Doktora Tezi Hayriye ALTURAL Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı 2011

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YANSIMA ESASLI OPTİK RENK SENSÖRÜ TASARIMI VE ENİYİLENMESİ

Hazırlayan
Hayriye ALTURAL

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU

Doktora Tezi

Ağustos 2011
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YANSIMA ESASLI OPTİK RENK SENSÖRÜ TASARIMI VE ENİYİLENMESİ

(Doktora Tezi)

Hazırlayan
Hayriye ALTURAL

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU

Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FBD-09-1079 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Ağustos 2011
KAYSERİ

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Hayriye ALTURAL

"Yansıma Esaslı Optik Renk Sensörü Tasarımı ve Eniyilenmesi" adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Hayriye ALTURAL

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ö. Galip SARAÇOĞLU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU danışmanlığında **Hayriye ALTURAL** tarafından hazırlanan "**Yansıma Esaslı Optik Renk Sensörü Tasarımı ve Eniyilenmesi**" adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.

15/08/2011

JÜRİ:

Danışman	: Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU	.....
Üye	: Prof. Dr. Yaşar GÜRBÜZ	.....
Üye	: Prof. Dr. Sedat ÖZSOY	.....
Üye	: Prof. Dr. Celal YILDIZ	.....
Üye	: Prof. Dr. Recai KILIÇ	.....

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 06/09/2011 tarih ve 2011/30-08 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

06 / 09 / 2011

Prof. Dr. Necmettin MARAŞLI

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez danışmanlığımı yapan, çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen ve her konuda desteğini gördüğüm değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU'na teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımlarından dolayı Sayın Doç. Dr. Uğur ŞAHİN'e, Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa TUTAK'a ve arkadaşım Sayın Nimet Ebru KORKMAZ'a teşekkür ederim. Bu tez çalışmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FBD-09-1079) teşekkür ederim.

Bu noktaya kadar gelmemde emeği geçen bütün hocalarıma, çalışmalarım esnasında ihtiyacım olduğunda kapılarını açık tutan ve yardımcı olmaktan kaçınmayan Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen sevgili babama, bir moral kaynağı olan sevgili anneme ve sevgili kardeşlerime en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hayriye ALTURAL

Kayseri, Ağustos 2011

YANSIMA ESASLI OPTİK RENK SENSÖRÜ TASARIMI VE ENİYİLENMESİ

Hayriye ALTURAL
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi, Ağustos 2011
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU

ÖZET

Renk algılama, optik sensörlerin önemli konularından biridir. Rengin algılanmasında ve ölçümünde birçok yöntem ve bu yöntemlerle ilişkili de birçok cihaz geliştirilmiştir. Bu da farklı özellikli birçok renk uzayının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Cihazların karakterize edilmesinde uzaylar arası dönüşüme gerek duyulmakta ve bunun için de birçok yaklaşım kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, parlak ve pürüzsüz bir yüzeyin renk bilgisini belirlemek amacıyla mikrodenetleyici kontrollü ve bilgisayar destekli bir optik renk sensörü tasarımı yapılmış ve sistemin eniyilenmesi için yapay zeka teknikleri kullanılmıştır. Sensörün kullanışlılığının test edilmesi amacıyla endüstriyel alanlarda uygulamalar yapılmıştır. Yansıma esaslı renk sensörlerinde temel sorun olarak ortaya çıkan, koyu renklerdeki performansının iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmış ve sonuçların çok iyi olduğu gözlemlenmiştir. Neme maruz kaldığında renk değiştiren silikajeller kullanılarak renk probuyla nem ölçümünün olabilirliği gösterilmiştir. Elde edilen çıkarımlara göre, yansıma esaslı optik renk sensörü, değişik mühendislik uygulamalarında kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Optik Renk Sensörü, Yapay Zeka, RGB Renk Uzayı, CIE Renk Uzayları, Dönüşüm Teknikleri.

DESIGN OF REFLECTIVE OPTICAL COLOR SENSOR AND ITS OPTIMIZATION

Hayriye ALTURAL

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

Ph.D. Thesis, August 2011

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU

ABSTRACT

Color sensing is one of the important subjects of optical sensors. For the detection and measurement of the color, many methods and many devices associated with these methods are developed. This causes emerging of color spaces with different features. Inter-spaces conversion is required in the characterization of these devices and several approaches are used for this purpose.

In this thesis, a computer-aided optical color sensor driven by microcontroller was designed in order to determine color information of a bright and smooth surface and artificial intelligence techniques were used for the optimization of this system. Industrial applications were performed so as to test the usefulness of the sensor. Studies were carried out to improve their performances at dark colors resulting as the main problem in reflective color sensors and satisfactory results were observed. The feasibility of measurement of moisture through the designed color probe was shown by using silica gels that change color when exposed to moisture. According to obtained conclusions, reflective optical color sensor can be used in various engineering applications.

Keywords: Optical Color Sensor, Artificial Intelligence, RGB Color Space, CIE Color Spaces, Conversion Techniques.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI iii
KABUL VE ONAY SAYFASI iv
TEŞEKKÜR v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
İÇİNDEKİLER viii
KISALTMALAR LİSTESİ x
TABLOLAR LİSTESİ xi
ŞEKİLLER LİSTESİ xii

GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Genel Bilgiler 3
1.2. Literatür Çalışması 5

2. BÖLÜM

RENK ÖLÇÜM CİHAZLARI VE ÜÇ BOYUTLU RENK UZAYLARI

2.1. Renk Ölçüm Cihazları 15
2.1.1. Lambert-Beer Yasası 17
2.1.2. Yansıma Esaslı Algılama Teorisi 18
2.2. Renk Algılama Düzenlemeleri 19
2.3. Üç Boyutlu Renk Uzayları 22
2.3.1. RGB Renk Uzayı 23
2.3.2. CIE Renk Uzayları 24
2.4. Renk Uzayları Arası Dönüşüm Yöntemleri 29

2.5. Renk Uzaylarının Tez Çalışmasındaki Yeri 31

3. BÖLÜM

YANSIMA ESASLI OPTİK RENK SENSÖRÜ TASARIMI VE ENİYİLENMESİ

3.1. Yansıma Esaslı Optik Renk Sensörü Tasarımı 32
3.2. Sistemin Eniyilenmesi 39
3.2.1. Yapay Sinir Ağları 39
3.2.2. Çalışmada Kullanılan Öğrenme Algoritmaları 41
3.2.2.1. İvmeli ve Uyarlanır Öğrenme Oranlı Gradyan İniş Geriye Yayılımı 42
3.2.2.2. Levenberg-Marquardt Geriye Yayılımı 42
3.2.2.3. Bayes Düzenlileştirme Geriye Yayılımı 42
3.2.2.4. Esnek Geriye Yayılım 43
3.2.2.5. BFGS Yarı Newton Geriye Yayılımı 43
3.3. Yapay Sinir Ağlarıyla Renk Sensörünün Eniyilenmesi 43

4. BÖLÜM

YANSIMA ESASLI OPTİK RENK SENSÖRÜNÜN UYGULAMALARI

4.1. Kumaşlarda Renk Tayini 49
4.1.1. Kumaşların Hazırlanması ve Spektrofotometre ile Renk Ölçümü 50
4.1.2. RGB Renk Uzayından CIE-XYZ Renk Uzayına Dönüşüm Teknikleri 51
4.1.2.1. Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi 51
4.1.2.2. Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) 54
4.2. Silikajel ile Nem Ölçümü 58
4.2.1. Silikajel Numunelerinin Hazırlanması 59

5. BÖLÜM

TARTIŞMA – SONUÇ VE ÖNERİLER 64

KAYNAKÇA 66
ÖZGEÇMİŞ

KISALTMALAR LİSTESİ

2D	Two Dimensional; İki Boyutlu
3D	Three Dimensional; Üç Boyutlu
ADC	Analog Digital Converter; Analog Sayısal Dönüştürücü
BFGS	Broyden-Fletcher-Golfarb-Shanno
BR	Bayesian Regularization Backpropagation
CCD	Charge Coupled Device; Yük Bağlaşımlı Görüntü Elemanı
CCT	Correlated Color Temperature; İlişkili Renk Sıcaklığı
CIE	Commission Internationale de L'Eclairage
CMYK	Cyan-Magenta-Yellow-Black
DGA	Diferansiyel Gelişim Algoritması
GDX	Gradient Descent with Momentum and Adaptive Learning Rate Backpropagation
GRNN	General Regression Neural Network; Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı
HLS	Hue-Lightness-Saturation; Ton-Açıklık-Doygunluk
HSI	Hue-Saturation-Intensity; Ton-Doygunluk-Parlaklık
HSV	Hue-Saturation-Value; Ton-Doygunluk-Şiddet
LM	Levenberg-Marquardt Backpropagation
LUT	Look-Up Table; Referans Tablosu
MLP	Multi-Layer Perceptron; Çok Katmanlı Algılayıcı
MSE	Mean Squared Error; Ortalama Karesel Hata
PIC	Peripheral Interface Controller; Çevrebirim Arayüz Denetleyicisi
PNN	Probabilistic Neural Network; Olasılığa Dayanan Sinir Ağı
RBF	Radial Basis Function; Radyal Tabanlı Fonksiyon
RGB	Red-Green-Blue; Kırmızı-Yeşil-Mavi
RMS	Root Mean Squared; Karekök Ortalama
RP	Resilient Backpropagation
USB	Universal Serial Bus; Evrensel Seri Veri Yolu
YSA	Yapay Sinir Ağı

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Yüzeyin RGB içeriklerine bağlı olan analog voltajlara gore tipik fotodedektör okumaları…….35
Tablo 3.2. Referans RGB değerleri ile ölçülen RGB değerlerinin karşılaştırılması ve A/D girişindeki analog voltaj değerleri (V_R, V_G, V_B) 38
Tablo 3.3. Önerilen modellerin ağ yapıları 44
Tablo 3.4. Önerilen modellerin ağ yapıları 45
Tablo 3.5. Önerilen ağların en iyi sonuçları (BR ve RP) ve en kötü sonucu (GDX)…. 46
Tablo 3.6. Önerilen YSA sonuçları ile gerçek RGB içeriğinin görsel karşılaştırılması 47
Tablo 4.1. Boyama reçetesi. 50
Tablo 4.2. Regresyon sonuçlarının karşılaştırılması. 53
Tablo 4.3. Analog voltajlar ile XYZ renk uzayı arası dönüşümü sağlayan DGA parametreleri 56
Tablo 4.4. Spektrofotometreden alınan XYZ değerleri ile eniyilenen XYZ değerlerinin karşılaştırılması 56
Tablo 4.5. DGA sonuçlarının görsel karşılaştırılması 57
Tablo 4.6. Neme bağlı olarak optik renk sensörü ile ölçülen silikajellerin RGB içerikleri 61
Tablo 4.7. Renk probundan elde edilen sonuçların nem gösterge kartı ile kıyaslanması 62

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. CM-3600d spektrofotometre 16
Şekil 2.2. Lambert-Beer yasasının şematik gösterimi 18
Şekil 2.3. Aynasal ve dağınık yansımalar. 19
Şekil 2.4. RGB kolorimetri düzenlemesi [79, 80] 20
Şekil 2.5. Elektro-optik yanık derinliği indikatörünün blok diyagramı [4] 21
Şekil 2.6. Yansıma esaslı bir renk sensörünün devre şeması [6] 21
Şekil 2.7. RGB renk uzayının üç boyutlu gösterimi [90] 24
Şekil 2.8. CIE kromatiklik diyagramı [94] 26
Şekil 2.9. Farklı sıcaklıklarda siyah cisim ışıma eğrileri [72] 27
Şekil 2.10. XYZ renk eşleme fonksiyonları [101] 29
Şekil 3.1. Renk sensörü devresinin şematik gösterimi 32
Şekil 3.2. (a) Renk esaslı RGB LED'in şematik gösterimi. (b) Sensör ucu. (c) PC'ye bağlı sensör probu. 33
Şekil 3.3. LEDlerin ve fotodiyotun anahtarlaması 34
Şekil 3.4. Ölçüm prosedürünün akış şeması 36
Şekil 3.5. Örnek bir ekran görüntüsü 38
Şekil 3.6. Çok katmanlı algılayıcının genel yapısı. 40
Şekil 3.7. Eğitim/test veri dizisi oluşturmada kullanılan bir kısım renk paleti 45
Şekil 4.1. Spektrofotometre arayüz ekran görüntüsü 51
Şekil 4.2. Silikajeller [135] 59
Şekil 4.3. Öğütülüp film halinde baskı yapılmış silikajeller 60

GİRİŞ

Optik sensörler genellikle sensörün cevabı ile algılanacak ya da ölçülecek etki arasında doğrusal olmayan bir ilişkiye sahiptir. Bu tip doğrusal olmayan problemlerin çözümüne yönelik olarak geliştirilmiş birçok teknik ve yaklaşım mevcuttur. Optik sensörlerin çok hassas ve doğrusal olmayan tabiata sahip oldukları gerçeğinden dolayı ölçülen büyüklükteki beklenmedik bir değişim, sensör cevabında önemli oranda değişimlere ve ölçüm hatalarına neden olabilir. Ayrıca, günümüz sensör teknolojisinde bir sensörün, değişime ya da beklenmedik şartlara kendini uyarlaması beklenir. Beklentileri karşılamak ve sensör cevabını doğru olarak önceden tahmin etmek için yapay zeka teknikleri, akıllı sensörlerin tasarımında faydalı bir araç olmuştur [1-3]. Bu tezde sunduğumuz çalışma, algılama ilkesi [4-6]'deki tasarımlara benzer olan fakat yapay zekanın yardımıyla orada bildirilen eksikliklerin üstesinden gelen düşük maliyetli, pratik ve yüksek çözünürlüğü olmayan bir sistem tasarımıdır.

Bu tez çalışmasında amaç, öncelikle, yansıma esaslı bir optik renk sensörünün tasarımını yapmak ve daha sonra, bu tasarımı yapılan cihazın endüstrideki uygulamaları neticesinde elde edilen sonuç verilerine yapay zeka teknikleri uygulanarak cihazın eniyilenmesini sağlamak ve bu alanlarda kullanılabilirliğini göstermektir. Bunun için, parlak ve pürüzsüz bir yüzeyin renk bilgisine sahip olmak amacıyla mikrodenetleyici kontrollü ve bilgisayar destekli bir optik renk sensörü tasarımı yapılmıştır. Sensörle test ölçümleri yapılmış, renk veritabanı oluşturulmuştur. Elimizdeki referans veriler ile prototip devre tasarımına ait ölçüm sonuçları karşılaştırılmış ve bunların analog voltaj değer karşılıkları verilmiştir. Sensörün açık renklerdeki performansı yüksek, koyu renklerdeki düşüktür. Koyu renkli yüzeylerdeki verim kaybının üstesinden gelmek ve sensör cevaplarını iyileştirmek için yapay sinir ağları kullanılmıştır. Önerilen ağlar, başarılı bir biçimde, analog voltajlara ilişkin verilen bir yüzeyin herhangi bir Kırmızı-Yeşil-Mavi (Red-Green-Blue, RGB) içeriğini modelleyebilmektedir.

Yansıma esaslı optik renk sensörünün kullanılabilirliğini göstermek amacıyla, iki farklı uygulama yapılmıştır. Bunlar, kumaşlarda renk tayini ve silikajel ile nem ölçümüdür. Kumaşlarda renk tayini için, çeşitli firmalardan kumaşlar temin edilmiş ve bu kumaşların yansıma spektrofotometresi ile renk analizi yapılmıştır. Ölçümler, bilgisayar destekli olarak tasarlanan bir optik renk sensörüyle tekrarlanmıştır. Dolayısıyla ölçümler, farklı üç boyutlu matematiksel modellerle temsil edilen iki ayrı renk ölçüm cihazı ile yapılmış ve elde edilen sonuçlara çoklu doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. Ölçülen değerler ile regresyon analizi sonucu elde edilen değerlerin büyük çoğunluğu, hem renk bilgisi hem de sayısal bilgiler açısından iyi bir uyum içerisindedir. Daha iyi sonuçların araştırılması ve renk uzayları arasında en iyi dönüşüm ifadeleri elde edebilmek amacıyla diferansiyel gelişim algoritması (DGA) kullanılmıştır. Sensörün diğer uygulaması olan silikajel ile nem ölçümünde neme maruz kaldığında renk değiştiren silikajeller kullanılarak, bu tez çalışmasında tasarlanan renk probu yardımıyla nem ölçümünün olabilirliği gösterilmiştir. Silikajeller öğütülüp film halinde baskı yapılarak farklı ağırlıkta numuneler hazırlanmıştır.

Tez çalışmasının bu giriş kısmında tezin konusu, amacı, önemi ve yöntemi açık bir şekilde belirtilmiştir. Tez, beş ana bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde, optik sensörlerin genel özelliklerine ve renk algılamaya kısaca değinilmiştir. Literatürdeki renk algılamaya dayalı çalışmalardan ve kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. İkinci bölümde, renk ölçüm cihazları ve rengi tanımlamada kullanılan üç boyutlu (3D) renk uzayları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Yansıma esaslı algılama teorisi detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Üçüncü bölümde, yansıma esaslı optik renk sensörü tasarımının ayrıntıları verilmiş ve yapay sinir ağ modelleri yardımıyla sistemin eniyilenmesi sağlanmıştır. Ayrıca, kullanılan öğrenme algoritmalarının performansları karşılaştırılmıştır. Dördüncü bölümde, yansıma esaslı optik renk sensörünün uygulamaları incelenmiştir. Kumaşlarda renk tayini ve silikajelle nem ölçümü yapılarak sensörün başka alanlarda kullanılabilirliği gösterilmiştir. Son bölümde, tez çalışmasından elde edilen çıkarımlar tartışılmış ve öneriler sunulmuştur.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Genel Bilgiler

Günümüzde sensörlerin kullanım alanı sürekli artmakta ve gelişen teknoloji ile beraber çeşitli amaçlara göre sensörler geliştirilmektedir. Makine sanayi, otomotiv, uzay çalışmaları, sağlık, endüstri ve robotik gibi birçok alanda önemli rol üstlenen sensörler, ortamda oluşan sıcaklık, ışık, basınç, ses gibi fiziksel bir değişiklikten dolayı mekanik bir makinenin veya elektronik bir devrenin çalıştırılması gerektiğinde kullanılırlar. Günümüzde fabrikalarda üretim, kontrolü elektronik ve bilgisayarlı sistemlerle gerçekleştirilen ve otomatik çalışan makinelerle yapılmaktadır [7]. Makinelerde oluşan mekaniksel ve fiziksel değişimleri bilgisayar sistemine aktarıp bilgisayar sisteminde işlenip tekrar aynı makinenin ya da başka makinelerin kontrolünü yapmak mümkündür. İşte bu noktada devreye giren sensörler, ortamda bulunan fiziksel bir değişikliği elektrik işaretlerine çevirerek elektronik sistemlere aktarmada kullanılırlar [7]. Genel olarak sensörleri şu şekilde sınıflar altında toplamak mümkündür: Akustik (ses), biyolojik, kimyasal, elektrik, optik, manyetik, radyasyon, sıcaklık ve diğer [8]. Sensörler içerisinde aşağıda verilen avantajlarından dolayı en çok tercih edilen ve birçok uygulamada elektrik sensörlerine alternatif olarak da kullanılan sensör tipi, optik sensörlerdir [9]:

- Daha yüksek hassasiyet,
- Elektriksel pasiflik,
- Elektromanyetik girişime bağışıklık,
- Geniş dinamik saha,
- İnvazif (girişimsel) olmama.

Bu tip sensörlerin algıladığı belli başlı parametreler şunlardır: basınç, sıcaklık, debi, sıvı seviyesi, yer değiştirme (konum), titreşim, rotasyon, manyetik/elektrik/akustik alanlar, ivme, kimyasal türler, kuvvet, radyasyon (ışıma), pH, nem, gerilme ve hız [9]. Bu sensörlerde optik algılama söz konusudur. Optik algılama, dokunmaksızın bir cismi ışık yardımıyla algılama, sonra elektronik olarak değerlendirme ve işarete dönüştürmedir. Optik sensörler ne kadar hatasız algılayıcı gibi görünse de, uzun mesafelerde ve koyu renkli cisimleri algılamada güçlük çekmeleri nedeniyle, genellikle hareketli cisimleri algılamakta kullanılırlar [10].

Optik sensörler, kabaca iki sınıfa ayrılırlar: Yansıyan ışığı kullanan lazer sensörler ve gözlemin CCD (Charge Coupled Device; Yük Bağlaşımlı Görüntü Elemanı) kameralar vasıtasıyla doğrudan yapıldığı görsel sensörler [11]. Barkod tarama, örüntü tanıma ve kağıt kenarı bulma vb. uygulamalarda da kullanılan optik sensörlerin farklı bir uygulaması bu tez çalışmasında gerçeklenmiştir. Temeli renk algılamaya dayanan bu çalışmada bilgisayar destekli bir optik renk sensörü tasarlanmıştır.

Optik renk sensörleri, genel olarak cismin üzerine ışık gönderip yansıyan ışıktaki RGB bileşenlerinin değerlerini ölçerler. Işık, elektromanyetik spektrumda yaklaşık olarak 380 nm'den 780 nm'ye tekabül eden görünür bölge aralığını temsil etmektedir. İnsan gözü, spektrumun sadece 380-780 nm'lik kısmındaki dalga boylarına cevap vermektedir. Bu bölgedeki tüm dalga boylarının karışımından beyaz ışık oluşur. Işık bir yüzeye çarptığında bunun bir bölümü yansır, diğer bölümü soğurulur kalanı da iletilir.

Bir maddenin rengi, o maddeden gözümüze ulaşan görünür bölgedeki elektromanyetik radyasyonun dalga boyu ile ilişkilidir. Bu ışınlar, saydam maddeler için içinden geçip gelen, saydam olmayanlar için ise yansıyan ışınlardır. Eğer bu ışınlar görünür bölgedeki ışınların tamamını kapsıyorsa saydam maddeler renksiz, saydam olmayanlar ise beyaz görünürler. Işınların bir kısmının madde tarafından tutulması geri kalan demetinin beyaz ışık olma özelliğini kaybetmesine, tutulan ışınların dalga boyuna göre bir renk olarak algılanmasına neden olur [12]. Bir cismin renkli görülmesi, cisimlerin içerdikleri renklendirici maddeler nedeniyle üzerine düşen ışığın bir kısmını soğurmaları ve soğurulmayıp yansıyan ya da geçen ışığın gözle algılanması şeklinde açıklanabilir. Renk, gözümüze cisimler üzerinden gelen ışığın rengidir. Algıladığımız tüm renkler,

birbirinden bağımsız ve doğrusal kırmızı, yeşil ve mavi üç temel tayfsal rengin birleşiminden oluşmaktadır [13].

Optik sensörlerin gelişimi ve uygulamaları, spektroskopi, fiber optik ve dalga kılavuzları, optoelektronik, analitik kimya ve biyokimya, tıp ve malzeme bilimi dahil birçok bilimsel alanda bir disiplinlerarası yaklaşım gerektirmektedir [14]. Optik sensörler genellikle sensörün cevabı ile algılanacak ya da ölçülecek etki arasında doğrusal olmayan bir ilişkiye sahiptir. Optik sensörlerin çok hassas ve doğrusal olmayan tabiata sahip oldukları gerçeğinden dolayı ölçülen büyüklükteki beklenmedik bir değişim, sensör cevabında önemli oranda değişimlere ve ölçüm hatalarına neden olabilir. Ayrıca, günümüz sensör teknolojisinde bir sensörün, değişime ya da beklenmedik şartlara kendini uyarlaması beklenir. Beklentileri karşılamak ve sensör cevabını doğru olarak önceden tahmin etmek için yapay zeka teknikleri, akıllı sensörlerin tasarımında faydalı bir araç olmuştur [1-3].

1.2. Literatür Çalışması

Renk algılama, optik sensörlerin önemli konularından biridir. Renk sensörleri, çevresel, biyolojik ve kimyasal parametrelerin algılanması dahil çeşitli uygulamalara sahiptirler [15-21]. Kimyasal algılamaya dayalı renk saptama, çoğunlukla kolorimetrik sensörlere özellikle uygulanır çünkü pH [20], konsantrasyon [17] ve kimyasal gazlar [18, 22, 23] gibi birçok parametre, biyolojik ve kimyasal türlerde doğrudan ya da dolaylı renk değişimlerine neden olabilir.

Ng ve arkadaşları [24], yansıyan ışığı kullanarak sıvıların bulanıklığını ölçen bir cihaz tasarlamışlardır. Cihaz, bir yansıtıcı yüzeye doğru test altındaki bir sıvı vasıtasıyla bir ışık ışınını yönlendirmede bir ışık kaynağı ve yansıtıcı yüzeyden yansıyan ışığı algılama ve test altındaki sıvı vasıtasıyla geri geçirmede bir renk sensörü içermektedir. Cihaz, test altındaki sıvının bulanıklığının belirtisi olan bir işaret üretmektedir. Renk sensörü, eş zamanlı olarak birden çok rengi algılayan ve tanıyan bir sensör olarak tanımlanabilir [24]. Renk sensörleri, ucuz ve kompakt olabilirler ve modern kontrol sistemleriyle uygun arabirimlere izin verebilirler.

Bu tezde sunduğumuz çalışma, algılama ilkesi [4-6]'deki tasarımlara benzer olan fakat yapay zekanın yardımıyla orada bildirilen eksikliklerin üstesinden gelen düşük maliyetli ve yansıma esaslı bir renk sensörüdür. Afromowitz ve çalışma arkadaşları, yanık yaralarında doku zedelenmesini teşhis etmede bir optik tekniğin güvenilirliğini test etmişlerdir [4]. Kullanışlı, başucu, invazif olmayan bir ölçü aleti (yanık derinliği indikatörü) kullanılarak optik yansıma ölçülmüştür. Sonuçlar, değerlendirmesi diğer taraftan zor olan yanık yaralarının iyileşme süresini öngörmede, bu optik tekniğin bilinen yöntemlerden daha doğru olduğunu göstermiştir. Yanık yaralarının optik özellikleri üç katmanlı bir Kubelka-Munk modeli kullanılarak modellenmiştir. Çalışmada, yara kabuğu (eskar) kalınlığının ve dermisteki kanın hacimsel oranı ve oksijen doygunluğunun, yanığın optik özelliklerini belirlediği bulunmuştur. Bu faktörlerin, sırayla, yanık derinliği ve iyileşme potansiyeli ile ilişkili olduğu bilinmektedir.

