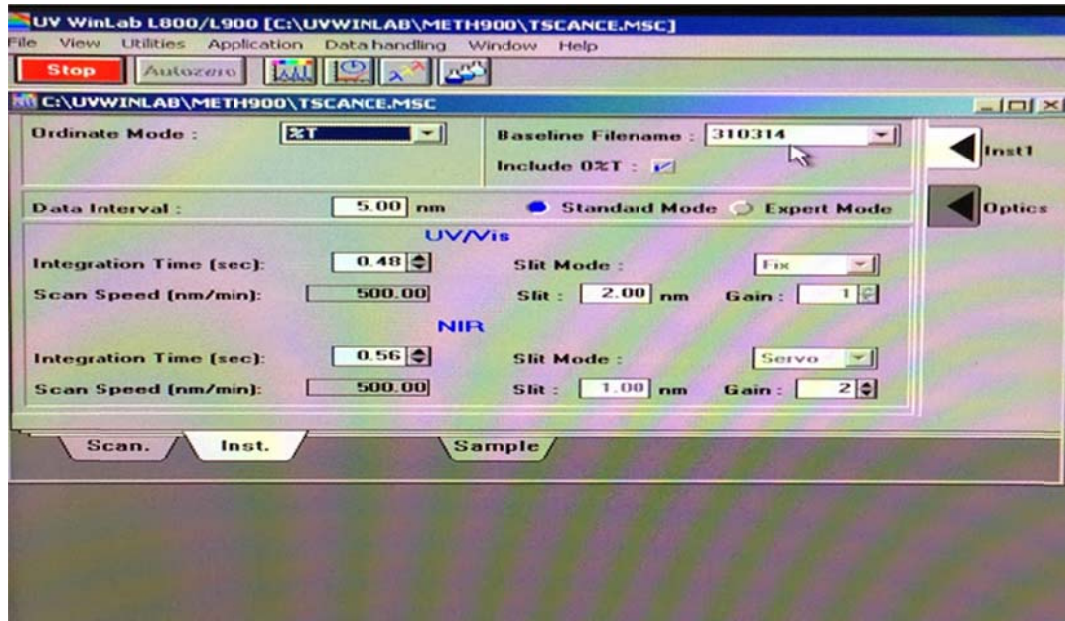
Şekil 7.2: Meyvenin cihaza teması.

Cihaz ölçümleri küresel ölçekte yapmaktadır. Dokuya gönderilen ışık ile cihazın algıladığı ışık şiddeti arasındaki farkı ölçerek değerler vermektedir. Belirli bir dalga boyu aralığında yapılan ölçümlerin değerlendirmesi sonucunda meyve dokusunun rengi, hücre yapısı, sululuk oranları ile ilgili yorum yapılabilmektedir.

Yapılan bilimsel çalışmalar incelendiğinde elmalarla gerçekleştirilen deneylerde elma dokusunun renginin, hücre yapısının, sululuk oranının tayinlerinin yapıldığı görülmüştür [43].

Cihazın ölçüm sonuçlarının güvenilirliği açısından kalibrasyon önemlidir. Kullanılan cihazın kalibrasyon aşamaları şu şekilde olmaktadır;

İlk olarak spektrofotometre ve verilerin kayıt işlemini gerçekleştirecek bilgisayar açılır. Spektrofotometre açıldıktan 30 dakika sonra kalibrasyon işlemine başlanır, bu işlem cihaz her açıldığında tekrarlanır. Powerful UV WinLab programı açılarak metot seçim işlemine geçilir (Şekil 7.3).



Şekil 7.3: Cihazın bağlı olduğu bilgisayarda kalibrasyon yapma aşamasındaki ekran görüntüsü.

Metot seçimi tamamlandıktan sonra gün, ay, yıl ve isim ataması gerçekleştirilir. Autozero butonunun aktif hale gelmesi (buton ışığının yeşile dönmesi) beklenir. Aktif hale gelen butona tıklanır ve ardından spektrumun iki kez taranması (280-2500 nm dalga boyu aralığı) sağlanır. Bu işlemlerden sonra, spektrofotometre ölçüme hazır hale gelir.

Cihazın içerisindeki ışık kaynaklarının (döteryum, halojen lambalar) yılda iki kez değiştirilmesi, ölçümlerin doğruluğunu olumlu yönde etkilemektedir.

Bu çalışmada yapılan deneylerde kullanılan meyveler çeşitli olgunlukta ve kesildikten sonra tercih edilen farklı zaman aralıklarında incelenmesi, meyvelerin zamana bağlı değişiminin takip edilmesi gerekmektedir. Takip edilen dokunun yeni koparılmış halinden sulanma durumlarına kadar geçen sürede yapılan çeşitli deney sonuçları grafiklerde belirtilmektedir.

Deney süresince kullanılan meyve çeşitleri; elma (granny smith), elma (starking), elma (golden), erik, armut, şeftali, kayısı, kivi, portakal, nar, çilek ve ayvadır. Meyve dokuları ham, olgun, pütürlü, pütürsüz, iç ve dış yüzeyinden incelenmişlerdir.

Öznitelikleri belirlenen meyve gruplarının verileri ‘.msc’ formatından Excel programlarına yüklenmektedir.

Şişecam Topkapı Araştırma Laboratuvarlarında yapılan ve Şekil 7.5’te grafikte gösterilmekte olan 30.05.2013 tarihli ölçüm yapılan meyveler sırasıyla elma (granny smith), elma (starking), şeftali, erik ve kayısıdır. Bütün meyvelerin verileri deney sonunda bir araya getirilip grafikleri çizdirilmiştir. Meyvelerden iki durumda ölçüm alınmıştır. İlk durumda kesit alınan meyvelere kabuk yüzeyine ışık gönderilmiş ikinci durumda ise kesit alınan bu meyveler bir süre bekletilmiş ve bir miktar kurumaları sağlanmıştır.

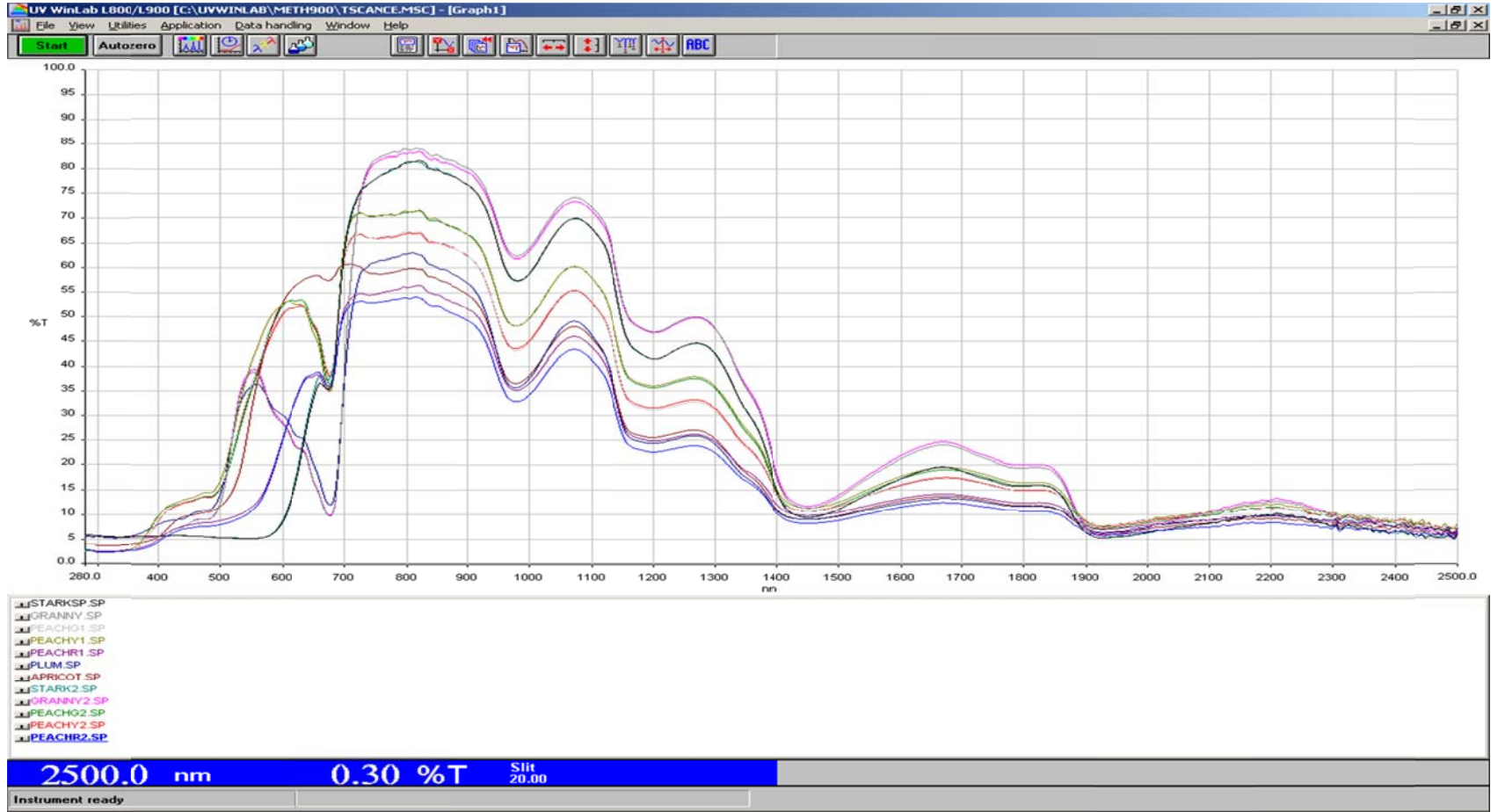
Cihaz meyve dokusundan aldığı değerleri Excel formatında kayıt etmektedir. Alınan ‘nm’ cinsinden değerleri UV WinLab yazılımı ile grafik haline getirmektedir. Analizler grafik üzerinden yapılabilmektedir.

Çizdirilen bu grafikler üzerinden meyvelerin dış kabuk rengine, sulanma durumlarına, olgunlaşma miktarına göre yorumlandığında benzerlikler ve farklılıklar görülmektedir. En büyük farklılık Vis bölgesinde görülebilmektedir.

Şekildeki grafikte meyvelerin hepsinde (elma-granny smith, elma-starking, elma-golden, erik, armut, şeftali, kayısı, kivi, portakal, nar, çilek ve ayva) suyun soğurma bantlarını 980 nm, 1250 nm, 1480 nm ve 1950 nm olarak görülmektedir. Meyvelerin kabuk renklerine göre yeşil olan meyvenin 550 nm değerinde, sarı renkli meyvelerin 610 nm değerinde, kırmızı renkli meyvelerin 660 nm değerinde yansıma tepesi olduğu görülmektedir.

STARK1		GRANNY1		PEACHG1		PEACHY1		PEACHR1		PLUM		APRICOT		STARK2		GRANNY2		PEACHG2	
280	5,955	280	5,7779	280	2,4478	280	2,514	280	2,6397	280	5,6095	280	4,0281	280	5,9915	280	5,7543	280	2,7776
340	5,481	340	5,2429	340	2,39	340	2,5196	340	2,6451	340	5,3336	340	3,741	340	5,4344	340	5,2494	340	2,4985
400	5,5876	400	5,5029	400	8,6961	400	9,5862	400	4,8603	400	7,9923	400	5,4312	400	5,5381	400	5,5721	400	9,6634
460	5,6008	460	8,8606	460	13,176	460	13,738	460	8,1152	460	10,48	460	10,081	460	5,5746	460	8,963	460	13,104
520	5,2219	520	26,274	520	22,936	520	26,046	520	9,4839	520	26,356	520	14,946	520	5,1791	520	26,502	520	22,266
580	5,7669	580	31,672	580	46,781	580	49,805	580	17,654	580	32,435	580	46,926	580	5,8512	580	32,041	580	47,358
640	28,012	640	21,243	640	51,555	640	50,812	640	37,667	640	23,964	640	57,975	640	28,998	640	21,519	640	51,997
700	63,37	700	39,472	700	62,458	700	64,432	700	51,571	700	37,253	700	60,72	700	64,136	700	39,52	700	64,974
760	78,739	760	82,503	760	66,114	760	70,56	760	55,024	760	61,524	760	58,745	760	78,841	760	81,887	760	70,44
820	81,679	820	83,873	820	67,093	820	71,549	820	56,487	820	62,537	820	59,783	820	81,32	820	83,405	820	71,43
880	78,294	880	81,496	880	63,743	880	67,848	880	52,9	880	58,531	880	56,106	880	78,386	880	80,599	880	68,101
940	68,351	940	72,432	940	53,212	940	57,864	940	44,037	940	46,338	940	45,898	940	68,223	940	71,641	940	58,033
1000	58,869	1000	63,902	1000	44,737	1000	49,717	1000	36,603	1000	37,561	1000	38,209	1000	58,81	1000	63,338	1000	49,761
1060	69,309	1060	73,686	1060	54,871	1060	59,841	1060	45,602	1060	48,653	1060	47,642	1060	69,283	1060	72,916	1060	59,863
1120	64,618	1120	69,052	1120	49,335	1120	54,582	1120	40,797	1120	42,502	1120	42,377	1120	64,474	1120	68,298	1120	54,558
1180	42,5	1180	47,857	1180	31,559	1180	36,543	1180	25,249	1180	24,631	1180	25,844	1180	42,422	1180	47,685	1180	36,23
1240	43,599	1240	49,037	1240	32,158	1240	37,289	1240	25,676	1240	25,323	1240	26,488	1240	43,549	1240	48,814	1240	36,928
1300	42,405	1300	47,609	1300	30,839	1300	35,836	1300	24,544	1300	24,024	1300	25,086	1300	42,319	1300	47,48	1300	35,448
1360	28,921	1360	33,377	1360	22,143	1360	25,598	1360	17,987	1360	16,491	1360	17,377	1360	28,833	1360	33,919	1360	25,033
1420	10,667	1420	12,75	1420	11,476	1420	12,242	1420	10,367	1420	9,4079	1420	9,497	1420	10,715	1420	13,259	1420	11,565
1480	10,104	1480	12,16	1480	11,224	1480	11,785	1480	10,112	1480	9,2808	1480	9,335	1480	10,089	1480	12,619	1480	11,206
1540	13,685	1540	16,808	1540	13,462	1540	14,677	1540	11,621	1540	10,739	1540	11,039	1540	13,708	1540	17,375	1540	14,151
1600	17,257	1600	21,262	1600	15,842	1600	17,753	1600	13,204	1600	12,261	1600	12,73	1600	17,313	1600	21,883	1600	17,24
1660	19,577	1660	23,937	1660	17,223	1660	19,486	1660	14,14	1660	13,216	1660	13,665	1660	19,591	1660	24,537	1660	19,001
1720	17,887	1720	22,145	1720	16,632	1720	18,729	1720	13,602	1720	12,871	1720	13,25	1720	17,911	1720	22,635	1720	18,212
1780	15,832	1780	19,522	1780	14,911	1780	16,59	1780	12,424	1780	11,716	1780	11,904	1780	15,813	1780	20,122	1780	16,023
1840	15,757	1840	19,222	1840	14,733	1840	16,232	1840	12,286	1840	11,507	1840	11,636	1840	15,689	1840	19,829	1840	15,681
1900	6,311	1900	7,0986	1900	8,5429	1900	8,7129	1900	7,6932	1900	7,1392	1900	6,8481	1900	6,2485	1900	7,3362	1900	7,9421
1960	5,503	1960	6,0625	1960	8,1769	1960	8,1414	1960	7,228	1960	6,6188	1960	6,4673	1960	5,4665	1960	6,2371	1960	7,4843
2020	6,7443	2020	7,8973	2020	9,2027	2020	9,2976	2020	8,1544	2020	7,8904	2020	7,3404	2020	6,7332	2020	8,1607	2020	8,6646
2080	7,9179	2080	9,7142	2080	9,8942	2080	10,278	2080	8,7539	2080	8,6835	2080	8,1646	2080	7,8806	2080	10,101	2080	9,5857
2140	9,1097	2140	11,52	2140	10,756	2140	11,292	2140	9,4961	2140	9,4636	2140	8,9094	2140	9,1186	2140	11,979	2140	10,673
2200	9,8199	2200	12,523	2200	11,201	2200	11,847	2200	9,704	2200	9,6397	2200	9,1151	2200	9,7764	2200	12,9	2200	11,443
2260	9,0887	2260	11,28	2260	10,44	2260	11,023	2260	8,9059	2260	9,1074	2260	8,4559	2260	9,0018	2260	11,595	2260	10,446
2320	7,6944	2320	9,3278	2320	9,9259	2320	9,8451	2320	8,3333	2320	8,8525	2320	8,1475	2320	7,6325	2320	9,8905	2320	9,7474
2380	6,6887	2380	7,9784	2380	9,1392	2380	8,8028	2380	7,7019	2380	8,1003	2380	7,414	2380	6,6979	2380	8,1452	2380	8,9287
2440	5,5397	2440	7,2371	2440	8,1238	2440	8,5074	2440	6,8839	2440	7,3305	2440	6,3707	2440	5,7211	2440	7,074	2440	7,8378
2500	6,0061	2500	6,2573	2500	7,6882	2500	8,1188	2500	7,0409	2500	7,2121	2500	6,6869	2500	5,7477	2500	7,2102	2500	7,3799

Sekil 7.4: 30.05.2013 tarihinde deneyleri yapılan meyvelerin grafik verileri.



Şekil 7.5: 30.05.2013 tarihinde deneyleri yapılan meyvelerin grafiği.

8. ÖLÇÜMLER

8.1 Meyve Dokusu Ölçümleri– Yansıma

8.1.1 Granny Smith elma olgunluk deneyi

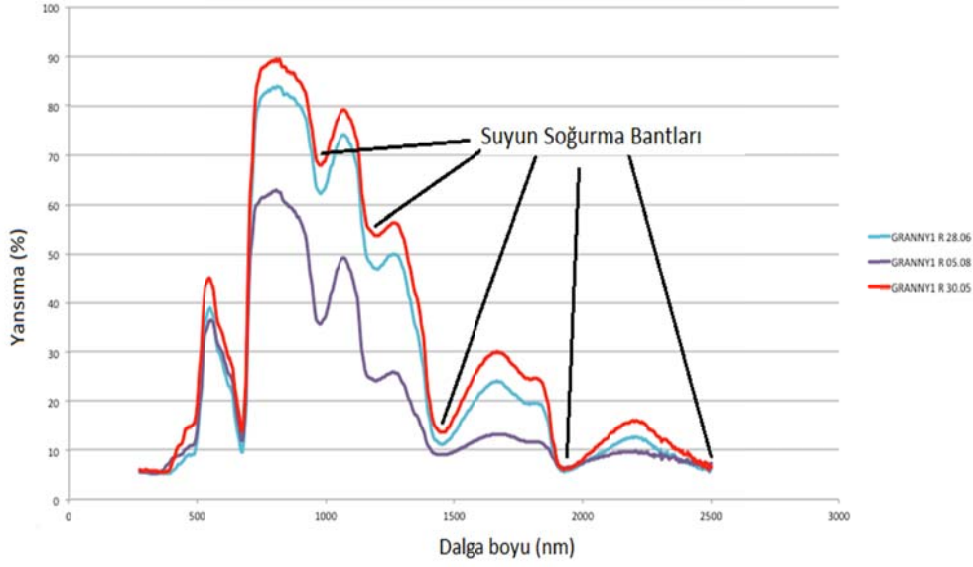
Yapılan literatür taramalarında bu konudaki en çok çalışmanın elmalar üzerinde yapıldığı gözlemlenmiştir [4,11,15,45,46]. Literatürde yapılan çalışmaların hiçbirinde bu tezdeki kadar geniş aralıklı ölçüm (UV/Vis/NIR) yapılmamış olup, bir yada iki bölge üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu tez için yapılan çalışmalarda nanometre boyutları UV/Vis/NIR bölgelerini içermekte olup aralık 280-2500 nm aralığını kapsamıştır.

Şekil 8.1’de verilen örnek, literatürde yer alan Granny Smith Delicious elmasıdır. Burada aynı ağacın meyvesi olan elmaların üç zaman dilimindeki ölçüm sonuçları bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Buradaki NIR bölgesindeki vadilerin daha derin olması meyvenin sulandığının ve olgunlaştığının bir ölçütü olarak görülmektedir [44]. Bu durumda suyun soğurma bantları çizdirilen grafikte belirgin bir şekilde görünmekte olup 975 nm, 1190 nm, 1440 nm ve 1905 nm seviyelerindedir ve olgun bir meyve olduğu görünümünü vermektedir [43,44].

30.05.2013 tarihli kırmızı renkteki grafiğin bu koşullarda en üstte yer alması ve vadilerin derinleşmemesinin sebebi diğer iki örneğe karşılık, daha ham döneminde bulunması ve meyvenin henüz sulanmamış durumda olmasıdır.

Meyvenin renk kısmının 550 nm değerinde ortaya çıktığı bunun da Vis bölgesinde yeşil bant aralığına denk geldiği söylenebilmektedir.

28.06.2013 tarihinde yapılan ölçümlerde elde edilen yeşil renkli grafikte meyvenin vadilerini daha belirgin olarak derinleştirdiği oluşan tepe noktalarının daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 8.1: Granny Smith elma olgunluk deneyi.

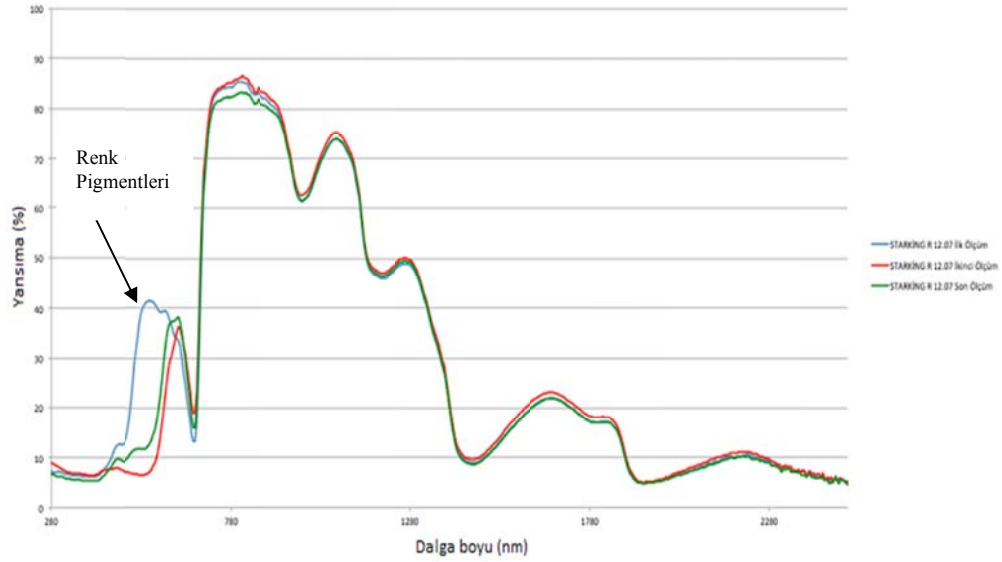
05.08.2013 tarihli grafikte ise meyvenin artık olgun durumca kabul edilebildiğini belirtebiliriz. Buradaki vadilerin en belirgin ve en derin olduğu diğer iki grafikten bütünüyle daha alta bulunduğu yorumunu getirerek meyvenin tamamen olgunlaştığı söylenebilmektedir.

8.1.2 Starking olgun elma deneyi

12.07.2013 tarihinde yapılan deney olgun Starking elmalar üzerinde yapılmıştır. Elmadan bir parça alınarak bu elma ilk alındığı anda ölçümü yapılmıştır ve diğer iki grafik yaklaşık 40 dakika aralıklarla deney tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. İşlemin yapılma amacı meyve dokusunun suyu kaybetme durumunu ve buna bağlı olarak değişen renk durumunu grafik analizi belirlemektedir. Elde edilen verilerden de görüldüğü gibi burada en belirgin değişim meyvenin pigment yapısında olmuş olup su kaybetme miktarı ölçme yapılan zamanın kısa olmasına bağlı olarak değişmemeye yakın bir durum izlemiştir.

Hücre yapısının değişim gösterdiği 770 nm - 1180 nm aralığında zamanla daha az yansımaya oranının (%85 ten %82 ye düşüş) olduğu görülmüştür. Üç değişimde ikinci grafik, ilk durumla neredeyse aynı olduğu görülmekteyken ilk surumdan 80 dakika bekletilerek ölçüm yapılan grafikte farkın daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir.

Pigment yapısında olan değişim 590 nm, 620 nm ve 635 nm ler arasında değişmiş olup renk turuncu- kırmızı renk aralığında farklılık göstermiştir.



Şekil 8.2: Starking elma deneyi.

Zamanla pigment kısmındaki değişim meyvenin beklemesi ve su miktarının azalmasına bağlı olarak oluşan renk koyulaşmasından dolayı görülmektedir.