Laming ve Martino [5], endüstride, biyomedikal mühendisliğinde ve kirlilik izlemede uygulamalara sahip yeni bir renk ölçüm sistemi üzerinde çalışmışlardır. Çoklu LED'li bir kaynak, LED'li işaret alıcısı ve bir mikrodenetleyici, bir PC'yi sürer. Donanım, ardışık zaman dizisinde 3-10 kHz kare dalga darbeli LED'in en dar bant (1/3 ila 1/100 Hertz) eş zamanlı algılamasını kullanmaktadır. PC yazılımı, ölçüm nesnesinin CIE türsellik diyagramını belirlemek için kolorimetrik teoriyi ölçüm verilerine uygulamaktadır. CIE (x, y) kromatiklik (türsellik) diyagramı (at nalı şeklinde gökkuşağı diyagramı olarak da bilinen) üzerinde koordinatları çizili bir PC video monitöründe tekrar üretilmiştir. PC video gösterge kapasitesinin ötesinde renk kısıtlamaları ve genişletmeleri tartışılmıştır.

Yang ve arkadaşları [6], üç renkli bir LED kullanan yansıma esaslı bir renk ölçümü sunmuşlardır. Test edilen örneğin rengi, farklı renklerde üç yansıyan şiddet ölçülerek belirlenmiştir. Modülasyon/demodülasyon tekniği, yansıyan üç şiddeti ayırt etmede kullanılmıştır. Yansıyan üç işaret, CIE kromatiklik diyagramında bir (x, y) koordinatı vermek için bir bilgisayar yardımıyla işlenebilmektedir. Üç uçlu ölçümler tüm bir spektral yansıma hakkında yetersiz tahmin yürüttüğü için, önceden tahmin edilen sonuçlar, biraz iyi kalibre edilmiş cihazdan ölçülen değerlerden büyük bir farkla ayrılırlar. Bunun düzeltilmesi için bir kalibre etme prosedürü başarılı bir şekilde geliştirilmiştir.

Renkli nesnelerin kalite kontrolünde önemli parametrelerinden biri, renk değişkenliği yani tek bir nesne için aydınlatıcının değişimiyle rengin görünümündeki değişimdir [25]. Örneğin, floresan lamba ile aydınlatılmış bir cisim, günışığında farklı wolfram (tungsten) ışığı altında ise farklı renkte görülür. Luo, bu renk değişkenliği indisini hesaplamada kromatik uygunlama dönüşümlerinin diğer deneysel tekniklere (haploskopik eşleme, bölgesel uygunlama eşlemesi, bellek eşlemesi ve şiddet tahmini) göre performansları üzerine çalışmalar yapmış ve bunların genel bir değerlendirmesini [25]'deki çalışmasında vermiştir.

1860 ve 1960 yılları arasında insana ait renkli görme için bir takım alternatif teorik olasılıklara dikkatli bir şekilde çözüm üretilmiş fakat bu olasılıklar arasında karar verebilen kesin bulgu eksikliği nedeniyle gelişim engellenmiştir [26]. Maxwell'in zamanından (1860'tan) beri tanımlı renk eşleme fonksiyonları Young tarafından 1807'de önerilen birincillere (primerlere) indirgenmiş ve modern belirlemelerin iyi bir uyum içerisinde olduğu gösterilmiştir. Renkli görmeye ilişkin esas teşkil eden teoriler ve kromatik adaptasyon hakkında Judd'un [26] çalışması daha fazla bilgi verir.

Renk sensörleri, gittikçe yaygın hale gelmekte ve gıda, tekstil, boya, montaj (assembly) ve paketleme, çevre aydınlatma, tüketim malı, eczacılık (farmasötikal), sağlık ve araştırma ve otomotiv gibi endüstrilerde ofis otomasyonu, kalite kontrol ve renk kodlaması uygulama alanlarına sahiptirler [27].

Gıda endüstrisinde yiyeceklerin dış görünüşleri ve rengi, tüketici tarafından alınan yiyecek öğelerinin tercihi açısından önemli bir kalite kriteridir [28, 29] ve bu nedenle gıda maddelerinin renklerinin hassas olarak ölçülmesi gerekmektedir. Gıdaların renklerinin pratik şekilde ölçümü için değişik yöntemler ve bu yöntemlerle ilgili bazı cihazlar geliştirilmiştir [28]. Üren [28], gıdaların rengini, üç boyutlu objektif sistemler (CIE sistemi, Munsell renk sistemi ve Hunter renk sistemi) kullanarak belirlemiş, bu objektif renk parametreleri tek başlarına bir anlam ifade etmediği için de parametreleri tüketici tercihlerini gösteren panel sonuçlarıyla karşılaştırarak aralarındaki korelasyonu hesaplamaya çalışmıştır.

Farklı renk uzayları olmasına karşın yiyeceklerdeki rengin ölçümünde bunlardan en çok kullanılanı, renklerin tekdüze dağılımından dolayı, CIE-Lab renk uzayıdır. Ayrıca bu

renk uzayı, insanın renk algılamasına çok yakındır. Yiyecekteki bir sayısal görüntü analizini gerçekleştirmek için, yiyecek öğesi yüzeyindeki her bir pikselin renk ölçümünü bilmek gerekmektedir. León ve arkadaşları [29], sayısal RGB görüntüsünün her bir pikseli için CIE-Lab renk birimlerinde sayısal görüntülerin elde edilmesine izin veren hesaba dayalı bir çözüm sunmuşlar ve RGB renk uzayından CIE-Lab renk uzayına dönüşüm için beş model kullanmışlardır: doğrusal, kuadratik, gama, direkt ve sinir ağı. Buna ek olarak, modeller tarafından elde edilen renk ölçümleri ile tekdüze ve homojen yüzeyler için ticari amaçlı bir kolorimetre tarafından ölçülen renk ölçümleri arasında ortalama mutlak hatanın minimize edilmesine dayalı modellerin parametrelerini tahmin etmede bir yöntem önerilmektedir. Modellerin performanslarını değerlendirmede sinir ağı modeli, sadece %0.93'lük bir hata ile ön plana çıkmaktadır. Bu modellerin inşası baz alınarak bir yiyecek öğesinin doğru, titiz ve detaylı karakterize edilmesine uygun olan CIE-Lab renk ölçüm sistemini bulmak mümkündür. Böylece gıda endüstrisi için renkli bir dijital kameraya dayalı bir kalite kontrol geliştirilmiş ve oldukça faydalı bir gereç sağlanmıştır [29].

Cui ve çalışma arkadaşları [30], kablosuz kapsül endoskop görüntülerinin durumunu algılamada renk özelliğine odaklı yeni bir algoritma geliştirmişlerdir ve bunun için de HSI (Hue-Saturation-Intensity; Ton-Doygunluk-Parlaklık) renk uzayını kullanmışlardır. Bu endoskop cihazı, sindirim sistemi (gastrointestinal) tanılarında çığır açan büyük bir buluştur. HSI uzayı, hastalık tespitinde fayda sağlamaktadır. Vezhnevets ve çalışma arkadaşları [31], deri rengini algılamada kullanılan piksel bazlı teknikler üzerine bir araştırma yapmışlardır. Deri rengini modelleme ve tanıma problemlerine birçok renk uzayı (RGB, normalize RGB, HSI, HSV, YCrCb, YUV, YIQ, CIE-Lab, CIE-Luv) uygulanmıştır. Çalışmada, modelleme yöntemleri ile renk uzayları karşılaştırılmıştır. Ayrıca birbirlerine göre avantajları, dezavantajları ve karakteristik özellikleri de belirtilmiştir. Buradaki sunulan renk uzaylarına ilaveten, elektrik mühendisliğinde ve görüntü işlemede kullanılan renk uzayları [32] (CMYK, Photo YCC gibi) vardır

Meyer ve Greenberg [33], çalışmalarında renk kusurlu görme ve bilgisayar grafik ekranlarını ele almışlardır. İnsan görme sisteminin temel spektral duyarlılık fonksiyonları, renkli kullanıcı arayüzlerini daha iyi tasarlamaya yardımcı olabilen bir renk uzayını tanımlar. Bilhassa bu renk uzayı, bireylere renk kusurlu görme imkanı sağlar. Bu sayede renk kusurlu görme rahatsızlıkları modellenebilir. Bilgisayar grafik

sistemlerinin potansiyel kullanıcılarını ekranda göstermek için, Farnsworth-Munsell 100-hue testi gibi geleneksel renkli görme testleri, dijital olarak kontrol edilen bir renkli televizyon monitörleri kullanılarak gerçekleştirilebilir ve bu testler, teşhislerinin belirginliğini geliştirecek şekilde genişletilebilirler. Bilgisayar grafik ekranlarının tasarımına yardımcı olmak için renk kusurlu gözlemciler tarafından görüldüğü gibi dünyanın bir resmi sentezlenebilir ve ana hatları, renk kusurlu gözlemcilere sunulacak renklerin seçimi için verilebilir.

Gabrijelčič ve Dimitrovski [34], iki renkli dokuma yapılarının doğrusal teori renk değerleri ile spektrofotometre vasıtasıyla ölçülen renk değerleri arasında bir ilişki belirlemede doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizini kullanmışlardır. Bu dokuma kumaşların yapısal parametreleri sistematik olarak değiştirilerekten iki renkli optik karışımların renk özellikleri (lightness, hue, chroma) değiştirilmiştir. CIE-Lab renk uzayında iki renkli yapıların renklerinin pozisyonu ve renk değişimlerinin yaklaşık yönü basit bir geometrik model ve katmalı yöntemle teorik olarak belirlenmiştir. Ayrıca iki renkli optik etkiler spektrofotometre kullanarak belirlenmiştir.

Tarayıcılar ya da dijital kameralar gibi görüntü yakalama cihazları verileri genellikle RGB renk uzayında tanımladığı için bir örneğin renginin tam bir ham spektral tanımlaması mümkün değildir. Cihaz karakterizasyonu, bir örneğin RGB değerlerini tekabül eden XYZ tristimulus (üç uyartılı) değerlerine dönüşümünü mümkün kılmaktadır. Bir aydınlatıcıdan diğerine tristimulus değerlerinin dönüşümü için türsel uygunlama (chromatic adaptation) dönüşümleri kullanılmalıdır [35]. Đorđević ve çalışma arkadaşları [35], türsel uygunlama dönüşümlerini reaktif boyalara sahip tekstil substratının dijital tekstil baskısı alanında hayata geçirmişlerdir. İnceledikleri türsel uygunlama dönüşümlerinin performansını kümeleme analizi ile değerlendirmişler ve sonuçlar en düşük ortalama renk farklarının D50A ve D65A tarafından takip edilen D50-D65 aydınlatıcı çifti ile üretilmiş olduğunu göstermiştir.

Boya, tekstil ve baskı mürekkebi gibi boyarmadde ile ilgilenen endüstrilerin en önemli problemlerinden biri, eksiksiz bir renk eşleme sağlamak için gerekli boyarmaddelerin uygun miktarını ya da oranını bulmaktır. Zhang ve Li [36], tekstil boyamada renk eşlemeyi modelleme ve problem çözme üzerine bir yöntem geliştirmişlerdir. Sayısal analiz ile bilgisayarlı bir renk eşleme yöntemi önermişler ve üç boyarmaddenin

tristimulus değerleri arasındaki ilişkiye dayalı bir matematiksel model kurmuşlardır. Veri uydurarak ve Newton-Krylov algoritması kullanılarak boyama reçetelerinin çözümünü elde etmişlerdir. Altural ve arkadaşları [37], optik RGB sensörünün çıkışlarını CIE-XYZ renk uzayı koordinatlarını verecek şekilde uyarlamışlardır. Bu amaçla, sensör çıkışları ile spektrofotometre çıkışları arasında bir korelasyon kurulmuştur. Sensör başarımını test etmek için, çeşitli firmalardan temin edilen kumaşların renk analizi yapılarak sayısal veriler elde edilmiştir. Bilgisayar destekli cihazların sağladığı avantajlar kullanılarak çeşitli ürünlerin hassas ve hızlı renk ölçümlerini yapan bir sistemin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ölçümler, spektrofotometre ve optik renk sensörü ile yapılmış ve elde edilen sonuçlara çoklu doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. Önerilen yöntemin spektrofotometrik yönteme alternatif olarak kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Fairman ve çalışma arkadaşları [38], renk ölçmede CIE 1931 sisteminin kurucularına yol gösteren ilkeleri incelemişlerdir. İlkeler, renk ölçümünde CIE 1931 sisteminin gelişiminde her bir aşamanın nasıl ve niçin ortaya çıktığını ayrıntılı bir şekilde göstermek için, renk karışım verilerinin Wright-Guild deneysel saptamalarına uygulanmıştır. Eğer sistem bugün yeni formüle ediliyorsa aynı ilkelere bağlı kalıp kalmadığını belirlemede, modern dünyada bu ilkelerin her birinin gerekliliği eleştirel olarak incelenmiştir.

Ohno [39], çalışmasında CIE 1931 renk eşleme fonksiyonlarını kapsayan CIE renk ölçüm sistemini, XYZ tristimulus değerlerini (üç boyutlu renk değerleri), (x, y) diyagramı, 1976 (u', v') diyagramı ve CIE-Luv ve CIE-Lab renk uzaylarının evrimini ve renk farkı formüllerini gözden geçirmiştir. CIE standart aydınlatıcıları tanıtarak nesne renklerinin ölçümünü, renk ve yansıma ölçümleri için CIE terminolojisini ve benzer renk sıcaklığı ve renk oluşturma indislerinin (color rendering indices) hesabı ile ışık kaynağı renklerinin ölçümünü tekrar incelemiştir. Ayrıca, spektroreflektometreleri, spektroradyometreleri ve tristimulus kolorimetreleri kullanan görüntüleme uygulamaları için renk ölçümlerinin pratik yönlerini tartışmıştır. Ölçü aletlerinin doğruluğunun kalibrasyonu ve doğrulanmasını, spektral ışık saçma (irradiance) ve yansıma standartlarını ve belirsizlik bileşenlerini genel olarak ele almıştır.

Wirth ve Nikitenko [40], keskinliği iyileştirilecek renkli görüntüleri işlemeyi RGB renk uzayında neredeyse defalarca gerçekleştirmişlerdir. Farklı renk uzayları kullanmanın görüntü (imge) keskinleştirme algoritmalarının uygulaması üzerine etkileri araştırılmıştır. Hangi renk uzayının kromatiklik bakımından orjinalinden ayırt edilemeyen bir sonuç sağladığını belirlemeye çalışmışlardır. RGB, YIQ ve CIE-Lab renk uzaylarında bulanık maskeleme ve bulanık biçimsel keskinleştirme test edilmiştir.

Tüketici pazarındaki düşük maliyetli renkli görüntüleme cihazlarının yaygınlaşması, bir ortam ya da cihazdan başka bir ortam ya da cihaza renk uygunluğunda bir kayıp olmaksızın görüntüleri aktarmada daha büyük bir ihtiyacı doğurmuştur [41]. Her bir cihazı CIE tristimulus değerlerine göre karakterize etmek ortak bir çözümdür. Cheung ve çalışma arkadaşları [41], renkli kameraları karakterize etmede yapay sinir ağları ve polinomial (çokterimli) dönüşümler [42, 43] olmak üzere iki yaygın tekniğin kullanışlılığını karşılaştırmışlardır. Modellerin parametreleri bir kere optimize edildiğinde nöral ve polinomial tekniklerin yaklaşık olarak benzer performans sergiledikleri gösterilmiştir. Sinir ağlarını eğitmek zor ve zaman alıcı olabildiğinden dolayı polinomial dönüşümlerin, kamera karakterizasyonu için daha iyi alternatif sunduğu sonucuna varılmıştır.

Ren ve çalışma arkadaşları [44], elmas rengi tasnifi için bilgisayarla görü esasına dayalı bir yöntem geliştirmişlerdir. Tatmin edici elmas görüntüleri almak için bir ışık ölçme küresi (ulbricht küresi) esasına dayalı özel bir ışık kaynağı kullanılmıştır. RGB bileşenlerine sahip elmas görüntülerinin renk dağılımını tanımlamada RGB'den daha doğru algısal renk ilişkileri tanımlayabilen HSV renk uzayına dönüşüm sağlanmıştır [44].

Connolly ve Fliess [45], üç boyutlu referans tablosu (3D LUT, Look-Up Table) yaklaşımını kullanarak RGB renk uzayından CIE-Lab renk uzayına dönüşüm sağlamışlardır. Üç boyutlu referans tablosu, üç girdi renk değerinden oluşan bir renk uzayını başka bir üç çıktı renk değerinden oluşan renk uzayına dönüştüren statik bir renk çevrim tablosudur.

Bensaali ve Amira [46], renk uzay dönüşümü için etkili mimari yapıların tasarımı ve gerçekleştirimi üzerine yapmış oldukları çalışmada birçok görüntü işlemede kullanılan

RGB ve YCrCb renk uzayları ele alınmıştır. Burada sistolik yapı ve dağıtılmış aritmetik yaklaşımlar kullanan renk uzay dönüştürücüleri için düşük maliyetli bir hızlandırıcı olarak FPGA'nın (Field Programmable Gate Array; Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi) kullanımı önerilmektedir. RGB renk uzayındaki bir görüntüyü her bir piksel için bir RGB takımı ile işleme pek etkili bir yöntem değildir. Bazı işleme adımlarını hızlandırmak için birçok yayın (broadcast), video ve işleme standartları, YCrCb gibi, farklı parlaklığa (luminans) ve renge sahip video işaretlerini kullanırlar.

Sharma ve Trussell [47], sayısal renk görüntüleme alanındaki araştırmaları ve teknolojiyi incelemişlerdir. Ayrıca ekran ve haberleşme için renkli görüntüleri işleme algoritmaları (renk kuantalama, yarı tonlama, renkli görüntü kodlama, gamut haritalama, cihaz bağımsız renk ve renk yönetim sistemleri) incelenmiştir.

RGB cihaz değerleri XYZ tristimulus değerlerinin doğrusal bir dönüşümü olmaması bakımından giriş cihazlarındaki renk sensörleri çoğunlukla kolorimetrik değillerdir [48]. Bu cihazlar için rengin cihaz bağımsız bir tarifini geliştirmede RGB cihazından CIE XYZ tristimulus değerlerine bir dönüşüme ihtiyaç duyulur. Bianco ve arkadaşları [49], bir örüntü araştırma optimizasyon algoritmasına dayalı bir RGB renk uzayından XYZ renk uzayına dönüşüm yöntemi sunmuşlardır. Renk dönüşümünü başlatmak için hangi strateji benimsenirse benimsensin sunmuş oldukları bu yöntem, aynı zamanda bir renk eşleme kısıtını dikkate alarak, verilen bir eğitici küme ile ilgili renk hatasını minimize etmek için optimize edebilmektedir. Taillie ve arkadaşları [50], bir renk dönüşüm matrisinin optimizasyonu için bir teknik geliştirmişlerdir. Dönüşüm matrisinin bütün katsayıları, sıfırdan daha büyük ya da sıfıra eşit değerlere sahiptirler.

Çoğu tarayıcı, spektral duyarlılıkları CIE renk eşleme fonksiyonlarının doğrusal bir kombinasyonu olarak ifade edilemediği için kolorimetrik cihaz değildir. Tarayıcıyı karakterize etmenin amacı, cihaz bağımlı tarayıcı cevaplarını (tipik üç kanallı tarayıcılar için RGB değerleri) cihaz bağımsız kolorimetrik değerlere (CIE-XYZ ve CIE-Lab gibi) ya da spektral yansıma değerlerine dönüştürmektir. Shen ve arkadaşları [51], renkli tarayıcıların kolorimetrik karakterize edilmesinde algısal renk farkı hatasının ölçümlerine dayalı yöntemler önermişlerdir. Literatürde kolorimetrik tanımlama yöntemleri, polinomial regresyon [52-54], sinir ağları [55, 56] ve referans tablolarını [54, 57] içerir.

Maniam [58], ortam ışığının rengini ölçmede bir renk ölçme sistemi geliştirmiştir. Sistem, renge özgü girişim filtrelerine (örneğin, kırmızı, yeşil ve mavi filtreler) ve her bir filtreye bağlı bir fotodedektöre sahip bir renk sensörü ve en iyi filtreleme üreten açıda renge özgü girişim filtreleri üzerine ortam ışığının düşmesini sağlamak için yapılandırılan bir dağınık yansıtmalı yüzey içermektedir. Dağınık yansıtmalı yüzey, yansıyan ışığın, ortam ışığının geliş açısı dikkate alınmaksızın, dağınık yansıtmalı yüzeye bağlı olarak aynı yönde dengeli şekilde yayılmasına neden olur. Dağınık yansıtmalı yüzey, girişim filtrelerine ilişkin en iyi filtreleme açısında ortam ışığını yansıtmak için renk sensörüne göre konumlandırılır. Dağınık yansıtmalı yüzeyden dolayı ortam ışığı, ortam ışığının bu yüzeye çarptığı açı dikkate alınmaksızın en iyi geliş açısında girişim filtrelerine yansıtılır [58]. Bir renk sensörünün fotodedektörleri, ilgili ışığın renginin şiddeti ile orantılı çıkış işaretleri üretir. Sayısal çıkış işaretleri (RGB renk uzay koordinatları), tipik olarak standart renk uzay koordinatlarına (örneğin, CIE-XYZ renk uzay koordinatlarına) dönüştürülür. Bunun için polinomial algoritmalar kullanılır. Dönüşümde kullanılan polinomun derecesi, n. dereceden (n>1) olabilir. Bir polinomial algoritma kullanıldığında ilk olarak bir katsayı matrisi belirlenmelidir. Bu matrisi belirleme teknikleri, 1) tamamen ampirik, 2) tamamen matematiksel ve 3) ampirik ve matematikselin bir birleşimini içerebilir [58].

Endüstriyel, tarımsal ve yaşam çevrelerinin otomatik nem kontrol alanlarında elektronik nem sensörü önemli bir rol oynamaktadır [59]. Yaşam çevresi, tarım, tıp ve yarıiletken endüstrisini ilgilendiren uygulamalar için, nemin kontrolü ve izlenmesi gereklidir [60]. İhtiyaca bağlı olarak nem algılama, farklı sensör tipleri (rezistans [61, 62], kapasitans [62] ya da optik özellikler [63] baz alınarak) ile gerçekleştirilir. Rezistans ya da kapasitans bazlı nem sensörlerine nazaran optik nem sensörleri, elektromanyetik gürültüye karşı bağışıklık, gerçek zamanlı izleme imkanı, uzaktan algılama gibi kendi doğasında var olan avantajlara sahiptirler [64]. Bu özellikler, nem algılamada optik sensörleri güçlü araçlar haline getirmiştir. Bundan dolayı, ucuz ve oldukça hassas optik nem sensörleri geliştirme gittikçe artan bir ihtiyaç olmuştur.

Nem ölçümleri, gıda işleme, plastik-kağıt-ince taneli kimyasalların imalatı dahil birçok endüstriyel işlemlerde ve yarıiletkenlerin üretiminde önemlidir [65]. Su aktivitesinin ya da nem seviyelerinin, mikroorganizmaların metabolik üretkenliklerinde hayati önem taşıdığı bir takım biyokimyasal işlemlerde nem seviyeleri, hızlı, doğru, güvenilir bir

biçimde ve gerçek zamanda belirlenmelidir. Genellikle nem sensörleri, bir algılayıcı malzemeyi uygun bir dönüştürücü ile bünyesinde bulundurur [65]. Nemin algılanması, su moleküllerinin algılayıcı malzeme ile etkileşimi vasıtasıyla başarılır ve çıkıştaki elektrik ya da optik işaret, bir dönüştürücü vasıtasıyla algılama sistemine iletilir. Kobalt klorür ($CoCl_2$), nem için spesifik bir optik indikatör olarak geniş ölçüde kullanılmıştır [65]. Suyu uzaklaştırılmış kobalt klorür mavi renktedir ve hidratlandığı zaman pembe renge dönüşür. Genellikle kobalt klorür esaslı sensörler, kısıtlamalara sahiptir ve geniş nem seviye yelpazesini ölçmek için kobalt klorürün farklı konsantrasyonlarına ihtiyaç duyulur. Diğer sınırlamalar, zayıf kararlılık ve yeniden üretilebilirliği, değişken doğruluğu, sınırlı sıcaklık aralığını ve yavaş tepki süresini içerir [65]. Kobalt klorür esaslı sensörler, birçok endüstriyel durumlarda uygun olmayabilir. Russell ve arkadaşları, bir nem algılama sistemi üretmek için bir jelatin matris içerisine kobalt klorür gömmüşler ve bu matrisi 600 µm'lik bir optik fiber üzerine kaplamışlardır. Bağıl nemdeki değişim, 680 nm'de $CoCl_2$ tarafından ışığın absorpsiyonu ile ilişkilendirilmiştir [66].

2. BÖLÜM

RENK ÖLÇÜM CİHAZLARI VE ÜÇ BOYUTLU RENK UZAYLARI

2.1. Renk Ölçüm Cihazları

Renk son derece öznel ve kişiye yöneliktir [67]. Renk ölçümü konusunda gözle yapılan öznel değerlendirmenin bazen yanıltıcı olması nedeniyle çeşitli cihazlarla nesnel ölçümlerin yapılmasına gerek duyulmuştur [28]. Gözlemciler arasındaki renk algılama farklılıklarından kaynaklanan problemler, renk ölçüm cihazlarının kullanılmasıyla çözülebilmektedir [68]. Renk ölçüm cihazları içerisinde en doğru ve kullanışlı cihazlar olan spektrofotometreler [69], optik radyasyon, ışık dağıtıcı, ölçüm için optik bir sistem, dedektör ve algılanan ışığı analiz edilebilecek bir sinyale çeviren mekanizmadan oluşmaktadırlar [70].

Renk ölçüm cihazları, genel olarak kolorimetre [39] ya da spektrofotometre (Şekil 2.1) olarak tanımlanırlar. Kolorimetreler, doğrudan gözümüzün algıladığı üç temel renk üzerinden (kırmızı, yeşil, mavi) ölçüm yaparken; spektrofotometre ise gözümüzün algılayabildiği tüm renkler yani 380-780 nm arasında belirli dalga boyu aralıklarında yansıyan ışık enerjisinin tamamını toplayarak sonuca ulaşır ve dolayısıyla daha net bir sonuç verir [71]. Kolorimetre terimi ile, insan gözünün dedektör olarak kullanıldığı bir veya daha fazla renk karşılaştırma standartı kullanılarak yapılan absorpsiyon ölçümlerini yapan cihaz kastedilmektedir [72]. Kolorimetre, Newton, Young, Maxwell ve Helmholtz'un ilk çabalarının ürünüdür [73].