8.1.3 Starking ham elma deneyi

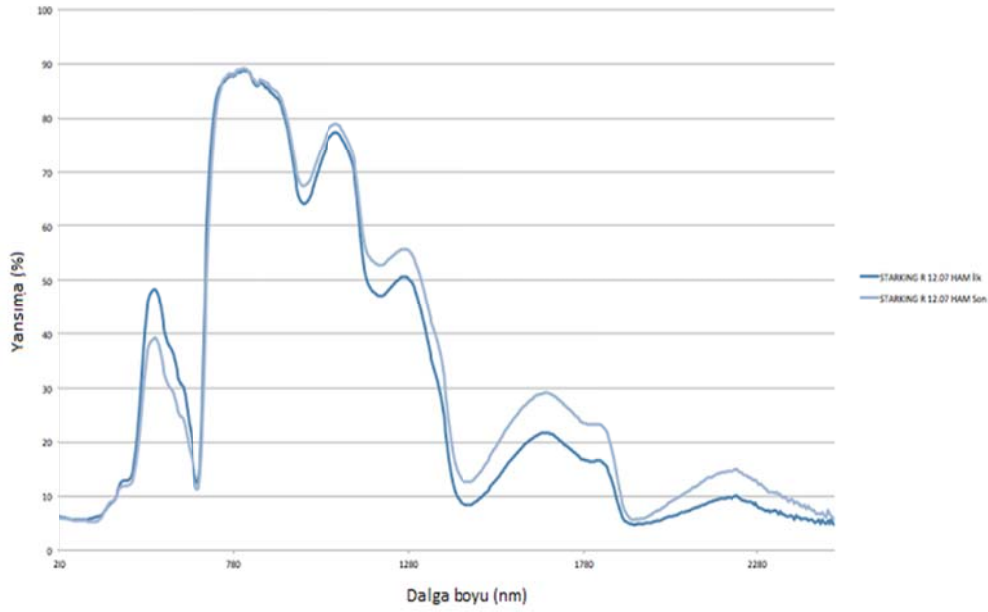
12.07.2014 tarihinde ham Starking elmadan bir kesit alınarak yapılarak alınan veriler sonucu şekildeki grafik çizdirilmiştir. Ölçüm yapılan parça kesildiğinde birinci ölçüm işlemi yapıp, ikincisi de 40 dakika bekletilerek ölçüm işlemi tekrarlanmıştır.

Sulanma bölgelerinde bu periyotta %1 ila %5 su kaybı olduğu gözlemlenmiştir. Bu henüz ham durumda olan elma için kısa kabul edilen bekletilme süresinin sıvı kaybı için önem taşıdığını göstermiştir.

Meyve iç yapısının olgunlaşma durumuna bağlı olarak değiştii aralıkta iki grafik eğrilerinde çakışma görülmektedir. Buradan beklenen sürenin herhangi bir değişim için az olduğunu söylemek mümkündür.

Renk pigmentlerinin bulunduğu aralık olan 390 nm – 700 nm aralığında tepe noktaları ortak olarak 590 nm değerindedir, yansıma oranları farkı da bekletildiği anda kaybedilen su miktarının oranına bağlı olarak % 9 değişim göstermiştir.

Zamanla su miktarının azaldığını ilk grafiğin tepe ve vadilerinin suyun soğurma bölgesinde daha derin olduğundan yola çıkılarak gözlenmektedir.



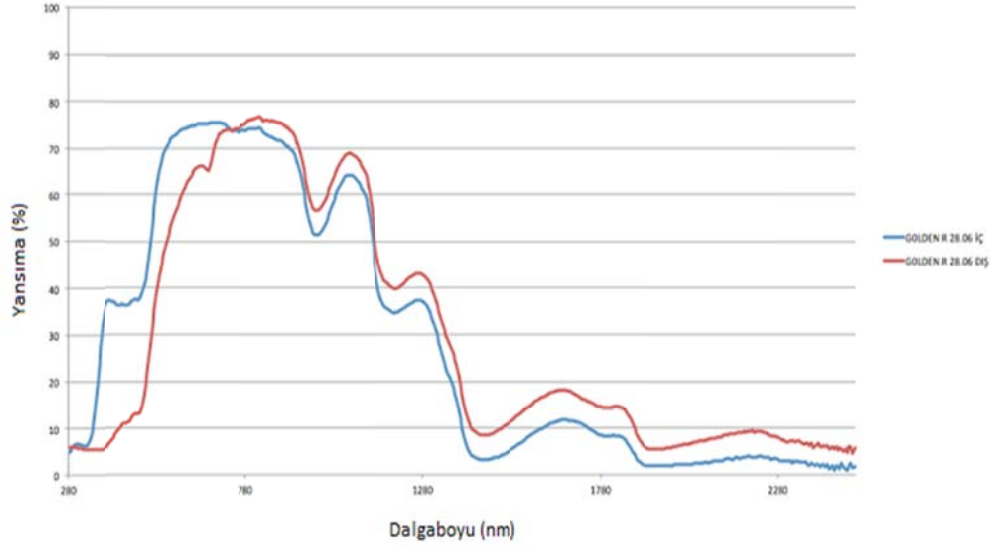
Şekil 8.3: Starking ham elma deneyi.

8.1.4 Golden elma deneyi

28.06.2013 tarihinde laboratuvarında yapılan deneyde Golden elmadan alınan bir kesite iç ve dış yüzeyinden ölçümler yapılmıştır ve ölçümler doğrultusunda Powerful UV WinLab yazılımı ile grafikleri çizdirilmiştir.

Mavi grafik belirtilen kısım Golden elmanın iç yüzeyinden yapılan ölçüm sonucunu belirtmekte olup diğer grafiğe göre daha az yansımıştır [44,47]. Bu durum teorik olarak da söylenebileceği gibi meyvenin sululuk oranının diğer kısma göre daha fazla olduğunu, meyvenin sulanma bölgesindeki vadilerin daha derin, hücre yapısı ile ilgili bölgedeki tepe noktalarının dış yüzey grafiğine göre daha alt kısımda olduğu gözlemlenmektedir.

Literatür çalışmalarında Golden Delicious adı altında geçen meyvenin renk bölgesinin 550 nm mertebesinde olduğu dış yüzey ölçümü yapılan kırmızı renkli grafikten söylenebilmektedir. İç yüzey ölçümü yapılarak elde edilen mavi renkli grafikte ise renk kısmında belirgin bir tepenin oluşmadığı rengin genellikle sarı renk spektrumu aralığında seyrettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 8.4: Golden Delicious iç-dış yüzey deneyi.

İki grafik arasındaki en önemli farklılık meyve pigment yapısı bölgesinde olduğu, bu deneyden ve birçok meyve ile yapılan ölçümlerden meyvenin iç dış yüzeyleri hakkında genel bilgi edilebileceği ortaya çıkmıştır.

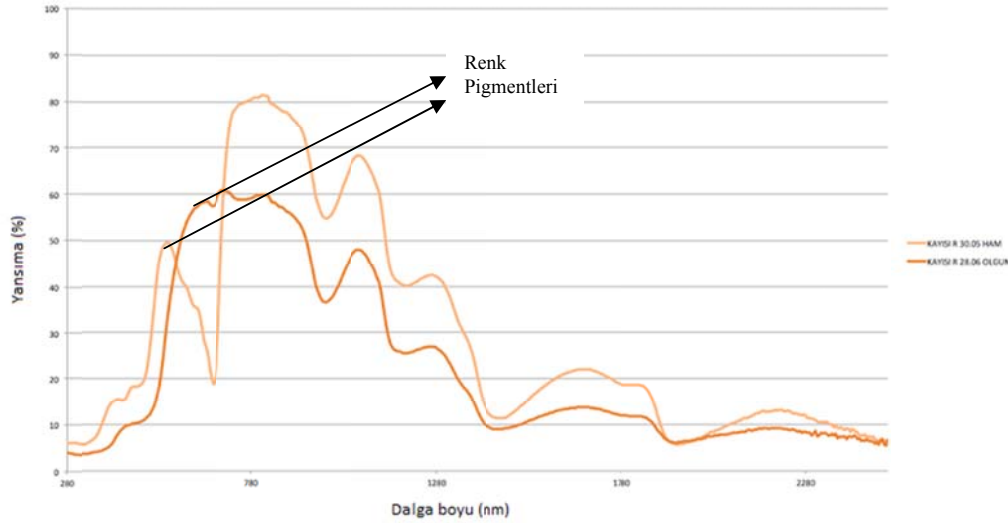
8.1.5 Kayısı deneyi

İki farklı zaman diliminde yapılan bu deneyde aynı ağacın meyveleri kullanılmıştır ve bir aylık süreçteki gelişme durumunun tespiti için yansımaya spektrum ölçümleri yapılmıştır.

İlk ölçüm 30.05.2013 tarihinde alınan sonuçlar sonucunda çizdirilmiştir. Kayısı meyvesinin yeni oluşum zamanına denk gelen bu süreçte yeni koparılıp ölçüm sonuçları alınması ve bu veriler sonucunda grafiğin çizdirilmesi sağlanmıştır. Grafik yorumlandığında meyvenin henüz sulanmadığı grafiğin genel olarak bir sonraki aydan alınan ölçüme göre yukarıda seyrettiğinden çıkarılabilmektedir. Meyve renk bölgesinin 540 nm değerinde olduğu, kayısının henüz yeşil renkte ve ham içerikte olduğu söylenebilmektedir.

İkinci ölçüm 28.06.2013 tarihinde yapılmış olup koyu renkte ifade edilmiştir. Yapılan deney sonucunda elde edilen verilerle Powerful UV WinLab yazılımı ile çizdirilen grafik yorumlandığında bu grafikte oluşan suyun soğurma bandı bölgesinde bulunan vadilerin daha derin olduğu ve kabuk renk bölgesi haricinde diğer grafiğe göre daha alt seviyelerde yer aldığı gözlemlenmiştir. Bu durum bize

kayısı meyvesinin diğer grafiğe göre zamanla olgunlaştığını, iç yapısının sulandığını ve kabuk renginin koyulaştığını 630 nm seviyesinde olup meyvenin kızarmaya başladığını ifade edilebilmektedir.



Şekil 8.5: Kayısı olgunluk deneyi.

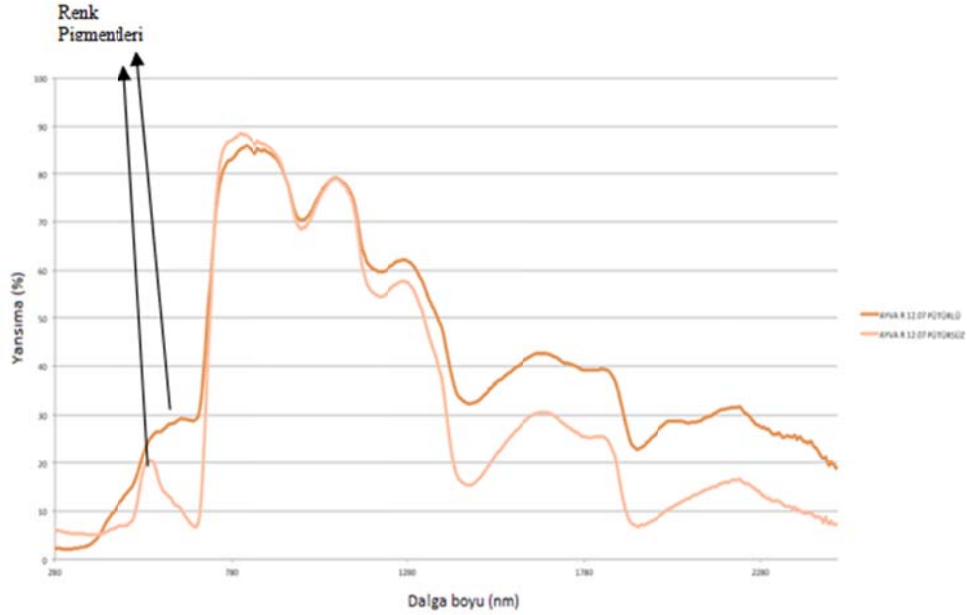
Kayısı meyvesi pigment yapısının diğer deneylerde yapılan meyvelere kıyasla hızlı oluştuğunu ve bir aylık gibi bir sürede olgunlaşıp yorum yapılmasını sağlayan vadilerin oluştuğu görülebilmektedir.

8.1.6 Ayva pütürlülük deneyi

12.07.2013 tarihinde ayva meyvesi üzerinde yapılan deneyden elde edilen grafikler aynı örnekten elde edilmiştir. Bu deneyde ayvanın ilk önce üzerindeki tabakayla yansıma spektroskopisi ölçümü alınmış ardından üzerindeki tabaka temizlenerek ölçüm yapılmıştır.

İlk olarak yapılan ölçümde ayva dalından koparıldığı gibi herhangi bir temizleme yada üzerindeki tabakayı kaldıracak herhangi bir işlem yapılmadan cihaz tarafından 280-2500 nm aralığında yansıma spektroskopisi ölçümleri alınmıştır. Bu durumda cihazla meyve arasında pütürlü tabakanın bulunmasından dolayı algılanan yansıma miktarının temizlenen ayva yüzeyine göre daha az olduğu fark edilmiştir. Bu fark suyun soğurma bölgelerinde 965 nm, 1160 nm, 1425 nm ve 1915 nm boyutlarında, %1 ila %17 aralığında değişim gösteren yansıma oranı farklılıkları gözlemlenebilmektedir.

İkinci durumda ise ayva yüzeyi su ile pütürlü yüzeyden alınarak deney yapılmıştır. Bu durumun meyvenin sululuk durumu tayini açısından daha verimli olup oluşması gereken vadilerin 975 nm, 1190 nm, 1430 nm ve 1920 nm lerde var olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 8.6: Ayva pütürlülük deneyi.

Renk bilgisinin bulunduğı kısım pütürlü konumdayken belirgin olmasa da pütürü temizlendiğinde 545 nm de olduğı ve buradan ayvanın ham halde olduğı ortaya çıkmıştır.