Kolorimetre cihazlarının kullanıldığı ölçüm tekniği kolorimetri olarak isimlendirilir. Kolorimetride çözeltilerin renklerinin karşılaştırılmasında gözün yanılması ve kişisel hataların oluşması mümkün olduğundan, çözeltiden çıkan ışının şiddetini ölçmede

spektrofotometreler kullanılmaya başlamıştır [74]. Kolorimetri, farklı tektürsel uyartının insan görme sisteminin cevabına dayanır ve bu cevabı belirlemek için tektürsel üç ana rengin (700 nm'de kırmızı, 546.1 nm'de yeşil ve 435.8 nm'de mavi) bir kombinasyonu kullanılır [75]. Gözlemci, keyfi dalga boyundaki tektürsel rengi karşılaştırmak için ana (birincil) renkler arasında bağıl ağırlıklandırmayı ayarlar. Bu süreç, görünür bölge spektrumu boyunca dalga boyları için tekrarlanır ve sonuçta bir renk eşleme fonksiyon takımı elde edilir [75]. Kolaylık için, bu fonksiyonlar tipik olarak RGB uzayından XYZ renk uzayına dönüştürülürler. Dar görüş alanı (2°) ve geniş görüş alanı (10°) için bu fonksiyonlar CIE tarafından XYZ uzayında standart hale getirilmiştir.

Şekil 2.1. CM-3600d spektrofotometre.

Şekil 2.1'deki cihazın uygulaması Bölüm 4'te verilmiştir. Spektrum ölçmeye yarayan aletlere spektroskop veya spektrometre denir. Eğer numuneden geçen ışık fotoğraf filmi veya levhası üzerine düşürülerek ölçülüyorsa; spektrometre, spektrograf adını alır. Eğer geçen ışığın şiddeti fotoelektrik bir hücre vasıtası ile ölçülüyorsa alet, spektrofotometre adını alır [76]. Bütün spektrofotometreler prensip olarak şu kısımlardan oluşmuşlardır; ışık kaynağı, frekans seçici, ışık şiddeti ayarlayıcısı, numune tutucusu, dedektör ve ölçücü veya kaydedici düzenek [76].

Görünür bölge ölçümleri için bir tungsten lamba iyi bir ışık kaynağı olabilir. UV bölge ölçümleri için bu bölgede sabit şiddette ışık yayımlayan hidrojen deşarj lambası kullanılır. Yaygın olarak kullanılan bir IR (infrared) ışık kaynağı, 1200°C'ye kadar elektrikle ısıtılmış bir silikon karbür çubuktur [76]. Spektrofotometrelerde frekans

seçicisi olarak, ışığı dalga boylarına ayıran düzenekler olan prizmalar kullanılır. Görünür bölge spektrofotometreleri için camdan yapılmış prizmalar kullanılabilirken, UV spektrofotometreleri ve IR spektrofotometreleri için de sırasıyla silikadan (SiO_2) ve kaya tuzundan (NaCl) yapılmış prizmalar kullanılır çünkü cam, UV radyasyonunu absorblar [76]. Prizma döndürülerek çalışılmak istenen dalga boyu, aletin önüne getirilir [76]. Dedektörden ölçülebilir bir cevap alabilmek için, belli dalga boyundaki ışığı numuneden geçirmenin yanısıra geçen ışığın şiddetinin de yeterli olması gerekmektedir. Bu yüzden, aletin içerisinde ışık şiddetini (miktarını) ayarlamada kullanılan ve ayarlanabilir açıklıklara sahip bir veya birden fazla yarıklar mevcuttur [76]. Numunenin içerisine yerleştirildiği düzeneklere numune tutucusu denir. Numuneden geçen ışığın şiddetini ölçen düzenekler dedektörlerdir. Örneğin, fotoğraf plakları, fototüpler ve fotoçoğaltıcılar. Dedektörlerden alınan işaretleri değerlendiren düzeneklere, ölçücü veya kaydedici düzenekler denir [76]. Bu işaretler transmitans veya absorbansı gösterecek şekilde kalibre edilir [76].

Kolorimetrik ve fotometrik ölçümler yapılırken sonuçların belirsizliğini bilmek önemlidir. Bir ölçümdeki belirsizlik, sadece ölçüm cihazların belirsizliğine değil aynı zamanda ölçüm şartlarına bağlıdır [39].

2.1.1. Lambert-Beer Yasası

Monokromatik yani tek dalga boyundaki ışık saydam bir ortamdan geçtiğinde bunun gücündeki azalış, ortamın kalınlığına bağlıdır [76]. Buna Lambert yasası denilmektedir ve matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilmektedir:

$$\log \frac{I_o}{I_1} = k.l \qquad (2.1a)$$

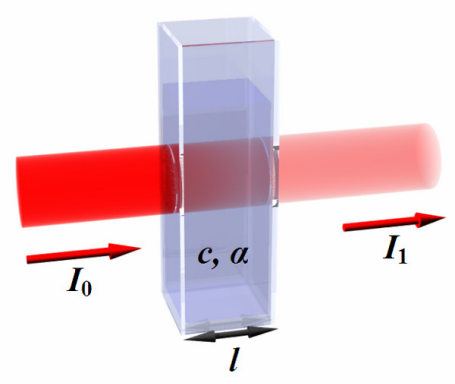
Burada I_0, gelen ışının gücü; I_1, ortamdan geçmiş olan ışının gücü; l, ortamın kalınlığı; k, ışığın dalga boyu ve absorblayıcı ortamın cinsine bağlı bir sayıdır. Monokromatik bir ışık bir çözeltiden geçtiğinde bunun gücündeki azalış, çözeltideki çözünmüş madde konsantrasyonuna bağlıdır [76]. Buna da Beer yasası denilmektedir ve matematiksel olarak şöyle gösterilebilmektedir:

$$\log \frac{I_0}{I_1} = k^{'} c \qquad (2.1b)$$

Burada c, çözeltinin konsantrasyonudur. Bu iki yasa tek bir yasa halinde birleştirilmiştir ve elde edilen ifade pek çok kolorimetrik analizin temelini oluşturur [76]. Bunu matematiksel olarak şöyle gösterebiliriz:

$$\log \frac{I_0}{I_1} = \alpha . l . c \qquad (2.1c)$$

Burada α, absorbtivitedir ve iki yasada görülen k ve $k^{'}$ sabitlerinin kombinasyonu ile elde edilmiştir.



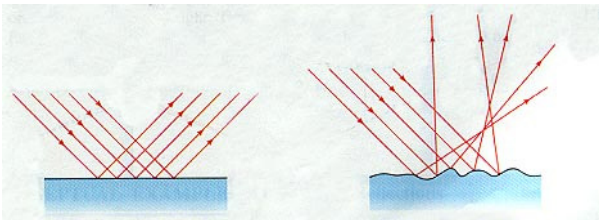
Şekil 2.2. Lambert-Beer yasasının şematik gösterimi.

2.1.2. Yansıma Esaslı Algılama Teorisi

Gözümüz, tüm elektromanyetik dalgaları göremeyip, yalnızca dalga boyu 380–780 nm arasında olan dalgaları görebilmektedir. Görünür bölgede dalga boyuna sahip ışık ışınlarının cisimler tarafından soğurumuna (absorbsiyonuna) ve yansımalarına göre cisim renkli görülmektedir. Rengi fiziksel olarak belirli bir ışığın hangi dalga boylarını hangi oranda içerdiğinin ölçüsü olarak tanımlayabiliriz ve rengin gözlenebilmesi için ışığa ihtiyaç vardır [77].

İki tip yansıma vardır: aynasal (specular) yansıma ve dağınık (diffuse) yansıma [78]. Aynasal yansımada yansıma kanunları geçerlidir. Yansımanın bu tipi çokça renk bilgisi taşımaz. Parlak malzeme, mat bir yüzeyle mukayese edilecek daha yüksek bir aynasal

yansımaya sahip olacaktır. Yansıma esaslı renk algılamada daha çok dağınık yansıma ile ilgilenilir. Bu tip yansımada gelen ışık, yüzeyin özellikleriyle değiştirilir. Her bir dalga boyundaki yansıma derecesi, yüzey yansımasına bağlıdır [78]. Gelen ışık kaynağı tayfı, nesne/hedef yüzey yansımalarıyla değiştirilecektir.



(a) (b)

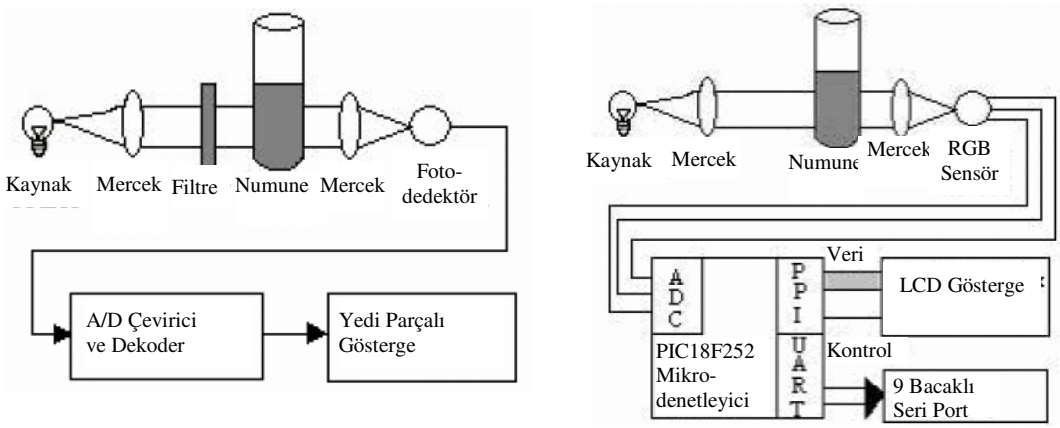
Şekil 2.3. (a) Aynasal ve (b) dağınık yansımalar.

Yansıma esaslı algılamada üç önemli eleman vardır: dedektör, hedef ve aydınlatıcı [78]. Dedektör, bir nesneden yansıyan ışığı yakalayan bir cihazdır. Hedef, renkli kağıt ya da boya gibi rengi ölçülen bir nesnedir, tipik olarak farklı dalga boylarındaki ışığın farklı miktarlarını yansıtır ve soğururlar, tipik olarak yayıcı değillerdir. Aydınlatıcı, tayfı görünür dalga boylarını kapsayan, güneş ışığı gibi, bir ışık kaynağıdır [78]. Yansıma esaslı bir renk algılama sisteminde dedektör ve aydınlatıcı, genellikle bir modül içerisinde birlikte monte edilirler. Modül hedefe yakın yerleştirildiği zaman aydınlatıcıdan gelen ışık, hedef yüzey üzerine düşecek ve dedektöre geri yansıyacaktır. Yüzey dışına yansıyan ışığın rengi, yüzeyin renginin bir fonksiyonudur. Örneğin, yeşil bir yüzey üzerine odaklanan beyaz ışık, yeşil olarak yansır. Yansıyan yeşil ışık, R-G-B çıkış voltajları üreten renk sensörüne çarpar. Üç voltaj yorumlanarak renk belirlenebilir [78]. Üç çıkış voltajı yansıyan ışığın şiddetiyle doğrusal olarak arttığı için, renk sensörü ayrıca yüzeyin ya da nesnenin yansıtıcılığını ölçer.

2.2. Renk Algılama Düzenlemeleri

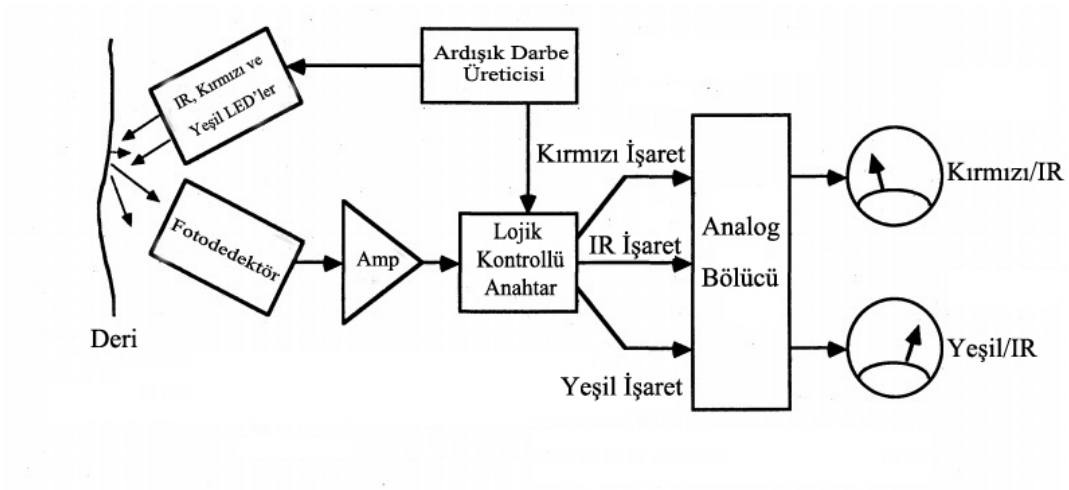
Raja ve Sankaranarayanan [79, 80], kan şekerinin daha iyi klinik ölçümü için mevcut kolorimetreyi RGB renk sensörü ve mikrodenetleyici ile geliştirmişler ve bilgisayar ile arayüz oluşturmuşlardır. Böylece absorbansın yerine renk sensöründen alınan RGB verileri kullanılır. RGB verileri, kromatiklik diyagramına göre eşdeğer ton (hue) ve doygunluk (saturasyon) değerlerine dönüştürülürler [81-84]. Rengin saturasyonundan,

kan şekerinin konsantrasyonu tahmin edilebilmektedir. Fotodiyotun yerine belli bir rengin varlığını algılamada ve bütün renk spektrumu boyunca tam koordinatını saptamada bir RGB renk sensörü kullanılmıştır. Renk sensörü, renkli ışığı, orantılı RGB voltaj çıkışlarına dönüştürür. Her bir kanalın (R, G ve B) voltaj çıkışı, artan ışık şiddeti ile doğrusal olarak artar. Bu RGB voltaj çıkışı, bu analog voltajları üç adet 8 bitlik dijital veriye dönüştürmek için ADC'ye ve mikrodenetleyiciye bağlıdır. Bu 24 bitlik RGB veri, mikrodenetleyici ile arayüzlenmiş seri port aracılığıyla bilgisayara bağlanır.



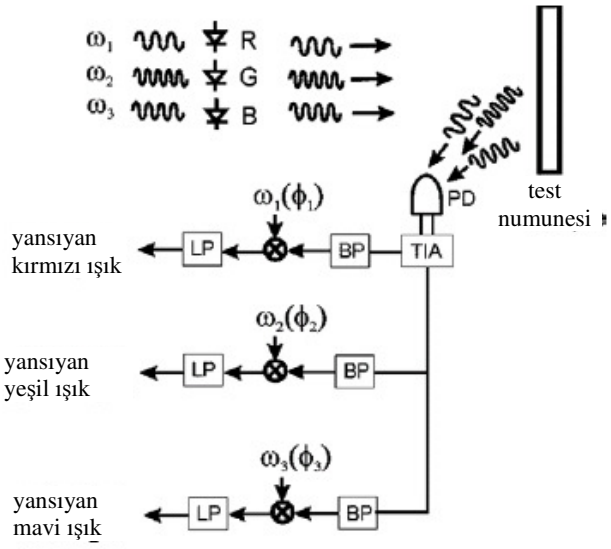
Şekil 2.4. RGB kolorimetri düzenlemesi [79, 80].

Afromowitz ve çalışma arkadaşları, yanık yaralarında doku zedelenmesini teşhis etmede bir optik tekniğin güvenilirliğini test etmişlerdir [4]. Kullanışlı, başucu, invazif olmayan bir ölçü aleti (Şekil 2.5'teki yanık derinliği indikatörü) kullanılarak optik yansıma ölçülmüştür. Sonuçlar, değerlendirmesi diğer taraftan zor olan yanık yaralarının iyileşme süresini öngörmede, bu optik tekniğin bilinen yöntemlerden daha doğru olduğunu göstermiştir. Devre, sıralı olarak, 550 nm'de (yeşil), 640 nm'de (kırmızı) ve 880 nm'de (yakın infrared) en yüksek (pik) şiddetlere sahip üç LED grubuna darbe gönderir. Bu ışık, yanık yaralı deriyi aydınlatır ve yansıyan şiddetler bir fotodedektör ile örneklenir. LED'ler ve fotodedektör, el feneri boyutunda bir prob içerisine monte edilmiştir. Amplifikatör, işlemsel uzaklık mesafesindeki yansıyan işaret genliklerini stabilize eder. Bu işaretler, Kırmızı/IR ve Yeşil/IR şiddet oranlarını hesaplayan bir analog bölücüye gönderilir ve dijital görüntüleme birimleri vasıtasıyla sunulur.



Şekil 2.5. Elektro-optik yanık derinliği indikatörünün blok diyagramı [4].

Yang ve arkadaşları, ışık yayıcı olarak üç renkli (kırmızı, mavi, yeşil) bir LED kullanan yansıma esaslı bir renk ölçümü sunmuşlardır [6]. Üç yansıyan işaret, etkin bir şekilde çevre gürültüsünü çıkarmak için modülasyon/demodülasyon tekniği ile ölçülmüştür. yansıyan ışığı algılamada geçiş empedansı kuvvetlendiricisi (TIA) ile silikon PN fotodiyotları (PD) kullanılmıştır. Alçak geçiren filtrelerden (LP) gelen üç çıkış işareti, $\omega_1(\phi_1)$, $\omega_2(\phi_2)$ ve $\omega_3(\phi_3)$ referans işaretlerdeki faz gecikmesi ayarlanarak maksimuma çıkartılmıştır. Yansıyan işaretler, bir analog-dijital arayüz aracılığıyla bir bilgisayara gönderilir ve kromatiklik koordinatını (x, y) verecek şekilde işlenir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Yansıma esaslı bir renk sensörünün devre şeması [6]. BP: band geçiren filtre.

2.3. Üç Boyutlu Renk Uzayları

Kolorimetri, bilgisayar grafikleri ve video işaret iletim standartları, farklı özellikli birçok renk uzayının ortaya çıkmasına neden olmuştur [31]. Renk uzayları, renkleri belirleme aracıdır ve üç temel kategoride ele alınabilirler [32, 85]: HVS (insan görme sistemi) bazlı renk uzayları (örneğin RGB), uygulamaya özgü renk uzayları (örneğin YIQ, CMY(K)) ve CIE renk uzayları (örneğin CIELab).

Renk uzayları [32, 40], renkleri tanımlamak için kullanılan matematiksel modellerdir, bütün renkleri temsil edecek şekilde oluşturulurlar ve üç boyutlu olarak tasarlanırlar. Çünkü kolorimetre biliminin temelini oluşturan Grassmann'ın birinci kanununa [86] göre bir rengi belirlemek için birbirinden bağımsız üç değişkene gereksinim vardır. Renklerin renk uzayındaki yerleri bu değişkenlere göre belirlenir.

Renk uzaylarının amacı, gerek insanlar arasında gerekse makineler ya da programlar arasında rengi tanımlama sürecine yardımcı olmaktır [67]. Renk uzayının seçimi, işleme sonuçlarını önemli ölçüde etkileyebilen çok önemli bir karar olabilir [32]. Çeşitli renk uzayları hakkında bilgi sahibi olmak, uygun renk uzayının seçimini kolaylaştırabilmektedir [32].

Her renk uzayının kendine özgü biçimde renk oluşturma için bazı standartları vardır. Renk uzayları oluşturulurken bir başka renk uzayına doğrusal ya da doğrusal olmayan yöntemlerle dönüşüm yapılabilmelidir [87]. Bazı cihazların kısıtlılıklarından dolayı birden fazla renk uzayı oluşturulmakta ve kullanılmaktadır. Farklı renkli görüntüleme ve işleme cihazları farklı renk uzayları kullanırlar. Televizyon, kamera, tarayıcı ve bilgisayar ekranları RGB (Red-Green-Blue) renk uzayını, yazıcı ve çiziciler CMYK (Cyan-Magenta-Yellow-Black) renk uzayını esas alarak çalışır [87, 88].

Bilgisayar grafik uygulamaları yaygın bir şekilde HSV (Hue-Saturation-Value; Ton-Doygunluk-Şiddet) ve HLS (Hue-Lightness-Saturation; Ton-Aydınlık-Doygunluk) renk modellerini kullanırlar [89].

2.3.1. RGB Renk Uzayı

RGB renk uzayı cihaz bağımlıdır ve renk, bir cihazdan diğerine farklılık gösterir. Genel hatlarıyla HVS görme sinirlerine dayalıdır ve renkli görüntü işlemede en yaygın biçimde kullanılır [40]. Pek çok renkli belge tarayıcılarında bir renkli görüntü işaret takımı üretmek için birkaç elektrooptik görüntüleme sistem biçimi kullanılır [50]. Genellikle kırmızı, yeşil ve mavi olarak tanımlanabilen üç işaret vardır. Bu işaretler, tarayıcının özelliklerine bağlı olduğundan cihaz bağımlıdırlar. Eğer bu işaretler insan görme sistemiyle bir şekilde ilgili olursa cihaz bağımsız işaret takımını üretmede cihaz bağımlı işaretler işlenebilir. Yani, tarayıcı tarafından üretilen üç renkli görüntü işaretleri, üç renkli tarayıcı RGB koordinatları ile ifade edilebilir. Üç görsel XYZ koordinatına göre üç tarayıcı koordinatı tanımlamak için bir dönüşüm uygulanabilir [50]. Bu görsel XYZ koordinatları, tristimulus değerleri ya da bu değerlere ait benzer koordinatlardır. Görsel koordinatlar cihaz bağımsız oldukları için, farklı fotokopi makineleri, yazıcılar ya da görüntüleme ekranlarına aktarılabilir ve tarayıcının, fotokopi makinesinin, yazıcının ya da görüntüleme ekranının karakteristikleri ne olursa olsun genellikle aynı görüntü, çıkış olacaktır [50].

RGB ve XYZ koordinatları arasındaki ideal dönüşüm, doğrusal matris işlemidir ve bu ilişki,

$$X = k_1 * R + k_2 * G + k_3 * B \tag{2.2a}$$

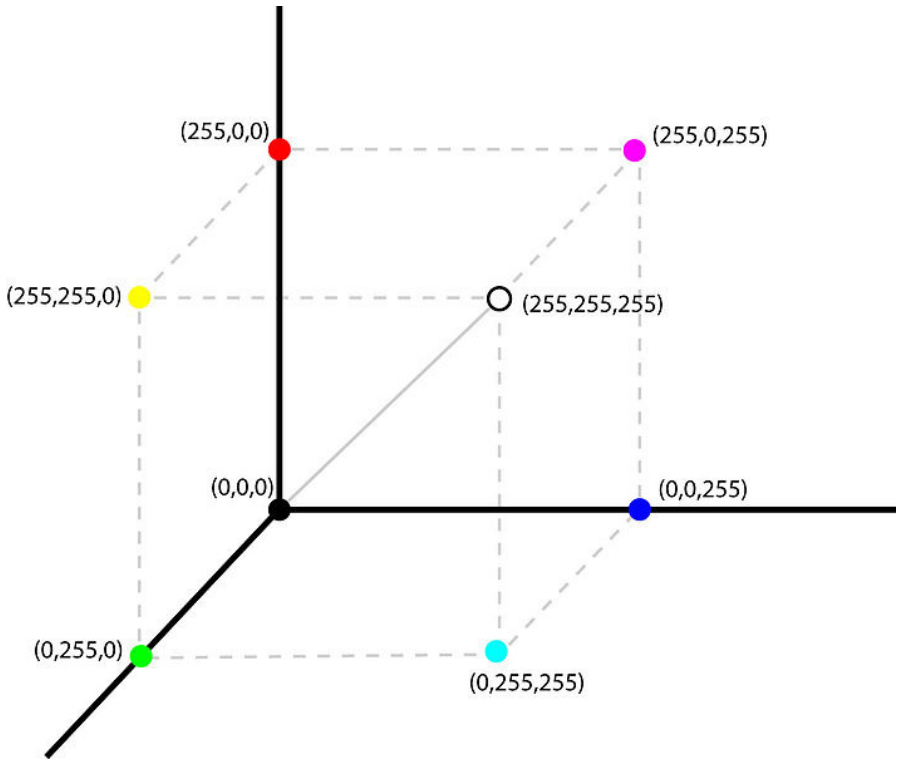
$$Y = k_4 * R + k_5 * G + k_6 * B \tag{2.2b}$$

$$Z = k_7 * R + k_8 * G + k_9 * B \tag{2.2c}$$

denklemleri ile ifade edilebilir [50]. Bu denklemleri tek bir matris denklemi altında şöyle verebiliriz [50]:

$$v = K.s \tag{2.3}$$

Burada v ve s, sırasıyla, görsel (visual) ve tarayıcı (scanner) koordinatlarının sütun vektörleridir ve K, k_n katsayılarından oluşan bir dönüşüm matrisidir. K dönüşüm matrisindeki k_n katsayılarının uygun seçilmesiyle, taranan girişlerin renk hatalarını en aza indirgemeye çalışmak için optimizasyon şemaları tasarlanmaktadır [50].



Şekil 2.7. RGB renk uzayının üç boyutlu gösterimi [90].

RGB renk uzayı, üç renkli ışının (kırmızı, yeşil ve mavi) bir kombinasyonu olarak rengi tanımlamanın uygun olduğu CRT (ya da benzer) ekran uygulamalarından çıkan bir renk uzayıdır [31]. Sayısal görüntü verilerini işlemede ve saklamada en yaygın kullanılan renk uzaylarından biridir. Bununla birlikte, kanallar arasında yüksek korelasyon, belirgin algısal çeşitlilik, renklilik (chrominance) ve parlaklık (luminance) verileri, renk analizi ve renk bazlı tanıma algoritmaları için RGB uzayının seçimini uygun hale getirmez [31].

2.3.2. CIE Renk Uzayları

Renk ölçüm cihazları, 1916 yılında kurulan Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (Commission Internationale de L'Eclairage, CIE, International Commission on

Illumination) tarafından belirlenen sistematik renk ölçüm yöntemlerini kullanırlar. Bu renk ölçümü için parametre olarak kullanılan CIE-Lab değerlerinde, L parlaklığı (beyaz-siyah aralığı), a kırmızı-yeşil aralığını, b ise sarı-mavi renk aralığını temsil etmektedir. Görebildiğimiz tüm renkler, sayısal olarak bu renk aralıklarında ifade edilebilirler.

Renk ölçümünde birçok yöntem ve bu yöntemlerle ilişkili de birçok cihaz geliştirilmiştir. Bu konuda standart yöntem, CIE tarafından 1931 yılında ortaya konan yöntemdir. Bu yöntem daha sonraki yıllarda geliştirilmiştir [91-93]. CIE sistemine göre çalışan renk ölçerlerde radyasyon kaynağı, ksenon ark lambadır. Bu lambaya gerekli yardımcı parçalar ilavesiyle istenen aydınlatıcı elde edilmiş olur [28]. Bu aydınlatıcı ile rengi ölçülecek cisim aydınlatılır ve cisimden yansıyan ışınlar dedektör üzerine gitmeden önce ayrı ayrı üç filtreden geçerler. Bu filtreler kırmızı, yeşil ve mavi filtrelerdir ve X, Y ve Z filtreleri olarak adlandırılırlar. Bu filtrelerden geçip dedektöre ulaşan enerji miktarları X, Y, Z parametreleriyle gösterilir [28]. X Y Z değerlerine tristimulus değerleri de denir. Bu değerlerden faydalanarak x, y ve z değerleri hesaplanabilir. Normalize edilmiş tristimulus değerleri ve aynı zamanda CIE kromatiklik koordinatları,

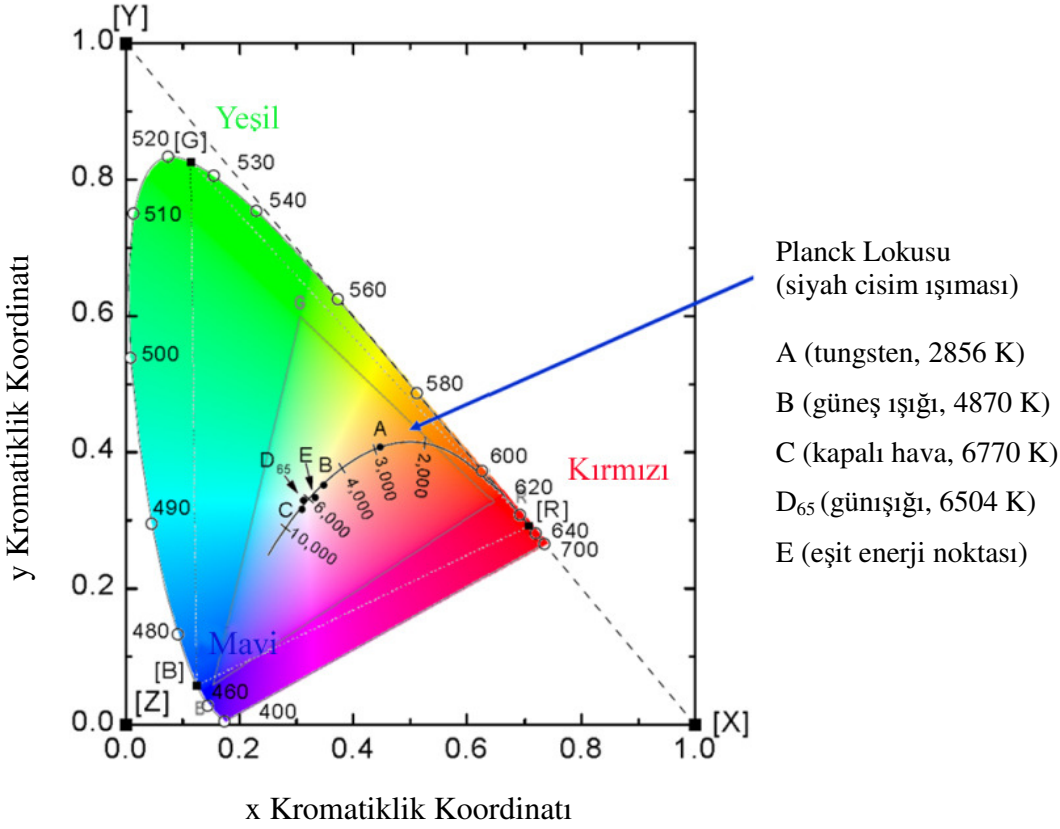
$$x = \frac{\sum_{i=1}^{S} X_i}{\sum_{i=1}^{S} (X_i + Y_i + Z_i)} \tag{2.4a}$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^{S} Y_i}{\sum_{i=1}^{S} (X_i + Y_i + Z_i)} \tag{2.4b}$$

$$z = 1 - x - y \tag{2.4c}$$

ifadeleriyle verilir [86]. Burada S, renk sayısıdır.

Böylece, x ve y değerleri bilinen bir maddenin rengi CIE renk tablosundan bulunabilir (Şekil 2.8). Tüm algılanabilir renkler, kromatiklik diyagramında atnalı biçimli spektral bir yer ile sınırlıdırlar [75]. X, Y ve Z tristimulus değerleri, CIE XYZ uzayında bir renk tanımlar.



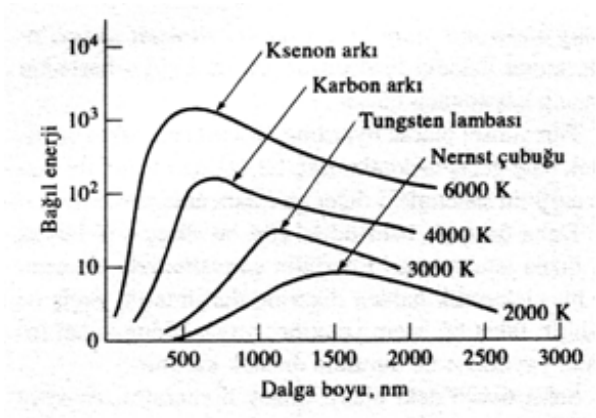
Şekil 2.8. CIE kromatiklik diyagramı [94].

Bütün cisimler, atomlarının ısıl hareketleri nedeniyle enerji yayarlar ve cismin sıcaklığından dolayı yayılan bu enerjiye ısıl ışınım denir [95]. Bütün cisimler çevrelerine ısıl ışınım (radyasyon) verirler ve çevrelerinden gelen ısıl ışınımı soğururlar. Yoğun haldeki katı veya sıvı maddelerin yaydıkları ışınım, spektrumda süreklilik gösterir. Bu tür ışınıma siyah cisim ışıması olarak adlandırılır ve yüzeyi (cismi) oluşturan maddenin niteliğine değil, ışıyan yüzeyin (cismin) sıcaklığına bağlıdır [72]. Siyah cisim ışıması, yoğunlaşmış katı içerisinde çok büyük sayıda atomik ve moleküler geçişin ısı enerjisiyle uyarılmasıyla oluşur [72]. Şekil 2.9'da görüldüğü gibi, ortam sıcaklığı arttıkça enerji piklerinin konumu daha kısa dalga boylarına kayar ve ısı ile

uyarılmış bir kaynağın yayılan enerjisinin önemli kısmının ultraviyole bölgede olabilmesi için çok yüksek sıcaklıklar gereklidir [72].

Sıfır Kelvin (0 K) mutlak sıcaklığının üzerinde sıcaklığa sahip her cisim etrafına bir ışınım yayar [96]. Etrafımızdaki cisimler ideal olmadıklarından dolayı ürettikleri ışınımın belli kısımları malzeme içerisinde ve yüzeylerinde çeşitli fiziksel mekanizmalarla kayba uğrar, ancak belli bir kısmı etrafa yayımlanır [96]. Yayımlanan ışınım tayfı 380 nm ile 780 nm arasındaki görülür dalga boylarını içeriyorsa, ışınım renkli olarak görülebilir [96]. Örnek olarak; normal günışığı 6504 K, direkt güneş ışığı 4870 K, tungsten lamba 2856 K seviyesinde renk sıcaklığına sahiptir [94]. Ayrıca şekil, 2000K'den 10000K'e Planck ışıyıcısı için renk sıcaklığını göstermektedir. Renk sıcaklığı, ışık kaynaklarının renk kalitesini belirlemek için kullanılır ve birimi Kelvin (K)'dir.

Işınım tayfı Planck eğrisinden çok farklı olan kaynaklar için, ilişkili renk sıcaklığı (Correlated Color Temperature, CCT) ifadesi kullanılır. Bir ışık kaynağının CCT değeri, aynı parlaklık ve gözlem şartlarında, kendisininkine en yakın rengi veren siyah cisim ışımasının sıcaklığı olarak kabul edilir [96].



Şekil 2.9. Farklı sıcaklıklarda siyah cisim ışıma eğrileri [72].

CIE tarafından tanımlanan CIE-Lab ve CIE-Luv gibi tekdüze renk modelleri, renk biliminin kanıtlanmış ilkelerini kullandığı için daha iyi algısal tekdüzeliğin ve ortogonalliğin yanı sıra gerçek cihaz bağımsızlığı sağlarlar [97]. CIE-Lab ve CIE-Luv

renk uzayları, G. Wyszecki tarafından önerilen ve CIE tarafından standartlaştırılmış algısal olarak tekdüze renk uzaylarıdır [31].

CIE-Lab renk uzayı değerleri, CIE-XYZ renk uzayı koordinatlarına bağımlı olarak hesaplanır. Bu hesaplama için gerekli ilişki, beyazın CIE-XYZ uzayındaki değerleriyle sağlanır. Dolayısıyla bu değerlerin hesaplanması için yani X, Y ve Z değerlerinden L, a ve b değerlerinin hesaplanması için standart aydınlatıcının ve standart gözlemcinin hangisi olacağına karar verilmelidir [87]. CIE tarafından 1931 ve 1964 yıllarında standart aydınlatıcı (A, B, C, D50, D65, E, F) ve standart gözlemci (2°, 10°) tanımları üzerine kurulan CIE-XYZ renk uzayının iki boyutlu gösterimi bu esasa dayanır.

Maddelerin renkleri aydınlatıcıya göre değişmektedir. Hiçbir aydınlatıcının olmadığı bir ortamda maddeler siyah görünürler [28]. Nesnel yöntemlerle maddelerin renkleri ölçülürken maddenin hangi radyasyon kaynağı ile aydınlatıldığı önem arz etmektedir. Renk ölçüm cihazlarında değişik tipte aydınlatıcılar (A, B, C ve D65 aydınlatıcıları gibi) kullanılmaktadır. Bu aydınlatıcıların hepsi görünür bölgede spektrum yayınlarlar fakat bir aydınlatıcının yayınladığı bağıl enerji-dalga boyu eğrisi diğerininkinden farklıdır [28]. D65, tekstil, kağıt ve renk endüstrisinde kullanılan standart aydınlatıcıdır [35].

Rengin daha kolaylıkla anlaşılabilir bir tanımını yapmak üzere CIE 1976 yılında X, Y ve Z değerlerinden hesaplanabilen L, a ve b şeklindeki üç koordinatı bulunan ve CIE-Lab Sistemi olarak adlandırılan bir sistemi tanımlamıştır [98]. Bu sistem tekstil endüstrisinde yaygın kullanım alanı bulmuştur. Bir sunum ekranının (display) üretebildiği renklerin gamutu, ana renklerin spektral güç dağılımına bağlıdır. Renk gamutu, 3D gamut hacminin 2D izdüşümünü gösteren CIE kromatiklik diyagramında çoğu kez çizilir [99].

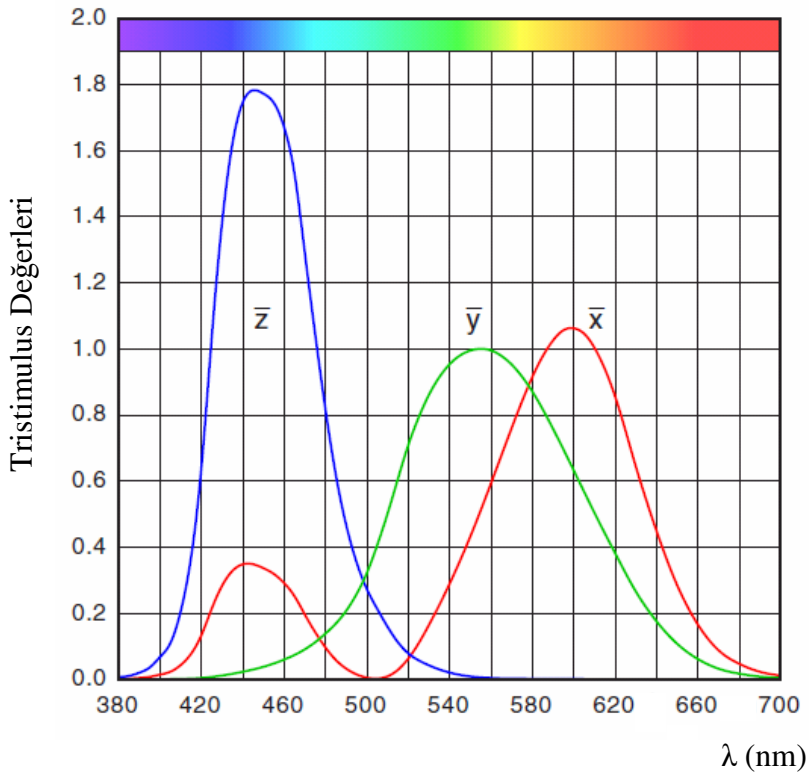
Renk algılamanın tristimulus teorisine [71, 100] göre renk, üç parametre ile temsil edilebilir. 1931 yılında CIE, X-Y-Z olarak adlandırılan üç ana renkleri tanıttı ve bunlar,

$$X = \int r(\lambda)P(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda \qquad (2.5a)$$

$$Y = \int r(\lambda)P(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda \tag{2.5b}$$

$$Z = \int r(\lambda)P(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda \tag{2.5c}$$

ifadeleriyle hesaplanırlar. Burada $r(\lambda)$, spektral yansıma; $P(\lambda)$, aydınlatıcının gelen spektral güç dağılımı; $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ ve $\bar{z}(\lambda)$, CIE renk eşleme fonksiyonlarıdır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. XYZ renk eşleme fonksiyonları [101].

2.4. Renk Uzayları Arası Dönüşüm Yöntemleri

Elektronik teknolojisinin gelişimi ve düşük maliyetli renkli görüntüleme cihazların yaygınlaşması, cihazlar arasında (örneğin, bir bilgisayar ekranından bir yazıcıya) görüntülerin aktarımında kullanıcılara gittikçe daha çok izin vermektedir [42].

Karakterizasyon, cihaz koordinatlarıyla (genellikle RGB ya da CMYK) cihaz bağımsız bir renk uzayı (CIE XYZ gibi) arasındaki ilişki olarak tanımlanabilmektedir [102, 103].

Her bir cihazı CIE tristimulus değerlerine göre karakterize etmede üç ana yaklaşımın olduğu Green tarafından ileri sürülmüştür: fiziksel modeller, referans tabloları (look-up tables) ve sayısal yöntemler [104].

Fiziksel modeller, en güvenilir ve en doğru yöntem olmalarına rağmen karmaşık sistemlerde çeşitli konfigürasyonlarının denenmesinin zorunlu olduğu birçok durumda pratik olmayan, yüksek maliyet ve zaman gerektiren yöntemlerdir [105]. Örneğin, Kubelka-Munk modeli, soğurma ve saçılma katsayıları kullanılan her bir mürekkebi ya da boyar maddeyi karakterize ederek basılı mürekkeplerin rengini önceden tahmin etmede yaygın bir şekilde kullanılırlar [106-108].

Referans tabloları (LUT), RGB değerleri ve bu değerlere karşılık gelen CIE XYZ değerlerinin çok sayıda örneklerinden oluşmaktadır. LUT yöntemi, çok sayıda renkli örneklerin basılmasını ve bunların CIE kolorimetrik değerlerinin ölçülmesini gerektirir. Sonrasında, arzu edilen XYZ renk çıkışlarından RGB sayısal işarete dönüşüm belirlemede bir işlem oluşturmak için çok boyutlu ara değer hesabı (interpolasyon) tekniği kullanılır. LUT bazen kendi ürünlerinin sonuçları baz alınan bir basımevinde hazırlanır [42]. Bu yöntemin dezavantajlarından biri, çok sayıda örneği basmak ve ölçmek için gerekli iş yüküdür [109-111].

Sayısal yöntemler, bir probleme en iyi (optimum) çözümü sunmak için birçok matematiksel, istatistiksel ve sınıflandırma yollu yöntem içerirler. Bu yöntemlerin amacı, matematiksel problemlerin çözümü için uygun ve doğru sonuç veren teknikler geliştirmektir. İçerdikleri işlemsel yük, yinelemeli hesaplamalar ve zaman ihtiyacı nedeniyle genellikle bilgisayar çözümlerine ihtiyaç duyarlar [112].

Bir H renk dönüşüm matrisi, cihaz bağımlı RGB renk işleme işaretlerini cihaz bağımsız XYZ renk işleme işaretlerine dönüştürür. H dönüşüm matrisi, bir h_n katsayılar takımını içine alır. Sıfırdan daha küçük değere sahip bir dönüşüm matrisindeki katsayıların bir fonksiyonu olarak dönüşüm matrisi için bir eniyileme değeri hesaplanır [50]. Sonra dönüşüm matrisindeki katsayıların değerleri ayarlanır ve tercihen sıfırdan daha büyük değerlere sahip katsayıları olan dönüşüm matrisi için minimal bir optimizasyon değeri belirlenir. Optimizasyon prosedürü, dönüşüm matrisi içindeki katsayıların değerlerini ayarlayarak optimizasyon değerini minimize etmeyi araştırır [50].

RGB – XYZ uzayları arası dönüşümün genel bağıntısı aşağıda verilmiştir:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{bmatrix}}_{H} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \tag{2.6}$$

Burada iki uzayı birbirine dönüştüren bir H dönüşüm matrisinin hesaplanması gerekmektedir.

2.5. Renk Uzaylarının Tez Çalışmasındaki Yeri

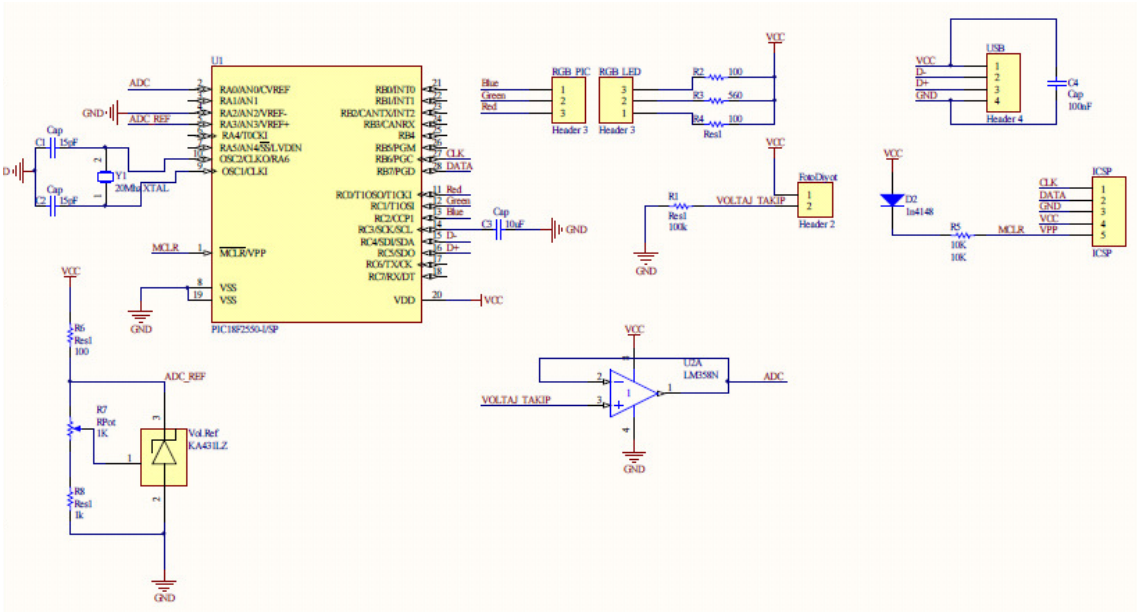
Bu tez çalışmasında Bölüm 3'te anlatılacak olan yansıma esaslı optik renk sensörünün eniyilenmesi için RGB renk uzayı; Bölüm 4'te bahsedilecek olan kumaşlarda renk tayini uygulaması için CIE renk uzayları (CIE-XYZ ve CIE-Lab) ve bu iki farklı renk uzayının (RGB ve CIE-XYZ) birbirine dönüşümleri kullanılmıştır. Ayrıca RGB uzayında çalışan optik renk sensörünün farklı bir uygulaması olan silikajel ile nem ölçümünde, RGB içerikleriyle orantılı analog voltaj değerleri dikkate alınmış ve böylece RGB-nem ilişkisi dolaylı olarak ortaya konulmuştur.

3. BÖLÜM

YANSIMA ESASLI OPTİK RENK SENSÖRÜ TASARIMI VE ENİYİLENMESİ

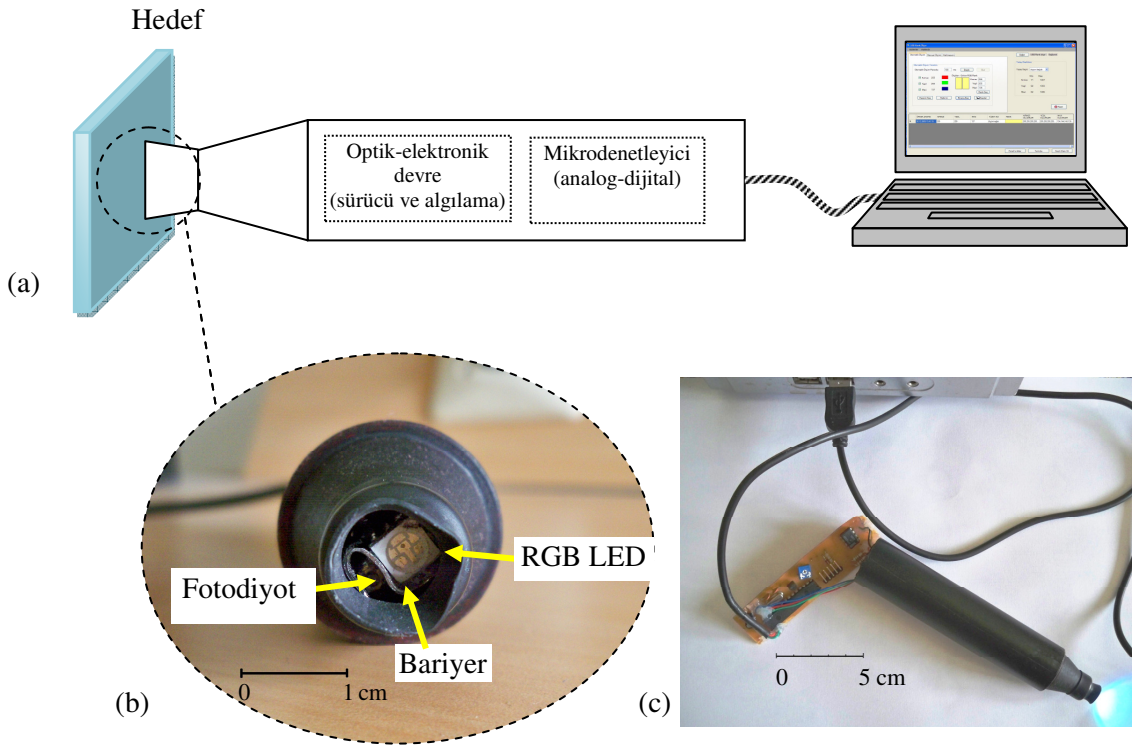
3.1. Yansıma Esaslı Optik Renk Sensörü Tasarımı

Tipik bir yansıma esaslı renk sensörü üç kısımdan oluşur: bir hedef, hedefi aydınlatan bir kaynak ve hedeften yansıyan ışığı yakalayan bir algılayıcı (dedektör). Tasarımın en önemli kısımları, kaynak ve dedektördür. Yansıma esaslı renk sensörleri, ya bir geniş bant beyaz ışıklı kaynak ve tekil renk filtrelerinin arkasına monte edilmiş üç fotodedektör ya da RGB renklerini üreten dar spektral genişlikli üç kaynak ve bir fotodedektör kullanır. Bu bölümde ayrıntıları verilen sensör ikincisidir ve şematik devre gösterimi Şekil 3.1'de, renk algılama probu Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Renk sensörü devresinin şematik gösterimi.

Optik kaynak olarak kullanılan LED, yüzey montajlı bir LED'tir ve kırmızı (λ_R = 622-631 nm), yeşil (λ_G = 516-522 nm) ve mavi (λ_G = 468-474 nm) olmak üzere üç farklı renkte ışık yaymaktadır. Bir mikrodenetleyici ile sürülen RGB LED'ten sağlanan ışık, parlak ve pürüzsüz bir yüzeye gönderildi ve yüzeyden yansıyan ışığın şiddeti 850 nm dalga boyunda pik değerine sahip bir p-i-n fotodiyot aracılığıyla algılandı. Dedektör çıkışındaki analog işaret bir işlemsel kuvvetlendirici ile kuvvetlendirildi. Mikrodenetleyici bünyesinde mevcut olan analog-dijital çevirici vasıtasıyla sayısal işaretlere dönüştürüldükten sonra evrensel seri veri yolu aracılığıyla da bilgisayara aktarıldı. Mikrodenetleyici sürekli komut beklemekte ve komuta göre renk yönetimini sağlamaktadır. Bilgisayar, alınan verilerin veritabanına kaydını ve eş zamanlı olarak kullanıcıya gösterilmesini gerçekleştirir, ayrıca, veritabanı içerisinde eski kayıtların incelenmesine de olanak sağlar.