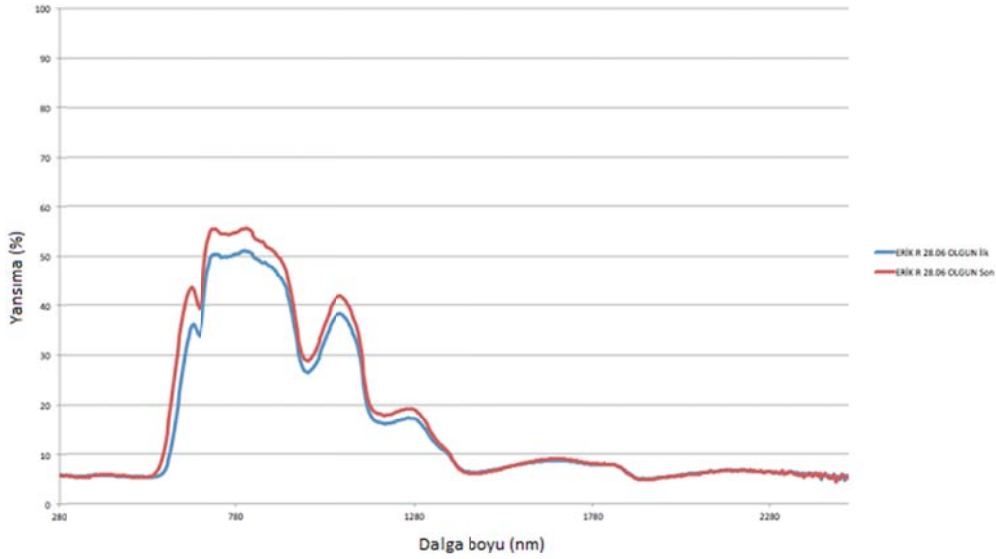
8.1.7 Erik deneyi

28.06.2013 tarihinde gerçekleştirilen deney aynı meyveden bir parça kesit alınarak alınan kesitin 60 dakika bekletilmesi sonucundaki değışiklikleri gözlemlmek amacıyla yapılmıştır.

Grafik yorumlandığında suyun soğurma bölgelerinde 975 nm, 1175 nm, 1425 nm ve 1900 nm boyutlarında ilk durum ve ikinci durum arasında %3 lük bir soğurma yüzdesi farkı oluşmuştur. Buradan eriğın çok fazla su kaybı olmadığı söylenmekle birlikte, oluşan vadilerin derinliğinin fazla olmamasına bağılı olarak meyve iç yapısının fazla yumuşak olmadığı, sertte yakın olduğı yorumu da getirilebilmektedir.

Kullanılan erik meyvesi 655 nm aralığında yer almaktadır ve Görünür – kırmızı renk bölgesine denk düşmektedir. En belirgin değışim 700-1200 nm arasında olması

gereken hücre yapısı bölgesinde olmuştur. Buradaki yansıma oranı yaklaşık olarak %4 olarak değişmiştir.



Şekil 8.7: Erik deneyi.

Erik diğer meyvelere göre gerek iç yapısının daha sert olmasından dolayı farklı meyvelerle aynı bekletilme süresi boyunca daha az soğurma yüzdesi değişimine sahiptir.

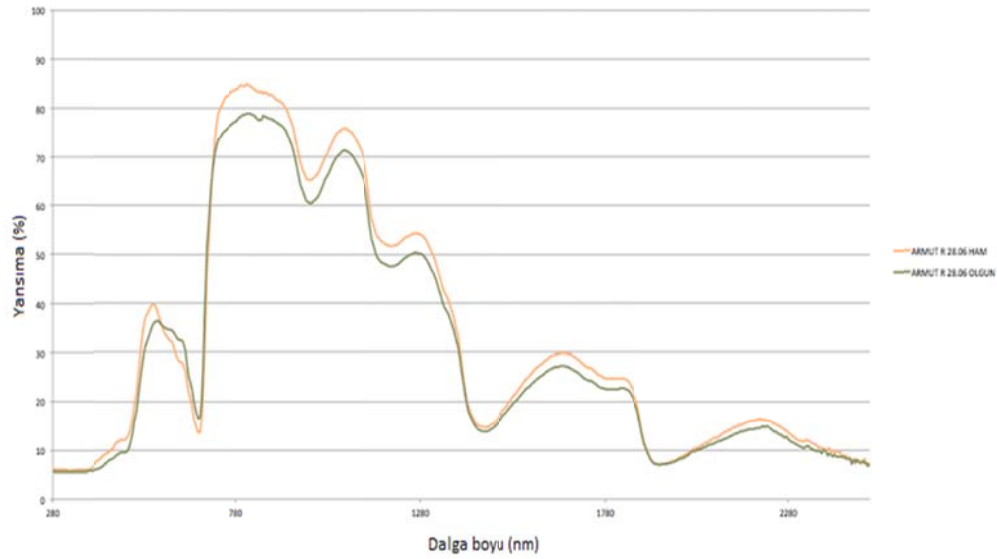
8.1.8 Armut deneyi

28.06.2013 tarihinde aynı ağaçtan iki farklı oluşum durumundayken koparılan armutların ölçüm sonuçlarından oluşan grafik şekildeki gibidir. Ölçüm yapılan armutların biri ham diğeri ise olgun durumdadır.

Seçilen armut cinsinin iç yapısına bağlı olarak fazla sulanma göstermemesi şekildeki grafikten de görülmektedir. Sulanma bölgelerinde en fazla %5 yansıma oranı farkı görülmüştür. 1440 nm ve 1950 nm boyutundaki sulanma bölgelerinde iki grafik birbiriyle çakışır durumdayken 975 nm ve 1180 nm değerlerindeki bölge daha çok meyvenin iç yapısı bölgesine karşılık geldiğinden daha belirgin farklılık gözlemlenmiştir.

Renk pigmentinin olduğu durum ham meyve için 555 nm iken, olgun durumda 580 nm olmuştur. Buradan meyvenin ham durumda yeşil renkte olduğunu, olgunlaştığında ise sarı renk spektrumu bölgesinde yer aldığı söylenebilmektedir.

680 nm ve 975 nm ler arasında hücre yapısı bölgesinde (700 nm – 1200 nm) olgun armut grafiğinin tepe noktasının ham armut grafiğine göre %5 daha aşağıda bulunduğunu buradan da meyvenin tepe ve vadilerinin daha alt kısımda bulunduğu daha olgun olduğunu belirten duruma bağlı olarak diğerine kıyasla daha olgun olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 8.8: Armut deneyi.

8.1.9 Şeftali deneyi – Yeşil kısım

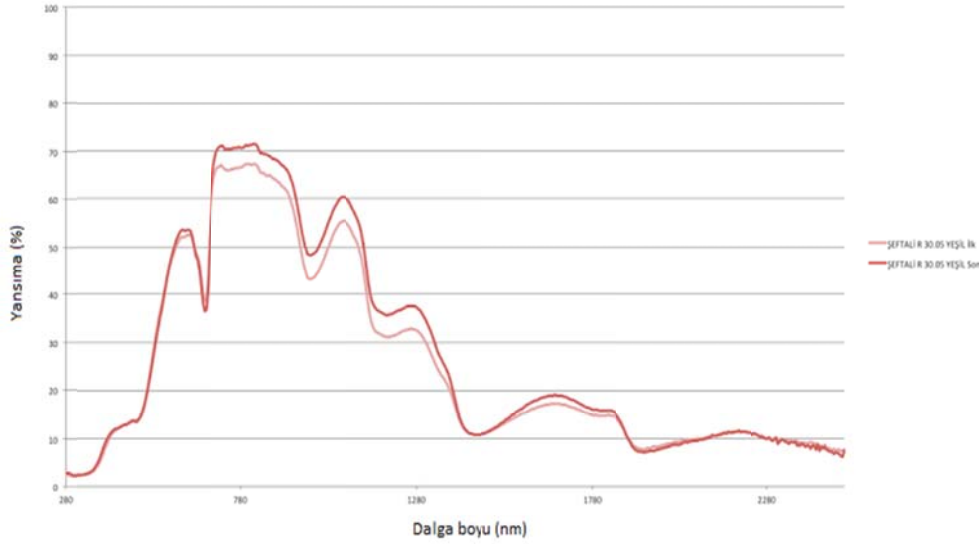
30.05.2013 tarihinde aynı bahçe ürünü olan üç farklı ağacın şeftali meyvesinden çeşitli ölçümler alınmıştır. Bu başlık altındaki şeftali sarı renkte olup, alınan ölçüm sonuçları bu meyvenin en ham halini temsil etmelidir. Yapılan ölçüm aynı gün bir saat aralıklarla tekrarlanmıştır. Şeftali meyvesinin olgunluk durumuna bağlı olarak suyunun hangi durumda daha az olacağı tespit edilmesi istenilmiştir.

Grafikte olgunlaşmaya bağlı olarak değişim gösteren 1435 nm ve 1915 nm değerlerinde şekildeki grafikten de görüldüğü gibi herhangi bir değişim gözlemlenmemiş, iki grafik üst üste çakışık durumda bulunmaktadır. Bu meyvenin tamamen ham durumda olduğunu içerisinde henüz sulanma durumu gerçekleşmediğini ve belirtilen zaman aralığında katıya yakın içeriğe sahip olmasından dolayı su kaybetmediğini göstermektedir.

İç yapısının oluşma aralığında %5 lik bir yansıma spektroskopisi farkı görülmektedir. Bu durum değişimin olması için ölçüm yapılan sürenin fazla uzun olmamasına rağmen istenilen sonunun elde edilebilir olduğunu göstermiştir.

Renk pigmenti aralığı ise iki durum arasında kayda değer olmayan miktarda değişim göstermiştir, bu durum meyvenin renk değişiminin olması için daha uzun zaman ve olgunluğunun biraz daha fazla olmasına bağlı olduğunu vurgulamaktadır.

Genel olarak iki grafik birbiriyle neredeyse çakışık durumda bulunmaktadır, bu durum meyvenin en ham halinde görülmesi beklenen bir durum olup alınan veriler karşılığında grafiğe de şekildeki gibi yansımıştır.



Şekil 8.9: Şeftali deneyi- yeşil kısım.

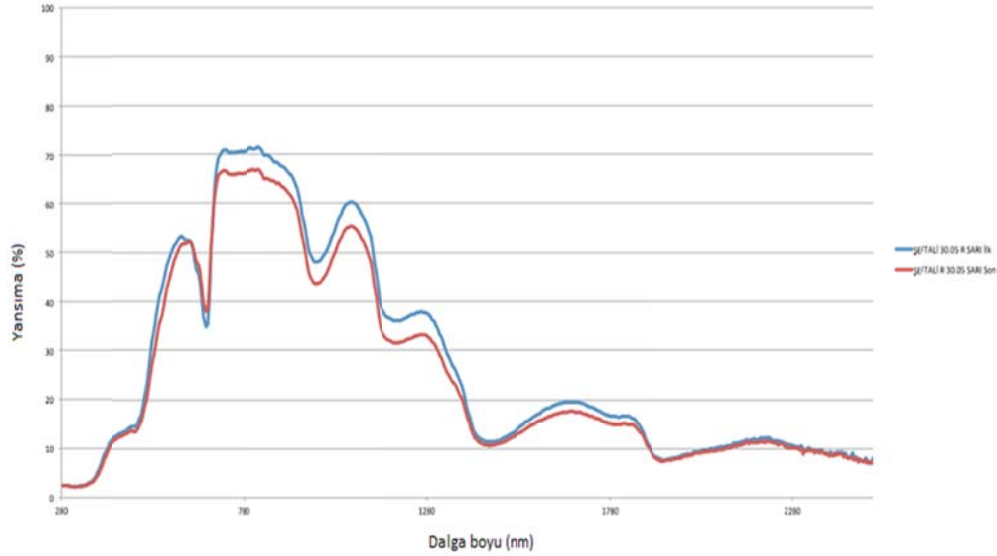
8.1.10 Şeftali deneyi – Sarı kısım

30.05.2013 tarihinde yapılan ve 1 saatlik ara verilerek tekrarlanan ikinci bir deney ise şeftali meyvesinin ikinci durum hali, biraz daha olgun hali olan sararan kısmıdır.

1435 nm ve 1950 nm değerlerinde meyvenin daha sulu durumlarda yansıma spektroskopisinde farklılık göstermesi gereken bölgede şekilde de görüldüğü gibi meyvenin tam olgunlaşmamış olmasına bağlı olarak önceki örnek gibi herhangi değişim gözlenmemiş, iki grafik üst üste çakılı durumda yer almıştır. Suyun diğer soğurma bölgelerinde ise %5 lik bir yansıma spektroskopisi farkı oluşup, 965 nm ve 1175 nm değerlerinde bu değişim ortaya çıkmıştır.

675 nm - 1170 nm aralığında şeftali meyvesi hücre yapısı kısmında da %3 lük bir yansıma oranı farklılığı görülüp, meyvenin bekletildiğinde içerdiği su miktarının bu oranda bir öncekine göre daha az değişim gösterdiği gözlemlenmektedir. Bu durum daha olgun durumdaki süreç içerisinde kesit alınan şeftalinin aynı zaman içerisinde daha az su kaybı meydana geldiğini ortaya çıkarmaktadır.