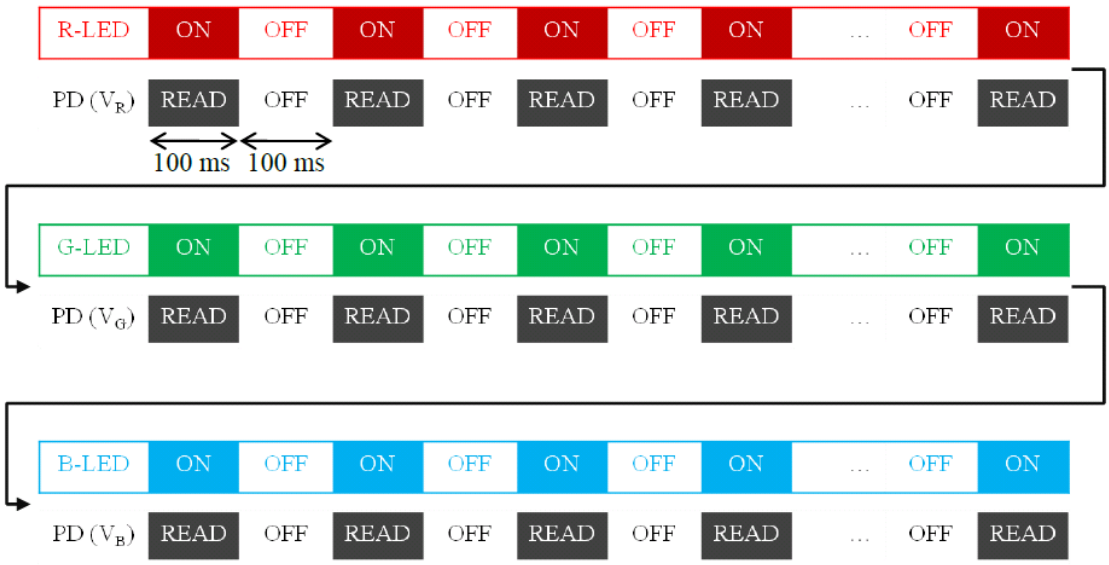


Şekil 3.2. (a) Renk esaslı RGB LED'in blok gösterimi. (b) Sensör ucu. (c) PC'ye bağlı sensör probu.

Yansıma esaslı bir renk sensöründe ışık ışınları hedefe çarptığında üç olay meydana gelir: yansıma, soğurma ve iletim. Gelen ışık hedefin özellikleriyle ilişkili olarak kısmi soğrulmaya uğradıktan sonra, ışığın kalanı iletilirken bir kısmı da yansır. İki tip

yansıyan işaret, yani dağınık ve aynasal yansımalar, dedektörün cevabına katkıda bulunur. Dağınık yansıma yüzey rengi hakkında faydalı bilgi taşır; bununla birlikte, değişen aynasal yansıma ve yüzeyden yüzeye farklılık gösterebilen geçirgenlik, sensörün performansını düşürebilir. Neyse ki, aynasal yansıma ve geçirgenlik, verilen bir hedef için hemen hemen sabit kalır ve bu parametrelerdeki biraz küçük dalgalanmalar, zeki yaklaşımlar tarafından tolere edilebilir [113].

Çevrim, cihazın PC'ye bağlı olup olmadığını kontrol ederek başlandı. Sonra ölçülecek yüzeyin özelliklerine göre prob kalibre edildi, yani, prob tarafından üretilen en düşük ve en yüksek analog voltajlar belirlendi. En düşük ve en yüksek voltajlar, sırasıyla, siyah ve beyaz renkli yüzeylerden elde edildi. Kalibrasyondan sonra, sürülecek her bir LED ve okunacak fotodiyot voltajı için otomatik ölçüm aralığı seçildi. Bu çalışmada zaman aralıkları 100 ms olarak seçilmiştir. Sonra ilk olarak 100 ms'lik görev çevrimi boyunca mikrodenetleyici R-LED'i sürer ve aynı zamanda fotodiyot'un çıkışını okur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. LEDlerin ve fotodiyotun anahtarlaması.

Bu adım, okumalar sabit kalana kadar ortalama olarak 10 kez tekrarlandı. R-LED periyodunun tamamlanmasından sonra mikrodenetleyici, okumaları PC'ye gönderir ve G-LED periyodunu başlatır ve işlem böylece devam eder. Üç periyot tamamlandığı zaman, (i) aynı yüzey üzerinde yeni bir periyot başlatılabilir, (ii) başka bir yüzeyde yeni

bir ölçüm başlatılabilir, (iii) prosedür sonlandırılabilir. Analog voltajlara ve bunlara karşılık gelen RGB içeriklerine göre tipik bir okuma Tablo 3.1'de verilmiştir.

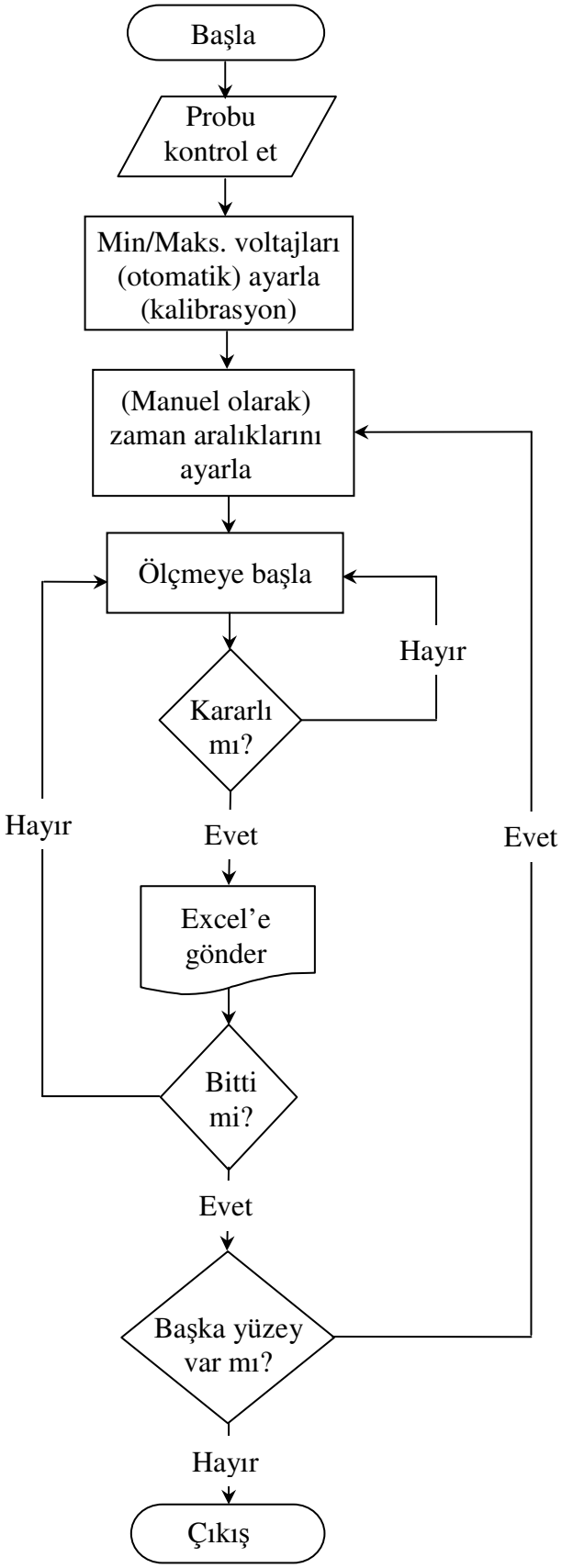
Tablo 3.1. Yüzeyin RGB içeriklerine bağlı olan analog voltajlara göre tipik fotodedektör okumaları.

	Fotodedektör okumaları (volt)			**RGB içerikleri**		
Yüzey Rengi	V_R, R-LED	V_G, G-LED	V_B, B-LED	R	G	B
Siyah	0.159	0.253	0.163	0	0	0
Ara renk	0.800	1.25	1.77	135	90	225
Beyaz	3.67	3.66	3.66	255	255	255

Sensör, ışık kaynağı olarak bir mikrodenetleyici kontrollü RGB LED kullanır. Bir fotodiyot, hedeften yansıyan optik işareti analog voltajlara dönüştürür. Sonra mikrodenetleyici, analog voltajları sayısal verilere dönüştürür ve bir ölçüm çevrimi tamamlandıktan sonra bilgisayara gönderir. Bu sayısal veri, yansıma şiddeti hedefin RGB içeriği ile orantılı olduğundan R, G ve B değerlerini belirlemede faydalı hale gelir. Şekil 3.4, ölçüm çevrimini tanımlar.

Bir optik sensör, genel olarak verici ve alıcı olmak üzere iki bölümden oluşur. Bu çalışmada tasarımı yapılmış olan sistem, Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, bir optik kaynak ve bir dedektörden oluşmakta ve bunların kontrolü de bir mikrodenetleyici ile sağlanmaktadır.

Üzerlerinde analog-sayısal dönüştürücü (analog-to-digital converter, ADC) gibi tümleşik devreler barındırmaları sayesinde sensörlerden her türlü verinin toplanması ve işlenmesinde kullanılan mikrodenetleyiciler, oldukça küçük boyutlu ve düşük maliyetli olmaları, çok düşük güç tüketimine ve yüksek performansa sahip olmaları nedeniyle pek çok elektronik uygulamada tercih edilmekte ve sürekli olarak özellikleri ve performansları arttırılarak kendilerine yeni kullanım alanları açmaktadırlar.



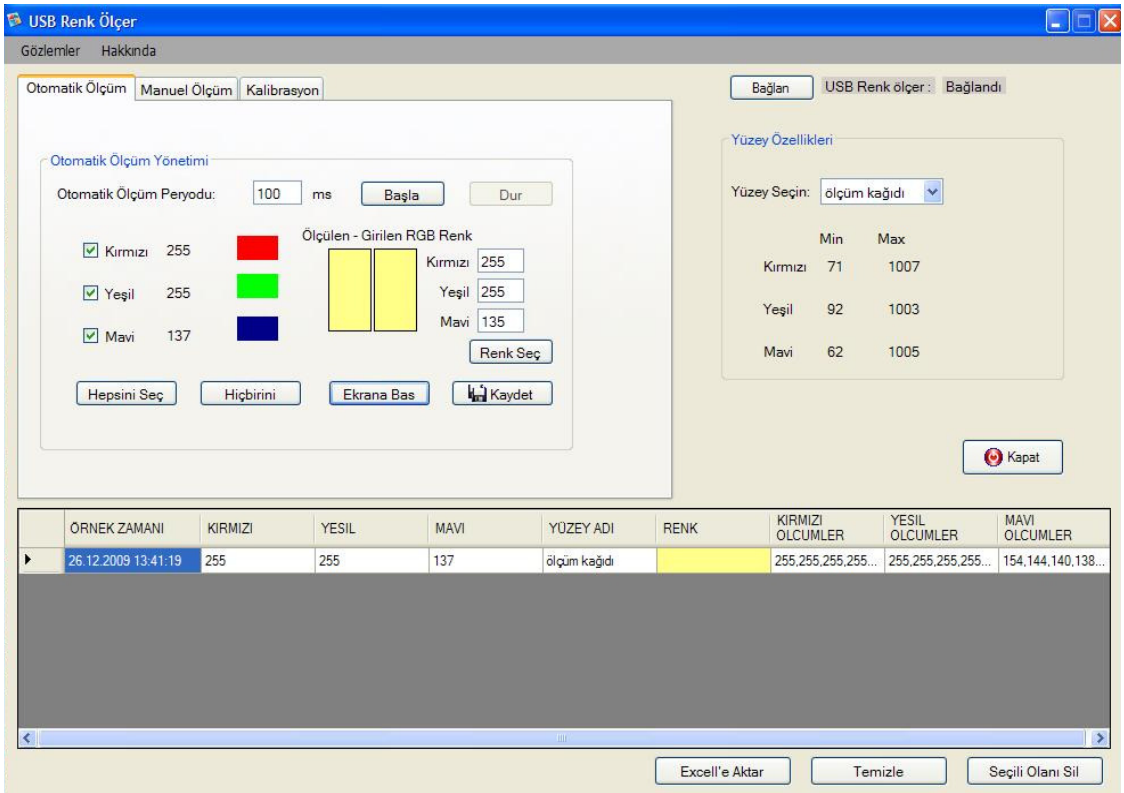
Şekil 3.4. Ölçüm prosedürünün akış şeması.

Burada, donanım yapısının zenginliğinin, ucuz oluşunun ve piyasada kolaylıkla bulunmasının yanı sıra ADC birimine ve USB (Universal Serial Bus: evrensel seri veri yolu) modülüne sahip olması nedeniyle, Microchip firmasının ürettiği PIC18F2550 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır [114]. Mikrodenetleyicinin buradaki işlevi, RGB LED ve fotodiyot elemanları kullanılarak yansıyan yüzeyden gelen ışığı ADC'si ile sayısal veriye çevirmek ve USB aracılığıyla da bilgisayara aktarmaktır.

Bu çalışmada, parlak ve pürüzsüz bir yüzeyin renk bilgisine sahip olmak amacıyla mikrodenetleyici kontrollü ve bilgisayar destekli bir optik renk sensörü tasarımı yapılmıştır. Yüzey, ayarlanabilir kısa zaman aralıklarında kırmızı, yeşil ve mavi renkleri üreten tek bir optik kaynakla aydınlatılıp bir optik dedektör ile de yansıyan ışığın spektral şiddeti ölçülmüştür. Dedektörden alınan ışık, sayısal işarete dönüştürülerek mikrodenetleyici tarafından değerlendirilmiştir. Ucuz RGB LED kullanarak yüzeyi 100 ms'lik hızlı ışık darbeleriyle aydınlatan ve yansıyan şiddeti ölçerek uygun bilgisayar yazılımı ile yorumlayan bu cihaz, algıladığı renkleri ayırt edilebilir analog voltajlara dönüştürmekte ve 0-255 arasındaki RGB bileşen değerleri olarak ifade etmektedir. Sensörle test ölçümleri yapılmış, renk veritabanı oluşturulmuş ve elimizdeki referans veriler ile prototip devre tasarımına ait ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

Örnek bir ölçüm için ekran görüntüsü Şekil 3.5'te görülmektedir. Ölçülen renk, $R_{255}G_{255}B_{137}$ bileşen değeri olarak ifade edilmektedir. Burada önemli olan husus, cihazın kalibrasyonudur. Cihazın kalibrasyonu için, yüzeyin en küçük ve en büyük RGB bileşen değerleri ölçülür. Bunlar en küçük RGB için siyah renk, en büyük için de beyaz renktir. Herhangi bir renk için yansıyan şiddetin değerine bakarak, sensör RGB içeriğine karar verir.

Belirli aralıklarla oluşturulmuş referans RGB değerleri ile prototip devre tarafından ölçülen RGB değerleri karşılaştırılmış ve bunların analog voltaj değer karşılıkları Tablo 3.2'de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi, sensörün açık renklerdeki performansı yüksek (örneğin, 12. ve 20. ölçümler), koyu renklerdeki düşüktür (örneğin, 10. ve 19. ölçümler).



Şekil 3.5. Örnek bir ekran görüntüsü.

Tablo 3.2. Referans RGB değerleri ile ölçülen RGB değerlerinin karşılaştırılması ve ADC girişindeki analog voltaj değerleri (V_R, V_G, V_B)

Ölçüm No	**Referans Değerler**	**Renk**	**Ölçülen Değerler**	**Renk**	**V_R (V)**	**V_G (V)**	**V_B (V)**
1	$R_{180}G_0B_0$		$R_{153}G_{26}B_{13}$		2,240056	0,626622	0,364896
2	$R_{90}G_0B_{255}$		$R_{10}G_{27}B_{69}$		0,310234	0,638568	1,116408
3	$R_{255}G_{90}B_0$		$R_{255}G_{67}B_{24}$		3,663802	1,184102	0,508248
4	$R_0G_{180}B_{255}$		$R_{26}G_{166}B_{215}$		0,520918	2,45617	3,094738
5	$R_0G_0B_{225}$		$R_9G_{38}B_{70}$		0,299374	0,782644	1,12763
6	$R_{45}G_{255}B_{45}$		$R_{97}G_{255}B_{47}$		1,494698	3,648236	0,828256
7	$R_{45}G_{45}B_0$		$R_{14}G_{15}B_2$		0,365258	0,47241	0,214304
8	$R_{255}G_{45}B_{135}$		$R_{255}G_{40}B_{52}$		3,66525	0,820654	0,882556
9	$R_{45}G_{90}B_0$		$R_{17}G_{36}B_8$		0,41087	0,751512	0,295754
10	$R_{135}G_{45}B_{90}$		$R_{79}G_{12}B_{20}$		1,24528	0,434762	0,45431
11	$R_{45}G_{135}B_{225}$		$R_{22}G_{128}B_{177}$		0,481098	1,961678	2,580698
12	$R_{255}G_{255}B_{90}$		$R_{255}G_{255}B_{106}$		3,66344	3,654028	1,646014
13	$R_0G_{90}B_{90}$		$R_7G_{66}B_{51}$		0,275844	1,148626	0,87604
14	$R_{90}G_{225}B_0$		$R_{102}G_{239}B_{33}$		1,551894	3,400628	0,643636
15	$R_{90}G_0B_{225}$		$R_{12}G_{24}B_{58}$		0,34209	0,59911	0,974142

(Tablo 3.2'nin devamı)

16	$R_{255}G_{135}B_{255}$		$R_{255}G_{105}B_{140}$		3,627964	1,680042	2,080414
17	$R_{180}G_{0}B_{180}$		$R_{103}G_{12}B_{36}$		1,576148	0,436934	0,669338
18	$R_{0}G_{180}B_{180}$		$R_{32}G_{185}B_{150}$		0,61902	2,699434	2,22992
19	$R_{180}G_{135}B_{225}$		$R_{109}G_{112}B_{146}$		1,648548	1,751718	2,155348
20	$R_{225}G_{255}B_{255}$		$R_{239}G_{255}B_{255}$		3,396646	3,64896	3,649322

3.2. Sistemin Eniyilenmesi

Yapay sinir ağları (YSA'lar), beynin karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel hesaplama yetisinden esinlenmiştir ve bu nedenle uyarlama, öğrenme ve genelleştirme gibi veri işlemede bazı istisnai özelliklere sahiptirler [115]. Akıllı optik sensörler; tabiatı gereği yüksek doğruluk, uzun süreli stabilite ve elektromanyetik girişime bağışıklığı olan optik sensörler ile YSA'ların yeteneklerini birleştirir. Eğer sensör doğrusal olmama özelliğine sahipse ve/veya sensör cevabı ile ölçülen büyüklük arasında kesin bir matematiksel ilişki kurulamazsa, yapay zeka teknikleri kullanmak büyük kolaylıklar sağlar. Örneğin, optik renk sensörleri bir süreç sonucu ortaya çıkan renklerin sınıflandırılmasında kullanıldığı zaman, YSA'lar ölçüm sisteminin çok yönlülüğünde iyi performans sergilerler [116, 117].

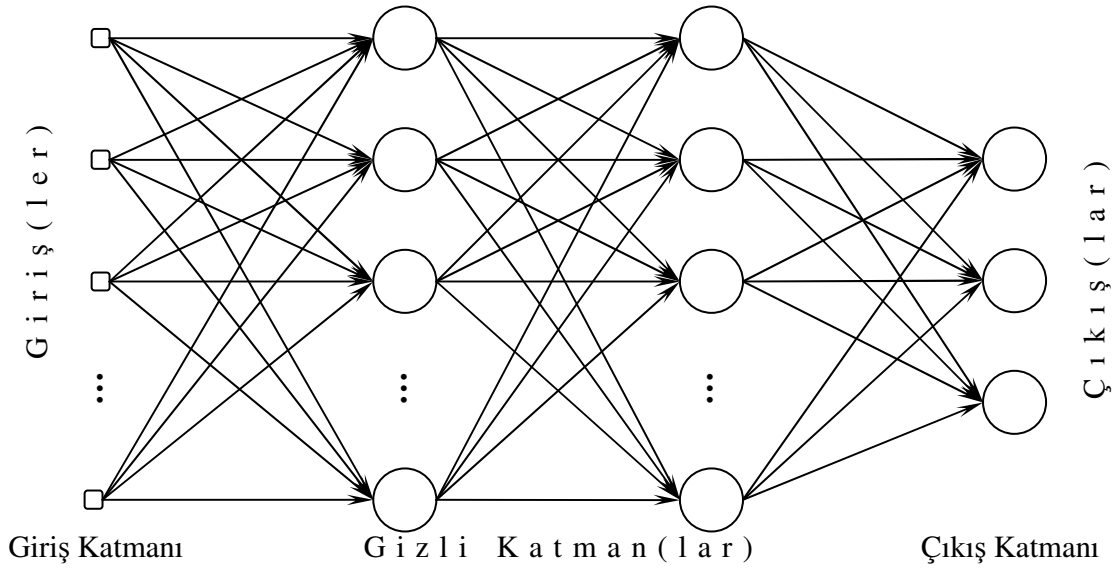
İyi bilindiği üzere, koyu renkli yüzeyler, yansıma esaslı renk sensörlerinin performanslarını düşürür. Bu verim kaybının üstesinden gelmek ve sensör cevaplarını iyileştirmek için bu tez çalışmasında çok katmanlı algılayıcı (MLP, Multi-Layer Perceptron) algoritmalarından faydalanan YSA modelleri kullanılmıştır.

3.2.1 Yapay Sinir Ağları

Sinir ağları, akıllı sensörlerin [118] ve akıllı optik sensörlerin [2, 3] tasarımında belki en gözde zeka tekniğidir. Bu, özellikle doğrusal olmayan fonksiyonların modellenmesinde ve daha önce görülmemiş verilerin genelleştirilmesindeki yeteneklerinden dolayıdır.

Sinir ağlarının, doğrusal olmayan fonksiyonların ve veri kestirim/öngörü problemlerinin modellenmesinde çok katmanlı algılayıcı (MLP), radyal tabanlı fonksiyon (Radial Basis Function, RBF) ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağları (General Regression Neural Network, GRNN) gibi farklı tipleri vardır [119]. Üç ağ tipi sadece birçok benzerliklere

değil önemli farklılıklara da sahiptir. Şekil 3.6 [115], bir giriş katmanı, bir ya da birden çok gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşan üç tip sinir ağının genel yapısını gösterir.



Şekil 3.6. Çok katmanlı algılayıcının genel yapısı.

Bir MLP'nin işlem birimleri, tipik olarak doğrusal olmayan bir aktivasyon fonksiyonuna sahipken doğrusal bir fonksiyonu girişlerine uygular. RBF ve GRNN ise, radyal işlem birimleri içerirler. Ayrıca RBF, GRNN ve olasılığa dayanan sinir ağı (Probabilistic Neural Network, PNN) gibi diğer bazı ağ tipleri sınıflandırma problemlerini [120] başarılı bir biçimde çözebilirlerken, MLP'ler veri kestirim/öngörü problemlerinde ([119] Foody ve diğerlerinin Tablo 3'ünde olduğu gibi) kullanıldıkları zaman daha iyi performans sergileyebilirler. Problemimiz tipik olarak bir veri kestirim/öngörü problemi olduğu için, kısa tanımı aşağıda verilen MLP sinir ağının kullanımı tercih edilmiştir.

Bir MLP sinir ağı, birbirine ağırlıklar ile bağlanmış nöronlardan (nod olarak da adlandırılır) oluşur. Her bir nöron, işlem birimine girdiği zaman girişlerle çarpılan bireysel ağırlıklara sahiptir. Sonra işlem birimi, ağırlıklarla çarpılan girişleri toplar ve toplam aktivasyon fonksiyonuna uygulandıktan sonra nöronun çıkışını üretir. Aktivasyon fonksiyonu sürekli türevlenebilir bir fonksiyon (tercihen ağın doğrusal olmayan bir davranışa sahip olması için doğrusal olmayan bir fonksiyon) olmalıdır.

MLP sinir ağlarında çoğunlukla kullanılan fonksiyon, lojistik ve hiperbolik tanjant fonksiyon tipleri olan sigmoit doğrusalsızlığına sahiptir [115].

Giriş değişkenleri ağın girişindeki nöronlar aracılığıyla nakledilirler. Bu nöron grubuna giriş katmanı adı verilirken, çıkışta ağ cevaplarını üreten nöronlara çıkış katmanı adı verilir. Bir MLP ağı aynı zamanda, iki katman arasında bir ya da birden çok gizli katman içerir. Doğrusal olmayan çoğu problemde iki veya daha fazla gizli katman, ağın genelleştirme yeteneğini geliştirir [115].

3.2.2. Çalışmada Kullanılan Öğrenme Algoritmaları

Bir MLP sinir ağının kullanılabilmesi için öncelikle ağın eğitilmesi gerekmektedir ve bunun için, katmanlardaki nöronlar arasındaki bağların ağırlıklarını ayarlamada bir öğrenme algoritması kullanılır. Bir öğrenme algoritmasının performansı genellikle bir problemden diğerine değişir. Bu nedenle, verilen bir problem için daha etkili algoritma belirlemede çoğu kez deneme yanılma yöntemi uygulanır. Öğrenme kapasitesinin yüksek ve algoritmasının basit olması nedeniyle mühendislik problemlerinde genellikle kullanılan öğrenme algoritması, geriye yayılım algoritmasıdır [121]. Geriye yayılım algoritması, gerçek çıktı y_g değer vektörü ile istenen çıktı y_a değer vektörü arasındaki karesel hatayı minimum yapmak için gradyan azalma algoritmasını kullanır ve hata aşağıdaki gibi hesaplanır [122]. Hatanın sıfır veya sıfıra çok yakın olması, ağın çok iyi eğitildiğini göstermektedir [121].

$$\text{Ortalama Karesel Hata (MSE)} = \frac{1}{2}\left[\sum_i \sum_j \left|(y_a)_{ij} - (y_g)_{ij}\right|^2\right]^{1/2} \qquad (3.1)$$

Bu çalışmada kullanılan ve tatminkar performanslara sahip öğrenme algoritmaları şunlardır: ivmeli ve uyarlanır öğrenme oranlı gradyan iniş geri yayılımı (GDX), Bayes düzenlileştirme geriye yayılımı (BR), Levenberg-Marquardt geriye yayılımı (LM), esnek geriye yayılım (RP) ve Broyden Fletcher Goldfarb Shanno yarı Newton geriye yayılımı (BFG).

3.2.2.1. İvmeli ve Uyarlanır Öğrenme Oranlı Gradyan İniş Geriye Yayılımı (Gradient Descent with Momentum and Adaptive Learning Rate Backpropagation – GDX)

GDX, gradyan iniş ivmesi ve bir uyarlanır öğrenme oranına göre ağırlıkları ve bias değerlerini güncelleştiren bir algoritmaya sahiptir. GDX öğrenme algoritması, uyarlanır oranını ivmeli öğrenme ile birleştirir [123]. Uyarlanır öğrenme, bir başlangıç değeri ile başlar sonra hızlı ve kalıcı öğrenmeyi muhafaza etmek için çarpanlar vasıtasıyla artar ya da azalır. Öğrenme oranı ayarlanarak ağın daha hızlı yakınsaması sağlanır, dolayısıyla öngörülerin doğruluğu artar ve öğrenme zamanını kısaltır. Öğrenme işlemi, ya maksimum epoch sayısı tamamlandığı zaman veya ağın toplam karesel hatası, minimum hedef hata dizisinin altına düştüğü zaman sonlanır [124].

3.2.2.2. Levenberg-Marquardt Geriye Yayılımı (Levenberg-Marquardt Backpropagation – LM)

LM algoritması, Levenberg-Marquardt optimizasyonuna göre ağırlıkları ve bias değerlerini güncelleştiren bir ağ eğitme fonksiyonudur ve MATLAB Yapay Sinir Ağları araç kutusu içerisindeki en hızlı (daha fazla bellek kullanımı pahasına) geri yayılım algoritmasıdır. LM yöntemi daha iyi yakınsama özelliklerine sahiptir. LM öğrenme algoritmasının her bir iterasyonu için hesaba dayalı gereksinimler daha yüksek olmasına karşın bu, artırılmış verimle telafi edilir [123]

3.2.2.3. Bayes Düzenlileştirme Geriye Yayılımı (Bayesian Regularization Backpropagation– BR)

BR algoritmasında, ağırlık ve bias değerleri, karesel hataların ve ağırlıkların bileşimini en aza indiren LM optimizasyonuna göre güncelleştirilir. BR öğrenme algoritması, sinir ağlarının çok parametreli (over-fitting) eğilimlerinin üstesinden gelmek için en iyi yaklaşımlarından biri olarak görülür, böylece gizli veriler için tahmin doğrulukları daha çok iyileştirilebilir. Bu yaklaşım, hem uyum derecesini hem de ağ mimarisini göz önünde tutarak çok parametreli bir problemi minimize eder [123].

3.2.2.4. Esnek Geriye Yayılım (Resilient Backpropagation – RP)

RP algoritması, ağırlıkları ve bias değerlerini esnek geri yayılım algoritmasına göre güncelleştirir ve her bir ağırlığı toplam hatayı en aza indirmek için bir öğrenme parametresi ile değiştirerek çalışır. RP öğrenme algoritması, hata fonksiyonunun davranışına göre ağırlık katsayılarının güncelleştirilmesinin bir lokal adaptasyonu yerine getirir [123]. Diğer uyarlamalı tekniklere kıyasla RP adaptasyon işleminin etkisi, türevin büyüklüğünden fakat sadece etkin ve şeffaf adaptasyon işlemine neden olan işaretinin geçici davranışından etkilenmez. Esnek geriye yayılım, sadece hafıza gereksinimlerinde az bir artış gerektirmelerine rağmen genellikle standart en hızlı iniş algoritmasından çok daha hızlıdır [123].

3.2.2.5. BFGS Yarı Newton Geriye Yayılımı (Broyden-Fletcher-Golfarb-Shanno Quasi-Newton Backpropagation)

Ağırlıklar ve bias değerleri, yeni ağırlığın gradyan ve şu anki ağırlığın bir fonksiyonu olarak hesaplandığı BFGS yarı Newton yöntemine göre güncelleştirilir. BFGS algoritması, yarı Newton algoritmalarının en gözdelerinden biridir [115].

YSA'lara ve öğrenme algoritmalarına dair daha fazla ayrıntı [115, 123]'de bulunabilir.

3.3. Yapay Sinir Ağlarıyla Renk Sensörünün Eniyilenmesi

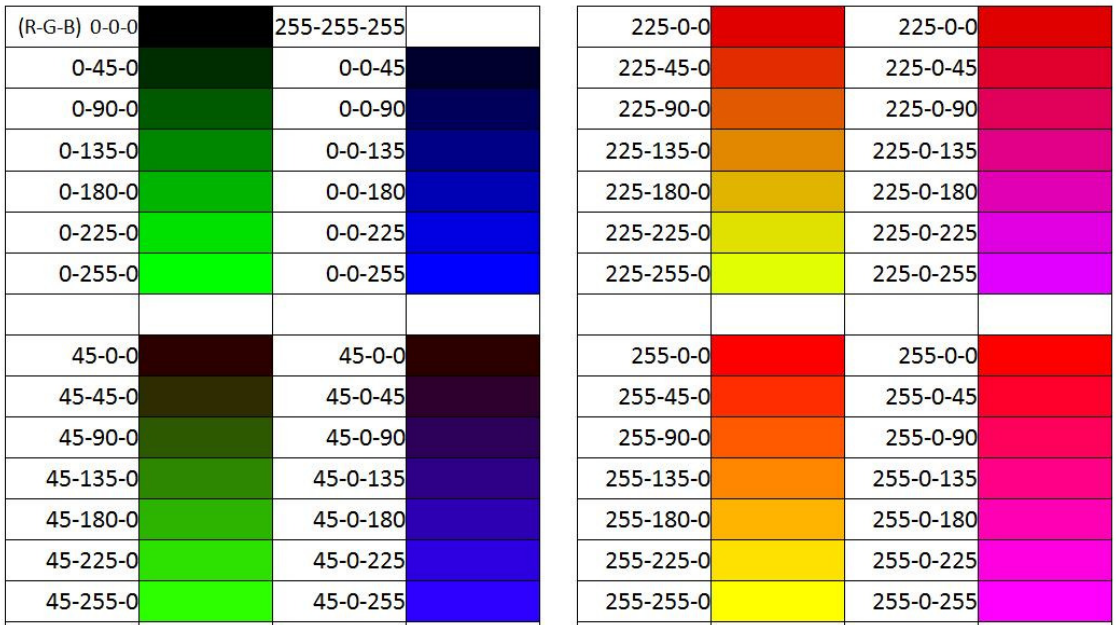
Yansıma esaslı optik renk sensörünün analog voltajlarını RGB renk değerlerine dönüştürmek için, üç girişli bir giriş katmanına, iki gizli katmana ve üç çıkışlı bir çıkış katmanına sahip bir MLP sinir ağı kullanılmıştır. Diğer katmanların aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant fonksiyonu iken, çıkış katmanının aktivasyon fonksiyonu doğrusal bir fonksiyondur. YSA, her bir katmandaki gizli nöron sayısının en iyi performanslara ayarlandığı beş farklı öğretme algoritması ile eğitilmektedir. Ağın girişleri, optik-elektronik devreden elde edilen analog voltajlardır ve çıkışlar, yüzeyin RGB içerikleridir. En iyi ağ yapılarını ve gizli katmanlardaki nöron sayılarını elde etmek için deneme-yanılma yaklaşımı kullanılmıştır. Ağları en düşük sayıda gizli katman ve nöron sayısı ile eğitmeye başlamamıza rağmen, en iyi performanslar farklı yapılar ile elde edilmiştir. Önerilen modellerin ağ yapıları, Tablo 3.3'te özetlenmiştir.

Tablo 3.3. Önerilen modellerin ağ yapıları.

Öğrenme algoritması	**Ağ tipi (katmanlardaki nöron sayıları)**			
	Giriş	1. gizli	2. gizli	Çıkış
Gradient descent with momentum and adaptive learning rate backpropagation (GDX)	3	8	9	3
Bayesian regularization backpropagation (BR)	3	10	5	3
Levenberg-Marquardt backpropagation (LM)	3	5	9	3
Resilient backpropagation (RP)	3	5	9	3
Broyden Fletcher Goldfarb Shanno quasi-Newton backpropagation (BFG)	3	12	9	3

Herhangi bir yüzeyin RGB içeriği 16 milyon olası birleşimden biri olabilmesine rağmen, Tablo 3.3'te verilen ağların eğitiminde sadece 246 veriden oluşan bir veri dizisi kullanılmıştır. Rasgele seçilen ve eğitim veri dizisinden tamamen farklı olan test veri dizisi, 33 veriden oluşur. Veri dizisini oluşturmak için, Şekil 3.7'de küçük bir kısmı verilen bir renk paleti hazırlanmış ve bunlar bir renkli lazer yazıcı kullanılarak bir parlak kağıda basılmıştır. Sonra paletteki her bir renk hücresi için, Şekil 3.2'de verilen probla ölçüm yapılarak bunlara karşılık gelen analog voltajlar elde edilmiştir.

Ağların performansları Tablo 3.4'te özetlenmiştir. Tabloda gerçek değerler ile ağların değerleri arasındaki karekök ortalama (Root Mean Squared, RMS) ve ortalama karesel hatalar (Mean Squared Errors, MSE'ler) gibi alışılagelen hata gösterimleri yerine, mutlak hatanın dikkate alınması gerektiğini, çünkü bu problem için gerçek RGB içeriğinden mutlak sapmanın diğerlerinden daha yol gösterici olduğunu belirtmekte fayda vardır. Tabloda; modellerin, RGB içeriklerinin normalize edilmemiş değerleri ile hesaplanmış tabloda modellerin MSE'leri de verilmiştir. Tablo 3.4'ten görüldüğü gibi, BR ve RP algoritmaları, maksimum mutlak hatası en küçük olan ve zaman kaybı açısından en iyi sonuçları sergilerler.



Şekil 3.7. Eğitim/test veri dizisi oluşturmada kullanılan bir kısım renk paleti.

Tablo 3.4. Önerilen modellerin ağ yapıları.

Algoritma	**Maksimum mutlak hata**	**Normalize edilmemiş MSE**	**Epoch sayısı**	**Zaman kaybı (s)**
GDX	38	268	75,000	416
BR	**30**	**259**	**410**	**13**
LM	33	270	2,200	62
RP	**32**	**232**	**4,000**	**22**
BFG	34	265	2,200	110

Performansların daha iyi karşılaştırılması için, önerilen modelin en iyi sonuçları (BR ve RP) ve en kötü sonucu (GDX) Tablo 3.5'te verilmiştir. RGB içeriklerinin sayısal anlamı, eğer mutlak hata 30'dan fazlaysa gözümüzün bu farkı ayırt edebilmesidir. Bu bağlamda, BR sonuçlarının tüm mutlak hataları 30'dan daha az iken mutlak hataları 30'dan fazla olan RP ve GDX sonuçları sırasıyla iki ve dört değere sahiptir. Ağların görsel sonuçları başka bir performans karşılaştırması olarak Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.5. Önerilen ağların en iyi sonuçları (BR ve RP) ve en kötü sonucu (GDX).

No	Girişler (analog voltajlar) (Volt)			Çıkışlar (RGB içerikleri)											
				Gerçek değerler			BR sonuçları			RP sonuçları			GDX sonuçları		
	V_R	V_G	V_B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	0.88	1.59	1.59	90	135	45	91	146	33	102	142	19	98	150	30
2	2.14	1.62	1.62	180	135	45	190	145	24	182	143	13	184	151	21
3	0.35	0.73	0.73	45	45	135	42	39	165	48	33	164	40	37	172
4	1.00	0.57	0.57	135	45	135	144	37	130	144	16	143	138	13	153
5	3.55	0.71	0.71	225	45	135	248	17	157	240	16	145	243	15	165
6	1.30	0.93	0.93	135	90	45	147	97	20	135	103	18	131	95	19
7	1.91	3.64	3.64	135	225	45	110	244	15	104	244	20	97	249	11
8	0.54	1.83	1.83	45	135	135	18	143	137	22	144	134	33	140	132
9	0.94	3.25	3.25	45	225	135	54	225	152	30	226	137	66	222	145
10	0.58	0.64	0.64	135	45	180	126	25	200	133	17	200	123	18	205
11	0.60	1.77	1.77	45	135	90	29	142	78	31	147	81	46	140	87
12	0.48	1.96	1.96	45	135	225	20	146	251	29	135	240	21	143	233
13	1.36	1.93	1.93	135	135	90	123	136	95	137	150	75	130	145	93
14	3.66	1.89	1.89	225	135	90	251	134	84	242	141	96	255	130	92
15	1.28	1.06	1.06	135	90	135	145	93	149	147	93	157	137	87	139
16	3.66	1.00	1.00	225	90	135	253	67	139	252	68	148	253	60	133
17	1.80	3.00	3.00	135	180	90	154	170	115	149	205	104	135	196	95
18	0.88	2.03	2.03	90	135	135	88	147	147	100	149	129	107	148	144
19	1.23	3.64	3.64	90	225	135	76	253	153	92	249	154	91	253	151
20	0.80	1.25	1.25	135	90	225	134	97	227	139	90	239	147	89	238
21	0.63	1.97	1.97	90	135	225	98	142	251	89	137	242	93	141	252
22	2.36	1.73	1.73	180	135	135	182	125	131	196	140	121	177	141	127
23	1.61	2.96	2.96	135	180	135	141	169	164	137	198	139	131	187	150
24	1.17	1.98	1.98	135	135	180	137	134	186	133	143	181	146	152	174
25	1.94	1.62	1.62	180	135	180	179	120	180	182	131	179	167	138	162
26	3.65	1.88	1.88	225	135	180	251	128	178	254	132	188	254	139	190
27	2.16	2.93	2.93	180	180	135	170	157	154	174	197	127	150	184	139
28	1.45	3.01	3.01	135	180	180	143	183	204	133	200	182	140	193	200
29	1.53	3.65	3.65	135	225	180	123	254	197	123	249	186	118	249	184
30	3.09	3.66	3.66	180	225	135	199	250	152	205	241	144	200	251	145
31	1.65	1.75	1.75	180	135	225	183	123	227	175	132	227	180	140	213
32	2.95	1.74	1.74	225	135	225	226	123	242	243	129	225	232	139	229
33	1.67	3.65	3.65	135	225	225	162	238	254	143	247	255	154	236	253

Tablo 3.6. Önerilen YSA sonuçları ile gerçek RGB içeriğinin görsel karşılaştırılması.

No	Gerçek	BR	RP	LM	BFG	GDX
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						

Tablo 3.6'dan görüldüğü gibi, önerilen bütün ağlar, başarılı bir biçimde, analog voltajlara ilişkin olarak verilen bir yüzeyin herhangi bir RGB içeriğini modelleyebilmektedir. Diğer bir ifadeyle, bu biçimde sunulan yapay zeka modelleri,

renk sensörünün analog çıkışlarından (ya da herhangi bir voltaj bilgisinden) yeniden renk üretimini mümkün kılar. Bunun yanı sıra, bir zeka tekniği ile desteklenen bir ters modelleme yoluyla sensör probu; renk değişimleri analog voltajlarla ilgili olan bir renk ölçüm sensöründe kullanılabilir.

4. BÖLÜM

YANSIMA ESASLI OPTİK RENK SENSÖRÜNÜN UYGULAMALARI

4.1. Kumaşlarda Renk Tayini

Renk, her tekstil materyali için vazgeçilemeyecek temel bir özelliktir ve dolayısıyla materyale ait rengin tanımlanmasına yarayan renk ölçümü işlemi, tekstil endüstrisinde önemli bir konudur. Spektral renk ölçümü, bir materyale ait rengin tanımlanmasında, boyama reçetesi hesabında, renk farklılıklarının belirlenmesinde ve renge ait her türlü kalite özelliklerinin (beyazlık, sarılık, renk haslığı, vb.) tespitinde kullanılmaktadır. Bununla beraber, günümüzde her tekstil işletmesinin laboratuarında bulunan yüksek maliyetteki spektral cihazlar, renk ölçümü yazılımları ve bunların ürettiği sonuçlar, ancak renk ölçüm biliminin teorik hususlarının anlaşılması durumunda bir fayda üretebilmekte ve işlevsel olabilmektedir [98].

Tekstilde önemli ve kapsamlı dallardan birisi de renklendirmedir. Renklendirme boya ve baskı olarak ikiye ayrılmaktadır. Renklendirmede asıl amaç, satış için kumaşa çekicilik ve moda rengin kazandırılmasıdır. Tüketici, bir ürünü satın almak istediğinde ilk önce onun rengi ve deseni ile ilişki kurarak ona yaklaşmaktadır. Bu nedenle renklendirmedeki öncelikli amaç tekstil ürününe ilk bakıştaki o çekiciliği kazandırmaktır. Bu amaçla tekstil ürünleri değişik şekillerde boyama veya baskı yöntemleri ile renklendirilirler [125]. Sıcaklık, nem oranı, üretim hızı, gerginlik ve birçok diğer faktör ürünün rengini etkilemektedir.

Bu çalışmada, çeşitli firmalardan temin edilen kumaşların yansıma spektrofotometresi ile renk analizi yapılmış ve bu kumaşların renk özelliklerine ait sayısal veriler elde

edilmiştir. Hem bilgisayar destekli olarak tasarlanan bir optik renk sensörüyle [37, 113, 126] hem de çeşitli ürünlerin hassas ve hızlı renk ölçümlerini yapan başka bir sistemle aynı ölçümler tekrarlanmıştır. Dolayısıyla ölçümler, farklı üç boyutlu matematiksel modellerle temsil edilen iki ayrı renk ölçüm cihazı (spektrofotometre ve optik renk sensörü) ile yapılmış ve elde edilen sonuçlara çoklu doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. Ölçülen değerler ile regresyon analizi sonucu elde edilen değerlerin büyük çoğunluğu, hem renk bilgisi hem de sayısal bilgiler açısından iyi bir uyum içerisindedir.

4.1.1. Kumaşların Hazırlanması ve Spektrofotometre ile Renk Ölçümü

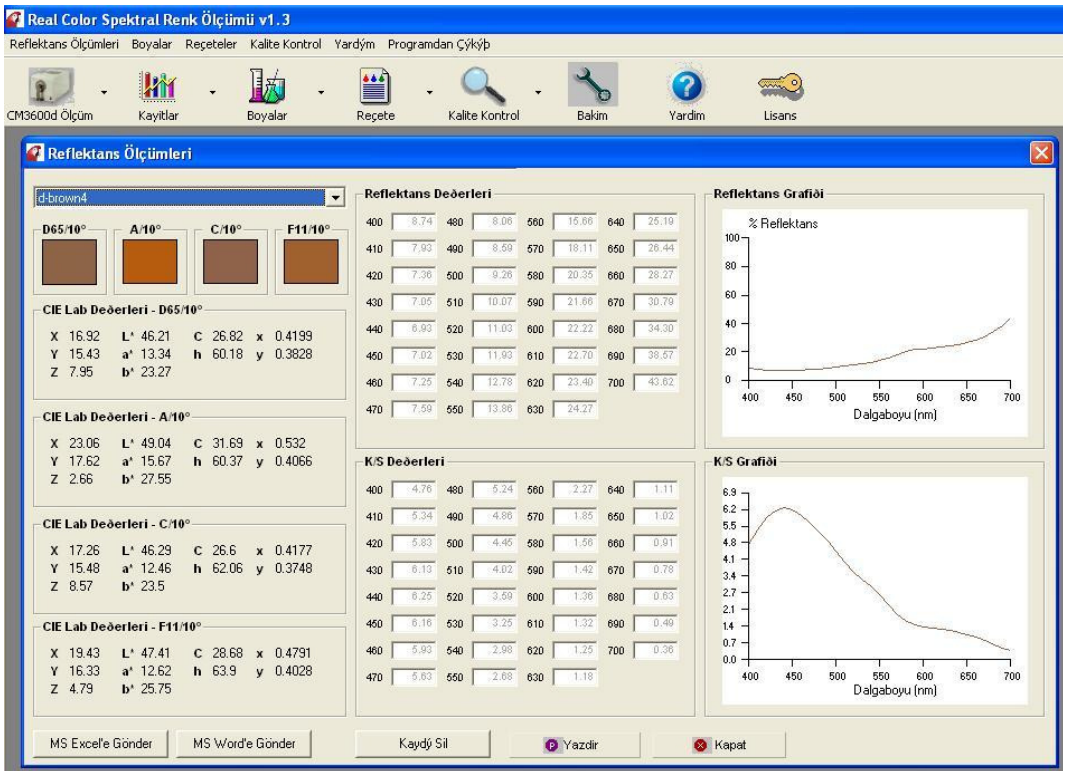
Çalışmada Minolta marka, CM-3600d model bir spektrofotometre kullanılmıştır. Renk ölçümü esnasında cihazın çalıştırılıp % Reflektans değerlerinin kaydedilmesi için RealColor1.3 yazılımı kullanılmıştır. Yazılıma ait bir örnek ekran Şekil 4.1'de verilmiştir. Ham kumaşın boya alımını artırmak için, öncelikle fabrikada ön terbiye işlemi yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan kumaşlar çeşitli firmalardan temin edilmiştir. Bu kumaşların renk ölçümleri CIE-Lab sistemine göre 10°'lik standart gözlemci kullanılarak D65 gün ışığı altında yapılmış ve X, Y ve Z değerleri kaydedilmiştir. Farklı dört firmadan temin edilen dört ayrı organik ve bir adet normal kumaş Tablo 4.1'deki reçeteye göre renklendirilmiştir [37].

Tablo 4.1. Boyama reçetesi.

Kumaş	5 g
Flotte Oranı	1:20
Tuz	50 g/l
Soda	20 g/l

%1'lik boyama için; 0,05 g boyarmadde, 5 g tuz, 2 g soda ve 100 ml saf su kullanılmıştır. Boyama sonrası kumaşlara sıcak su ve soğuk su ile yıkama yapılmıştır. Kumaşlar kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan kumaş numunelerinin renkleri sayısal olarak önce yansıma spektrofotometresiyle sonra optik renk sensörüyle [113, 126] belirlenmiş ve ölçülen XYZ tristimulus değerleri ile RGB değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir. Söz konusu kumaşların renkleri ölçülmeden önce beyaz renkli referans bir plaka cihaza yerleştirilir ve X_o, Y_o ve Z_o büyüklükleri için ayar işlemleri yapılır. Referans plaka ile

ayarlama yapıldıktan sonra kumaşların renkleri 3 büyüklük (X, Y ve Z parametreleri) kullanılarak ölçülür. Bu iki değerler kümesi, sırasıyla CIE-XYZ ve RGB olmak üzere iki farklı renk uzayını temsil etmektedir.



Şekil 4.1. Spektrofotometre arayüz ekran görüntüsü.

4.1.2. RGB Renk Uzayından CIE-XYZ Renk Uzayına Dönüşüm Teknikleri

Bu çalışmada uzaylar arası dönüşümün genel bağıntısı Denk. 2.6'da verilmiştir. X, Y ve Z tristimulus değerleri, rengi sayısal olarak ifade edebilmekle birlikte renk hakkında bilgi vermemektedir.

4.1.2.1 Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi

Renk, üç koordinat veya değişken kullanılarak tanımlanır. Bu koordinatlar, rengin kullanılan renk uzayında pozisyonunu belirtir [67]. Dolayısıyla herhangi bir rengin tanımı, kullanılan renk uzayına göre değişkenlik gösterebilir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemek bilimin uğraşlarından birisi olagelmiştir. Çünkü gerek günlük hayatımızda gerekse bilimsel araştırmalarda karşılaştığımız sorunların çoğunluğu iki

veya daha çok değişken arasında bir ilişki olup olmadığının saptanması ile ilgilidir. İki değişken arasında bir ilişki bulunup bulunmadığı, eğer varsa bu ilişkinin derecesinin saptanması da istatistiksel çözümlemelerde sık karşılaşılan bir sorundur. Değişkenler arasındaki ilişkinin incelenmesinde regresyon ilk akla gelen tekniktir [127].

Regresyonda değişkenlerin bağımlı değişken ve bağımsız değişkenler olarak iki gruba ayrılması bir zorunluluktur. Bağımlı değişken, bağımsız değişkenler tarafından açıklanmaya çalışılan değişkendir. Regresyonda amaçlardan biri bağımlı değişkenle bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarılmasıdır. Çoklu doğrusal regresyonda, bağımlı değişken üzerinde birden fazla bağımsız değişkenin etkisi söz konusudur. Çoklu doğrusal regresyon modeli, Denk.4.1'de verilmiştir [128]. Burada y, bağımlı değişken; β_0, regresyon eğrisinin y eksenini kesim noktası; β_j, j. bağımsız değişken x_j'nin katsayısıdır:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^{m} \beta_j x_{ij} \tag{4.1}$$

Veriler, çoklu doğrusal regresyon analizi ile çözümlenmiştir. H dönüşüm matrisine ait olarak bu çalışmada elde edilen sonuçlar Denklem 4.2'de verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.109 & 0.153 & -0.041 \\ 0.058 & 0.216 & -0.06 \\ -0.004 & -0.017 & 0.333 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 8.097 \\ 8.465 \\ 9.07 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 14.28 & -10.374 & -0.219 \\ -3.993 & 7.355 & 0.769 \\ -0.115 & 0.333 & 2.889 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -17.281 \\ -33.532 \\ -26.145 \end{bmatrix} \tag{4.2}$$

$$\begin{aligned} &0 \le R, G, B \le 255 \\ &(R,G,B)_{\max} > 255 \Rightarrow (R,G,B)_{\max} = 255 \\ &(R,G,B)_{\min} < 0 \Rightarrow (R,G,B)_{\min} = 0 \end{aligned} \tag{4.3}$$

Tablo 4.2. Regresyon sonuçlarının karşılaştırılması.

Ölçüm No	RGB	R'G'B'	XYZ	X'Y'Z'
1	219 6 37	193.5138 4.1159 43.4319	28.2 18.01 23.13	31.369 20.243 20.413
2	0 21 12	-13.312 22.8222 11.4688	8.44 10.98 12.09	10.818 12.281 12.709
3	129 0 12	135.5192 -5.1352 14.737	20.96 13.84 13.39	21.666 15.227 12.55
4	249 0 0	262.289 -2.9379 -6.7286	36.77 23.55 5.47	35.238 22.907 8.074
5	51 16 4	60.6606 21.8838 2.8951	17.16 15.92 8.9	15.94 14.639 9.926
6	255 217 16	217.2198 189.3212 18.6459	62.39 63.05 10.72	68.437 69.167 9.689
7	255 61 8	272.4855 76.3287 5.9609	50.59 41.53 8.34	44.897 35.951 9.677
8	247 0 20	238.8564 -4.3854 31.2554	32.48 19.62 18.9	34.2 21.591 14.742
9	229 4 12	190.22 -3.3413 10.3557	27.75 17.95 11.67	33.178 21.891 12.082
10	255 5 1	304.5635 15.7368 -0.4063	44.53 30.12 7.21	36.616 24.275 8.298
11	0 24 36	4.518 27.4464 39.0579	10.3 11.62 21.64	10.293 11.489 20.65
12	3 39 63	16.755 49.9674 73.6438	14.22 15.59 33.31	11.808 13.283 29.374
13	254 106 12	269.9834 109.8755 9.8709	55.7 48.79 9.06	51.509 45.373 10.248
14	1 37 63	16.0224 42.7852 70.2175	13.07 14.1 32.25	11.284 12.735 29.416
15	255 12 49	219.0539 1.9502 45.783	30.72 19.0 23.93	35.719 22.907 24.163
16	5 10 11	7.2605 7.8561 9.0216	8.44 9.01 11.47	9.721 10.255 12.543
17	9 63 119	24.382 66.8539 105.8287	16.76 18.12 44.26	13.838 15.455 47.59
18	2 26 32	-0.1572 22.341 30.6777	9.21 10.63 18.81	10.981 12.277 19.276

Denk. 4.2’deki verilere göre XYZ-RGB uzaylar arası dönüşüm sağlanmış ve hesaplanan sonuçlar R'G'B' ve X'Y'Z' olarak Tablo 4.2’de verilmiştir. R'G'B' ve X'Y'Z' değerleri, sırasıyla, ölçülen XYZ ve RGB değerlerinden elde edilmiştir. Tablodan da görüldüğü

gibi, ölçülen değerler ile regresyon analizi sonucu elde edilen değerler arasında birkaç ölçüm dışında hem renk bilgisi hem de sayısal bilgiler açısından iyi bir uyum vardır. R'G'B' değerlerinin görselleştirilmesinde Denk. 4.3'te verilen sınırlamalar dikkate alınmıştır. Tablo 4.2'de RGB ve R'G'B' sayısal değerlerine karşılık gelen renkler, kıyaslamayı kolaylaştırmak için ardışık olarak verilmiştir. Tablo 4.2'deki hesaplanan R'G'B' değerlerine bakıldığında, değerlerin tam sayı olmadığı, negatif değerlerin elde edildiği ve maksimum alması gereken değeri aştığı görülmektedir. Bu bakımdan Denk. 4.3'te kısıtlamalar kullanılarak bu değerler, standart olması gereken değerlere çekilir.