390-700 nm aralığında oluşan renk pigmentleri bölgesinde meyvenin renk kısmının oluşturduğu tepecik 610 nm seviyesinde olup sarı renk spektrum bölgesine düşmektedir, bu aralık meyvenin hafif kırmızıya doğru yönelmekte olduğunu söylemektedir. İki grafik arasında %1 lik çok küçük derecede yansıma oranı farkı görülmektedir.



Şekil 8.10: Şeftali deneyi-sarı kısım.

8.1.11 Şeftali deneyi – Kırmızı kısım

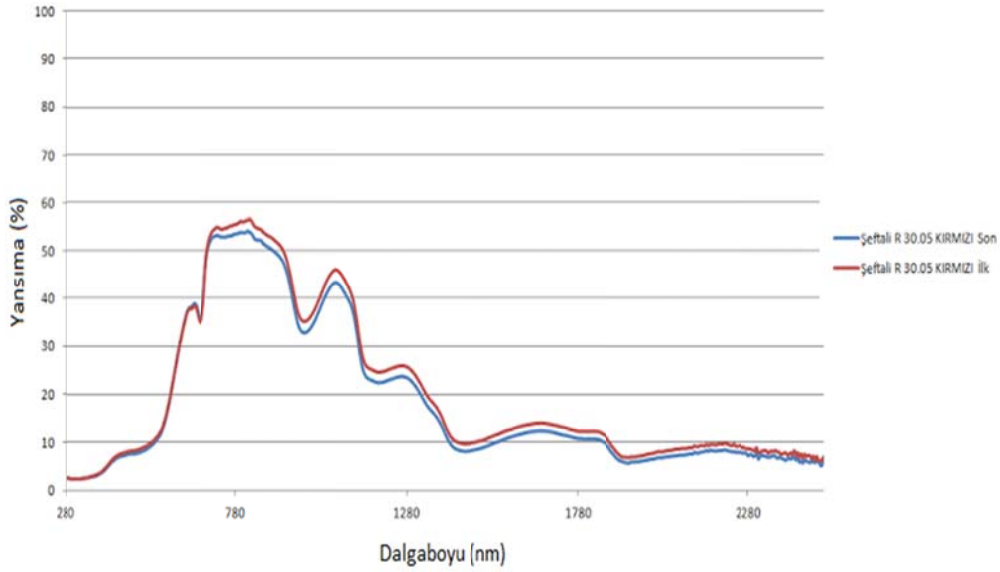
30.05.2013 tarihinde yapılan şeftali deneylerinin sonuncusu olan bu deneyde kırmızı ve olgunlaşmış meyveden bir kesit alınarak ölçümler yapılmıştır.

Alınan sonuçlarda normal bir meyvede görülen sulanma kısımlarındaki vadileri bu kısımda da görmek mümkünken iki farklı zaman diliminde gerçekleşen bu durumun arasında diğer iki örnekte yapılan ölçümlere göre farklılıklar olduğu gözlemlenebilmektedir. 1435 nm ve 1915 nm değerlerinde yeşil ve sarı renkteki şeftaliler üzerinde yapılan deneylerde herhangi bir farklılık olmayıp çakıştığı görülürken, burada %2 oranında ufak sayılsa da bir değişim gözlemlenmektedir.

Meyvenin iç yapısıyla alakalı bölge olan bölgedeki kısımdaki 675 nm – 1170 nm aralığında ise şeftalinin yeşil ve sarı türlerinden alınan verilerle çizdirilen grafiklere oranla daha az bir yansıma oranı görülmektedir.

Renk pigmentleri olduğu bölgede ise iki grafik 655 nm boyutundaki kırmızı renk spektrumundaki değerde tamamen çakışık durumda olduğu görülmektedir ve üç

grafikte de bu sonucun ortak olarak görüldüğü, 1 saatin meyvenin kabuk yapısını değiştirebilecek kadar yeterli sürede olmadığı ortaya konmaktadır.



Şekil 8.11: Şeftali deneyi – kırmızı kısım.

8.1.12 Portakal kabuğu deneyi

04.03.2014 tarihinde yapılan deneyde portakal meyvesinin iç ve dış yüzeyinden yansıma spektroskopisi ölçümü alınmış, bu verilerle cihaz yazılımı doğrultusunda şekildeki grafik çizdirilmiştir.

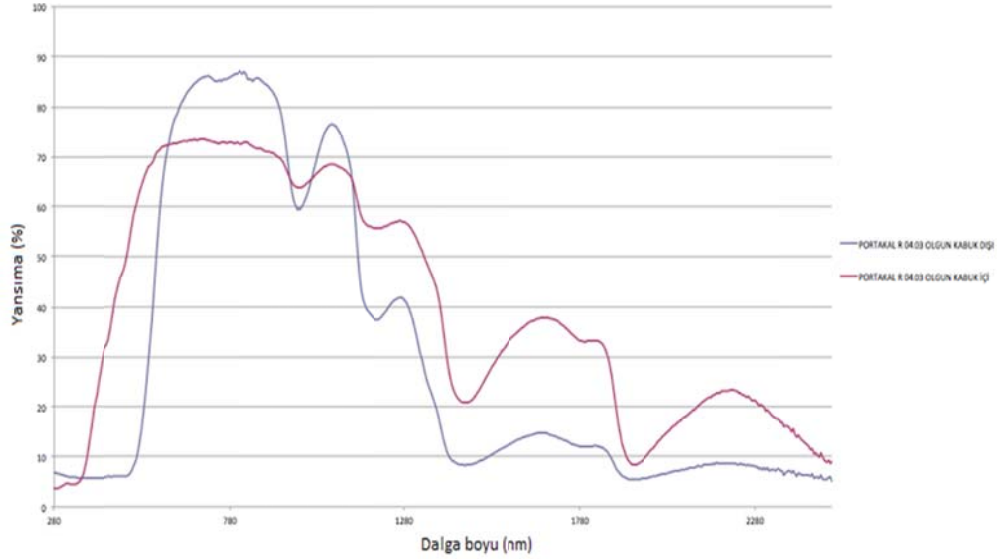
Kabuk dışından alınan ölçüm sonuçlarından çizdirilen grafik diğer meyvelerde görülen tepe ve vadilere sahipken, iç kısımdan alınarak çizdirilen grafikte daha önce yapılanlara göre farklılıklar görülmektedir.

Kabuk içi ve kabuk dışından alınan örneklerin farklı yansıma oranlarında olmasına rağmen 965 nm, 1175 nm, 1415 nm ve 1895 nm değerlerinde suyu ortak değerlerde absorbe ettikleri görülmüştür. Suyu yansıma oranları iki grafik arasında %4 ila %13 değişim göstermiştir.

Hücre yapısının bulunduğu aralıkta kabuk içinden yapılan ölçüm fazla miktarda değişim göstermemiştir. İki ölçümden çizdirilen grafik arasında %14 lük bir yansıma oranı görülmektedir.

Renk pigmenti dış kabuk için 605 nm değerine karşılık gelmiş ve meyvenin renginin turuncu olduğunu ifade etmektedir. Kabuk içi için herhangi bölgede renk oluşum tepesi görülmemiştir.

Yapılan deneyler içerisinde en çok farklılık bu kıyaslamada görülmüştür. Renk bölgesinin iç kısımda oluşmaması, hücre iç yapısının oluşturduğu tepeliğin dış kısma göre daha geniş alan kapladığı, kabuk dış yüzeyinin iç yüzeyinden daha sulu olması ve buna bağlı olarak iki grafik karşılaştırıldığında yansıma oranlarının belirgin bir şekilde ortaya çıkması durumları gözlemlenmiştir.



Şekil 8.12: Portakal kabuk iç - dış deneyi.

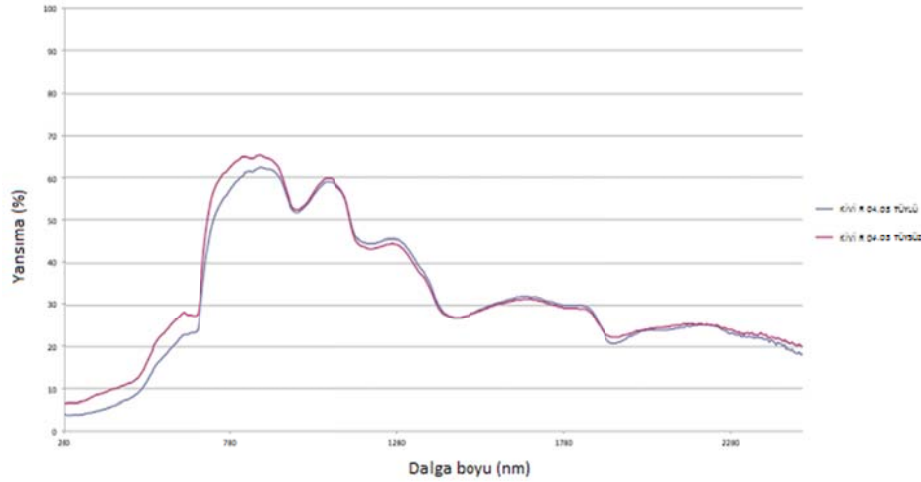
8.1.13 Kivi deneyi

04.03.2014 tarihinde yapılan kivi meyvesi üzerinde yapılan ölçümlerde ilk durumda kivi yüzeyindeki tüylü tabakadan kivi arındırılmamış halde, ikinci durumda ise kivi yüzeyindeki tabaka arındırılarak veriler alınmıştır ve grafik üzerinde karşılaştırılmıştır.

Suyun soğurulduğu 970 nm, 1185 nm, 1445 nm ve 1925 nm değerlerinde en fazla %2 lik bir değerde olan ihmal edilebilir farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu durum yüzeyinin tüylü olmasının suyun soğurma noktalarında etkisinin çok küçük olduğunu göstermiştir.

Hücre yapısının olduğu aralıkta gönderilen ışının yüzeydeki tüylü tabakadan dolayı %3 lük yansıma oran farkı olmuştur.

Renk pigmenti ki durum içinde 640 nm değerinde yoğunlaşmaktadır. Genel olarak iki grafik suyun soğurulduğu bölgelerde çakışma gösterip, hücre iç yapısının bulunduğu ve renk pigmenti bölgesinde gelen ışığı farklı miktarlarda yansıtıkları görülmüştür. Bu durum tüysüz yüzeylerde daha yüksek yansımaya oranı göstermektedir.



Şekil 8.13: Kivi tüylülük deneyi.

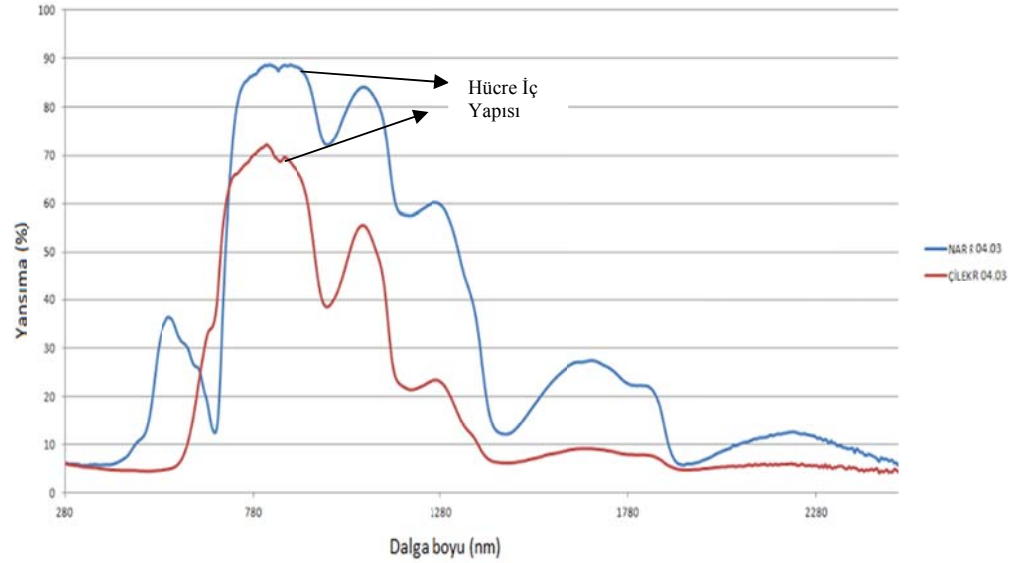
8.1.14 Nar – Çilek deneyi

04.03.2014 tarihinde yapılan ölçümlerde iki farklı meyve aynı grafik üzerinde karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir.

Nar ve çilek meyvelerinden olunan verilerle çizdirilen grafikte suyun soğurulduğu değerler iki meyve için de 975 nm, 1180 nm, 1440 nm ve 1915 nm noktaları olduğu görülmektedir. Burada daha alt kısımda seyreden çilek meyvesi nar meyvesine göre daha fazla olgunlaştığını söylenebilmektedir.

700 nm – 2500 nm aralığında soğurma oranları farklı olsa da tepe ve vadiler aynı değerlerde konumlanmaktadır. Bu aralıkta oluşan soğurma oranları %1 ila %46 oranında değişmektedir. Bu durumdan farklı meyvelerin de aynı değerlerde benzerde benzer durumları gösterdikleri görülmektedir.