4.1.2.2. Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA)

Diferansiyel gelişim algoritması (DGA), basit ama güçlü, popülasyon tabanlı bir algoritmadır [129-131]. Sezgisel yöntemlere dayanan diferansiyel gelişim algoritmasının önemli avantajları arasında popülasyon tabanlı olması, arama uzayında aynı anda birçok noktada arama yapabilmesi ve bunun sonucunda evrensel optimuma daha hızlı yakınsama verebilmesi sayılabilir [132]. Sezgisel eniyileme algoritmaları, bir problemi belirleyici ve sezgisel yöntemleri kullanarak arama havuzunda optimum değerlere ulaşarak çözme tekniklerdir [132]. Uygulamadaki problemlerin büyük bir bölümü doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Bu tür optimizasyon problemlerin çözümünde klasik optimizasyon teknikleri yetersiz kalmaktadır ve son yıllarda yapay zeka optimizasyon tekniklerinin, karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir [132].

DGA, temel olarak genetik algoritmalara dayanmaktadır, popülasyon tabanlıdır ve aynı anda birçok noktada araştırma yapabilmektedir [132]. İterasyonlar boyunca, operatörler yardımıyla problemin çözümü için daha iyi sonuçlar araştırılmaktadır [132]. Klasik ikili genetik algoritmalardan farklı olarak değişkenler gerçek değerleriyle temsil edilmektedir. Genetik algoritmalardaki çaprazlama, mutasyon ve seçim operatörleri DGA'da da kullanılmaktadır. DGA'nın temel basamakları aşağıdaki gibidir [133]:

Adım 1. Kontrol parametrelerinin belirlenmesi
Adım 2. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması
Adım 3. Değerlendirme birimi
Durdurma kriteri sağlanıncaya kadar aşağıdaki adımları tekrarla.
Adım 4. Mutasyon
Adım 5. Yeniden birleşim (Çaprazlama)
Adım 6. Değerlendirme birimi
Adım 7. Seçim (Seleksiyon)

Renk uzayları arasında en iyi dönüşüm ifadeleri elde edebilmek amacıyla DGA kullanılmıştır. Bu amaçla, Cheung ve arkadaşlarının [41] çalışmasında kullandığı polinomial model esas alınmıştır (Denk. 4.4). Modelde, sensör probundan alınan analog voltajları doğrudan XYZ değerlerine başarılı bir şekilde dönüştürmek için

$$V_R, V_G \text{ ve } V_B\text{'den} \begin{cases} X\text{'i elde etmede} & [a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1, g_1, h_1] \\ Y\text{'yi elde etmede} & [a_2, b_2, c_2, d_2, e_2, f_2, g_2, h_2] \\ Z\text{'yi elde etmede} & [a_3, b_3, c_3, d_3, e_3, f_3, g_3, h_3] \end{cases}$$

ile gösterilen sekizer, toplamda ise 24 parametre DGA ile eniyilenmiştir. Eniyilemede kullanılan DGA parametreleri Tablo 4.3'te verilmiştir. Popülasyon büyüklüğü 100, mutasyon ve çaprazlama oranı 0.8 olarak alınmıştır. Eniyileme sonucunda (iterasyon sayısı = 745) elde edilen dönüşümler Tablo 4.4'te X_{DGA}, Y_{DGA} ve Z_{DGA} olarak verilmiştir.

$$\begin{aligned} X &= a_1 + b_1.V_R + c_1.V_G + d_1.V_B + e_1.V_R^2 + f_1.V_G^2 + g_1.V_B^2 + h_1.V_R.V_G.V_B \\ Y &= a_2 + b_2.V_R + c_2.V_G + d_2.V_B + e_2.V_R^2 + f_2.V_G^2 + g_2.V_B^2 + h_2.V_R.V_G.V_B \\ Z &= a_3 + b_3.V_R + c_3.V_G + d_3.V_B + e_3.V_R^2 + f_3.V_G^2 + g_3.V_B^2 + h_3.V_R.V_G.V_B \end{aligned} \tag{4.4}$$

Örneğin, spektrofotometreden elde edilen XYZ = (28.2, 18.01, 23.13) değerlerine karşılık eniyilenen $(XYZ)_{DGA}$ = (28, 17.32, 22.26) değerleri elde edilmiştir. Aynı kumaş numunesi için prob voltajları (V_R, V_G, V_B) = (3.15664, 0.38191, 0.68418) olarak ölçülmüştür. Tablo 4.4'teki sayısal sonuçların daha net bir şekilde yorumlanabilmesi

için Tablo 4.5'te görsel karşılaştırılması yapılmıştır. Burada XYZ-RGB uzaylar arası dönüşüm uygulanmıştır. RGB değerleri, optik sensörün ölçtüğü değerler; RGB_{XYZ}, spektrofotometre aracılığıyla ölçülen değerler; RGB_{DGA} ise, DGA ile eniyilenen RGB değerleridir. Örneğin, 1. kumaş örneği için spektrofotometre ile ölçülen (28.2, 18.01, 23.13) XYZ değerine karşılık gelen RGB değeri (191.11, 76.99, 130.06) iken, aynı kumaş örneği için renk probuyla ölçülen (219, 6, 37) RGB değerinin eniyilenmesi sonucu elde edilen RGB değeri (192.49, 70.9, 127.92) şeklindedir. Birkaç ölçüm dışında sonuçlar çok iyidir.

Tablo 4.3. Analog voltajlar ile XYZ renk uzayı arası dönüşümü sağlayan DGA parametreleri.

Parametreler	i = 1	i = 2	i = 3
a_i	0.139244764	0.166838574	-0.644815654
b_i	9.702520814	5.780853193	1.606786787
c_i	25.64613786	30.04580242	-2.02689628
d_i	-11.7847009	-12.3091307	40.070349
e_i	-0.097023182	-0.132070041	-0.303504367
f_i	-2.134860618	-2.515867672	1.410178662
g_i	4.060708112	3.477592995	-7.704213513
h_i	-6.205884268	-4.96351692	-2.889107885

Tablo 4.4. Spektrofotometreden alınan XYZ değerleri ile eniyilenen XYZ değerlerinin karşılaştırılması.

Ölçüm No	V_R (V)	V_G (V)	V_B (V)	X	Y	Z	X_{DGA}	Y_{DGA}	Z_{DGA}
1	3.15664	0.38191	0.68418	28.2	18.01	23.13	28.00	17.32	22.26
2	0.1267	0.55205	0.35114	8.44	10.98	12.09	11.08	12.70	11.91
3	1.89145	0.24073	0.34752	20.96	13.84	13.39	19.61	13.07	13.44
4	3.46434	0.21539	0.13756	36.77	23.55	5.47	35.83	22.83	5.98
5	0.86337	0.49594	0.23711	17.16	15.92	8.9	17.44	16.11	8.63
6	3.65439	3.21094	0.41992	62.39	63.05	10.72	59.83	61.05	10.44
7	3.65077	1.14754	0.29865	50.59	41.53	8.34	49.96	41.10	8.37
8	3.43538	0.26969	0.45069	32.48	19.62	18.9	32.01	19.47	16.14
9	3.20008	0.35838	0.34752	27.75	17.95	11.67	33.03	21.92	12.69
10	3.32678	0.33847	0.31856	26.4	16.69	10.43	34.21	22.47	11.76
11	3.65439	0.39096	0.20453	44.53	30.12	7.21	39.95	27.07	7.63
12	0.17376	0.5973	0.66246	10.3	11.62	21.64	9.93	11.25	21.88

(Tablo 4.4'ün devamı)

13	0.20453	0.79278	1.03532	14.22	15.59	33.31	12.22	13.73	31.69
14	3.64172	1.74484	0.35476	55.7	48.79	9.06	54.78	49.12	8.67
15	0.18281	0.75477	1.03351	13.07	14.1	32.25	11.32	12.75	31.68
16	0.15385	0.69142	0.95025	12.58	13.48	32.29	10.18	11.57	29.70
17	3.55846	0.46879	0.84346	30.72	19	23.93	29.21	17.71	24.84
18	0.23349	0.40001	0.32942	8.44	9.01	11.47	8.68	9.30	11.40
19	0.20815	0.34209	0.28417	8.74	9.31	11.82	7.53	8.03	9.85
20	0.29684	1.09686	1.78466	16.76	18.12	44.26	16.87	18.02	44.57
21	0.1991	0.61902	0.61902	9.21	10.63	18.81	10.91	12.28	20.58

Tablo 4.5. DGA sonuçlarının görsel karşılaştırılması.

No	RGB	RGB_{XYZ}	RGB_{DGA}
1	219 6 37	191.11=>191 76.99=>77 130.06=>130	192.49=>192 70.9=>71 127.92=>128
2	0 21 12	59.49=>59 100.66=>101 93.26=>93	90.93=>91 103.07=>103 91.64=>92
3	129 0 12	169.57=>170 70.48=>70 99.08=>99	163.26=>163 69.71=>70 99.58=>100
4	249 0 0	231.41=>231 83.58=>84 48.61=>49	228.59=>229 81.62=>82 53.77=>54
5	51 16 4	141.15=>141 103.15=>103 75.42=>75	142.96=>143 103.42=>103 73.78=>74
6	255 217 16	254.91=>255 200.78=>201 38.06=>38	249.12=>249 198.8=>199 37.72=>38
7	255 61 8	250.4=>250 147.12=>147 49.76=>50	248.79=>249 146.68=>147 50.46=>50
8	247 0 20	211.76=>212 69.96=>70 116.99=>117	211.88=>212 70.3=>70 107.58=>108
9	229 4 12	198.07=>198 76.21=>76 89.98=>90	213.67=>214 87.49=>87 92.33=>92
10	238 2 10	195.2=>195 70.21=>70 85.03=>85	218.48=>218 86.83=>87 87.97=>88

(Tablo 4.5'in devamı)

11	255 5 1	248.63=>249 103.32=>103 56.02=>56	236.21=>236 98.66=>99 61.67=>62
12	0 24 36	61.4=>61 99.89=>100 126.59=>127	56.16=>56 98.67=>99 127.45=>127
13	3 39 63	66.37=>66 114.07=>114 155.09=>155	45.65=>46 108.79=>109 151.95=>152
14	254 106 12	255 165.6=>166 45.94=>46	252.39=>252 168.51=>169 40.77=>41
15	1 37 63	60.55=>61 108.43=>108 153.19=>153	29.86=>30 105.48=>105 152.26=>152
16	0 31 57	55.93=>56 106.08=>106 153.49=>153	12.8=>13 101.22=>101 147.97=>148
17	255 12 49	201.01=>201 74.11=>74 132.15=>132	199.32=>199 64.91=>65 135.21=>135
18	5 10 11	78.82=>79 85.52=>86 92.22=>92	80.61=>81 86.9=>87 91.73=>92
19	3 5 7	80.47=>80 86.8=>87 93.55=>94	75.58=>76 80.75=>81 85.49=>85
20	9 63 119	59.12=>59 122.37=>122 177.1=>177	61.53=>62 121.55=>122 177.74=>178
21	2 26 32	57.25=>57 96.39=>96 118.33=>118	70.53=>71 102.11=>102 123.14=>123

4.2. Silikajel ile Nem Ölçümü

Desikant nem alıcılar, nemli havanın içerisinde bulunan su buharı moleküllerini, çok geniş iç yüzeylere sahip adsorbent-taşıyıcı maddelerin labirentlerinde yakalayarak, nemli havayı dışarı çıkarırlar ve böylece havanın daha kuru hale gelmesini sağlayarak moleküllerin birbirine tutunabilmesi için gerekli enerji miktarını azaltırlar [134]. Desikant malzemeler (silikajel, moleküler siev, aluminant, zeolit, M1 veya bunların belirli oranlarda karışımları), mikro düzeyde fakat çok geniş iç alanlar oluşturan gözeneklere sahiptirler [134].

(a) Mavi indikatörlü

(b) Turuncu indikatörlü

Şekil 4.2. Silikajeller [135]

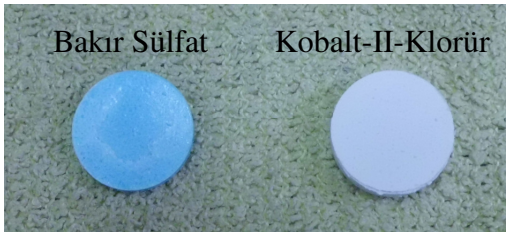
İnsan sağlığını tehdit eden hastalıklar (astım, üst solunum yolları enfeksiyonları, romatizma-eklem hastalıkları ve kalp-damar rahatsızlıkları gibi), metal korozyonu (cephane, silah, elektronik teçhizat, askeri araç, gemi ve uçakların tahribatı), maddelerin nem çekip bozulması (tekstil ürünlerinin lif ve dokumalarının bozularak deformasyonu, ahşabın küflenip çürümesi), gıda ürünlerinde mantar-küf-bakteri üremesinin önlenmesi açısından yüksek nem ile mücadele zorunlu hale gelmiştir [134]. Hem insan sağlığının hem de eşyanın korunması için ortamdaki nemin kontrolü sağlanmalıdır. Belirli depolama alanlarında belirli depolama koşullarının sağlanması, farklı üretim süreçlerinde farklı nemlilik seviyelerinin sağlanması açısından yüksek verim ve yüksek hijyen koşulları sağlayan nem alıcıların kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir [134].

Silikajeller, biyokimyasal ve endüstriyel işlemlerde kullanılırlar; örneğin yiyeceklerin, içeceklerin, ilaçların imalatında ve araştırmada seçilmiş malzemeleri adsorbe etmek (yüzeyde toplamak) ya da absorbe etmek için [136].

Bu kısımda, neme maruz kaldığında renk değiştiren silikajeller kullanılarak, Bölüm 3'te tanımlanan ve bu tez çalışmasında tasarlanan renk probu yardımıyla nem ölçümünün olabilirliği gösterilmiştir.

4.2.1. Silikajel Numunelerinin Hazırlanması

Silikajeller öğütülüp film halinde baskı yapılarak farklı ağırlıkta numuneler hazırlanmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Öğütülüp film halinde baskı yapılmış silikajeller.

Belirli ağırlıkta silikajel alınır, etüv (laboratuar fırını) içerisinde 105ºC'de 3-4 saat (bu işlem, bakır sülfat için 250ºC'de 2 saat) kurutulduktan sonra ortamdaki nemden muhafaza etmek için desikatör içerisine konulur. Kurutulan maddeler sıcak iken tartılmaları doğru olmadığından desikatörlerde en az yarım saat bekletilerek çevre sıcaklığına kadar soğutulur. Desikatörler, içerisinde bulunan kalsiyum klorür gibi nem çekici maddeler (desikantlar) sayesinde kendi kapalı atmosferini kuru tutan ve dolayısıyla burada bulunan madde veya malzemelerin kuruluğunu devam ettirebilen özel kaplardır. Desikatör içerisindeki silikajel örnekleri çalışılacak ortama götürülerek, ortamdaki nemin silikajele absorblanması sağlanır.

Desikatör içerisinde bekletilmiş olan 1.2 cm çapındaki Kobalt-II-Klorür silikajel örneği alınmış ve hassas terazide ağırlığı ölçülmüştür. Daha sonra mikropipet aracılığıyla belli zaman aralıklarında üzerine 0.05 ml saf su damlatılmış ve her damlatma sonrası nemin silikajele absorblanmasını sağlamak amacıyla belli bir süre (yaklaşık 5 dk) bekledikten sonra tekrar hassas terziyle ağırlığı ölçülmüştür. Aradaki fark % Nem olarak tabloya aktarılmıştır. Bu arada, optik renk sensörü ile silikajelin RGB değerleri (analog voltaj değerleri) belirlenmiştir. Aynı işlem aynı fakat farklı ağırlıklı silikajeller için tekrarlanmış ve sonuçlar Tablo 4.6'da verilmiştir. Bakır Sülfat örneği için de ölçümler yapılmış ve % Nem oranları Tablo 4.6'da gösterilmiştir. Kobalt-II-Klorür Hegzahidrat, gül kurusu rengindedir; Bakır-II-Sülfat Pentahidrat ise mavi renklidir. 1.-2. ve 3. örnekler, başlangıçta nemsiz olan Kobalt-II-Klorür silikajelinin farklı ağırlıklı numunelerine; 4. ve 5. örnekler ise, başlangıçta nemsiz olan Bakır Sülfat silikajelinin farklı ağırlıklı numunelerine ait örneklerdir. 2.-3. ve 4. ölçümler, 1. silikajel örneğinin ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) belli % nem oranlarına sahip durumlarıdır. Aynı silikajelin farklı örnekleri için yapılan ölçüm sonuçları tabloda alt alta verilmiştir. 14. ve 15. ölçümler, 4. silikajel örneğinin ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) belli % nem oranlarına sahip durumlarıdır.

Tablo 4.6. Neme bağlı olarak optik renk sensörü ile ölçülen silikajellerin RGB içerikleri.

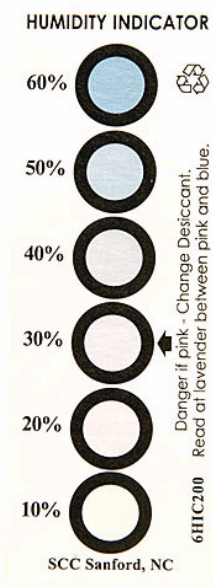
Ölçüm No	R	G	B	V_R (V)	V_G (V)	V_B (V)	% Nem	
1	234	255	253	3.325694	3.64353	3.618552	0	1. Örnek
2	255	248	198	3.598642	3.543256	2.867402	19.663	
3	172	125	106	2.503592	1.933442	1.619588	31.905	
4	178	134	111	2.576354	2.042042	1.68873	42.105	
5	210	255	235	3.011478	3.65258	3.382528	0	2. Örnek
6	255	255	250	3.665612	3.655114	3.6019	8.108	
7	243	255	196	3.442982	3.65077	2.851836	20.519	
8	164	145	117	2.40006	2.18648	1.764388	26.087	
9	220	255	227	3.135282	3.649684	3.27972	0	3. Örnek
10	255	255	252	3.66344	3.651856	3.61819	14.679	
11	249	244	192	3.530586	3.498368	2.796812	22.5	
12	175	138	111	2.54305	2.09779	1.694884	32.056	
13	185	247	164	2.671198	3.51502	2.421418	0	4. Örnek
14	40	129	90	0.722552	1.97109	1.411438	5.59	
15	44	128	87	0.778662	1.956248	1.37198	10.719	
16	188	248	167	2.71138	3.528414	2.455446	0	5. Örnek
17	83	160	112	1.3032	2.37472	1.698504	1.643	
18	58	131	91	0.962558	1.993896	1.41361	3.622	

Tablo 4.6 incelendiğinde, prob voltajlarının, hazırlanan numunelerdeki renk değişimine bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Analog voltaj değerleri (3.325694, 3.64353, 3.618552) volt olarak hesaplanan susuz Kobalt-II-Klorür örneği, %19.663'lik bir nem oranına maruz kaldığında voltaj değerleri (3.598642, 3.543256, 2.867402) volt olarak değişmiştir. Aynı örnek %42.105'lik bir nem oranına maruz kaldığında ise, (2.576354, 2.042042, 1.68873) volt olarak değişmiş ve doyuma ulaşmıştır. Böylece silikajel kullanarak renk probunun nem ölçümünde yararlanılabileceği mümkün görünmektedir.

Camsı kürecikler şeklindeki silikajellerdeki renk dönüşümü ile yaklaşık bir sonuç elde edilebilir fakat ürün taneciklerinin tamamı aynı özelliklerde olmayabilir. Bu sebeple

nem indikatör kartları geliştirilmiştir. Nem indikatör (gösterge) kartları, nem alıcı ve ortam şartlandırıcı ürünler ile birlikte kullanılarak paket içerisindeki rutubet miktarını hassas olarak gösteren ürünlerdir [135]. Bu kartlarda örneğin %10'dan %60'a kadar farklı rölatif (görece) nemlerde renk dönüşümü gözlenen noktalar vardır, yani renk dönüşümü taneciklerde ya da kart üzerinde bulunan $CoCl_2$ konsantrasyonuna bağlıdır, kesin sonuç gözlemek mümkün olmayabilir. Optik renk sensörü ile ölçülen RGB içeriklerinin, nem gösterge kartındaki % nem değerleri ile kıyaslanması Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Renk probundan elde edilen sonuçların nem gösterge kartı ile kıyaslanması.

Ölçüm No	Ölçülen RGB	% Nem	Nem Gösterge Kartı
1		0	
2		19.663	
3		31.905	
4		42.105	
5		0	
6		8.108	
7		20.519	
8		26.087	
9		0	
10		14.679	
11		22.5	
12		32.056	

Renk dönüşümü maviden pembeye şeklinde olup bulunduğu koşullarda ortam rölatif nem % olarak kaç ise o noktaya kadar (o nokta da dahil) pembeleşir. Bu işlem geri dönüşümlüdür, yani ortam rölatif nemi düştüğünde noktalar tekrar mavileşebilir. Eğer tüm noktaları hızla mavileştirmek istersek, 100ºC'ye ayarlanmış bir etüvde 10 dk bekletmemiz gerekir. Ancak tamamı mavi bir şekilde saklamak istersek, yanına nem alıcı koyarak hava geçirimsiz bir şekilde paketlememiz gerekir yoksa çok az bir hava dahi kalsa o havanın görece neme göre renk değişimi gözlenir.

5. BÖLÜM

TARTIŞMA – SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, parlak ve pürüzsüz bir yüzeyin renk bilgisine sahip olmak amacıyla mikrodenetleyici kontrollü ve bilgisayar destekli bir optik renk sensörü tasarımı yapılmıştır. Yüzey, ayarlanabilir kısa zaman aralıklarında kırmızı, yeşil ve mavi renkleri üreten tek bir optik kaynakla aydınlatılıp bir optik dedektör ile de yansıyan ışığın spektral şiddeti ölçülmüştür. Dedektörden alınan ışık, sayısal işarete dönüştürülerek mikrodenetleyici tarafından değerlendirilmiştir. Ucuz RGB LED kullanarak yüzeyi 100 ms'lik hızlı ışık darbeleriyle aydınlatan ve yansıyan şiddeti ölçerek uygun bilgisayar yazılımı ile yorumlayan bu cihaz, algıladığı renkleri ayırt edilebilir analog voltajlara dönüştürmekte ve 0-255 arasındaki RGB bileşen değerleri olarak ifade etmektedir. Sensörle test ölçümleri yapılmış, renk veritabanı oluşturulmuş ve elimizdeki referans veriler ile prototip devre tasarımına ait ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, yansıma esaslı renk sensörlerinde temel sorun olarak ortaya çıkan, koyu renklerdeki hatanın azaltılması için bir ön araştırmadır. Literatürde rastlandığı gibi, sensörün açık renklerdeki performansı yüksek, koyu renklerdeki düşüktür. Geniş bir renk aralığı için performansın iyileştirilmesine yönelik çalışmalarımız devam etmektedir.

Yansıma esaslı optik renk sensörünün analog voltajlarını RGB renk değerlerine dönüştürmek için, üç girişli bir giriş katmanına, iki gizli katmana ve üç çıkışlı bir çıkış katmanına sahip bir MLP sinir ağı kullanılmıştır. Diğer katmanların aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant fonksiyonu iken, çıkış katmanının aktivasyon fonksiyonu doğrusal bir fonksiyondur. YSA, her bir katmandaki gizli nöron sayısının en iyi performanslara ayarlandığı beş farklı öğretme algoritması ile eğitilmektedir. Ağın girişleri, optik-elektronik devreden elde edilen analog voltajlardır ve çıkışlar, yüzeyin

RGB içerikleridir. En iyi ağ yapılarını ve gizli katmanlardaki nöron sayılarını elde etmek için deneme-yanılma yaklaşımı kullanılmıştır. Ağları en düşük sayıda gizli katman ve nöron sayısı ile eğitmeye başlamamıza rağmen, en iyi performanslar farklı yapılar ile elde edilmiştir. BR ve RP algoritmaları, maksimum mutlak hatası en küçük olan ve zaman kaybı açısından en iyi sonuçları sergilerler. Önerilen bütün ağlar, başarılı bir biçimde, analog voltajlara ilişkin olarak verilen bir yüzeyin herhangi bir RGB içeriğini modelleyebilmektedir. Diğer bir ifadeyle, bu biçimde sunulan yapay zeka modelleri, renk sensörünün analog çıkışlarından (ya da herhangi bir voltaj bilgisinden) yeniden renk üretimini mümkün kılar. Bunun yanı sıra, bir zeka tekniği ile desteklenen bir ters modelleme yoluyla sensör probu; renk değişimleri analog voltajlarla ilgili olan bir renk ölçüm sensöründe kullanılabilir.