Renk pigmentlerinin bulunduğu 390 nm – 700 nm aralığında farklılıklar gözlemlenmektedir. Burada nar meyvesi 555 nm değerinde, çilek ise 665 nm mertebesinde tepe değeri göstermektedir. Bu değerlerden yola çıkıldığında narın henüz ham halde bulunduğunu ve sarımsı renkte olduğunu, çileğin ise tam olgunlaşıp kırmızı renkte olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 8.14: Nar – çilek deneyi.

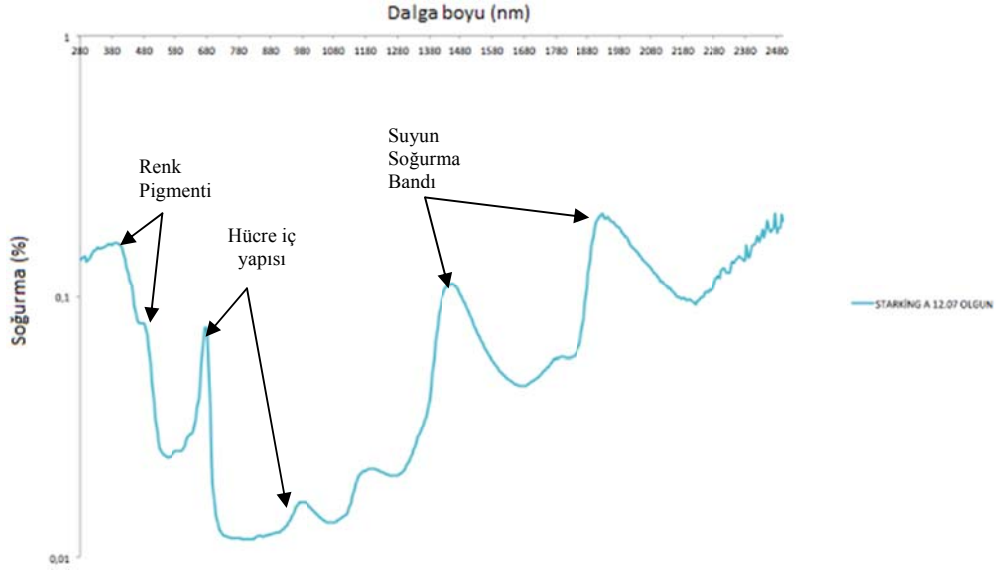
İki grafik genel olarak kıyaslandığında grafiğin tüm bölgelerinde çilek meyvesi nar meyvesinin grafiğine göre daha aşağı kısımda kalmış olup, grafikten de ve deney sırasındaki gözlemlerle de anlaşılacağı gibi çilek nara göre daha olgun seviyededir.

8.2 Meyve Dokusu Ölçümleri– Soğurma

8.2.1 Starking elma deneyi – Soğurma grafiği

12.07.2013 tarihinde yapılan deneyde starking elma üzerinde yapılmıştır, diğer meyvelerde yapılan deneylerde alınan verilerden yansıma spektroskopisi grafiği çizdirilmiş olup, bu grafikte farklı olarak soğurma spektroskopisi grafiği çizdirilmiştir.

Aynı tarihte yapılan starking elma deneyinin yansıma grafiğinin tersi (1/R) olarak çizdirilen grafikte oluşan tepe değerleri tepe değerleri diğer grafiklerin aksine renk pigmentleri ve hücre iç yapısını gösterirken, vadileri hücre iç yapısını göstermektedir.



Şekil 8.15: Starking elma deneyi.

9. SONUÇ

Gıda endüstrisinde, gıdanın güvenilirliği ve kalitesi, doğrudan insan sağlığını ilgilendirdiğinden önemli bir konudur. Yapılan çalışmalar incelendiğinde belirli meyve türlerinde belirli bir spektrum aralığı incelenmiş, bu çalışmada incelenen aralık kadar geniş bir spektrumda gözlem yapılmamıştır.

Tezde UV/Vis/NIR bölgelerinin kapsandığı 280-2500 nm dalga boyu aralığında on çeşit meyvenin (elma-granny smith, elma-starking, elma-golden, erik, armut, şeftali, kayısı, kivi, portakal, nar, çilek ve ayva) yansıma spektroskopisi yöntemiyle meyvenin renk değişimi, etlenmesi ve olgunlaşma durumuna bağlı olarak sulanması durumları analiz edilmiştir.

Yapılan ölçümler küresel yansıma spektroskopisine sahip cihaz tarafından gerçekleştirilmiştir. Cihazın bu özelliği meyve dokusunun tüm açılardan değerlerin alınabilmesini sağlamıştır. Meyve dokusunun yüzeyindeki şekil bozuklukları cihazın bu özelliği sayesinde giderilmiş olup, alınan verilerin güvenilir olmasını sağlamıştır.

Bilimsel literatür araştırmalarında, 280-2500 nm dalga boyu aralığındaki spektrumu kapsayan, bu çalışmada alınan ve incelenen ölçüm değerleri kadar çok çeşit meyve analizi yapılmamıştır. Ayrıca literatürdeki çalışmalara ek olarak portakal meyvesinin kabuk içi ve kabuk dışından; kivi meyvesinin kabuk yüzeyindeki tüylü dokuyu arındırdıktan önce ve sonra tüylü ve tüysüz dokularından; ayva meyvesinin yüzeyindeki pütürlü dokusundan arındırıldıktan önce ve sonraki pütürlü ve pütürsüz doku yüzeylerinden; aynı renge sahip farklı türdeki meyvelerin (nar ve çilek) renk pigmentlerinin aynı yere karşılık gelmesine rağmen hücre içyapısının ve hücre içi sululuk oranının oluşabilecek farklılığının ölçümünü yapmak için doku yüzeylerinden; aynı türdeki birçok meyvenin dalından koparılmasından bir süre sonraki, meyveden kesit alarak ilk ölçüm yapıp sonra belirli bir süre bekletildiğindeki ve farklı hasat zaman dilimlerindeki ölçümlerin analizleri yapılmıştır. Bu ölçümlerde soğurma yüzdeliklerinde farklılıklar gözlemlenmiştir.

Tez sonunda çalışmanın devamı olan alınan verileri değerlendirerek piyasada henüz bulunmayan el tipi cihaz geliştirilmiştir. Cihaz Ali SARIKAŞ tarafından tasarlanmış olup, bu tez çalışmasıyla ortak yapılan bir çalışmadır. Cihazda bulunan lcd ekran sayesinde meyvelerin koparılması için uygun olan süre belirlenebilmektedir. Ekrandaki yüzdeliklere bağlı olarak meyvenin rengi, iç dokusunun sulanma durumu ile ilgili bilgi alınabilmekte, buradan meyvenin ham, yarı olgun ve olgun durumlarda olduğu sonucuna varılabilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Nicolai, B., Beullensa, K., Bobelyna, E., Peirsa, A., Saeysa, W., Theronb, I., Lammertyna, J.,** (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy, *Postharvest Biology and Technology*, **46**, 99-118.
- [2] **Abbott, J.,** (1999). Quality measurement of fruits and vegetables, *Postharvest Biology and Technology*, **15**, 207-225.
- [3] **Cen, H., Yong, H.,** (2007). Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality, *Food Science and Technology*, **18**, 72-83.
- [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] **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.
- [6] **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.
- [7] **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.
- [8] **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.
- [9] **Mcglone, V. A., Jordan, R. B., Martinsen, P. J.,** (2002). Vis/NIR estimation at harvest of pre- and post-storage quality indices for 'Royal Gala' apple, *Postharvest Biology and Technology*, **25**, 135-144.
- [10] **Peirs, A., Ooms, K., Lammertyn, J., Nicolai, B.,** (2001). Prediction of the optimal picking date of different apple cultivars by means of VIS/NIR-spectroscopy. *Postharvest Biology Technology*, **21**, 189-199.

- [11] **Park, B., Abbott, J.A., Lee, K.J., Choi, C.H., Choi, K.H.,** (2003). Near-infrared diffuse reflectance for quantitative and qualitative measurement of soluble solids and firmness of Delicious and Gala apples, *Trans. ASAE*, **46**, 1721–1731.
- [12] **Xing, J., Bravo, C., Moshou, D., Ramon, H., De Baerdemaeker, J.,** (2006). Bruise detection on ‘Golden Delicious’ apples by vis/NIR spectroscopy, *Comp. Electron. Agriculture*, **52**, 11–20.
- [13] **Nicolai, B.M., Verlinden, B.E., Desmet, M., Saevels, S., Theron, K., Cubeddu, R., Pifferi, A., Torricelli, A.,** (2007). Time-resolved and continuous wave NIR reflectance spectroscopy to predict firmness and soluble solids content of Conference pears, *Postharvest Biology Technology*, doi:10.1016/j.postharvbio.2007.06.001, in press.
- [14] **Harker, F. R., Redgwell, R.J., Hallett, I.C, Murray, S.H., Carter, G.,** (1997). Texture of Fresh Fruit, *Hortic Rev*, **20**, 121-143.
- [15] **Hallett, I.C., Sutherland, P.W., Harker, F.R., Macrae, E.A.,** (2005). Fruit Cell Walls, Texture and Convenience, *Microscopy and Microanalysis*, **11**, 1144-1145.
- [16] **Herold, B., Kawano, S., Sumpf, B., Tillmann, P., Walsh, B.,** (2008). Optical Monitoring of Fresh and Processed Agricultural Crops, 157-189.
- [17] **Cayuela, J.A.,** (2008). Vis/NIR soluble solids prediction in intact oranges, *Postharvest Biology and Technology*, **47**, 75-80.
- [18] **Guthrie, J.A., Walsh, K.B., Reid, D.J., Liebenseberg, C.J.,** (2005). Assessment of internal quality attributes of mandarin fruit 1. NIR calibration model development, *Aust. J. Agric. Res.*, **56**, 405-416.
- [19] **Sudheer, K., Indira, V.,** (2007). *Post Harvest Technology of Horticultural Crops*, New India Publishing, Horticulture Science Series, **7**, 31-43.
- [20] **Meyvenin iç yapısı,**
http://www.biosci.ohio-state.edu/~plantbio/osu_pcmb/pcmb_lab_resources/pcmb101_activities/flwrs_sds_frts/flwrs_sds_rts_where_fruit.htm,
Alındığı tarih: 19.04.2014.
- [21] **Nemshauser, J., Hong, F., Chory, J.,** (2006). Different Plant Hormones Regulate Similar Processes through Largely Nonoverlapping Transcriptional Responses, *Cell*, **126**, 467-475.
- [22] **Esau, K.,** (1977). *Anatomy of Seed Plants*, 2nd Edition, John Wiley and Sons.
- [23] **Meyve Türleri,**
http://www.fruitsinfo.com/types_of_fruits.htm,
Alındığı tarih: 23.04.2014.
- [24] **Bazı biyolojik dokuların soğurma özellikleri,**
<http://omlc.ogi.edu/education/ece532/class3/muaspectra.html>,
Alındığı tarih: 08.04.2014.

- [25] **Soğurma spektrofotometresinin dış görünümü,**
<http://thermomed.com.tr/urunler/aas-atomik-absorpsiyon-spektrofotometreler/>,
Alındığı tarih: 23.04.2014.
- [26] **Spektrofotometre düzeneğinin iç yapısı,**
<http://www.cord.edu/dept/chemistry/analyticalmanual/appendix/appendix1.html>,
Alındığı tarih: 07.04.2014.
- [27] **Saidi, S., Jacques, S., Tittel, F.,** (1995). Mie and Rayleigh modeling of visible light scattering in neonatal skin, Applied Optics, Osa, **34**, 7410-7418.
- [28] **Watkins, R., Vallandingham, J.,** (2008). Rayleigh scattering, Optics, Rowan University,
<http://home.comcast.net/~vinelandrobotics/>,
Alındığı tarih: 24.04.2014.
- [29] **Sloan, J.,** (2011). Size dependant properties of nanomaterials, Properties of Solid, Lecture 10,
http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/physics/current/teach/module_home/px432/jsloan_lecture10_432_2013.ppt.pdf,
Alındığı tarih: 24.04.2014.
- [30] **Özer., A.,** (2008). “1070-nm yfl laser ile beyin ve karaciğer doku uygulamalarında karşılaştırmalı sıcaklık ölçümleri” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [31] **Cilesiz, I.,** (2014). BM582 Spec. Stud. Fundamentals of Photonics. Ders notları, Bogaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- [32] **Niemz, M.H.,** (2004). Laser-Tissue Interactions, Fundamentals and Applications, 3rd Edition, 9-43. Heidelberg, NY: Springer.
- [33] **Bigio, I. J., Bown, S. G.,** (2004). Spectroscopic Sensing of Cancer and Cancer Therapy, Cancer Biology & Therapy, 3:3, 259-267
- [34] **Spektrum hakkında teorik bilgi,**
<http://www.yorku.ca/eye/spectru.htm>,
Alındığı tarih: 14.04.2014.
- [35] **Newton tarafından geliştirilen ilk spektroskopik düzenek,**
<http://frigg.physastro.mnsu.edu/~eskridge/astr102/week4.html>,
Alındığı tarih: 14.04.2014.
- [36] **Elektromagnetik etkileşimler,**
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>,
Alındığı tarih: 17.04.2014.
- [37] **Parkinson, C., Wollack, E.,** (2010). Tour of the Electromagnetic Spectrum , NASA, Winner 22 Awards.