Çeşitli firmalardan elde edilen kumaşların yansıma spektrofotometresi ile renk analizi yapılmış ve bu kumaşların renk özelliklerine ait sayısal veriler elde edilmiştir. Hem bilgisayar destekli bir optik renk sensörüyle hem de spektrofotometreyle ölçülen değerlerin, bu iki cihazın farklı uzaylarda çalışıyor olması nedeniyle birbirlerine dönüşümlerini sağlamak amacıyla çoklu doğrusal regresyon analizi ve diferansiyel gelişim algoritması kullanılmıştır. Ölçülen değerler ile regresyon analizi sonucu elde edilen değerler arasında birkaç ölçüm dışında hem renk bilgisi hem de sayısal bilgiler açısından iyi bir uyum gözlenmiştir. XYZ-RGB renk uzayları arasında en iyi dönüşüm ifadeleri elde edebilmek amacıyla DGA kullanılmıştır. Bu amaçla polinomial model esas alınmıştır. Sonuçların çok iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Neme maruz kaldığında renk değiştiren silikajeller (Bakır Sülfat ve Kobalt-II-Klorür) kullanılarak renk probuyla nem ölçümünün olabilirliği gösterilmiştir. Prob voltajlarının, hazırlanan silikajel numunelerindeki renk değişimine bağlı olarak değiştiği görülmektedir.

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlara göre, yansıma esaslı optik renk sensörü, değişik mühendislik uygulamalarında kullanılabilir. Parlak ve pürüzsüz bir yüzeydeki sarı renk konsantrasyonunu belirleyen genel amaçlı bir optik sensör geliştirilerek gözdeki sarı renk konsantrasyonu ile kandaki bilirubin seviyesi arasındaki ilişki ortaya çıkarılabilir.

KAYNAKÇA

1. Borecki M., 2007. Intelligent fiber optic sensor for estimating the concentration of a mixture-design and working principle. **Sensors, 7**(3): 384-399.
2. Saracoglu, Ö.G., 2008. An artificial neural network approach for the prediction of absorption measurements of an evanescent field fiber sensor. **Sensors, 8**(3): 1585-1594.
3. Efendioglu, H.S., Yildirim, T., Fidanboylu, K., 2009. Prediction of force measurements of a microbend sensor based on an artificial neural network. **Sensors, 9**(9): 354-362.
4. Afromowitz, M.A., Van Liew, G.S., Heimbach, D.M., 1987. Clinical evaluation of burn injuries using an optical reflectance technique. **IEEE Transaction on Biomedical Engineering, BME-34**(2): 114-127.
5. Laming, J.E., Martino, A., 1993. PC color recognition using led and software techniques. **IEEE Photonics Technology Letters, 5**(5): 583-586.
6. Yang, P.K., Chen, J.C., Chuang, Y.H., 2007. Improvement on reflective color measurement using a tri-color LED by multi-point calibration. **Optics Communications, 272**(2): 320–324.
7. MEGEP, 2007. Sensör ve transdüser. (Web sayfası: **http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/523EO0416.pdf**), (Erişim tarihi: Ağustos 2011).
8 Fraden, J., 2004. Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications. Springer - Verlag, New York, 617 pp.
9 Keck, D.B., 1996. Optical sensors and specialty fibers, pp. 97-135. In: Optoelectronics in Japan and the United States (Eds: M.J. DeHaemer, G.M. Holdridge). JTEC/WTEC Hyper-Librarian.
10. MEGEP, 2007. PLC ve montajı. (Web sayfası: **http://cygm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/elektrik/moduller/plcvemontaji.pdf**), (Erişim tarihi: Ağustos 2011).
11. Asai, S., 2000. Application of optical sensor for arc welding. **Welding International, 14**(11): 851-857.

12. Altınışık, M., 2004. Spektroskopik analiz yöntemleri. (Web sayfası: **http://www.mustafaaltinisik.org.uk/45-uzm-02.pdf**), (Erişim tarihi: Ağustos 2011).

13. Türkoğlu, A.K., Çalkın, Y., Sametoğlu, F., 2005. Trafik sinyal lambalarının standart optik testleri, 245-249 s. III. Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi Bildirileri, Ankara.

14. Narayanaswamy, R., Wolfbeis, O.S., 2004. Optical Sensors: Industrial Environmental and Diagnostic Applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 421 pp.

15. Endo, T., Yanagida, Y., Hatsuzawa, T., 2007. Colorimetric detection of volatile organic compounds using a colloidal crystal-based chemical sensor for environmental applications. **Sensors and Actuators B, 125**(2): 589–595.

16. Naydenova, I., Jallapuram, R., Toal V., Martin, S., 2008. A visual indication of environmental humidity using a colour changing hologram recorded in a self developing photopolymer. **Applied Physics Letters, 92**, 031109.

17. Wang, X.D., Chen, H.X., Zhou, T.Y., Lin, Z.J., Zeng, J.B., Xie, Z.X., Xi, C., Wong, K.Y., Chen, G.N., Wang, X.R., 2009. Optical colorimetric sensor strip for direct readout glucose measurement. **Biosensors and Bioelectronics, 24**(12): 3702–3705.

18. Ricketts, S.R., Douglas, P., 2008. A simple colorimetric luminescent oxygen sensor using a green LED with Pt octaethylporphyrin in ethyl cellulose as the oxygen-responsive element. **Sensors and Actuators B, 135**(1): 46–51.

19. Erçag, E., Üzer, A., Apak, R., 2009. Selective spectrophotometric determination of TNT using a dicyclohexylamine-based colorimetric sensor. **Talanta, 78**(3): 772–780.

20. O'Toole, M., Shepherd, R., Wallace, G.G., Diamond, D. 2009. Inkjet printed LED based pH chemical sensor for gas sensing. **Analytica Chimica Acta, 652**(1-2), 308–314.

21. Rastegarzadeh, S., Pourreza, N., Saeedi, I., 2009. An optical redox chemical sensor for determination of iodide. **Talanta, 77**(3): 1032–1036.

22. Sen, A., Albarella, J.D., Carey, J.R., Kim, P., McNamara III, W.B., 2008. Low-cost colorimetric sensor for the quantitative detection of gaseous hydrogen sulfide. **Sensors and Actuators B, 134**(1): 234–237.

23. Courbat, J., Briand, D., Wöllenstein, J., De Rooij, N.F., 2009. Colorimetric gas sensors based on optical waveguides made on plastic foil. **Procedia Chemistry, 1**(1): 576-579.

24. Ng, J.J., Lim, K.B., Chia, C.W., Maniam, S., 2007. Avago Technologies, Ltd., Meter for Measuring the Turbidity of Fluids Using Reflected Light. US 2007/0046942 A1, March 1.

25. Luo, M.R., 2000. A review of chromatic adaptation transforms. **Review of Progress in Coloration, 30**: 77-91.

26. Judd, D.B.,1966. Fundamental studies of color vision from 1860 to 1960. **Mechanisms of Color Vision, 55**: 1313-1330.

27. Tan, B.K., Ho, C.M., Lim, L.L.K., 2005. Color Sensing Circuit Employing Charge Storage Device. US 2005/0285017 A1, December 29.

28. Üren, A., 1999. Üç boyutlu renk ölçme yöntemleri. **Gıda, 24**(3): 193-200.

29. León, K., Mery, D., Pedreschi, F., León, J., 2006. Color measurement in $L^*a^*b^*$ units from RGB digital images. **Food Research International, 39**: 1084-1091.

30. Cui, L., Hu, C., Zou, Y., Song, S., He, Q., Meng, M.Q.-H., 2010. Detection of lymphangiectasia disease from wireless capsule endoscopy images with adaptive threshold, pp. 3088-3093. Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation, July 6-9, China.

31. Vezhnevets, V., Sazonov, V., Andreeva, A., 2003. A survey on pixel-based skin color detection techniques, pp. 85-92. In Proceedings of the Graphicon 2003.

32. Tkalčič, M., Tasič, J.F., 2003. Colour spaces – perceptual, historical and applicational background. EUROCON 2003, pp. 304-308, Ljubljana, Slovenia.

33. Meyer, G.W., Greenberg, D.P., 1988. Color-defective vision and computer graphics displays. **IEEE Computer Graphics and Applications**, 28-40.

34. Gabrijelčič, H., Dimitrovski, K., 2009. Use of regression methods for determining the relation between theoretical-linear and spectrophotometrical colour values of bicolour woven structures. **Coloration Technology, 125**: 74-85.

35. Đorđević, D., Javoršek, A., Hladnik, A., 2010. Comparison of chromatic adaptation transforms used in textile printing sample preparation. **Coloration Technology, 126**: 275-281.

36. Zhang, B., Li, H., 2008. Research on application for color matching in textile dyeing based on numerical analysis. 2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering, 357-360.

37. Altural, H., Korkmaz, N.E., Saraçoğlu, Ö.G., Tutak, M., 2011. Optik RGB sensörünün CIE-XYZ renk uzayına uyarlanması, 1145-1148. IEEE 19. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU 2011), 20-22 Nisan, Antalya.

38. Fairman, H.S., Brill, M.H., Hemmendinger, H., 1997. How the CIE 1931 color-matching functions were derived from Wright-Guild data. **Color Research and Application, 22**(1): 11-23.

39. Ohno, Y., 2000. CIE Fundamentals for color measurements, pp. 540-545. IS&T NIP16 International Conference on Digital Printing Technologies, October 16-20, Vancouver, Canada.

40. Wirth, M., Nikitenko, D., 2010. The effect of colour space on image sharpening algorithms, pp. 79-85. 2010 Canadian Conference Computer and Robot Vision.

41. Cheung, V., Westland, S., Connah, D., Ripamonti, C., 2004. A comparative study of the characterisation of colour cameras by means of neural networks and polynomial transforms. **Coloration Technology, 120**: 19-25.

42. Zhang, Y., Cheung, V., Westland, S., Beverley, K.J., 2009. Colour management of a low-cost four-colourink-jet printing system on textiles. **Coloration Technology, 125**: 29-35.

43. Mahyar, F., Cheung, V., Westland, S., 2010. Different transformation methods between CIELAB coordinates and Munsell hue. **Coloration Technology, 126**: 31-36.

44. Ren, Z., Liao, J., Cai, L., 2009. Diamond color grading based on machine vision, pp. 1970-1976. IEEE 12th International Conference on Computer Vision Workshops.

45. Connolly, C., Fliess, T., 1997. A study of efficiency and accuracy in the transformation from RGB to CIELAB color space. **IEEE Transactions on Image Processing, 6**(7): 1046-1048.

46. Bensaali, F., Amira, A., 2004. Design and implementation of efficient architectures for color space conversion. **ICGST-GVIP Journal, 5**(1): 37-47.

47. Sharma, G., Trussell, H.J., 1997. Digital color imaging. **IEEE Transactions on Image Processing, 6**(7): 901-932.

48. Wyszecki, G., Stiles, W.S., 2000. Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, Second Edition, John Wiley & Sons, New York, 950 pp.

49. Bianco, S., Gasparini, F., Russo, A., Schettini, R., 2007. A new method for RGB to XYZ transformation based on pattern search optimization. **IEEE Transactions on Consumer Electronics, 53**(3): 1020-1028.

50. Taillie, J.P., Metcalfe, D.J., 2003. Optimization of Color Transformation Matrix with All Positive Coefficients. US 6 519 361 B1, Xerox Corporation, February 11.

51. Shen, H.L., Mou, T.S., Xin, J.H., 2006. Colorimetric characterization of scanner by measures of perceptual color error. **Journal of Electronic Imaging, 15**(4): 041204-(1-5).

52. Hong, G.W., Luo, M.R., Rhodes, P.A., 2001. A study of digital camera colorimetric characterization based on polynomial modeling. **Color Research and Application, 26**(1): 76-84.

53. Herzog, P., Knipp, D., Stiebig, H., Konig, F., 1999. Colorimetric characterization of novel multiple-channel sensors imaging and metrology. **Journal of Electronic Imaging, 8**(4): 342-353.

54. Hardeberg, J.Y., 2001. Acquisition and Reproduction of Colour Images: Colorimetric and Multispectral Approaches. Universal Publishers/dissertation.com, Parkland, FL.

55. Schettini, R., Barolo, B., Boldrin, E. ,1995. Colorimetric calibration of color scanners by back-propagation. **Pattern Recognition Letters, 16**(10): 1051-1056.

56. Hang, H.R., 1992. Neural network applications to the color scanner and printer calibrations. **Journal of Electronic Imaging, 1**(2): 125-135.

57. Hung, P.C., 1993. Colorimetric calibration in electronic imaging devices using a look-up-table in interpolations. **Journal of Electronic Imaging, 2**(1): 53-61.

58. Maniam, S., 2006. Color Measurement of Ambient Light. US 2006/0146330 A1, July 6.

59. Shi, X., Matsumoto, H., Murao, K., 2001. A high-accuracy digital readout technique for humidity sensor. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 50**(5): 1277-1282.

60. Chen, Z., Lu, C., 2005. Humidity sensors: a review of materials and mechanisms. **Sensor Letters, 3**: 274-295.

61. Golonka, L.J., Licznerski, B.W., Nitsch, K., Teterycz, H., 1997. Thick-film humidity sensors. **Measurement Science and Technology, 8**(1): 92-98.

62. Wang, C.T., Wu, C.L., Chen, I.C., Huang, Y.H., 2005. Humidity sensors based on silica nanoparticle aerogel thin films. **Sensors and Actuators B: Chemical, 107**(1): 402-410.

63. Shi, J., Hsiao, V.K.S., Walker, T.R., Huang, T.J., 2008. Humidity sensing based on nanoporous polymeric photonic crystals. **Sensors and Actuators B: Chemical, 129**: 391-396.

64. Li, H., Jin, D., Yu, Q., Tu, H., 2011. Optical humidity sensing, proton-conducting sol-gel glass monolith. **Journal of Power Sources, 196**: 3836-3840.

65. Pederson, H., Chu, L., 1994. Fiber Optic Moisture Sensor. US patent 5 319 975, Rutgers, The State University of New Jersey, June 14.

66. Russell, A.P., Fletcher, K.S., 1985. Optical sensor fort the determination of moisture. **Analytica Chimica Acta, 170**: 209-216.

67. Ford, A., Roberts, A., 1998. Colour space conversions. (Web sayfası: **http://www.poynton.com/PDFs/coloureq.pdf**), (Erişim tarihi: Temmuz 2011).

68. Yılmaz, S.K., Şeker, E., Ozan, O., Meriç, G., Yılmaz, B., 2011. Hekimlerin ve dental teknisyenlerin VITA Toothguide 3D-Master skalası ile renk seçimi başarılarının değerlendirilmesi. **Cumhuriyet Dental Journal, 14**(2): 92-100.

69. Paul, S.J., Peter, A., Rodoni, L., Pietrobon, N., 2004. Conventional visual vs spectrophotometric shade taking for porcelain-fused-to-metal crowns: a clinical comparison. **International Journal of Periodontics Restorative Dentistry, 24**(3): 222-231.

70. Chu, S.J., Trushkowsky, R.D., Paravina, R.D., 2010. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. **Journal of Dentistry, 38**(Suppl. 2): 2-10.

71. Berns, R.S., 2000. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology, 3rd Edition. John Wiley, New York, 272 pp.

72. Skoog, D.A., Holler, F.J., Nieman, T.A., 1998. Principles of Instrumental Analysis. Fifth Ed., Harcourt Brace Collage Publishers, Orlando, FL.

73. Kuehni, R.G., 2007. Ludwig Pilgrim, a pioneer of colorimetry. **Color Research and Application, 32**(1): 5-10.

74. Optik yöntemler ve spektroskopi. (Web sayfası: **http://www.laboratuvar.8m.com/optik.htm**), (Erişim tarihi: Ağustos 2011).

75. Schwiegerling, J., 2004. Field Guide to Visual and Ophthalmic Optics. SPIE Press, Bellingham, WA. (Web sayfası: **http://spie.org/x32364.xml**)

76. Biryol, İ., 1995. Analitik Kimya Ders Kitabı. Ankara Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi Yayınları, No: 72, 294 s.

77. McDonald, R., 1997. Colour Physics For Industry, Second Edition. Soc. of Dyers and Colourists Publication, 534 pp.

78. Reflective color sensing with Avago Technologies' RGB color sensor, Technical Paper, AV02-0172EN, February 20, 2007.

79. Raja, A.S., Sankaranarayanan, K., 2006. Use of RGB color sensor in colorimeter for beter clinical measurement of blood glucose. **BIME Journal, 6**(1): 23-28.

80. Raja, A.S., Sankaranarayanan, K., 2007. Performance analysis of a colorimeter designed with RGB color sensor, pp. 305-310. International Conference on Intelligent and Advanced Systems.

81. MacAdam, D.L., 1985. Color Measurement: Theme and Variations. Springer-Verlag, 228 pp.

82. Gulati, R.R., 1992. Monochrome and Color Television. Wiley Eastern Ltd.

83. Khoroshaylo, Y.E., Sezonova, I.K., Khoroshaylo, E.Y., 2005. Colorimetry. Conference of Advanced Optoelectronics and Lasers, CAOL, 276(2).

84. Color measurement with color sensors. (Web sayfası: **www.laser-components.com**).

85. Köppen, M., Franke, K., Unold, O. A tutorial on fuzzy morphology. Fraunhofer IPK Berlin, Berlin, Germany.

86. Malacara, D., 2002. Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications. SPIE Press, Bellingham, WA, USA. (Web sayfası: **http://spie.org/x32967.xml**)

87. Yılmaz, İ., 2002. Renk sistemleri, renk uzayları ve dönüşümler, s. 340-350. Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, 16-18 Ekim, Konya.

88. Tonguç, G., 2007. Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Meyve Tasnifi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 100 s.

89. Foley, J.D., Van Dam, A., Feiner, S.K., Hughes, J.F., 1990. Computer Graphics: Principles and Practice. Addison-Wesley, Reading, Mass., 1174 pp.

90. http://www.wikipedia.org/

91. Hunt, R.G.W., 1987. Measuring Colour. Ellis Horwood, Chichester, 221 pp.

92. Hunter, R.S., Harold, R.W., 1987. The Measurement of Appearance. 2nd Edition. Wiley, New York, 411 pp.

93. Manual of Minolta Chroma Meters. Minolta Camera Co., Ltd, Osaka 541, Japan, 1991.

94. http://www.pfk.ff.vu.lt/cie/1931CIE_explanation.htm

95. Uğur, S., Oğuz, S., 1997. Işınım (Radyasyon) Termometri, II. Ulusal Ölçümbilim Kongresi, 23-24 Ekim, Eskişehir.

96. Türkoğlu, A.K., Çalkın, Y., 2009. Siyahcisim renk sıcaklığı. V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 7-10 Mayıs, İzmir.

97. Robertson, P.K., 1988. Perceptual color spaces. **IEEE Computer Graphics and Applications, 8**(5): 50-64.

98. Öner, E., 2006. Tekstil endüstrisinde renk ölçümü ve renk ölçümü bilimindeki son gelişmeler. Güncel Gelişmeler Çerçevesinde İplik ve Terbiye Teknolojileri Semineri, TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası Adana Şubesi ve TÜBİTAK Adana ÜSAM, 31 Ekim.

99. MacDonald, L.W., 1999. Using color effectively in computer graphics. **IEEE Computer Graphics and Applications, 19**(4): 20-35.

100. Feynman, R.P., Leighton, R.B., Sands, M.L., 1989. The Feynman Lectures on Physics, vol. 1, Addison-Wesley, Redwood City, Calif., Chapter 35-36.

101. Hoffmann, G., 2010. CIE color space. (Web sayfası: **http://www.fho-emden.de/~hoffmann/ciexyz29082000.pdf**), (Erişim tarihi: Temmuz 2011).

102. Fairchild, M.D., 2005. Color Appearance Models. John Wiley and Sons, 385 pp.

103. Johnson, A.J., 2002. Methods for characterizing colour scanners and digital cameras, pp. 165-178. In: Colour Engineering (Eds: P. Green, L.W. MacDonald). John Wiley and Sons, New York.

104. Green, P., 2002. Overview of characterization methods, pp. 127-141. In: Colour Engineering (Eds: P. Green, L.W. MacDonald). John Wiley and Sons, New York.

105. Bayılmış, C., 2009. Modelleme ve Simülasyon Teorisi ve Uygulamaları. Ders Notu.

106. Westland, S., Ripamonti, C., 2004. Computational Colour Science Using MATLAB. John Wiley & Sons Ltd, 207.

107. Emmel, P., Hersch, R.D., 2000. A unified model for color prediction of half-toned prints. **Journal of Imaging Science Technology, 44**: 351-359.

108. Ogasahara, T., 2004. Verification of the predicting model and characteristics of dye-based ink jet printer. **Journal of Imaging Science Technology, 48**: 130-137.

109. Köse, E., Şahinbaşkan, T. ,Güler, İ., 2009. The investigation of effects of digital proofing systems used in colour management on print quality with neural networks. **Expert Systems with Applications, 36**(1): 745-754.

110. Ker, J.S., Hsu, C.C., Kuo, Y.H., Liu, B.D., 1997. A fuzzy CMAC model for color reproduction. **Fuzzy Sets and Systems, 91**: 53-68.

111. Usui, S., Arai, Y., Nakauchi, S., 2000. Neural networks for device-independent digital color imaging. **Information Sciences, 123**(1-2): 115-125.

112. Göktepe, A.B., 2011. Nümerik (Sayısal) Yöntemler. Ders Notu.

113. Saracoglu Ö.G., Altural H., 2010. Color regeneration from reflective color sensor using an artificial intelligent technique. **Sensors, 10**(9): 8363-8374.

114. PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet, Microchip Technology Inc., 2009.

115. Haykin, S., 1999. Neural Networks: A Comprehensive Foundation, 2nd Edition. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA, 700 pp.

116. O'Farrell, M., Lewis, E., Flanagan, C., Lyons, W.B., Jackman, N., 2005. Design of a system that uses optical-fiber sensors and neural networks to control a large-scale industrial oven by monitoring the food quality online. **IEEE Sensors Journal, 5**(6): 1407-1420.

117. O'Farrell, M., Lewis, E., Flanagan, C., Lyons, W., Jackman, N., 2005. Comparison of k-NN and neural network methods in the classification of spectral data from an optical fibre-based sensor system used for quality control in the food industry. **Sensors and Actuators B, 111-112**: 354-362.

118. Wefky, A.M., Espinosa, F., Jiménez, J.A., Santiso, E., Rodríguez, J.M., Fernández, A.J., 2010. Alternative sensor system and MLP neural network for vehicle pedal activity estimation. **Sensors, 10**(4): 3798-3814.

119. Foody, G.M., Cutler, M.E., McMorrow, J., Pelz, D., Tangki, H., Boyd, D. S., Douglas, I., 2001. Mapping the biomass of bornean tropical rain forest from remotely sensed data. **Global Ecology and Biogeography, 10**(4): 379–387.

120. Kiyan, T., Yildirim, T., 2004. Breast cancer diagnosis using statistical neural networks. **Istanbul University – Journal of Electrical and Electronics Engineering, 4**(2): 1149-1153.

121. Şencan, A., Yakut, A.K., Dikmen, E., 2004. A new model for determining the thermodynamic properties of LiBr-H_2O solution. **Gazi University Journal of Science, 17**(1):101-110.

122. Kalogirou, S.A., 1999. Applications of artificial neural networks in energy systems-A review. **Energy Conversion and Management, 40**(10): 1073-1087.

123. MATLAB Neural Network Toolbox^{TM}. User's Guide. (Web sayfası: **http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/nnet/** (Erişim tarihi: Ağustos 2011).

124. Hagan, M.T., Demuth, H.B., Beale, M.H., 1996. Neural Network Design. PWS, Boston, MA.

125. Bulut, Ş., 2009. Tekstilde Optik Beyazlatıcıların Uygulanması ve Beyazlık Dayanımlarının İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 179 s.

126. Altural, H., Saraçoğlu Ö.G., 2010. Bilgisayar destekli optik renk sensörü tasarımı, s. 321-325. 3. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, 29-30 Nisan, Ankara.

127. Bayar, B., 2003. İstatistiksel Çözümleme Teknikleri I, Regresyon Analizi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü.

128. Multivariate Least Squares Fitting. (Web sayfası: **http://numericalmethods.eng.usf.edu/mws/gen/06reg/mws_gen_reg_spe_multivariate.pdf**), (Erişim tarihi: Ağustos 2011).

129. Karaboğa, D., 2011. Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları. Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti., 231 s.

130. Storn, R., Price, K., 1997. Differential evolution: a simple and efficient heuristic strategy for global optimization over continuous spaces. **Journal of Global Optimization, 11**: 341-359.

131. Kenneth, V.P., 1999. An Introduction to Differential Evolution, in New Ideas in Optimization, McGraw-Hill Publishing Company.

132. Toktaş, A., 2009. Farksal Gelişim Algoritması Kullanarak H Şekilli Mikroşerit Antenlerin Rezonans Frekansının Hesaplanması. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mersin, 112 s.

133. Karaboğa, D., Ökdem, S., 2004. A Simple and Global Optimization Algorithm for Engineering Problems: Differential Evolution Algorithm, **Turkish Journal of Electrical Engineering, 12**(1): 53-60.

134. Rahle, U., 2006. Desiccant kurutma ile nem kontrolü. **Tesisat Mühendisliği Dergisi, 95**: 37-42.

135. http://www.desikimya.com/

136. Cohen, H.J., 1993. SCM Chemicals, Inc., Silica Gel. US patent 5 229 096, July 20.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Hayriye ALTURAL
Uyruğu: Türkiye (TC)
Doğum Tarihi ve Yeri: 12 Ağustos 1980, Kayseri
Medeni Durumu: Bekar
Tel: +90 537 612 01 89
E-posta: hayriye.altural@gmail.com
Yazışma Adresi: Esenyurt Mah. Erciyes Cad. Açıkel Sok. No:6, Aytuğ Sitesi F Blok, Kat:6, Daire:12, Melikgazi/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	ERÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	2005
Lisans	ERÜ Elektronik Mühendisliği	2002
Lise	Kayseri Lisesi	1997

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. 2011, Altural H., Korkmaz N.E., Saraçoğlu Ö.G. ve Tutak M., Optik RGB Sensörünün CIE-XYZ Renk Uzayına Uyarlanması, IEEE 19. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU-2011), 20-22 Nisan, Antalya.

2. 2010, Saracoglu Ö.G. and Altural H., Color Regeneration from Reflective Color Sensor Using an Artificial Intelligent Technique, Sensors, 10(9): 8363-8374.

3. 2010, Altural H. ve Saraçoğlu Ö.G., Bilgisayar Destekli Optik Renk Sensörü Tasarımı, 3. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, 29-30 Nisan, Ankara.