- [38] **Röseler, A.**, (1966). Measurements of the instrument function and of the spectral slit width of a prism spectrophotometer, *Infrared Physics*, **6**, 111–120.
- [39] **Davidson, M. W.**, Tungsten-Halogen Incandescent Lamps, National High Magnetic Field Laboratory, The Florida State University, Florida,
<http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/articles/lightsources/tungstenhalogen.html>,
Alındığı tarih: 15.04.2014.
- [40] **Harvey, D.**, (2012). Analytical Chemistry, Overview of Spectroscopy, Spectroscopic Methods, DePauw University, **1**, 543-666.
- [41] **Hegyi, G., Kardos, J., Kovács, M., Csizmadia, A., Nyitray, L., Pál, G., Radnai, L., Reményi, A., Venekei, I.**, (2013). Introduction to Practical Biochemistry, Faculty of Natural Sciences, Institute of Biology, 65-84.
- [42] **Çift monokromatörlü spektrofotometre**,
<http://www.itp.uni-hannover.de/~zawischa/ITP/scattering.html#tyndalleffekt>, Alındığı tarih: 15.04.2014.
- [43] **Işık doku etkileşiminin polarizasyonla ifade edilmesi**,
<http://www.physicsclassroom.com/class/light/u1211e.cfm>,
Alındığı tarih: 28.03.2014.
- [44] **Kopelevich, O.V.**, (1976). Optical properties of pure water in the 250- 600 nm range, *Optical Spectroscopy*, **41**, 391- 392.
- [45] **Valero, C.**, (2005). Mealiness detection in apples using time resolved reflectance spectroscopy, *Journal of Texture Studies*, **36**, 439-458.
- [46] **Merzlyak, M.N, Solovchenko A.E., Gitelson, G.A.**, (2003). Reflectance spectral feature and non-destructive estimation of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content in apple fruit, **27**, 197-211.
- [47] **Gao, B.**, (1996). A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space, **58**, 257-266.
- [48] **Faz uyumlu ve faz uyumsuz ışık**,
<http://www.warren-wilson.edu/~physics>,
Alındığı tarih: 28.03.2014.
- [49] **Hecht, E.**, (2001). Optics, Addison-Wesley, 4th Edition, MA.
- [50] **Işığın polarizasyonla değişimi**,
<http://plc.cwru.edu/tutorial/enhanced/files/lc/light/light.htm>,
Alındığı tarih: 27.03.2014.
- [51] **Giancoli, D.C.**, (2005). Physics, Pearson Education Publishing Company, 6th Edition, NJ : USA.

[52] **Polarizasyon,**

<https://bly.colorado.edu/lcphysics/lcintro/tnlc.html>,

Alındığı tarih: 27.03.2014.

[53] **Guimond, S., Elmore, D.,** (2004). Designing effective crystal waveplates requires understanding the engineering tradeoffs, Polarizing Views , Optical Design & Engineering, DOI: 10.1117/2.5200405.0007.

EKLER

EK A:

- **Faz Uyumlu ve Faz Uyumsuz Işık**

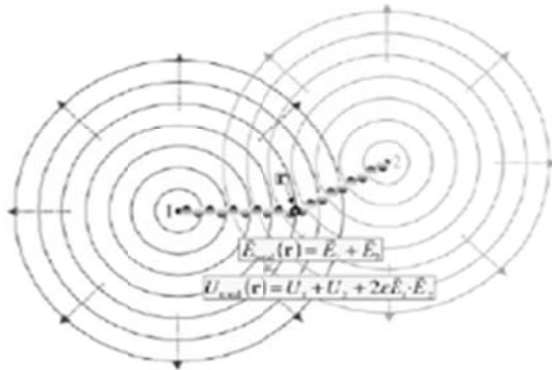
Meyve dokusu heterojen yapıdadır ve buna bağlı olarak optik özellikleri değişim gösterir. Bu değişimler, ışığın farklı dokularda farklı bir şekilde saçılımına neden olur. Meyve dokusunda yayılan ışık soğurma olmadığı zaman, ortamdaki parçacıklara rastladığında birden fazla sayıda saçılıp dağılır.

Işığın dokularda yayılımı faz uyumlu ve faz uyumsuz olmak üzere ikiye ayrılır. Işığın faz uyumlu olması, yayılımı sırasında fazını koruması ve kararlı girişim etkileri sergilemesi anlamına gelir. Faz uyumsuz ışık ise yayılırken fazını koruyamaz ve dolayısıyla kararlı girişim etkileri sergileyememektedir.

Işık, dokularda birden fazla sayıda saçılıma uğradığında faz uyumlu ve faz uyumsuz özellikler gösterir. Işığın iki kez saçılımdan dolayı bir noktada oluşan elektrik alan (Şekil A.1);

$$\overline{\sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^N E_j E_m} \approx 0 \quad (\text{A.1})$$

İfade saçılım dalgasının elektrik alanlarını ifade etmektedir.



Şekil A.1 : Elektromagnetik dalgaların üst üste binmesi [48].

Saçılımdan kaynaklanan enerji ;

$$\begin{aligned} U(r) &= \varepsilon.E_{total}(r).E_{total}(r) = \varepsilon[E_1^2(r) + E_2^2(r) + 2.E_1(r).E_2(r)] \\ &= U_1(r) + U_2(r) + 2.\varepsilon.E_1(r).E_2(r) \end{aligned} \quad (A.2)$$

ε ; ortamın elektriksel geçirgenliği

İki elektrik alan dalgası bir noktada karşılaştığında, girişim olur ve o noktada alan büyüklüğü artar veya azalır. Ancak saçılımın olduğu bölge yeterince büyük ise bu girişimlerin birbirinin etkisini sıfırladığı varsayılır ve toplam enerji miktarı ;

$$\overline{E_1.E_2} = 0 \quad (A.3)$$

$$U_{avg} = \varepsilon.[\overline{E_1^2} + \overline{E_2^2}] = \overline{U_1} + \overline{U_2} \quad (A.4)$$

Daha fazla sayıda saçılım olduğunda, bir noktadaki toplam enerji miktarı her bir saçılımın yarattığı elektrik alandan kaynaklanan enerjilerin toplamı olarak hesaplanır;

$$U = \varepsilon.E_{total}.E_{total} = \varepsilon \sum_{j=1}^N E_j \sum_{j=1}^N E_j = \varepsilon \sum_{j=1}^N E_j^2 + \varepsilon \sum_{j=1}^N \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq j}}^N E_j E_m = \sum_{j=1}^N U_j + \varepsilon \sum_{j=1}^N \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq j}}^N E_j E_m \quad (A.5)$$

Saçılımın gerçekleştiği bölge yeterince büyük olduğunda, farklı elektrik alan dalgalarından kaynaklanan girişimler birbirinin etkisini sıfırlar;

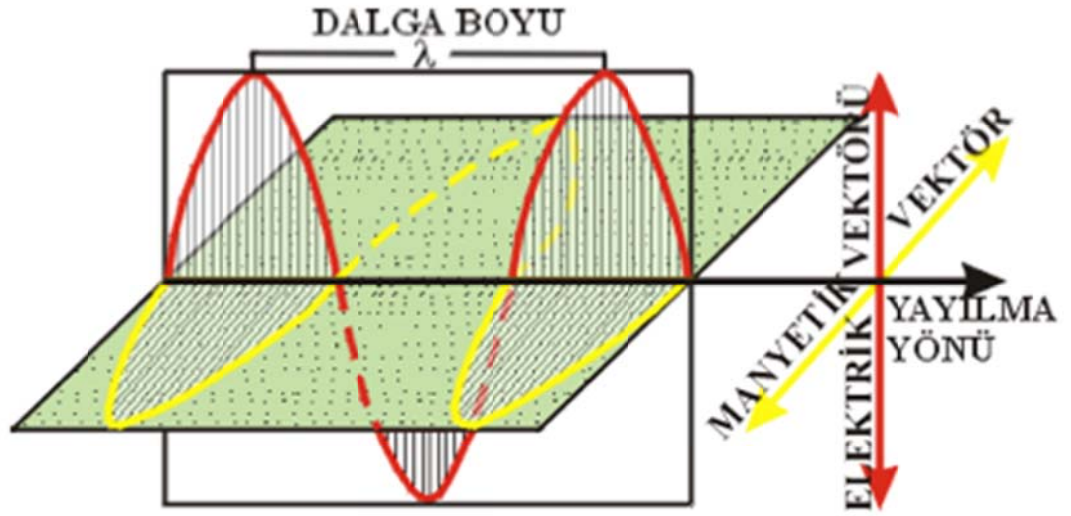
$$\overline{\sum_{j=1}^N \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq j}}^N E_j E_m} \approx 0 \quad (A.6)$$

Girişimlerin ortalamasının sıfır olması için gerekli olan uzaysal alanın boyutu saçılımın nasıl dağıldığı ve nasıl bir süreç ile gerçekleştiğine bağlıdır. Işığın dokuda yayılımı modellenirken, dokunun saçılıma neden olan özdeş parçacıklardan meydana geldiği varsayılır ve bu yüzden ışık dokuda ilerlerken çok sayıda saçılma olur. Bu sırada girişimlerden kaynaklanan enerji, ortalama enerjiye oranla ihmal edilecek kadar küçüktür [48,49].

EK B:

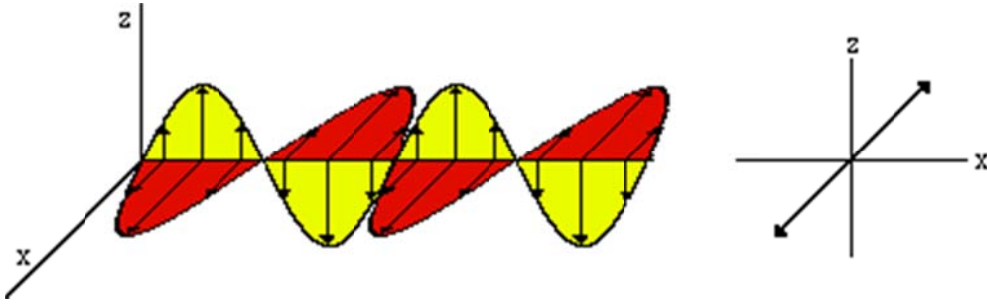
- **Polarizasyon;**

Işığın kutuplanması (polarlanma ya da polarizasyon) elektromagnetik ışınlamaların, içlerinde titreşen elektrik alanın büyüklüğü ile doğrultusunun belirli bir biçimde birbirine bağlı olması özelliğidir. Bu şekilde elektrik alan vektörleri tek doğrultu üzerine indirgenmiş elektromagnetik dalgaya, lineer polarize edilmiş veya kısa polarize edilmiş elektromagnetik dalga denir.



Şekil B.1: Işığın yayılma biçimi [50].

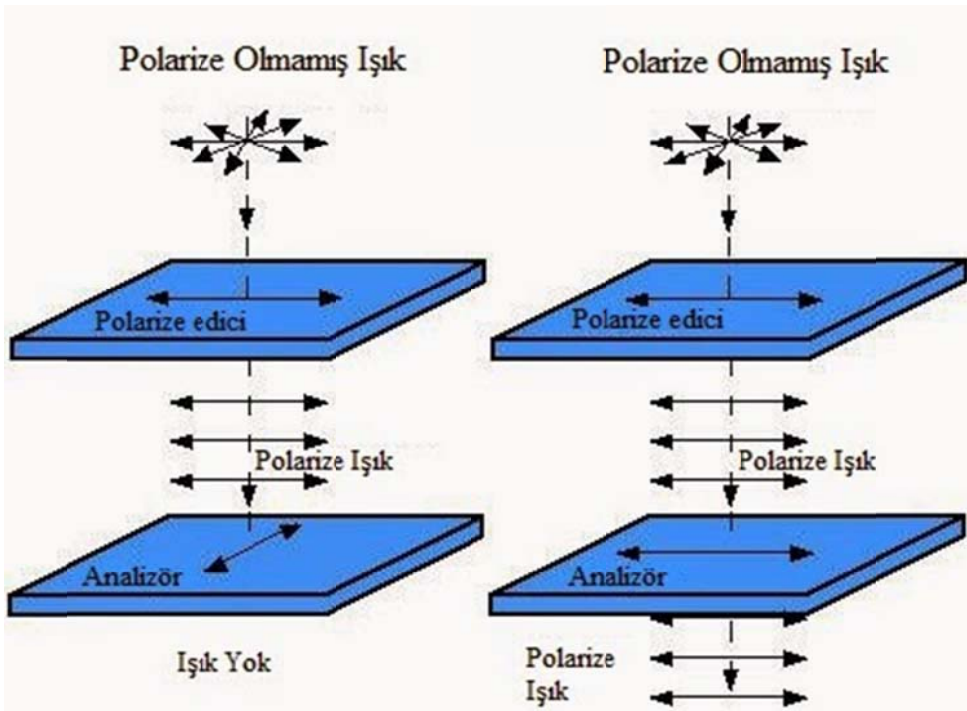
Işığın kutuplanması (polarizasyon) elektromagnetik ışınlamaların, içlerinde titreşen elektrik alanın büyüklüğü ile doğrultusunun belirli bir biçimde birbirine bağlı olması özelliğidir. Bu şekilde elektrik alan vektörleri tek doğrultu üzerine indirgenmiş elektromagnetik dalgaya, lineer polarize edilmiş veya kısa polarize edilmiş elektromagnetik dalga denir.



Şekil B.2: Polarize düzlemi yz eksenli olan ve y ekseninde polarize edilmiş bir elektromagnetik dalga[50].

Elektromagnetik dalganın polarize edilmesi ilk defa 1938’de Edwin Herbert Land tarafından adına polaroid dediği maddeyi keşfetmesi ile gerçekleşmiştir. Polaroid maddeler polarizör de denilmektedir.

- Soğurma İle Polarizasyon; Polarizör sadece belirli yönde polarize ışığı geçiren bir materyaldir ve yapısındaki dizilmiş moleküllerle ışığı polarize edebilmektedir. Polarizörden geçen dalgalar polarize eksen yönünde polarize edilmiş olur. Polarize edilmiş dalgayı tekrar polarize eden ikinci polarizöre analizör denir [49,51].

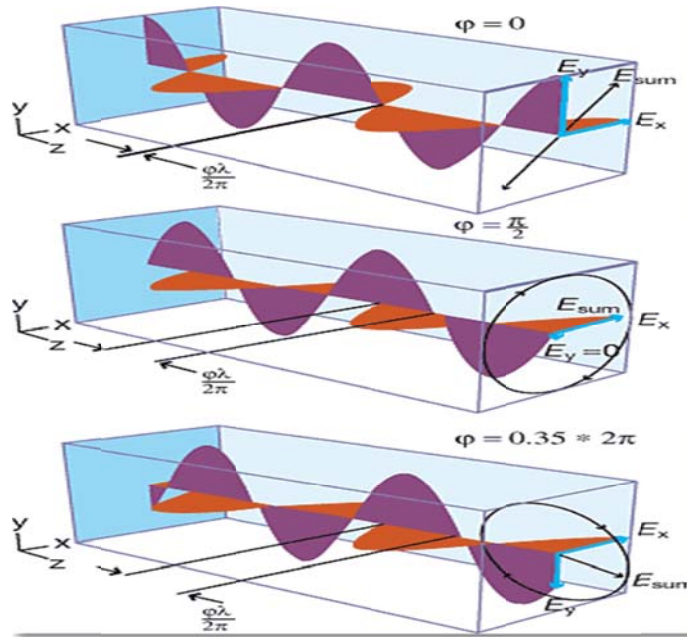


Şekil B.3 : Normal ışığın polarize edilmesi[52].

Işık yukarıda açıklanan yollarla üç şekilde polarize olur;

1. Doğrusal (Lineer) polarizasyon,
2. Dairesel polarizasyon,
3. Eliptik polarizasyon.

Doğrusal polarizasyonda dalgalar ölçüleceği gözlem düzlemine doğru ilerlerler. Bu düzlemde, tek bir E bileşkesinin, eğik bir doğru boyunca zamanla harmonik olarak titreştiği düşünülebilir. E alanı bir dalga eksenine boyunca bir dalga boyu yol aldığı anda tam bir titreşim devri yapar.

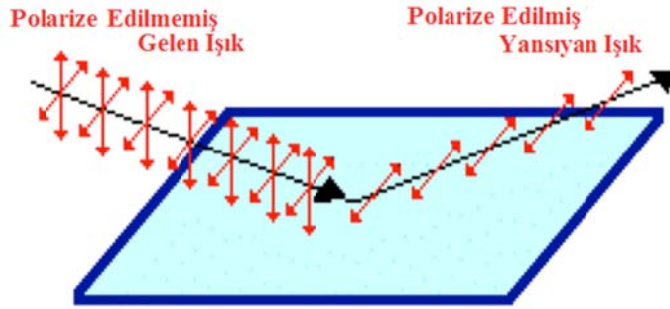


Şekil B.4 : Doğrusal, dairesel, eliptik polarizasyon[53].

Bu toplama işleminin aynı şekilde terside yapılabilir, yani bir düzlem kutuplu dalga birbirine dik iki bileşene ayrılabilir. Dairesel ve eliptik polarizasyonda gönderilen ışın polarizöre daire ve elips şeklinde yani tüm alanı tarayarak ulaşır.

- Yansıma İle Polarizasyon; Yansıma yöntemi ile de kutuplanmış ışık elde edilebilir. Elektromagnetik dalgaların polarize edilmesi sadece polaroid maddelerle olmayabilir, Şekil B.5'te görüldüğü gibi herhangi bir yüzeyden yansıyan ve kırılarak diğer ortama geçen ışık da polarize olabilir. Ancak yansım açısına bağlı olarak polarize miktarı değişir. Dik

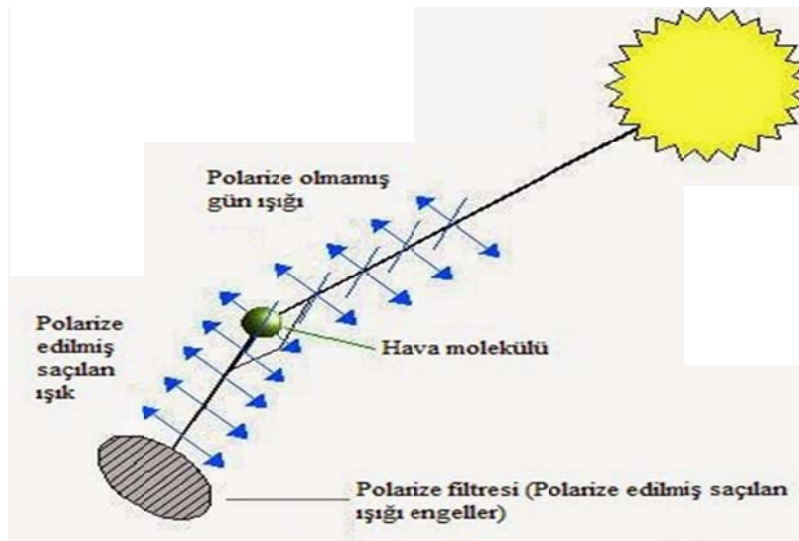
yansımalarda polarize sıfırdır. Yansıyan ışık ile kırılan ışık arasındaki açı 90° olması durumunda yansıyan ışın tamamen polarize olur [19,20].



Şekil B.5 : Polarize olmuş ışık[53].

- **Saçılma ile Polarizasyon;**

Işık, gaz gibi parçacıklar sistemine girdiğinde, ortamdaki elektronlar ışığın bir kısmını soğurup sonra tekrar yayarlar, ışığın ortam tarafından soğurulması ve tekrar yayınlanmasına saçılma denir. Bu, dünyadaki bir gözlemciye tepeden ulaşan güneş ışığının kısmen polarize oluşu nedenidir [49,51].

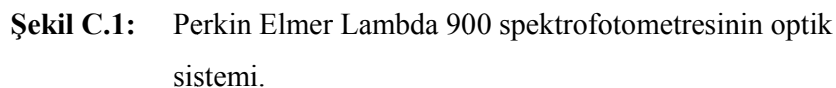


Şekil B.6 : Kutuplanmamış güneş ışığının hava molekülleri tarafından saçılması[51].

Gelen ışığa dik olarak hareket eden saçılan ışık, düzlemsel kutuplanmıştır çünkü hava molekülündeki yüklerin düşey titreşimi bu yönde ışık göndermez [48].

Ara yüzeyde gelen, geçen ve yansıyan dalgaların sınır şartlarını sağlanması gerekir. Işık dalgası ifadesinde hem genlik hem de faz terimi olduğundan ara yüzeyde dalgaların sınır koşullarının her iki terimi de aynı anda sağlanması gerekir.

- **Cihazın Optik Sistemi:**



Optik sistemde iki ışık kaynağı vardır. Bu kaynaklar Döteryum ve Halojen lambalardır, lambalar spektrometrenin çalışma aralığındaki dalga boylarını kapsar. NIR ve Vis bölgeleri dalga boyları için Halojen lambadan yansıyan ışık M1 aynasından yansıyarak M2 aynasına ulaşır. Aynı zamanda bu durum Döteryum

lambasından oluşan ışımayı bloke eder. UV bölgesi dalga boyu aralığı için M1 aynasından yükselmesine izin verilen Döteryum ışık kaynağından çıkan ışık M2 aynasına çarpar. Kaynak monokromatörün döndürülmesi sırasında otomatik olarak değişir.

Ayrı ayrı kaynaklardan M2 aynasından M3 aynasına yansıyan ışık süzgeç çarkındaki (Filter Wheel-FW) optik filtre tarafından M4 aynasına yansıtılır.

Süzgeç çarkı monokromatörle eş zamanlı halde çalışan bir motorla hareket eder. Dalga boyuna bağımlı olarak imal edilen, monokromatöre girmeden önce ışık yolunda yer alan ön filtreden geçen ışık için uygun optik filtre bulunur. Filtre monokromatörün döndürülmesiyle otomatik olarak değişir.

M4 aynasından yansıyan ışık Monokromatör 1 yarığından doğrudan giriş yapar. Bütün yarıklar yarıklı derleyicisinde (Slit Assembly-SA) yer alır. Işınlara G1 ızgarası yüzeyinden yansıyarak M5 aynasında toplanır. İlerleyen ışık dalga boyuna göre, paralel olarak yol alan ışık UV/Vis yada NIR ızgaralarına çarpar.

Işıklar ızgaralar sayesinde spektrum şeklinde dağılırlar. Dönel pozisyondaki ızgaralar spektrumlara ayırır ve ayrılan bu ışınlar M5 aynasına gelir, oradan da yol üzerindeki yarıktan çıkar. Bu yarıklardan kısıtlanarak çıkarak en yakın monokromatörden ışık saçarak spektrumlar oluşturur. Bunu sağlayan ızgara monokromatörün dönmesiyle değişir.

Monokromatör 1 in çıkış yarığı Monokromatör 2 için uygun şartlar oluşturur. M6 aynasından yansıyan ışık G2 ızgarasından dönerek M6 ya oradan yarıktan geçerek M7 ye çarpar. G2 ızgarasının dönel pozisyonu G1 ızgarasıyla senkronize durumdadır.

UV/Vis ve NIR bölgeleri seçimini sağlayan yardımcı yarıklar vardır. Yardımcı yarıklı seçildiğinde genişlik detektörden sabit bir şekilde otomatik gelen ışığı daralıp genişleyerek otomatik olarak değişir.

M7 den yansıyan ışık demeti bölücü (Chopper-C) yönleri değiştirilerek alternatif ışık (bir ayna, bir pencere, iki karanlık bölmeden) oluşturulabilir. Bölme açıldığında ışık direkt olarak M9 aynasına ve oradan M10 aynasına yansır, böylece referans ışığını (Reference Beam-R) oluşturur.

Yansıyan ışık M10' aynasından yanı sıra örnek ışık (Sample Beam-S) oluşur. Işın yolu üzerinde karanlık bölme varsa hiçbir ışık detektöre ulaşmaz ve detektörde karanlık sinyal oluşur.

Referans ve örnek ışıklar M11, M12, M13 ve M11', M12', M13' aynalarından sırasıyla detektör derleyici tarafından uygun detektöre yansır. M14 aynası istenen detektöre göre döner. Işın çoğaltıcı (PhotoMultiplier-PM) UV/Vis bölgesi için, kurşun sülfid (Lead Sulfide- PbS) NIR bölgesi için bölgesi için kullanılır. Detektör monokromatörün dönmesi boyunca otomatik olarak değişir.

Hücre yüzeyinde her ışık yaklaşık olarak 12 mm girebilir. Yayılan ışığın genişliği, yarık genişliğine bağlı olarak değişir. Yarık genişliği 5 nm boyutunda olan ışık yaklaşık olarak 4.5 mm genişliğindedir.

Ana ışık kalıbı (Common Beam Mask-CBM), yarık derleyicisi ve M7 aynası arasına taşınır.

Spektrometre ile kullanılan yazılım, alınan spektroskopik verilerin grafiksel analizini, gösterimini, alınan değerlerin kaydını yapmaktadır. Bu yazılım ile soğurma ve yansıma ölçümleri gerçekleştirilebilmektedir. Deney sırasında alınan parametreler yazılım ile kontrol edilir.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Merve DOĞRUYOL

Doğum Yeri ve Tarihi: Kadıköy / İstanbul, 22.08.1990

E-Posta: mervedogruyoll@gmail.com

Lisans: Marmara Üniversitesi,

Fizik, Onur Öğrencisi, (2008 – 2012)

Mesleki Deneyim ve Ödüller: Araştırma Görevlisi (Aralık 2013 - ...)